http://cnum.cnam.fr
Conservatoire numérique des Arts & Métiers

Titre général : Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale
Titre du volume : 1901. 2e semestre

Mots-clés : Progrès scientifique et technique ; Innovations * France * 1900-1945
Description : 960 p. : ill. ; 26 cm
Adresse : Paris : Société d'encouragement pour le développement de l'industrie nationale, 1901
Cote de l'exemplaire : BSPI.102

URL permanente : http://cnum.cnam.fr/redir?BSPI.102

La reproduction de tout ou partie des documents pour un usage personnel ou d'enseignement est autorisée, à condition que la mention complète de la source (*Conservatoire national des arts et métiers, Conservatoire numérique http://cnum.cnam.fr*) soit indiquée clairement. Toutes les utilisations à d'autres fins, notamment commerciales, sont soumises à autorisation, et/ou au règlement d'un droit de reproduction.

You may make digital or hard copies of this document for personal or classroom use, as long as the copies indicate *Conservatoire national des arts et métiers, Conservatoire numérique http://cnum.cnam.fr*. You may assemble and distribute links that point to other *CNUM* documents. Please do not republish these PDFs, or post them on other servers, or redistribute them to lists, without first getting explicit permission from *CNUM*.

PDF créé le 7/11/2009

3. E. I. N.
Bibliothèque

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

POUR

L'INDUSTRIE NATIONALE

BSIE-102

PUBLIÉ

SOUS LA DIRECTION DU SECRÉTAIRE DE LA SOCIÉTÉ

M. ED. COLLIGNON

1901 (2e Semestre)

Pour faire partie de la Société, il faut être présenté par un membre et être nommé par le Conseil d'administration.

(*Extrait du Règlement.*)



PARIS

SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ, RUE DE RENNES, 44

—

1901

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECRÉTARIAT DE LA SOCIÉTÉ

RÉDACTION DU BULLETIN

Communications, dépôts, renseignements, abonnements au *Bulletin*
tous les jours, de 2 à 4 heures.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

100e ANNÉE. JUILLET 1901.

BULLETIN

DE

LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

SÉANCE GÉNÉRALE DU 28 JUIN 1901

PRÉSIDENCE DE M. LINDER

PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ

Le fauteuil de la présidence est occupé par M. LINDER, *président de la Société*. A ses côtés siègent : MM. Lavollée, Le Chatelier, Lindet, et Voisin Bey, vice-présidents, M. Collignon, secrétaire de la Société. M. Isaac, *président de la chambre de Commerce de Lyon*, est invité à prendre place au Bureau.

M. *le Président* ouvre la séance par le discours suivant :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

DISCOURS DE M. LINDER

PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ

MESDAMES, MESSIEURS, MES CHERS COLLÈGUES,

La cérémonie qui nous réunit en ce jour devrait, ce semble, n'inspirer à chacun de nous que des idées de joie et de satisfaction. Pour beaucoup d'entre vous, lauréats de nos prix et de nos récompenses, elle ne marque en effet qu'un jour de fête; mais à d'autres elle rappelle le souvenir des amis et des collègues qui ont disparu pour toujours dans l'année, et elle voile notre réunion d'une ombre de deuil et de tristesse. C'est que l'année qui vient de s'écouler a été cruelle pour notre Société; seize de ses membres, dont cinq du Conseil, ont été frappés par la mort. Avant d'ouvrir la séance, permettez à votre Président, conformément à une pieuse coutume, devenue la règle, de consacrer un dernier hommage à leur mémoire.

M. *Chatin*, président de notre Comité d'agriculture et membre de la Société depuis 1864, s'est éteint le 13 janvier dernier, à l'âge de quatre-vingt-sept ans. Dans une séance récente, M. Prillieux vous a dit comment, simple fils de villageois, sans fortune, notre vénéré collègue sut, par son intelligence aidée d'un travail et d'une persévérance opiniâtres, triompher, dans les circonstances les plus difficiles, d'obstacles en apparence insurmontables et forcer, dès le début de sa carrière, la porte du succès. Ce début pénible, *Chatin* ne l'oublia jamais, non qu'il lui fût amer, mais parce qu'il tenait à l'épargner, autant que cela était en son pouvoir, à ceux de ses nombreux élèves que les difficultés de la vie auraient pu rebuter, et dont il se montrait non seulement le maître ingénieux et savant, mais, plus encore, le conseiller sûr et bienveillant.

Ses travaux sont trop connus pour que j'en parle ici en détail; nombreuses et variées sont les questions auxquelles il a touché, soit chimiques, botaniques, agricoles ou d'hygiène. Je me bornerai à vous rappeler ses recherches sur les égouts de Paris, sur la composition des eaux en France, à Londres, en Suisse, en Italie, en Allemagne, — sur la diffusion de l'iode dans l'air, l'eau, le sol arable, les divers minéraux, — toutes questions dont

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'importance n'a fait que grandir depuis la date éloignée à laquelle il les avait abordées en précurseur. Aucune vie n'a été plus heureuse que la sienne, n'en ayant guère connu que les douceurs et fort peu les déboires. Quand la mort termine ainsi de longues existences, le coup qu'elle frappe reste très douloureux sans doute, mais on l'accepte comme la solution inévitable d'une loi de la nature, et la dure séparation devient plus facile à supporter. La mort, au contraire, devient cruelle, quand elle atteint inopinément des hommes, comme Maxime Cornu, jeunes encore et dans le plein épanouissement de leur développement scientifique.

Maxime Cornu, de même que *Chatin*, était membre de notre Comité d'agriculture; il n'avait que cinquante-sept ans, lorsqu'il nous a été enlevé.

Je n'ai pas la compétence spéciale nécessaire pour vous retracer sa vie et je dois laisser ce soin à une voix plus autorisée que la mienne. Je crois cependant pouvoir vous en dire assez, pour vous permettre d'apprécier l'importance du vide que sa disparition laisse parmi nous.

L'étude des végétaux inférieurs a été le but des premières recherches de notre collègue, qui, dès ses débuts, s'est dévoilé cryptogamiste de premier ordre. On était alors à l'époque où le phylloxera commençait à étendre ses ravages à travers l'Europe et où les savants du continent s'acharnaient à lutter pour la destruction du terrible insecte. Ceux qui se souviennent de ce temps savent le rôle considérable que notre éminent collègue joua dans cette lutte.

Quand le moyen de combattre efficacement le mal fut trouvé, Cornu, portant ses efforts vers les questions complexes que soulève la flore cryptogamique de la France, s'attacha successivement à l'étude du mildew et à celle de l'anthracnose de la vigne, puis il s'attaqua aux maladies parasitaires des plantes cultivées.

En 1884, Cornu avait été chargé de la chaire de culture au Muséum. Dans cette position, il a rendu à cet établissement les services les plus grands et les plus variés : par son enseignement, la part active et dévouée qu'il prit à la restauration des serres et des jardins, et surtout par son cours de cultures coloniales, pour lequel il dut établir, entre le Muséum et les colonies de tous les pays, une correspondance incessante, qui eut pour effet la création, dans notre Musée national d'histoire naturelle, d'une incomparable collection de plantes et de graines nouvelles, d'un intérêt scientifique et pratique de premier ordre.

En s'occupant de ces œuvres, qui n'ont pas dû peu contribuer à user ses

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

forces, Cornu travaillait patriotiquement pour la France, à laquelle il se montra toujours jaloux de réserver l'avantage d'être la première dans les découvertes horticoles et dans l'application de ces découvertes à l'agriculture.

De même que le Comité d'agriculture, votre Comité du commerce a subi deux pertes bien regrettables.

M. Maurice Block était membre du Conseil de la Société depuis 1856 ; pendant près d'un demi-siècle, il n'a cessé, soit comme simple membre, soit comme président du Comité du commerce, de participer à nos travaux avec un dévouement, une assiduité d'autant plus remarquables, qu'il devait dérober le temps qu'il y consacrait aux exigences de nombreuses tâches, auxquelles il avait à suffire. La mort l'a surpris inopinément, en pleine activité, quelques jours après la séance du Comité qu'il a présidé pour la dernière fois.

M. Block comptait parmi nos plus éminents économistes. M. Levasseur, son collègue et son digne émule à l'Institut et dans notre Comité du commerce, vous retracera prochainement, avec l'autorité de sa science et la chaleur sympathique d'une vive amitié, la longue et noble carrière de ce vénéré collègue, dont le souvenir restera comme l'exemple de la droiture, du désintéressement, de l'indépendance d'esprit et de caractère, unis à une véritable modestie et à la plus affable amabilité.

Peu d'entre nous, Messieurs, ont eu la bonne fortune de collaborer dans notre Comité du commerce avec M. Natalis Rondot, dont son collègue et ami, M. C. Lavollée, a récemment, ici même, fait revivre la physionomie si personnelle et si intéressante. Dans sa longue carrière, de 1843 à 1901, M. Natalis Rondot n'a cessé de consacrer aux intérêts du commerce français, avec une abnégation absolue, toutes les ressources de son intelligence et de son infatigable activité. D'une rare indépendance alliée au plus complet désintéressement, notre regretté collègue s'était acquis, principalement en matière d'industrie textile, une autorité incontestée. Dans le commerce des soies notamment, il fut l'un des initiateurs des rapports commerciaux, devenus si importants aujourd'hui, entre la place de Lyon et la Chine, et à cette occasion, l'un des promoteurs de la grande Compagnie des Messageries maritimes. Ses ouvrages et ses nombreux rapports sur l'industrie et l'art de la soierie ont rendu, et rendent encore aujourd'hui, d'inestimables services; mais M. Natalis Rondot n'était pas seulement un industriel et un économiste du plus grand mérite et qu'entourait le respect de tous, il était en même

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

temps un artiste véritable, un collectionneur, érudit et sagace, des documents intéressant l'histoire et la technologie de sa chère industrie de la soie, et c'est à ces goûts artistiques que la ville de Lyon lui doit la création de son Musée d'Art et d'Industrie, création célèbre, dont les résultats sont des plus féconds, et que l'étranger n'a pas tardé à imiter.

Notre Comité des Arts mécaniques vient, à son tour, de perdre subitement, frappé par une maladie foudroyante, l'un de ses membres les plus éminents et les plus écoutés, M. Hirsch, inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées, professeur au Conservatoire des Arts et Métiers. Chez ses collègues, il laisse le souvenir d'un ami excellent et sûr, d'un savant praticien, toujours prêt à rendre service, sans jamais compter ses peines. Dans le personnel de la Société, dont il a été, trois ans, l'un des vice-présidents, il laisse un vide qui sera difficile à combler.

Parmi les membres de notre Société, la mort nous a encore enlevé : MM. *Badois*, ancien vice-président de la Société des ingénieurs civils de France, ingénieur hydraulicien de grand mérite, à qui l'on doit l'exécution de nombre de travaux de distribution d'eaux, tous couronnés de succès, et, dans ces dernières années, l'étude d'un projet hardi d'alimentation de Paris par les eaux du lac Léman; *Digeon*, lauréat de notre Société, mécanicien très ingénieux, qui laisse, pour continuer son œuvre, un fils, à qui nous adressons de tout cœur l'expression de notre plus vive sympathie; *Guyenet*, autre mécanicien, également lauréat de notre Société, auquel on doit de véritables merveilles de mécanique, parmi lesquelles les grues mobiles du montage de la tour Eiffel, et, en collaboration avec M. de Mocomble, la plate-forme roulante de l'Exposition de 1900; *Ainstin*, lauréat de notre Société pour ses remarquables appareils de chauffage; *Guéroult*, ingénieur à Folenbray, *Hoffmann*, à Berlin; *Lagrange*, à Chisseaux; le colonel *Merlin*, *Petit*, ingénieur, et *Suillot*, manufacturier, à Paris.

Messieurs, l'un de mes prédécesseurs au fauteuil de la présidence de la Société vous disait, il y a quelques années, à pareille séance, qu'entre la science, qui fait les découvertes, et l'industrie qui les applique, il est nécessaire d'établir un lien qui permette d'appeler l'attention des savants sur les recherches de nature spéciale, dont l'industriel a besoin et que le souci des affaires ou le défaut de ressources l'empêche d'aborder. Depuis lors, notre Société est entrée largement dans la voie féconde qui lui avait été indiquée, en subventionnant largement, avec ses propres ressources et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

avec des dons importants mis libéralement à sa disposition par des industriels généreux, des recherches d'une utilité incontestable et capitale pour les industries auxquelles elles se rapportent. Ces recherches entreprises, quand il y a eu lieu, dans toutes les branches de la technologie, par des expérimentateurs de premier ordre et absolument désintéressés, sous le contrôle et souvent même avec le concours actif de membres de notre Conseil, ont produit jusqu'à présent des résultats très remarquables, qui vous ont été déjà signalés et sur lesquels je n'insiste de nouveau, aujourd'hui, que parce qu'il m'échoit la bonne fortune, en ma double qualité de président de la Société et de président de la Commission des alliages, de pouvoir vous présenter le plus important d'entre eux, sous la forme saisissante et concrète d'un beau volume, qui renferme, réunis sous un format accessible à tous, les travaux de notre Commission des alliages, complétés par de nombreuses et importantes annexes.

Je vous présente ce magnifique ouvrage, Messieurs et chers collègues, non seulement avec un très vif sentiment de reconnaissance envers ceux qui ont bien voulu y collaborer par leurs travaux ou leurs subventions, mais, disons-le hautement, avec un vrai sentiment de fierté, car il fait le plus grand honneur à notre Société autant qu'aux auteurs, et ajoute un noble titre de plus à ceux, si nombreux déjà, qui lui donnent droit à la reconnaissance de l'industrie française.

Un pareil succès est bien fait pour nous encourager à persévérer dans la voie où nous nous sommes engagés. Ainsi ferons-nous. Dès cette année même, le Conseil n'a pas hésité à engager de nouvelles et très importantes recherches, les unes sur des questions déjà traitées dans ce premier volume, mais dont l'étude est loin d'être épuisée; les autres sur des sujets divers, tels que *le poinçonnage* et *le rivetage*; *l'unification des mécanismes et des principales pièces d'horlogerie; la navigation aérienne; l'étude des ciments et celle des argiles céramiques*. De plus et en dehors des travaux subventionnés par notre Société, nous offrons, toutes grandes ouvertes, les colonnes de notre *Bulletin* aux auteurs de travaux originaux qui offrent un intérêt sérieux pour l'industrie et dont la publication serait trop onéreuse par d'autres voies; tels, par exemple, les Mémoires de MM. *Frémont* et *Osmond* sur le pliage des éprouvettes d'acier, et la très remarquable étude de M. *Codron* sur le *travail des machines-outils*, qui a valu, l'année passée, à son auteur, un de nos prix de mécanique.

Vous le voyez, Messieurs, fidèle à ses traditions séculaires, la Société

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'Encouragement pour l'Industrie nationale n'oublie pas son glorieux passé; mais si, pour l'accomplissement de sa tâche, ni la science, ni le dévouement des collaborateurs ne lui font jamais défaut, toutes les fois qu'elle y fait appel, il n'en est plus de même souvent quand elle s'adresse aux intéressés pour une question plus prosaïque sans doute, mais non moins indispensable, la question d'argent. Or, d'une part, les expériences et les publications scientifiques coûtent extrêmement cher; d'autre part, plus les industries progressent, en s'attaquant à des problèmes de plus en plus difficiles, plus les solutions de ces derniers deviennent coûteuses, en raison des développements et des ressources qu'elles exigent pour être véritablement utiles. Un simple coup d'œil jeté sur le livre des Alliages suffira pour vous en fournir la preuve.

Mieux que personne, Messieurs, vous savez combien il est difficile aujourd'hui, à l'industrie française, de lutter contre la concurrence des industries étrangères, et combien, par conséquent, c'est un devoir impérieux, pour tous ceux qui ont encore quelque souci de l'avenir de la France, de contribuer, selon leurs forces, au succès de cette lutte. Il est, à ce point de vue, d'un intérêt capital que nos industriels puissent trouver chez nous, pour résoudre les difficultés d'ordre technique et scientifique qui les embarrassent, des ressources semblables à celles que nos concurrents étrangers rencontrent, soit dans leurs laboratoires nationaux, soit, surtout, dans des institutions privées, analogues à la nôtre, mais bien plus largement dotées. Aussi, tout en exprimant de nouveau notre plus vive reconnaissance aux généreux donateurs de notre Commission des Alliages, dont les noms figurent en tête de ce volume, espérons-nous avec confiance que leur générosité n'est pas épuisée, et qu'il n'hésiteront pas, si la nécessité nous force d'y faire un nouvel appel, à rendre à l'industrie française l'aide matérielle et pécuniaire dont elle pourra avoir besoin.

La Société décerne, cette année, sa *grande médaille* à la *Chambre de commerce de Lyon*, pour l'*organisation de la mission commerciale* qu'elle a envoyée *en Chine*. Cette mission, qui a duré trois ans, de 1895 à 1897, a réussi au delà de toute espérance, d'une part grâce aux généreux subsides de la Chambre de commerce de Lyon et de celles des villes qui ont participé à son œuvre, mais surtout grâce au courage, au dévouement et à l'habileté des membres de la mission dirigée successivement par M. le consul *Rocher*, puis par *M. Brénier*. Notre vénéré collègue M. C. Lavollée, qui a été, lui

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

aussi, l'un de nos missionnaires commerciaux en Chine, et des premiers, vous dira tout à l'heure les titres de la mission lyonnaise à la reconnaissance de la France, non seulement par les services immédiats et considérables qu'elle a rendus à son industrie, mais aussi par l'important exemple d'initiative féconde et de dévouement à la chose publique qu'elle a donné au pays. La grande médaille est la distinction la plus haute dont nous puissions disposer chaque année; nous sommes heureux de pouvoir la décerner aujourd'hui à un lauréat qui la mérite à tant d'égards. Espérons que l'exemple sera suivi et qu'on profitera de la leçon. Beaucoup de nos grandes industries ignorent trop, en effet, ce qui se passe à l'étranger, non seulement dans les pays lointains, mais souvent même à nos portes.

Le prix institué par notre Comité d'agriculture pour la meilleure *étude sur l'agriculture et l'économie rurale d'une province ou d'un département*, nous attire toujours un grand nombre de candidats; c'est la preuve manifeste du vif intérêt que la question provoque. Plusieurs des travaux présentés ont une très réelle valeur, et quelques-uns de ceux qu'on a jugés dignes d'être publiés dans notre *Bulletin*, ont mérité les suffrages des agricultures. Cette année, nous avons eu pour ce prix quatorze candidats, et il a fallu à mon éminent ami et collègue, M. Risler, pour ne pas reculer devant la lecture et l'analyse de tant de mémoires, le courage, qui ne lui fait d'ailleurs jamais défaut quand il s'agit de travaux agricoles à juger, travaux dont plusieurs des auteurs se trouvent parfois avoir été jadis ses élèves à l'Institut agronomique. Ainsi qu'il arrive souvent en pareille circonstance, quelques-uns de ces travaux, très importants et d'une grande originalité, se suivent dans la course au prix, de si près, ne se différencient que par de si faibles valeurs, qu'il eût été peu équitable d'attribuer la totalité du prix à un seul des rivaux de mérites si voisins; le prix a donc été partagé et des encouragements ont été accordés à *MM. Triboudeau*, *Lièvre*, *Marre*, *Coaloret*, *Fasquelle* et *Follet*, dont M. Risler vous exposera les titres divers.

La question de l'*utilisation des eaux* est l'une des plus importantes et des plus discutées de l'agriculture; aussi, notre Comité d'agriculture a-t-il été des mieux inspirés en proposant, il y a deux ans, pour son étude, un prix de 2000 francs. Deux concurrents, dont un, porteur d'un nom illustre doublement cher à notre Société, nous ont envoyé des mémoires, qui leur ont mérité à chacun un encouragement de 1 000 francs. M. Ronna, dont vous avez souvent déjà pu apprécier la compétence en cette matière délicate, vous

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

exposera tout à l'heure les titres de ces lauréats dans un résumé du très remarquable rapport qui les justifie.

Le Comité des arts chimiques, sur le rapport de M. Vincent, a accordé un encouragement de 1 000 francs à *M. Horsin-Déon*, pour la seconde édition de son Traité, aujourd'hui classique, de la *fabrication du sucre de betteraves*.

Sur la proposition de la Société chimique de Paris, nos deux prix de 500 francs, destinés à encourager les jeunes chimistes à diriger leurs recherches scientifiques dans une voie utile à l'industrie, ont été attribués à MM. Richard *Fosse* et Marcel *Guichard*, pour leurs travaux sur le *β-binaphtol* et le *molybdène;* M. Lindet vous présentera dans un instant un résumé de ces remarquables études.

Le prix *Fourcade* pour les ouvriers des fabriques de produits chimiques est décerné, cette année, à M. P. *Gagneur*, ouvrier depuis cinquante et un ans chez M. Guimet.

Il ne me reste plus, avant de donner la parole à nos rapporteurs, qu'à remercier, comme chaque année, et de tout cœur, les collaborateurs de nos conférences et de notre *Bulletin : MM. Brillouin*, *Guillaume*, *Frémont* et *Osmond*, *Guillet*, *Le Chatelier*, *Renard*, *Renaud*, *Rostaing*, *Ronna*, *Sauvage* et *Sartiaux;* c'est par eux qu'ont été animés la vie de nos séances et l'intérêt de notre *Bulletin;* et c'est en leur disant, avec confiance, au revoir, que nous leur remettrons, tout à l'heure, notre médaille commémorative habituelle.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

PRIX ET MÉDAILLES

DÉCERNÉS DANS LA SÉANCE GÉNÉRALE DU 28 JUIN 1901

GRANDE MÉDAILLE

La Société décerne chaque année, sur la proposition de l'un des six Comités du Conseil, une grande médaille en or *aux auteurs, français ou étrangers, des travaux qui ont exercé la plus grande influence sur les progrès de l'industrie française* pendant le cours des six années précédentes.

Le Conseil d'administration de la Société, sur la proposition du *Comité du Commerce*, décerne en 1901 *la grande médaille*, à l'effigie de Chaptal, à la CHAMBRE DE COMMERCE de Lyon (1). *Organisation de la Mission lyonnaise en Chine.*

COMITÉ DES ARTS CHIMIQUES

PRIX FOURCADE

POUR LES OUVRIERS DES FABRIQUES DE PRODUITS CHIMIQUES

Ce prix de 1 000 francs a été fondé par les exposants de la classe 47, à l'Exposition universelle de 1878, sur l'initiative de M. Fourcade et avec sa coopération, en faveur du simple ouvrier ayant le plus grand nombre d'années de service dans une même maison appartenant à l'une des industries représentées dans cette classe.

RAPPORT DE **M. E. Collignon,** *Secrétaire.*

Le prix annuel de 1 000 francs, que nous devons à la libéralité de M. Fourcade, est décerné, cette année, à M. Pierre GAGNEUR, ouvrier depuis le commencement de l'année 1850 chez M. Guimet, fabricant de bleu d'outremer à Fleurieu. Pendant ces 51 années de services ininterrompus,

(1) *Bulletin* de mai 1901, p. 597.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. Gagneur a constamment donné l'exemple d'une conduite irréprochable et d'un dévouement absolu à ses patrons; il mérite à tous égards la récompense que nous sommes heureux de lui décerner aujourd'hui, en lui souhaitant de tout cœur encore de longs jours heureux au milieu de l'affection des siens et du respect que mérite une vie si honorable.

PRIX DE 2000 FRANCS

POUR UNE PUBLICATION UTILE A L'INDUSTRIE CHIMIQUE OU MÉTALLURGIQUE

Un encouragement de 1 000 francs est décerné à M. HORSIN-DÉON, pour son ouvrage sur la *Fabrication du sucre de betteraves* (1).

DEUX PRIX DE 500 FRANCS

POUR DES RECHERCHES SCIENTIFIQUES DE CHIMIE UTILES A L'INDUSTRIE

Ces prix sont décernés : l'un à M. Richard FOSSE, pour ses travaux sur le β *Binaphtol*, l'autre à M. Marcel GUICHARD, pour ses travaux sur le *Molybdène*.

RAPPORT DE **M. Lindet**, SUR LES TRAVAUX SCIENTIFIQUES DE **M. Richard Fosse.**

M. RICHARD FOSSE, docteur ès sciences, ancien interne en pharmacie, a, pour acquérir son titre de docteur, établi la monographie du β-binaphtol ou β-binaphtylol et de ses composés.

Depuis, élargissant le cercle de ses études, il a appliqué à d'autres phénols les réactions que le β-binaphtol lui avait fait connaître.

M. Fosse s'est tout d'abord préoccupé de rechercher un mode de préparation du β-binaphtol plus satisfaisant que ceux employés d'ordinaire; l'oxydation du β-naphtol par les sels de cuivre, et spécialement par l'acétate, lui a permis de préparer rapidement le β-binaphtol, avec un rendement qui peut atteindre jusqu'à 92 p. 100.

L'étude des composés d'un corps ne peut être faite aujourd'hui que si sa constitution est, pour ainsi dire, scientifiquement garantie. Aussi,

(1) *Bulletin* de mai 1901, p. 625.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. Fosse a-t-il, dès le début, établi la structure du β-binaphtol; puis il a soudé, sur les quatre hexagones que ce corps représente, des groupements d'alcools, d'aldéhydes et d'acides.

C'est ainsi qu'il a combiné l'alcool isopropylique et le glycol au β-binaphtol, et qu'il a, à côté de ces éthers-oxydes, préparé les éthers-sels, le diacétate, le dipropionate, le dibutyrate du β-binaphtyle; qu'il a soudé sur la molécule primitive les molécules aldéhydiques, et obtenu les acétals méthyléniques, éthylidénique, benzylidénique du β-binaphtol; qu'il a enfin préparé des dérivés chlorés et bromés.

La méthode nouvelle que M. Fosse a imaginée pour préparer ces acétals (action des chlorures de méthylène, d'éthylidène, de benzylidène sur le binaphtol en présence de la potasse alcoolique) s'applique-t-elle à la préparation des acétals des autres phénols? M. Fosse a pu de cette façon, préparer des acétals éthylidéniques du phénol ordinaire, du crésol, du naphtol α et de la résorcine.

Enfin, en faisant réagir le chloroforme sur le naphtolate de soude, M. Fosse a obtenu un composé fort intéressant, analogue à l'aldéhyde salicylique, dans la série du naphtalène, l'aldéhyde oxynaphtoïque, α, β, qu'il a combinée avec l'aniline, l'ortho et la paratoluidine, la naphtylamine et dont il a fait l'oxime et la phénylhydrazone.

Ces dérivés doivent présenter des propriétés antiseptiques, comme les matières premières dont elles dérivent : propriétés qui pourront, sans doute, être avec avantage utilisées par la médecine et l'industrie.

En outre, il est probable que, comme les naphtols, les composés de M. Richard Fosse pourront être associés aux diazoïques et former des matières colorantes, dont l'industrie profitera.

RAPPORT DE **M. Lindet** SUR LES TRAVAUX SCIENTIFIQUES DE **M. Marcel Guichard.**

M. Marcel Guichard, préparateur au laboratoire d'Enseignement de la chimie appliquée à la Faculté des sciences, a concentré ses recherches sur l'étude du molybdène et de ses composés.

Les oxydes du molybdène, et principalement les oxydes anhydres, étaient jusqu'ici mal déterminés. On admettait, entre l'acide molybdique anhydre MoO^3 et le bioxyde de molybdène MoO^2, une série de trois oxydes anhydres intermédiaires; on admettait également un sesquioxyde anhydre.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. Guichard a montré que, seuls, les oxydes MoO^3 et MoO^2, devaient être considérés comme les oxydes anhydres du molybdène. On constate la production du bioxyde dans toutes les réactions où différents auteurs avaient cru voir se produire des oxydes intermédiaires.

La liste admise des oxydes hydratés devaient également appeler l'attention de M. Guichard; il l'a soumise à une vérification sévère, et cinq de ces oxydes hydratés sont seuls restés debout : deux oxydes acides, l'oxyde $Mo^2O^7.5H^2O$, de M. Péchard, et l'acide molybdique $MoO^3.nH^2O$; deux oxydes basiques, le bioxyde hydraté $MoO^2.nH^2O$, et le sesquioxyde $Mo^2O^3.nH^2O$; enfin, un oxyde salin, l'oxyde bleu, dont il a fait une étude très adroite et dont il a déterminé la formule $MoO^2.4MoO^3.6H^2O$.

Les sulfures de molybdène formaient dans les traités classiques une série de trois corps dont la teneur en soufre croissait en progression arithmétique, $MoS^2.MoS^3.MoS^4$; à ces bisulfure, trisulfure, tétrasulfure, M. Guichard a ajouté un sesquisulfure, Mo^2S^3, qu'il a obtenu à l'état cristallisé; il a fait cristalliser également le bisulfure, que l'on ne connaissait qu'à l'état amorphe, et il a reproduit ainsi la molybdénite.

Cette étude des sulfures devait conduire M. Guichard à préparer le molybdène, par une méthode nouvelle. Ayant constaté que le sesquisulfure, comme d'ailleurs tous les sulfures de molybdène, perdent leur soufre à la température du four électrique, il a proposé d'extraire industriellement le molybdène de son minerai sulfuré, la molybdénite, au lieu de soumettre, comme l'avait fait M. Moissan, l'oxyde à la réduction du charbon. Le jour où la métallurgie fera appel au molybdène, elle se souviendra de la méthode de M. Guichard.

Enfin, M. Guichard a préparé le premier iodure anhydre de molybdène, le biiodure, et il a entrevu l'existence d'un tétraiodure.

Les applications du molybdène ne sont pas encore très nombreuses, et se limitent à la préparation de certaines couvertes céramiques; mais on ne saurait prévoir l'avenir des découvertes du laboratoire; l'emploi des métaux rare à la fabrication des capuchons Auër montre que nous assistons chaque jour à des applications imprévues de découvertes purement théoriques.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

AGRICULTURE

Rapport de **M. Risler**, *sur le prix d'Agriculture, pour une étude sur l'agriculture d'une province.*

Nous avons eu cette année 14 concurrents pour le prix de 2 000 francs qui doit être décerné à la meilleure *étude sur l'agriculture et l'économie rurale d'une province ou d'un département.* Mais, parmi ces 14 études, il y en a 2 qui s'occupent presque exclusivement des terrains d'une des régions agricoles de la France et que nous devons remettre à l'année prochaine; il y en a 5 qui ne répondent bien ni au programme de 1901, ni à celui de 1902 et que nous pouvons laisser de côté. Il en reste 8 dont deux presque égales comme mérite surpassent beaucoup toutes les autres; ce sont :

1° Une étude sur *l'agriculture et l'économie rurale du département du Pas-de-Calais*, par M. *J. Triboudeau*, professeur départemental d'agriculture d'Arras. M. Triboudeau commence par une excellente description des formations géologiques qui caractérisent dans le département 3 régions : l'une, la plus étendue, qui ressemble à la Picardie et au pays de Caux avec sa craie couverte d'argile à silex et de limon des plateaux, et ses cultures de céréales et de betteraves à sucre;

La 2e sur les côtes de la Manche, le Boulonnais, îlot de jurassique et d'infracrétacé qui a la même origine que le pays de Bray et les mêmes caractères agricoles, forêts et herbages avec élevage de cheval ;

La 3e au Nord, le commencement de la grande plaine des terrains tertiaires et quaternaires et des alluvions de la Flandre.

Dans chacune de ces régions il cite et décrit en détail quelques fermes de grande, moyenne ou petite culture, il n'oublie pas les excellentes analyses que M. Pagnoul a faites des terrains et il arrive ainsi à nous en donner une image très exacte.

Dans la 2e partie de son étude M. Triboudeau s'occupe successivement de chacune des productions agricoles du Pas-de-Calais : blé, betteraves, colza, lin, etc., fait leur histoire économique depuis le commencement du siècle et indique les perfectionnements que l'on y a faits et ce qu'il serait

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

possible d'y faire encore. Un des chapitres les plus intéressants est celui qui concerne les nouvelles méthodes de production des graines de betteraves riches par le bouturage ou le greffage, que M. Gorain, d'Offekergue, a sinon trouvées, du moins perfectionnées. Puis viennent des chapitres, qui ont aussi beaucoup de mérite, sur le marché d'Arras, sur la propriété et sa valeur aux diverses époques et dans les diverses localités, sur le fermage, sur le personnel agricole et les salaires.

Le seul reproche que l'on puisse faire à M. Triboudeau est de ne pas s'être occupé de la production animale.

Nous décernons à M. Triboudeau un *encouragement de 1000 francs.*

Le 2e travail qui nous paraît mériter une de nos plus hautes récompenses, c'est une monographie agricole et économique du *Beaujolais*, par M. *André Lièvre*, ingénieur agronome.

Ici c'est le climat surtout qui différencie les zones de culture : dans la plaine, les prairies fécondées par les inondations hivernales de la Saône, puis les collines, avec leurs célèbres vignobles et, au-dessus de ces collines, aux altitudes qui ne permettent plus la maturation du raisin, des bois. Presque partout, le sol est d'origine granitique; il n'y a d'exception que pour les alluvions de la vallée et quelques parcelles de trias ou de jurassique. Toutes ces régions sont très bien décrites par M. Lièvre, mais il s'attache particulièrement à la zone des vignobles, et il nous fait connaître dans tous ses détails son admirable organisation du métayage et ses procédés de culture.

La question des engrais est particulièrement bien traitée; elle s'appuie sur les analyses de terres nombreuses faites avec soin par M. Lièvre lui-même.

Nous décernons à M. Lièvre un *encouragement de 600 francs.*

3° M. *Marre*, professeur départemental d'agriculture à Rodez, nous présente une monographie agricole du *département de l'Aveyron.*

La description des différentes régions de ce département, moins parfaite que dans les deux premiers mémoires au point de vue géologique et au point de vue chimique, est plus complète au point de vue pratique. Ainsi, dans les montagnes basaltiques d'Aubrac et sur les granites et les schistes des Ségalas, il ne néglige pas de nous parler du bétail ; il nous donne des renseignements fort intéressants sur son élevage et la fabrication des fromages du pays et sur les plateaux calcaires des Causses. Ce sont les brebis dont le lait donne le principal revenu. Ce lait sert à faire le fromage de Roquefort et M. Marre nous donne des détails très instructifs sur une des fromageries

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les plus importantes, celle de M. Trémolet, à Lapanouse-de-Séverac.

Nous décernons à M. Marre un *encouragement de 400 francs.*

4° M. *Gabriel Fasquelle,* professeur départemental d'agriculture et M. *Follet,* directeur de l'école normale de Saint-Lô, nous ont envoyé des *études agricoles sur le département de la Manche.* C'est un volume de 256 pages, imprimé à Saint-Lô, qui nous arrive avec beaucoup de photographies d'animaux et de vues du pays, de cartes géologiques, agronomiques, statistiques, etc., et de graphiques complétant ces cartes. Il y a dans tout cela beaucoup de travail et l'on peut y prendre une connaissance assez exacte de ce riche pays et de ses divisions principales, le Cotentin, l'Avranchin, la Hague, etc., de ses systèmes de culture, des chevaux et des bêtes à cornes qu'on y élève, des beurre, cidre, etc., qu'on y fabrique, puis de la valeur des terres, qui décline depuis vingt ans, et des salaires qui, par contre, augmentent de plus en plus.

Nous décernons à MM. Fasquelle et Follet une *médaille d'argent.*

5° La monographie agricole de l'*arrondissement de Tournon* (Ardèche) par M. *Arthur Coaloret,* professeur spécial d'agriculture, ne manque pas de mérite. Autour du mont Mézenc, ce sont les basaltes qui prédominent. Du reste, presque tous les terrains de cet arrondissement sont formés par la décomposition du granite ou du gneiss, ce sont des terrains pauvres en chaux et en acide phosphorique assimilable. Les expériences faites par M. Coaloret dans ses champs d'essais et de démonstrations fournissent aux cultivateurs d'excellents renseignements sur les engrais à employer pour les diverses cultures. L'auteur a comparé également les différentes variétés de blé, de pommes de terre, de graines fourragères, etc. Il donne des détails intéressants sur la viticulture, sur les plantations du mûrier et l'élevage des vers à soie. Il insiste sur l'importance qu'il y a de remplacer la race bovine du Mézenc par la race Tarentaise : à nourriture égale, une vache tarentaise donne moitié plus de lait qu'une vache du Mézenc, 6 litres par jour au lieu de 4. En résumé, les agriculteurs peuvent trouver dans le mémoire de M. Coaloret bien des conseils utiles.

Nous décernons à M. Coaloret une *médaille d'argent.*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

AGRICULTURE

RAPPORT *fait, au nom du Comité d'Agriculture,* par **M. A. Ronna**, *sur le prix de 3 000 francs pour la meilleure étude sur l'emploi agricole de l'eau en grande culture.*

En proposant un prix de 3 000 francs pour la meilleure étude sur l'emploi de l'eau en grande culture, et sur les moyens les plus propres à assurer l'utilisation agricole de nos petits cours d'eau et de nos grands canaux d'arrosage, le Comité, appréciant les progrès considérables réalisés depuis une trentaine d'années dans un certain nombre d'États du centre et du nord de l'Europe, l'Allemagne en particulier, indiquait incidemment qu'il conviendrait d'exposer ces progrès et d'étudier *rapidement* jusqu'à quel point, et moyennant quelles modifications, les principales mesures d'ordre financier, administratif, législatif ou technique qui ont contribué, dans ces États, au développement de l'arrosage, pourraient s'adapter à notre organisation administrative.

Votre rapporteur doit constater, dès le début, que les auteurs des deux mémoires présentés concurremment pour obtenir le prix de la Société ont perdu de vue le but essentiel du programme, et se sont occupés presque exclusivement de la partie accessoire, traitant d'améliorations foncières de toute nature qui n'ont aucun rapport avec l'arrosage, quoiqu'elles résultent de l'application de nombreuses lois, et du fonctionnement d'associations syndicales sur le même type que celles des irrigations proprement dites.

Dès lors, les exemples font défaut, qui montrent la pratique et les avantages de l'irrigation dans la grande culture. Quelques-unes des monographies de l'un des deux mémoires se réfèrent à des opérations plus ou moins vastes, en vue de l'arrosage, mais elles sont connexes de travaux de régularisation des cours d'eau, d'endiguements ou de desséchements. Par cela même, les divers modes d'appropriation des ruisseaux, des rivières, des fossés, etc., ne font l'objet d'aucune étude spéciale. Enfin, les données statistiques recueillies ne permettent pas d'embrasser, dans les pays précités,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les progrès de l'irrigation, distincts de ceux des autres améliorations foncières, à cause de leur insuffisance, ou de leur caractère trop approximatif.

L'importance qu'il pouvait y avoir à se rendre compte de l'opportunité des réformes à introduire, et de la mesure dans laquelle quelques-unes des dispositions appliquées en Allemagne et ailleurs, si elles étaient adoptées en France, contribueraient à relever notre production agricole, n'a pas été démontrée malgré la peine que les auteurs se sont imposée, et quel que soit l'intérêt de leurs recherches.

Les entreprises d'irrigation, confondues le plus souvent avec celles d'assainissement et de desséchement, sont examinées sans plus de détails que celles des syndicats de curage et de rectification des cours d'eau, de distributions d'eau potable, de défrichements et reboisements, de réunions parcellaires, de constructions de chemins d'exploitation, ou de bâtiments ruraux, etc.

I

Dans le mémoire qu'il présente, M. L. Faure, ingénieur hydraulique, attaché au Ministère de l'Agriculture, aborde successivement les sujets suivants :

Chapitre premier.

1. Des bienfaits de l'irrigation, et de la plus-value des terres sous le rapport de l'accroissement de richesse et de prospérité qu'elle procure sous tous les climats et sous toutes les latitudes.

2. De l'état d'infériorité des irrigations en France.

3. Des causes diverses qui s'opposent à leur extension : canalisation des eaux, et préparation des terres arrosables.

Chapitre II.

1. Étude du service technique des améliorations (génie rural), ressortissant aux ministères ou aux directions de l'agriculture dans les divers États de l'Allemagne et de l'Autriche.

2. Législation des eaux et des syndicats en Allemagne. Exemples : les lois hessoises pour les associations d'arrosage ; les lois badoises pour les associations entre industriels et agriculteurs.

3. Institutions de banques agricoles ou caisses de prêts en Allemagne, en faveur des entreprises d'améliorations foncières. Exemple : banque agricole de l'État bavarois.

4. Progrès des syndicats en Prusse pendant les cinq années 1891-1896, et en Alsace-Lorraine.

Chapitre III.

Application en France des mesures pratiquées en Allemagne.

1. Création d'un service public dont le personnel serait recruté à l'Institut national agronomique et à l'École forestière pour les ingénieurs agricoles, et dans les Ecoles

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

spéciales de Vaucluse, du Lézardeau, etc., pour les agents secondaires, à l'effet de provoquer et de créer des associations, et de diriger leurs opérations.

2. Réformes de la législation actuelle des eaux, et des lois sur les syndicats.

3. Mesures financières propres à favoriser les entreprises d'utilisation agricole des eaux, etc.

Votre rapporteur se bornera à soumettre quelques observations générales au sujet de cette importante étude sur l'Allemagne, et de ses conséquences pour notre pays.

M. Faure a déjà publié, tant dans les *Annales de l'Institut national agronomique* (1896), et dans le *Bulletin du Ministère de l'Agriculture* (1896), que dans un rapport sur l'enseignement de l'irrigation et du drainage, au sujet du *Congrès international de l'enseignement agricole en 1900*, un travail très complet sur le rôle des syndicats en Allemagne, leur organisation et leur mode de fonctionnement, ainsi que sur les réformes auxquelles entraînerait leur assimilation en France. De même, il a procédé à une discussion circonstanciée des modifications que comporterait notre enseignement de l'hydraulique dans les écoles supérieures et secondaires d'agriculture.

En rééditant ce qui se rapporte aux lois hessoises des 14 juin et 13 juillet 1887, qui offrent, selon lui, les plus grandes facilités en vue de la constitution des syndicats jouissant du concours de l'État, et placés sous sa surveillance, l'auteur néglige le point le plus instructif, qui eût été de signaler leur efficacité pour l'extension des arrosages en particulier, et leur supériorité relativement aux autres lois similaires.

Sous le rapport du concours financier accordé aux entreprises syndicales, M. Faure remet simplement sous nos yeux le résumé des statuts de la Banque agricole d'État en Bavière, fondée dans le but de faciliter les améliorations foncières. Or, depuis la promulgation de cette loi, 1er avril 1884, jusques fin 1895, pendant dix années, la Banque aurait consenti, sur 694 prêts, s'élevant à 2 336 200 marks, 88 prêts seulement, soit 817 316 marks, ou 35 p. 100 environ, aux entreprises d'irrigation proprement dite. Il eût été d'un intérêt majeur de connaître les détails de ces dépenses, en regard des avances consenties, mais surtout d'apprendre moyennant quelles sommes, et quels résultats les nombreux Instituts financiers de l'Europe centrale ont contribué à la création de nouvelles dérivations, pour développer les arrosages par l'entremise des syndicats.

Tout en reconnaissant, d'accord avec l'auteur, que l'intervention de l'État peut s'exercer, indépendamment de l'établissement de grands canaux,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

1° Par une meilleure législation des eaux et des associations syndicales;

2° Par une meilleure organisation du service hydraulique;

3° Par le crédit facilité pour les entreprises hydrauliques, sous forme de subventions, d'avances à long terme, de garanties d'intérêt, etc.

Votre rapporteur ne saurait se dissimuler que les moyens suggérés, pour développer en France l'utilisation des eaux en agriculture, suivant ce qui se pratique en Allemagne, presque exclusivement au profit des prairies, ne sont guères compatibles avec nos lois actuelles, nos institutions et notre organisation administrative.

L'infériorité constatée de la législation française en matière d'eaux, est le plus sérieux obstacle à la généralisation des arrosages. Tant que la propriété de toutes les eaux ne sera pas du domaine public et que l'État ne sera pas maître d'en disposer librement, au mieux des intérêts de l'agriculture; tant que la servitude d'aqueduc ne sera pas définie par le code, il y a fort peu à attendre de modifications de détail, empruntées à l'Allemagne, ou des lois multiples non codifiées qui varient d'un État à l'autre, quant au régime et à la nature des eaux, à leur entretien et à leurs procédés d'utilisation. D'autre part, la propriété des eaux, qui est de l'État, en ce qui regarde les cours d'eau navigables et flottables, et les canaux construits de main d'homme dans un intérêt général, est, en Allemagne, des particuliers, pour toutes les autres eaux.

Seule, la législation lombarde, devenue la législation italienne, qui a inscrit dans le code civil l'attribution à l'État de toutes les eaux sans distinction, et la servitude d'appui pour leur prise et leur passage, grâce à son admirable simplicité et à sa jurisprudence parfaite, peut favoriser l'extension des arrosages.

M. Faure n'en propose pas moins des amendements aux lois françaises des mois d'avril 1845 et juillet 1847, sans citer les paragraphes, ni libeller les modifications qu'il a en vue, à savoir :

1° Déclaration de plein droit des servitudes d'aqueduc, sans recours aux tribunaux;

2° Concession de prises d'eau en avant, quand la topographie des lieux l'exige, sur les fonds d'autrui;

3° Jouissance de tous barrages ou écluses possédés par autrui, moyennant participation aux frais de premier établissement et d'entretien;

4° Juridiction du juge de paix, au lieu de celle des tribunaux, en matière de litiges et de règlements d'indemnités;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

5° Extension des lois précitées au profit des associations entre propriétaires, ou des syndicats autorisés.

Relativement aux syndicats mêmes, dont l'efficacité s'est affirmée avec un succès toujours croissant en Allemagne pour les améliorations foncières, M. Faure fait remarquer que la loi française de 1884 ne pourra avoir d'effet utile sur le développement des irrigations, que si le principe y est établi, d'après lequel l'autorité judiciaire, sur une simple demande de la majorité des intéressés, accorde la constitution des syndicats, et cela, conformément aux lois en vigueur en Italie, depuis 1865.

En d'autres termes, la majorité exigée en France actuellement, pour que le préfet autorise une association, devrait être celle exprimée par le vote des intéressés, sur base de la surface arrosable, et non pas de l'impôt payé. En outre, les intéressés comme en Allemagne, absents ou abstentionnistes, lors du vote, devraient être comptés comme favorables à l'entreprise. Enfin, un simple arrêté préfectoral, sans recourir à un décret préalable d'utilité publique, rendu en Conseil d'État, devrait suffire pour autoriser les syndicats d'arrosage.

Toutefois les réformes jusqu'ici mentionnées ne sauraient donner des résultats pratiques, d'après l'auteur, que si la France possède, à l'instar de l'Allemagne, un corps spécial de fonctionnaires techniques, les uns d'ordre supérieur (*œkonomie commissär, bauinspector, kultur inspector, kultur ingenieur*), les autres d'ordre inférieur (*Wiesenaufseher, kultur techniker, wiesenbaumeister*), ayant pour mission, au contact des populations rurales, de provoquer la création de syndicats, de dresser les plans et devis des opérations et de diriger l'exécution des travaux.

Votre rapporteur ne suivra pas l'auteur dans les développements considérables qu'il donne à cette idée, pas plus que dans les détails de réorganisation de l'Institut national agronomique et de l'École forestière, où il compte recruter le personnel supérieur, et des Écoles spéciales de Vaucluse, du Lézardeau, de Saulxures-sur-Moselotte, etc,, destinées à former le personnel inférieur.

En attendant que les cadres du nouveau service des eaux soient alimentés par ces écoles, les professeurs d'agriculture départementaux et les agents forestiers pourraient être utilisés parallèlement aux fonctionnaires de la Direction de l'Hydraulique, qui dépend du Ministère de l'Agriculture : ingénieurs et conducteurs déjà détachés du Ministère des Travaux publics.

Étant donné que ce projet borné aux irrigations fût praticable, on se

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

demande quel serait le rôle d'ingénieurs de l'État auxquels incombe déjà l'administration des cours d'eau, des canaux, etc., juxtaposés à des ingénieurs agricoles, mis à la disposition des communes, des associations et des particuliers, et chargés de l'aménagement et de l'épandage des eaux sur le sol. Mais le projet, d'après les programmes mêmes de refonte et de supplément des cours professés dans nos Écoles supérieures et pratiques, et aussi d'après la durée du stage, s'étendrait, dans l'esprit de l'auteur, à toutes les améliorations foncières quelconques, voire même à la formation d'ingénieurs géomètres et de professeurs de génie rural. Dans ces conditions, la confusion d'attributions de deux services d'origine distincte, empiétant sur celles de branches administratives qui relèvent d'une ou de plusieurs directions de Ministères, ne tarderait pas à faire naître des conflits d'intérêts au détriment, en premier lieu, de l'agriculture.

En insistant avec tant de conviction sur l'urgence de créer de toutes pièces un nouveau rouage administratif, M. Faure semble oublier que les systèmes d'irrigation ont été l'ouvrage du temps. « Nos canaux et nos « digues », écrit Jaubert de Passa, dans son *Mémoire sur les cours d'eau et les canaux d'arrosage des Pyrénées-Orientales* (1821), « ne sont point le « produit de l'art proprement dit, ni d'un corps institué pour enseigner les « méthodes. L'industrie a tâtonné, modifié, adopté des procédés, et le culti- « vateur a pratiqué avec succès les règles de l'hydraulique, sans en avoir « jamais appris les éléments. Cependant, on veut nous assujettir à sou- « mettre tous les travaux aux avis d'un homme de l'art. On exige des plans « rédigés à grands frais, etc. »

Et, de fait, les belles irrigations des Pyrénées-Orientales, des Vosges, de la Provence, comme celles de la Lombardie, du Piémont, et du midi de l'Espagne, n'ont pas eu besoin, pour se créer et s'étendre, du concours d'ingénieurs et d'agents sortant des Écoles. Ce sont les agriculteurs qui ont pourvu d'eux-mêmes aux installations les plus remarquables et les plus délicates remontant aux temps les plus reculés, sous la protection de bonnes lois et de coutumes fidèlement observées. Il en a été de même aux États-Unis où les irrigations, dans certains États, se sont tellement développées à une date toute récente, sans l'aide de techniciens diplômés.

Sur le chapitre des moyens financiers, propres à favoriser les syndicats, M. Faure estime que les lois de 1856 et 1858, pour les travaux de drainage à entreprendre avec le concours du Crédit foncier, pourraient être amendées et étendues aux opérations d'arrosage. Il rappelle que la Commission supé-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rieure de 1878, pour l'aménagement et l'utilisation des eaux, avait proposé d'appliquer à ces entreprises le principe de la garantie d'intérêt de l'État; qu'en 1880, le Conseil d'État avait élaboré un projet de loi en ce sens. Le Gouvernement, en 1892, présentait une loi réglant le fonctionnement des Sociétés de crédit pour venir en aide aux agriculteurs, par l'émission d'obligations.

Les récentes lois de 1894 et 1899 sur le crédit agricole suffiraient aujourd'hui, toujours d'après l'auteur, pour que les syndicats constituent des sociétés de crédit ou s'affilient à de telles sociétés, et se procurent les fonds qu'exigent les opérations définies par leurs statuts.

Inutile, semble-t-il, de faire remarquer combien le crédit, sous forme d'avances, même sans intérêt, remboursables par annuités que fournissent des caisses locales recourant à une caisse régionale, diffère de celui que les banques agricoles d'État, en Allemagne, procurent directement aux associations, comme aux particuliers, pour des améliorations reconnues utiles et viables, sans garantie hypothécaire, et moyennant des prêts à très long terme, à des taux d'intérêt très réduits.

II

Dans le second mémoire remis par M. le baron Louis Thénard, chargé de missions par le ministère de l'Agriculture, le plan encore plus généralisé que le précédent, puisqu'il s'étend à chacun des États de l'Allemagne distinctement, et à l'Autriche-Hongrie, embrasse une étude plus vaste et plus détaillée, qui ne s'est pas spécialisée plus que l'autre dans l'examen des arrosages.

Il suffira, pour en juger, sous le rapport de l'ensemble, d'énumérer les principales divisions.

Première partie. — Considérations générales.

Chapitre premier. — Organisation politique et administrative; configuration physique; climat; situation économique agricole; production et population des États de l'Allemagne.

Chapitre II. — *Idem*, pour l'Autriche et la Hongrie.

2e Partie. — Législation.

Chapitre premier. — Régime des eaux dans les pays précités; nature et propriété des eaux; entretien et utilisation; barrages et irrigations par fossés et par canaux écoulement des eaux; desséchements.

Chapitre II. — Des associations en Allemagne (Prusse, Alsace-Lorraine, Bavière,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

grand-duché de Bade, Wurtemberg, Saxe, duché de Hesse), et en Autriche. Statuts de syndicats constitués en Moravie, avec les formulaires annexes.

3e Partie. — AMÉLIORATIONS AGRICOLES.

Chapitre premier. — Remembrement des parcelles.

Chapitre II. — Pratique des irrigations.

Rôle de l'eau dans la végétation.

Effets de l'arrosage,

Nature des eaux,

Époques des arrosages,

Volumes d'eau nécessaires suivant les saisons, les terres; colmatage ou arrosage de prairies,

Pertes d'eau,

Prises d'eau (roues, chaînes à godets, barrages, canaux principaux),

Systèmes d'irrigation; colmates; arrosages souterrains; arrosages associés au drainage;

Desséchements.

4e Partie. — ORGANISATION DES SERVICES D'AMÉLIORATION ET RECRUTEMENT DU PERSONNEL.

Chapitre premier. — Allemagne.

Prusse. Service technique. — Écoles supérieures techniques. — Programme des cours de l'École supérieure d'agriculture de Berlin. — Programme *id.* de l'Académie agricole de Bonn-Poppelsdorf.

Bavière. Service technique. — Personnel.

Grand-duché de Hesse. Service technique. — Programme des cours de l'École polytechnique de Darmstadt (génie rural).

Grand-duché de Bade. Service technique. Personnel des *Kultur ingenieur*.

Wurtemberg. Service technique; personnel *id.*

Saxe. Service des associations agricoles. Personnel des *œkonomie commissär*.

Alsace-Lorraine. Service des améliorations. — Personnel des *Kultur-Inspector* et *Wiesenbaumeistèr*..

Chapitre II. — Autriche.

Ministère de l'agriculture; son organisation; bureaux techniques; service des améliorations. — Institut R. I. agronomique de Vienne; programme des cours. Écoles R. I. techniques. — Programme des cours de l'École polytechnique de Brünn (Moravie).

Chapitre III. — Hongrie.

Ministère de l'agriculture; service hydraulique agricole. Direction des eaux; services techniques. Conseil national des eaux. Personnel. — Programme des cours de l'École de Kassa.

Chapitre IV. — Desséchements.

Service en Hongrie. — Associations d'endiguement.

Service en Autriche. — Améliorations de Jaispitz (Moravie); construction de réservoirs; barrages et réservoirs à Jaispitz.

Chapitre V. — Mise en culture des tourbières.

Études sur la culture des tourbières. — Applications en Autriche et en Bavière.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Chapitre VI. — Emploi des eaux résiduelles des sucreries de betteraves pour l'irrigation.

Applications de Bodenbender (grand-duché de Hesse).

5e *Partie.* — STATISTIQUE et MESURES FINANCIÈRES.

Chapitre premier. — Statistique des travaux d'amélioration. Allemagne et Prusse; Autriche et Hongrie.

Chapitre II. — Mesures financières.

Associations coopératives de crédit Schultz et Delitsche; banque centrale coopérative de Berlin.

Associations Raiffeisen. Fédération centrale des associations agricoles.

Banque d'État des fédérations affiliées et des caisses agricoles (1895).

Banques agricoles indépendantes (1879).

Banque d'État agricole de la Bavière (1884).

Banque de Saxe (*Landrentenbank*).

6e *Partie.* — MONOGRAPHIES.

1. Irrigations de Baunact, Basse-Franconie (Bavière).
2. Améliorations de Bruckhausen. — Syke-Thedinghausen, Brunswick (Prusse).
3. Irrigations de Leeste. Brinkum (Hanovre).
4. Irrigations de Müden-Nieclenhofer (Hanovre).
5. Endiguement et desséchement du delta de Meruel (Prusse orientale).

7e *Partie.* — CONCLUSIONS.

Chapitre premier. — Personnel des améliorations.

Chapitre II. — Législation et syndicats.

Chapitre III. — Améliorations.

8e *Partie.* — ANNEXES.

Loi du 11 mai 1877 (Alsace-Lorraine).

Loi du 30 juin 1884 sur les améliorations de culture du sol, et ordonnance sur le régime des eaux (Autriche).

Règlement de l'École royale hongroise des agents hydrauliques, à Kassa; programme de l'enseignement de trois années.

Loi du régime des eaux, 23 juin 1885 (Hongrie).

La simple énumération des matières traitées dans ce volumineux mémoire prouve combien de sujets étrangers par le fait au programme du prix ont été envisagés par l'auteur.

Aussi bien, la première et la troisième partie en entier, que la quatrième partiellement, en ce qui regarde les programmes d'enseignement des écoles, les desséchements, la mise en culture des tourbières, l'emploi des eaux des sucreries, et la sixième partie, en tant que les monographies, avec cartes et plans à l'appui, se réfèrent à de vastes opérations d'ensemble, sans

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

parler des annexes de la huitième partie, ne sauraient rentrer, malgré tout leur intérêt, dans le cadre d'une étude sur l'arrosage.

Dès lors, votre Rapporteur, sous bénéfice des observations déjà formulées, croit devoir s'attacher uniquement au résumé, ainsi qu'aux conclusions qui figurent dans la septième partie du mémoire de M. Thénard.

Et d'abord, relativement au personnel supérieur du service des améliorations en Allemagne, recruté dans les Écoles polytechniques, ou dans les Écoles d'ingénieurs, dont deux seulement, à Munich et à Darmstadt, possèdent une section de génie rural où, après avoir fait un stage de plusieurs années dans le service même, les titulaires acquièrent le titre d'ingénieur de l'État, M. Thénard se contente de reproduire en ces termes l'opinion du Président de la Société d'agriculture de Posen :

« Les propriétaires considèrent ces fonctionnaires comme de bons ingé-
« nieurs, qui n'ont toutefois aucunes connaissances de l'agriculture pratique,
« et, par là, ne rendent pas les services que l'on serait en droit d'attendre
« d'eux. Ils font leurs études agricoles sur place, aux dépens des agricul-
« teurs. Ceux qui sortent des universités font des géomètres, nullement
« agriculteurs, auxquels les cultivateurs doivent donner les conseils pra-
« tiques.

« Parmi les agents subalternes, les uns correspondent à nos conducteurs
« des ponts et chaussées, et les autres, n'ayant reçu aucune éducation clas-
« sique, leur sont inférieurs ; ils font seulement exécuter les plans. »

Ces agents n'en rendraient pas moins, d'après l'auteur, d'utiles services pour les entreprises d'irrigation, et *peut-être* doit-on leur attribuer une part importante dans les nombreux petits travaux exécutés en Allemagne pour les améliorations du sol. Comme il n'y a pas de grands canaux, sauf trois, la comparaison, de ce chef, est toute en faveur de l'œuvre accomplie en France.

En règle générale, rien d'uniforme n'existe dans l'organisation et dans l'installation des bureaux techniques, pas plus en Allemagne qu'en Autriche et en Hongrie, où les ingénieurs agricoles sont des agents, tantôt de l'État, tantôt des provinces, et tantôt des sociétés d'agriculture, recrutés dans les Écoles polytechniques ou dans les Instituts agronomiques de Vienne ou de Magyar Ovar.

On aura de la peine à comprendre comment un tel personnel, sans connaissances agronomiques, autres que celles acquises après un stage plus ou moins long parmi les cultivateurs, puisse faire acte d'initiative, s'il était

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

possible d'en créer un similaire en France, et aider d'une manière efficace au développement des arrosages.

Au point de vue de la législation, l'auteur est décidément affirmatif quant à la nécessité d'une loi spéciale pour les irrigations et les améliorations foncières; en effet :

En Hongrie, jusqu'à la promulgation de la loi de 1885 (donnée en annexe), il était presque impossible d'obtenir une autorisation pour l'arrosage.

Dans le Wurtemberg, faute de bonnes lois, les syndicats et le personnel technique des améliorations n'ont témoigné de leur activité que pour les réunions territoriales.

En Bavière, malgré l'ancienneté de l'enseignement technique hydraulique (1822), c'est seulement depuis la loi de 1852 que les associations se sont constituées en grand nombre, d'après le principe de la contrainte exercée par une majorité de propriétaires représentant les deux tiers de la surface.

Ce principe admis par les autres États allemands, aux termes des nouvelles lois, a été le levier qui a permis de syndiquer les communes, les propriétaires et les cultivateurs.

En France, le respect des droits de la propriété individuelle, qui a entouré jusqu'ici la faculté de contrainte de conditions plus rigoureuses, s'opposera de quelque temps à des modifications conçues dans un intérêt trop collectif.

D'ailleurs, la facilité de contrainte exercée en Allemagne, observons-nous, n'offre rien de caractéristique en elle-même, car, dès le XII^e^ siècle, grâce à leur initiative, les communes lombardes et, plus tard, les *fueros* en Espagne constituèrent les premières associations d'arrosage. Ces associations avaient l'avantage inappréciable de consacrer pratiquement la réunion des cultivateurs et des possesseurs du sol, de même que les habitudes de communauté qui ont contribué à étendre les irrigations les plus complètes, et à fertiliser à un si haut degré des territoires jusqu'alors rebelles à toute culture.

En France également, les chartes et cartulaires, du X^e^ au XII^e^ siècle, sont encore aujourd'hui les titres authentiques des concessions d'eau et d'arrosage, octroyées aux cosmunes et aux propriétaires en syndicat des Pyrénées, de Vaucluse, etc.

L'association est donc bien la condition premère pour faire disparaître

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

non seulement le morcellement du sol, comme conclut M. Thénard, mais encore pour vulgariser l'épandage des eaux dans la culture.

C'est seulement depuis la loi du 21 mars 1884 sur les syndicats, d'après l'auteur, que l'association en France serait devenue une force économique, réduite jusqu'alors à son minimum d'action.

Par les lois des 5 novembre 1894 et 31 mars 1899 sur le crédit agricole, les syndicats en France se trouveraient dans des conditions favorables pour se procurer les ressources nécessaires aux travaux d'amélioration. Les deux voies nouvelles où l'on paraît s'engager résolument sont destinées à seconder l'initiative des agriculteurs, sans qu'il soit nécessaire d'augmenter le personnel de l'hydraulique, ou de songer à un service nouveau auprès des corps électifs.

Enfin, sous le rapport des formalités administratives, les facilités offertes par nos règlements seraient analogues à celles des autres pays étudiés, quant aux droits d'usage de l'eau, aux moyens d'utilisation et aux syndicats en général.

En présence de conclusions aussi opposées, voire même contradictoires, sur une situation différemment appréciée par les auteurs des deux mémoires, votre Rapporteur ne saurait se prononcer, ni sur les vues optimistes de l'un, ni sur les réformes préconisées par l'autre.

Pour ce qui regarde les arrosages proprement dits, aucune des deux études, comme il a été dit dès le début, ne répond au programme du prix offert par la Société, et votre Rapporteur croit devoir conclure qu'il n'y a pas lieu de le décerner.

Si, toutefois, en considération des recherches multiples, des informations précieuses et des documents soigneusement recueillis à l'étranger, et traduits, que renferment les deux mémoires, en vue d'une étude plus appropriée à la condition actuelle des arrosages en France, le Comité jugeait convenable de tenir compte de la somme de travail représentée, votre Rapporteur n'hésite pas à proposer d'accorder à titre d'encouragement, à chacun des concurrents, un prix de 1 000 francs, en leur adressant les remerciements avec les éloges de la Société.

A. Ronna.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

DISTRIBUTION DES MÉDAILLES

DÉCERNÉES POUR LES INVENTIONS UTILES

OU LES PERFECTIONNEMENTS DANS LES ARTS INDUSTRIELS

Rapports des différents Comités

(Voir le tableau, p. 31)

ARTS MÉCANIQUES

RAPPORT SUR LES TRAVAUX DE **M. Francesco Sinigaglia,** présenté au nom du *Comité des Arts mécaniques*, par **M. J. Hirsch,** *membre du Conseil.*

Le nom et les ouvrages de M. Sinigaglia sont bien connus de tous les ingénieurs qui s'occupent d'études sur les appareils à vapeur. M. Sinigaglia a eu le mérite d'être l'un des premiers à faire connaître en Italie les études de cette nature, et à ouvrir cette voie féconde de recherches, dans laquelle d'autres de ses compatriotes n'ont pas tardé à s'engager à sa suite.

En 1889, M. Sinigaglia publiait, en italien, un *Traité des machines à vapeur*. Cet ouvrage, immédiatement traduit en français, eut un véritable succès dans le monde des spécialistes. Il renferme surtout un exposé magistral des applications de la thermodynamique au fonctionnement des machines à vapeur; cet exposé est remarquable à la fois par sa simplicité et par sa clarté; l'ouvrage présente en outre des résultats intéressants, dus aux recherches propres de l'auteur, sur divers sujets théoriques, tels que l'influence des enveloppes de vapeur, le rendement des machines à expansion multiple, les effets de la surchauffe, le rôle des régulateurs de vitesse, etc. Notre éminent collègue, M. Dwelshauvers-Dery, qui fut un des maîtres de M. Sinigaglia, a fait un compte rendu fort élogieux de cet ouvrage dans la *Revue générale des Sciences*.

M. Sinigaglia a écrit de nombreuses études sur les machines et les chaudières à vapeur; plusieurs de ces études ont paru dans les publications françaises, l'*Encyclopédie Léauté*, la *Revue de mécanique*, etc. Ces

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MÉDAILLES

I. — LISTE DES MÉDAILLES DÉCERNÉES PAR LA SOCIÉTÉ POUR DES INVENTIONS OU DES PERFECTIONNEMENTS AUX ARTS INDUSTRIELS

Nos d'ordre.	NOMS DES LAURÉATS.	NOMS DES RAPPORTEURS nommés par les comités.	INVENTIONS OU PERFECTIONNEMENTS qui ont motivé les médailles.
	MÉDAILLES D'OR		
	MM.	MM.	
1	Boucher.	Appert.	Fabrication mécanique des bouteilles (1).
2	Debray.	Sauvage.	Rapports de la Commission des méthodes d'essai des matériaux (2).
3	Dormoy.	Livache.	Émaillage mécanique (3).
4	Rivière et Lecq.	Tisserand.	Manuel de l'agriculteur algérien (4).
5	Rolet.	Lindet.	Étude sur la composition du lait (5).
6	Sinigaglia.	Hirsch.	Ouvrages et travaux de mécanique.
7	Société des usines à gaz du Mans.	Simon.	Institutions de prévoyance (6).
	MÉDAILLES DE VERMEIL		
	MM.	MM.	
1	Gérard Lavergne.	Diligeon.	Ouvrage sur les automobiles.
2	Rocca, Tassy et de Roux.	Muntz.	La végétaline (7).
	RAPPEL DE MÉDAILLE D'OR		
	M.	M.	
1	Samain.	Barbet.	Compresseur.
	MÉDAILLES D'ARGENT		
	MM.	MM.	
1	Guédon.	Sauvage.	Distribution pour locomotives (8).
2	Grinninger.	Leroux.	Ouvrage sur la fabrication des lampes à incandescence (9).

(1) *Bulletin* de mai 1901, p. 606. — (2) *Bulletin* de mai 1901, p. 321. — (3) *Bulletin* de janvier 1901, p. 17. — (4) *Bulletin* de mai 1901, p. 633. — (5) *Bulletin* de mai 1901, p. 644. — (6) *Bulletin* de juin 1901. — (7) *Bulletin* de décembre 1900, p. 709. — (8) *Bulletin* de décembre 1900, p. 705. — (9) *Bulletin* de mai 1901, p. 629.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

écrits se sont fait vivement apprécier par la profondeur et la précision des vues, ainsi que par l'abondance et le choix excellent des documents. Mieux que tout autre, M. Sinigaglia s'entend à montrer les points délicats des problèmes industriels, à en dégager les solutions, et à en faire comprendre le sens et la portée; c'est un vulgarisateur émérite.

A l'Exposition de 1900, M. Sinigaglia comptait présenter ses beaux ouvrages. Malheureusement, la caisse qui contenait ces volumes s'est égarée et n'a pu être retrouvée; par suite de cet accident, M. Sinigaglia s'est vu privé des récompenses élevées sur lesquelles il était en droit de compter.

Votre Comité des Arts mécaniques estime que la Société d'Encouragement est en situation de réparer, au moins dans une certaine mesure, les conséquences déplorables de cette mésaventure fâcheuse.

Il a en conséquence l'honneur de vous proposer de décerner à M. Sinigaglia une médaille d'or pour l'ensemble de ses travaux.

Signé : J. Hirsch, *rapporteur.*

Lu et approuvé en séance, le 28 mars 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MÉDAILLES COMMÉMORATIVES

Le Conseil d'administration a décidé d'offrir à plusieurs personnes, qui ont bien voulu faire des communications intéressant la Société, des médailles commémoratives en argent, à titre de remerciement, pour marquer l'intérêt avec lequel elles ont été accueillies. Ces médailles sont remises à :

MM. Brillouin, séance du 22 mars 1901 — *Les chronomètres de marine.*
Guillaume, séance du 25 janvier 1901. — *Les travaux du Congrès de physique de 1900.*
Frémont et Osmond. — *Pliage des barettes entaillées* (1).
Guillet, séance du 26 décembre 1900. — *L'aluminothermie.*
Le Chatelier. — *Technique de la métallographie microscopique.*
Renard, séance du 11 janvier 1901. — *L'aéronautique à l'Exposition de 1900* (2).
Renaud, séance du 23 novembre 1900. — *Nos ports de commerce.*
Rostaing. — *Fabrication de la pâte d'alfa* (3).
Ronna. — *L'agriculture de l'avenir* (4).
Sauvage, séance du 22 février 1901. — *La locomotive en 1900.*
Sartiaux (E.), séance du 24 juin 1901. — *Les électro-sémaphores du Chemin de fer du Nord.*

(1) *Bulletin* de février 1901, p. 254. — (2) *Bulletin* de mars 1901, p. 327. — (3) *Bulletin* d'avril 1901, p. 455. — (4) *Bulletin* de janvier 1901, p. 30.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MÉDAILLES

II. — LISTE DES CONTREMAITRES ET OUVRIERS AUXQUELS ONT ÉTÉ DÉCERNÉES DES MÉDAILLES D'ENCOURAGEMENT

Nos d'ordre.	NOMS ET PRÉNOMS.	ANNÉES DE SERVICE.	ÉTABLISSEMENTS AUXQUELS ILS APPARTIENNENT.
	MM.		
1	Billaud (Gilbert).	44	Contremaître à la *Cie de Saint-Gobain, Chauny et Cirey.*
2	Bonnard (Gustave)	42	Surveillant à la *Cie de Saint-Gobain, Chauny et Cirey.*
3	Bourquelot (Jules).	39	Chef d'équipe à la *Cie des Chemins de fer de l'Est*, à Mohon.
4	Buisson-Chavot (Claude-Louis). .	41	Contremaître aux *Établissements Ch. Pinat*, à Allevard (Isère).
5	Caban (Auguste).	35	Modeleur aux *Ateliers de la Cie des Chemins de fer de l'Ouest*, à Sotteville.
6	Capobianco (Antonio).	10	Mécanicien à la *Raffinerie de Chantenay-sur-Loire.*
7	Cappe (François).	41	Ouvrier chez *MM. Blanzy, Poure et Cie*, à Boulogne-sur-Mer.
8	Caquand (Amand)	28	Chef d'équipe de glucoserie à la *Société des Amidonnerie et Glucoserie*, à Haubourdin.
9	Damiens (Jules-Alfred)..	31	Contremaître aux *Établissements Kuhlmann*, à Lille.
10	Dieppedalle (Désiré-Séverin).. .	33	Monteur aux *Ateliers de la Cie de l'Ouest*, à Sotteville.
11	Feuillas (Jacques).	38	Chef d'équipe ajusteur aux *Ateliers de la Cie P.-L.-M.*, à Arles.
12	Gallot (Mme Aglaé).	42	Ouvrière à la *Société anonyme des papeteries du Marais et de Sainte-Marie.*
13	Guillet (Laurent)..	57	Monteur de ressorts aux *Établissements Ch. Pinat*, à Allevard (Isère).
14	Guilmin (Nestor-Albert).	25	Chauffeur à l'*Administration de l'Assistance publique*, à Paris.
15	Hennebique (Félix).	47	Ouvrier mannelier aux *Établissements Kuhlmann*, à Lille.
16	Hocquard (Auguste).	44	Chef d'équipe à la *Cie des Chemins de fer de l'Est*, à Épernay.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Nos d'ordre.	NOMS ET PRÉNOMS.	ANNÉES DE SERVICE.	ÉTABLISSEMENTS AUXQUELS ILS APPARTIENNENT.
	MM.		
17	Huot (Jean-Louis)..	49	Lamineur à la *Cie des Forges de Châtillon et Commentry*, à Montluçon.
18	Jacolliot (Isidore).	50	Chef d'atelier d'ajustage à la *Cie des Forges de Châtillon et Commentry*, à Vierzon.
19	Ledan (Mme Julie-Eugénie). . . .	42	Ouvrière à la *Société anonyme des papeteries du Marais et de Sainte-Marie.*
20	Lestang (Léonard).	43	Ouvrier à la *Compagnie générale des Omnibus.*
21	Lique (Ferdinand)..	38	Sellier garnisseur aux *Ateliers de la Cie P.-L.-M.*, à Oullins.
22	Lirot (Mme Aline).	40	Ouvrière à la *Société anonyme des papeteries du Marais et de Sainte-Marie.*
23	Vanabelle (Louis-Jules).	28	Contremaître à la *Société anonyme des Amidonnerie et Glucoserie*, à Haubourdin (Nord).

Le Secrétaire de la Société,

Ed. COLLIGNON,

Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ARTS MÉCANIQUES

RAPPORT présenté, au nom du *Comité des Arts mécaniques*, par **M. C. Rozé**, sur les APPAREILS DE PESAGE ET DE CONTRÔLE inventés et construits par **M. Edmond Chameroy**.

Les établissements Chameroy, pour la construction de balances, de bascules, d'appareils de mesurage, de comptage et de contrôle automatique, etc., ont été honorés par la Société d'Encouragement d'une médaille d'argent, en 1870, puis d'une médaille de platine en 1876, décernées à M. Chameroy père. Depuis cette dernière date, M. Chameroy fils a pris la direction de ces établissements et a apporté un grand nombre de perfectionnements propres à satisfaire aux exigences toujours nouvelles de l'industrie et du commerce.

Un des objets poursuivis avec autant de persévérance que de succès est l'inscription du résultat d'une mesure ou d'une pesée. Les divers procédés imaginés et appliqués successivement par M. Edmond Chameroy, aux instruments qu'il construit ou à ceux déjà existants, présentent la plus grande variété, chaque mode nouveau de solution étant approprié à des besoins spéciaux. Il est à observer que de telles dispositions doivent satisfaire à des conditions souvent difficiles à concilier telles que la précision, la certitude de fonctionnement en toute occasion, la rapidité, la simplicité des manœuvres, la netteté des résultats; et, quand il s'agit d'appareils de contrôle, il faut encore mentionner les exigences relatives à la protection des appareils contre toute action susceptible de fausser les indications commise par maladresse ou par malveillance.

Telles sont, d'une façon générale, les difficultés que M. Chameroy a dû vaincre par une constante application et une ingéniosité inépuisable. Les succès toujours croissants obtenus par ses nouveaux appareils et les hautes distinctions qui lui ont été accordées, témoignent des services qu'il a su rendre.

Par la nature même des choses dont il s'agit, il serait difficile d'exposer en détail la raison d'être et les avantages de dispositions diverses dont le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

grand mérite est de répondre de la manière la plus simple et la plus économique aux exigences multiples de chaque cas particulier; il convient donc de limiter cet exposé aux seules indications générales propres à caractériser le rôle des principales innovations.

En 1884, M. Chameroy a disposé les diverses parties de l'appareil inscrivant le résultat de la pesée de manière que les nombres exprimant le poids brut, puis celui de la tare, déterminés successivement, soient inscrits sur le même ticket, le second au-dessous du premier : ainsi, la soustraction peut être effectuée sans transcription. Dans le même ordre d'idées, M. Chameroy, en 1894 et 1895, a réalisé un dispositif auxiliaire de bascule imprimant le poids sur une bande de papier en travers, de manière que les résultats de pesées successives s'inscrivent les uns au-dessous des autres et que la totalisation peut être obtenue par l'addition immédiate sans transcription. Cette disposition est d'autant plus à considérer qu'il est bien établi que les erreurs dans les calculs numériques proviennent le plus souvent d'une méprise dans l'opération de la transcription et que, de plus, les erreurs de cette sorte sont ordinairement les moins faciles à découvrir et à corriger.

M. Chameroy a ensuite apporté à ces inventions diverses modifications propres à les rendre applicables aux instruments construits antérieurement, à compléter leurs indications, par exemple, en y ajoutant l'inscription de la date, à perfectionner les dispositions en vue de satisfaire aux exigences de l'emploi des divers appareils de pesage, bascule, pont-bascule, dans les services de l'octroi, du poids public, des abattoirs, etc. Par exemple, pour éviter les inconvénients que présente l'impression des chiffres à sec, par gaufrage du carton ou du papier, M. Chameroy a réussi à vaincre les difficultés spéciales qui jusque-là avaient fait écarter le mode d'impression, à l'encre grasse, des chiffres de la pesée.

Enfin, tout récemment, en 1899 et 1900, M. Chameroy a combiné un ensemble de dispositions mécaniques propres à enregistrer le passage des wagons ou wagonnets en un point de la voie ferrée, par exemple, au lieu d'installation d'un pont-bascule. Cet appareil peut notamment servir, par la comparaison avec les résultats enregistrés par la bascule, à contrôler si tous les wagons qui ont circulé en un temps donné ont bien été soumis à l'opération de la pesée avec inscription automatique. Pour écarter toute chance de fraude, le taquet sur lequel agit la roue du wagon ne peut être écarté en permanence, par un calage accidentel ou volontaire, sans entraîner le déplacement d'une pièce auxiliaire qui rend la voie impraticable. Ainsi les fonc-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tions ne pourraient subir de perturbation qu'à la suite de la destruction des organes de l'appareil. Une disposition auxiliaire peut permettre d'inscrire sur un compteur spécial le retour à vide des véhicules.

Tels sont, très sommairement exposés, les principaux progrès réalisés par M. Chameroy en vue de satisfaire aux exigences les plus variées des services administratifs, commerciaux ou industriels. C'est ainsi, aussi bien que par les soins apportés à la construction, que M. Edmond Chameroy a réussi à conserver et développer encore la réputation incontestée des établissements dirigés d'abord par M. Chameroy père. Non seulement M. Chameroy donne satisfaction dans une large mesure aux besoins nationaux, mais encore il exporte en certains pays d'outre-mer une grande partie des instruments qu'il construit.

Le Comité des Arts mécaniques, appréciant comme il convient les services ainsi rendus à l'industrie nationale par M. Edmond Chameroy, a l'honneur de vous proposer de le remercier des ses intéressantes communications, et de décider l'insertion, au *Bulletin*, du présent rapport.

Signé : C. Rozé, *rapporteur.*

Lu et approuvé en séance, le 14 juin 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ARTS MÉCANIQUES

EXPÉRIENCES SUR LE TRAVAIL DES MACHINES-OUTILS

Par **M. Codron**, *lauréat de la Société d'Encouragement* (Suite) (1).

Cisaillage

Le cisaillage peut être considéré comme un tranchage avec deux lames LL′, dont l'un des biseaux se trouve dans le plan fictif de séparation (fig. 147). Il se produit, au début de l'opération, une coupe par pénétration de chaque outil dans la pièce, en même temps qu'une pression énergique sur les faces d'about des lames, puis les parties se séparent par arrachement, flexion ou glissement carac-

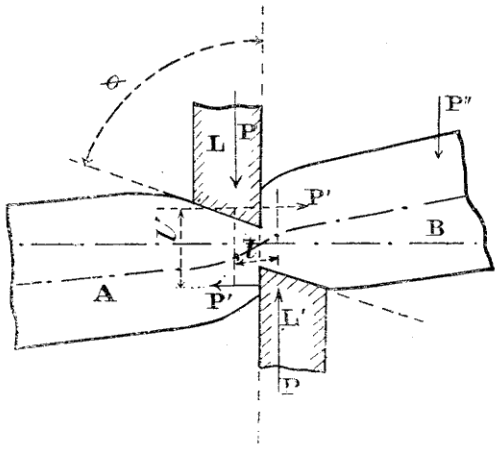


Fig. 147.

térisé, actions qui se combinent et sont plus ou moins complexes selon la nature du métal.

Nous distinguerons le cisaillage ou tranchage d'un seul coup au moyen de lames à tranchants parallèles, et le cisaillage progressif au moyen de lames à tranchants obliques ou avec des lames circulaires.

(1) *Bulletin* de janvier, mars, avril, p. 482.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Tranchage d'un seul coup. — Ce procédé s'applique aux barres de petite largeur relative et de forte épaisseur, aux profilés, à des pièces minces découpées en pleine tôle et dont on veut prévenir toute déformation.

Les lames ont dans ce cas un angle d'acuité de 80 à 90°, pour déterminer, autant que possible, un cisaillage direct, un glissement peu oblique des parties

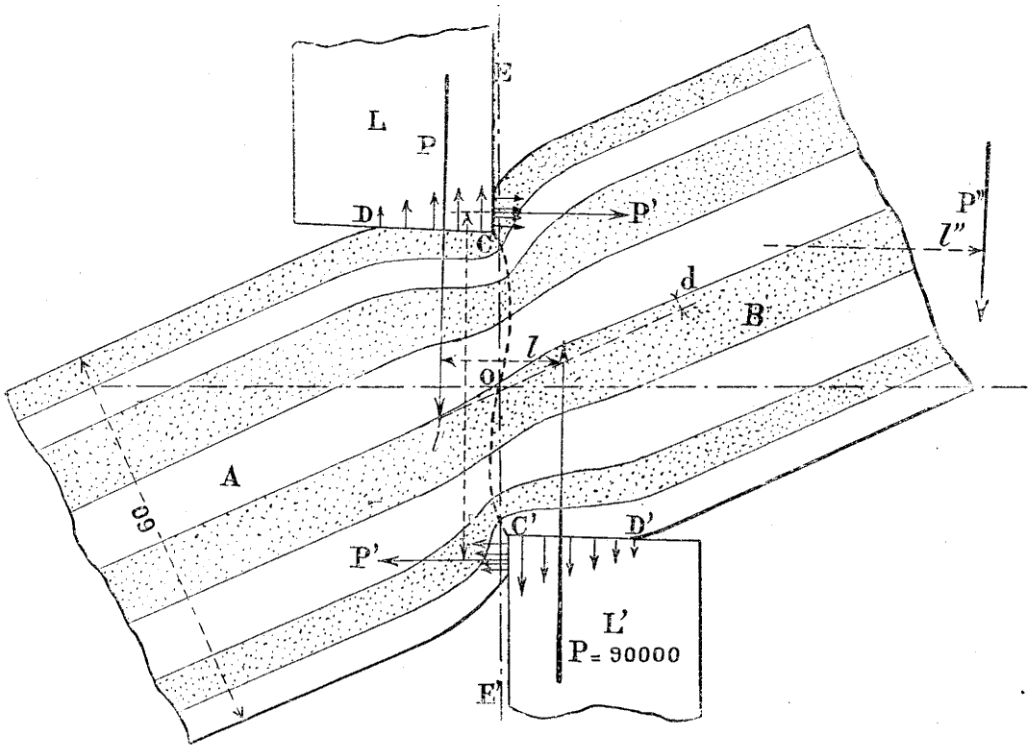


Fig. 148. — Phases principales du cisaillage d'une pièce de fer.

Pression moyenne par mmq. de surface d'appui : $p = \frac{60 \times 20}{90\,000} = 75$ kg.

qui se séparent par la pression croissante exercée sur les lames (1). Si l'angle d'acuité était assez inférieur à 80°, les lames s'ébrécheraient dans la coupe des fortes épaisseurs, supposée faite à froid; des lames à angle aigu et à tranchant

(1) Nous entendons par rupture de glissement ou de cisaillement, celle classiquement définie par le mode d'action de deux lames de cisaille. On sait que, dans la résistance de la pièce, la plus grande *tension* des fibres du prisme élémentaire déformé ne se produit pas dans le plan de la section cisaillée, mais obliquement, suivant un angle qui varie avec la ductilité. L'angle qui correspond à la rupture ne s'éloigne guère de 45° pour les métaux tels que le fer, l'acier doux. La *tension* ou *traction* qui produit la séparation des parties diffère un peu de la résistance de traction directe, parce que, dans le cisaillement, les résistances de traction et de cisaillement sont en jeu simultanément et se composent.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

oblique détermineraient une pression locale élevée qui détériorerait rapidement les outils ; ou bien, dans le cas de sections profilées, ces lames produiraient des déformations prononcées ou des déchirements.

Considérons une pièce de section rectangulaire placée entre deux lames LL′ (fig. 148) à tranchants droits parallèles qui se rapprochent. La pièce se trouve soumise à deux efforts P au contact des faces CD et C′D′ ; ces efforts croissent rapidement avec la pénétration (fig. 150) jusqu'à la valeur qui correspond sans tenir

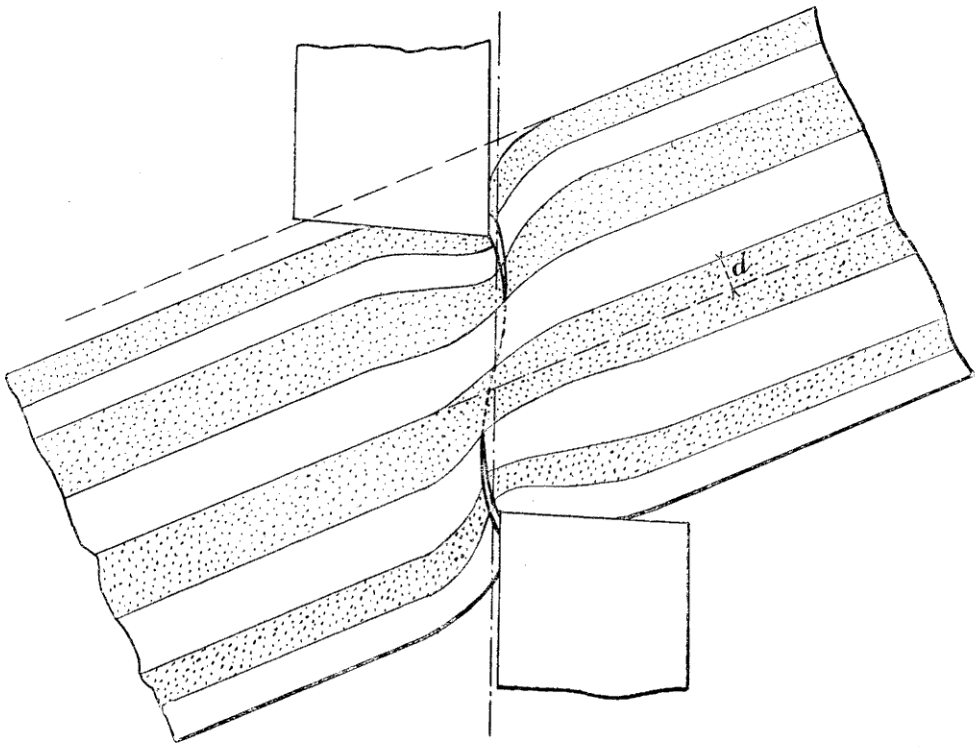


Fig. 149.

compte des frottements $P'f$, à la résistance au glissement qui précède le début de la rupture. Ces forces P se répartissent suivant une loi indéterminée ; les composantes les plus fortes sont assurément voisines du point C. Les résultantes P sont à une distance l, et forment un couple Pl, qui détermine un autre couple $P'l'$, dont les efforts ou pressions P′ s'exercent sur les faces verticales CE et C′E′, des lames en contact avec la pièce. Les réactions P′ tendent à écarter les lames du plan de coupe CC′.

Présentée horizontalement, la pièce, si elle reste libre, prend une position de plus en plus inclinée à mesure que la pénétration des lames se poursuit, et tant que les efforts P progressent. La déviation de l'horizontalité est le plus souvent prévenue par une force P″, due à l'appui de la partie B de la pièce contre

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

un arrêt disposé à cet effet, ce qui réduit les valeurs des forces P′ particulièrement sur la lame L. Lorsque les forces P atteignent leur valeur maximum, elles ont déformé la pièce symétriquement par rapport au point *o*, milieu de CC′. Un glissement général de chaque partie A et B s'est déjà produit (fig. 148). Si on décompose la pièce en tranches parallèles aux faces supérieure et inférieure, on remarque que les tranches les plus voisines des outils sont plus déformées que celles qui avoisinent la ligne d'axe primitif de la pièce. La distance *d* mesure la projection de la déviation de cette ligne qui passe par le centre *o*. Les tranches

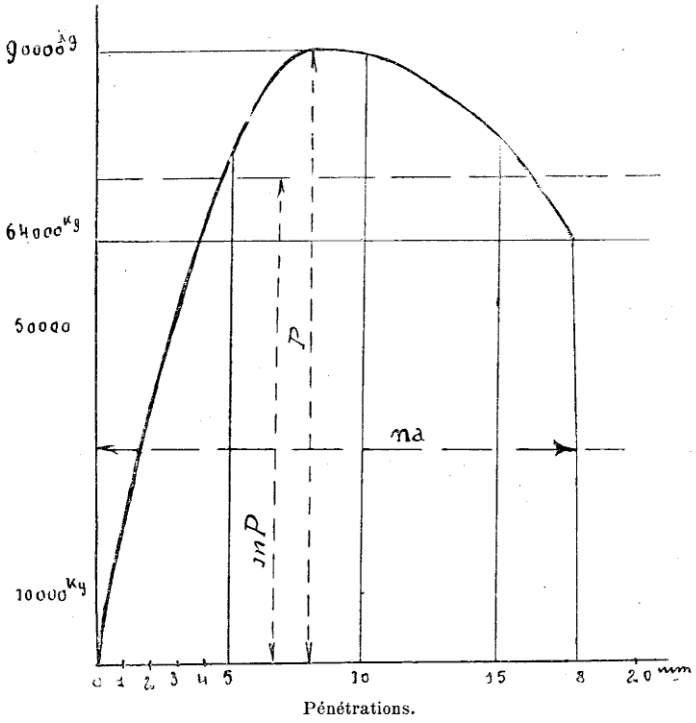


Fig. 150. — Diagramme de cisaillage avec lames parallèles relative à une barre de fer carrée de 60 × 60 mm.

voisines de chaque lame ont été comprimées fortement et réduites en épaisseur. (Dans la pièce considérée, la pression moyenne par millimètre carré a atteint 75 kilogrammes.) A droite de la lame L et à gauche de la lame L′, ces mêmes tranches se sont infléchies et sont en partie tranchées. Ces déformations générales correspondent à une première phase de l'opération. Dans une deuxième phase, va se produire la rupture progressive (on admet un métal assez ductile, tel que du fer misé) des tranches suivant la ligne sinueuse COC′ située de part et d'autre de la droite C C′, ou suivant une ligne qui s'en écarte peu. Les forces PP′ tendent à déchirer la pièce dans chacun des angles CC′, où il existe déjà une solution de continuité due à la coupe des premières fibres par l'outil.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les déchirures commencées se propagent à mesure du rapprochement des lames; les efforts P diminuent rapidement (fig. 150); un vide se produit entre les pièces (fig. 149) dont chaque partie continue à se trouver maintenue, par exemple, pour la partie A, d'une part sur la face CD, et d'autre part sur la face CE', tout en étant encore retenue par les tranches non déchirées. Le glissement relatif s'est accentué; les fibres des tranches non rompues se sont infléchies davantage à leur tour, la distance *d* est augmentée. Finalement, les déchirures

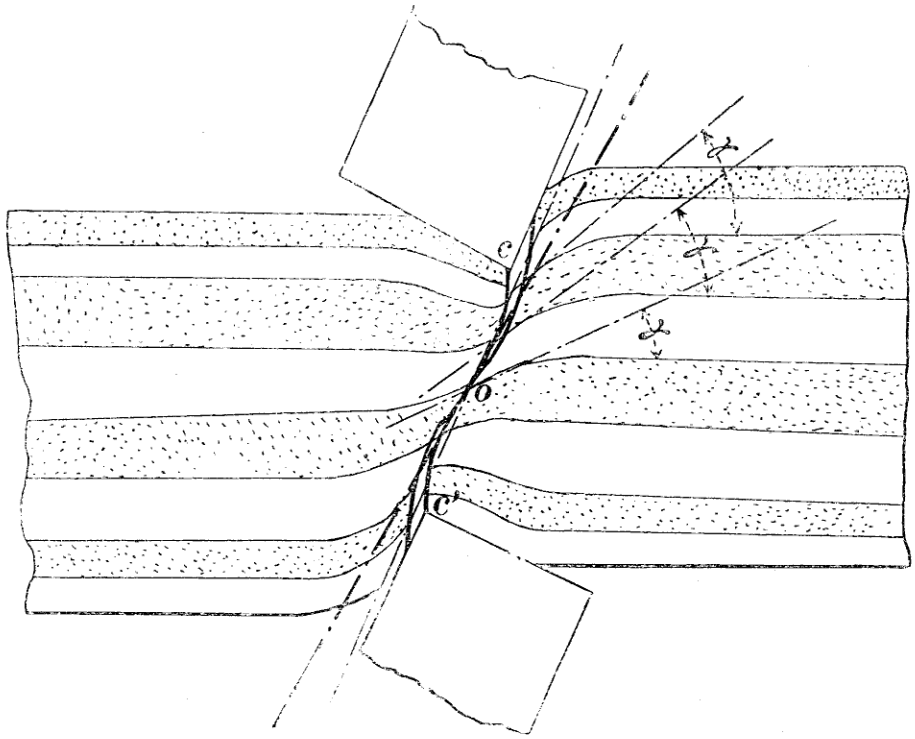


Fig. 151.

se rencontrent (fig. 151), atteignent toute l'épaisseur, donnent lieu, vers leur point de rencontre, à une brisure qui laisse ou non une trace caractéristique (fig. 152-153). Théoriquement, la rencontre doit se faire au point *o;* pratiquement, l'une des déchirures s'accentue plus que l'autre ; un ressaut se produit au voisinage de ce point *o*. Selon la contexture du métal, la tangente d'inflexion à la surface séparative est plus ou moins inclinée par rapport à la droite COC' (fig. 153). De plus, on constate que les tangentes aux diverses fibres, aux points de rupture correspondants, font des angles γ qui croissent quelque peu à partir de la fibre d'axe; sans doute parce que les efforts de flexion et par suite de traction ont plus de prépondérance vers la fin de l'opération qu'au début. Les parties A et B sont donc séparées par coupe des outils; par déchirement, écartement,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

par flexion dus aux efforts P et P′, par glissement dû aux efforts tranchants P. Ces derniers, étant prépondérants, sont ceux qui ont le plus d'action et caractérisent plus particulièrement ce genre de rupture.

Sur les figures 152 à 163, qui se rapportent à des barres de fer, les différentes zones de déformations sont indiquées. Avec du fer provenant de mises soudées, les diverses zones apparaissent nettement par une attaque avec un acide, tandis que le fer fondu et l'acier ne les accusent pas, attendu que le métal est homogène. Les lignes indiquées sont donc fictives, elles ont été tracées sur la surface avant l'opération ou se rapportent à des mises de fer. Avec ce métal, ou avec ceux de ductilité analogue, la zone principale, soit celle de rupture plus ou moins

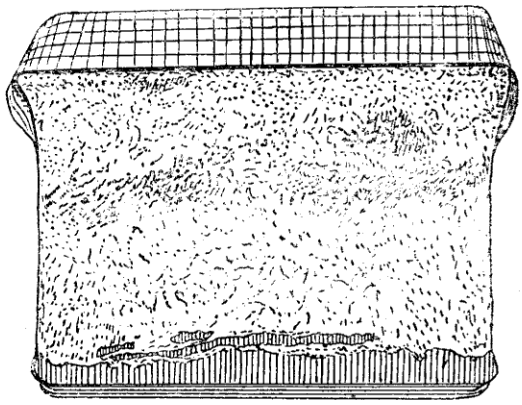


Fig. 152.

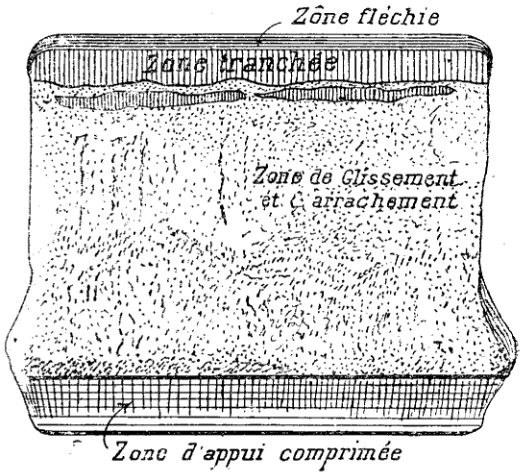


Fig. 153.

brusque par glissement, est toujours nettement caractérisée; elle se distingue par un aspect dénotant des arrachements très courts, sous des angles qui varient quelque peu, ainsi que le montrent les lignes longitudinales extérieures, lesquelles s'infléchissent vers la ligne de rupture.

Quand on cisaille une matière très élastique telle que le caoutchouc, la déformation est très grande avant que l'arrachement se produise. Les figures 164 à 168 montrent les déformations relatives à une bande de 20 millimètres d'épaisseur.

Lorsque les tranchants des lames se trouvaient à 1,5 millimètre de distance l'une de l'autre, la coupe s'étendait seulement sur 5 millimètres de hauteur, d'un seul côté (fig. 167), ce que l'on constatait en retirant la pièce.

Avec une distance entre les lames de 1 millimètre, la coupe s'étendait sur 10 millimètres de profondeur d'un côté et sur 4 millimètres de l'autre côté (fig. 168). Cet exemple accuse donc bien des déchirures assez différentes, et parfois, la déchirure ne se propage que d'un seul côté jusqu'à la séparation

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

complète. Les lignes tracées sur les faces latérales montrent les déviations prononcées qu'elles affectaient.

La pièce étant libre en ses parties A et B, elle se place obliquement à la ver-

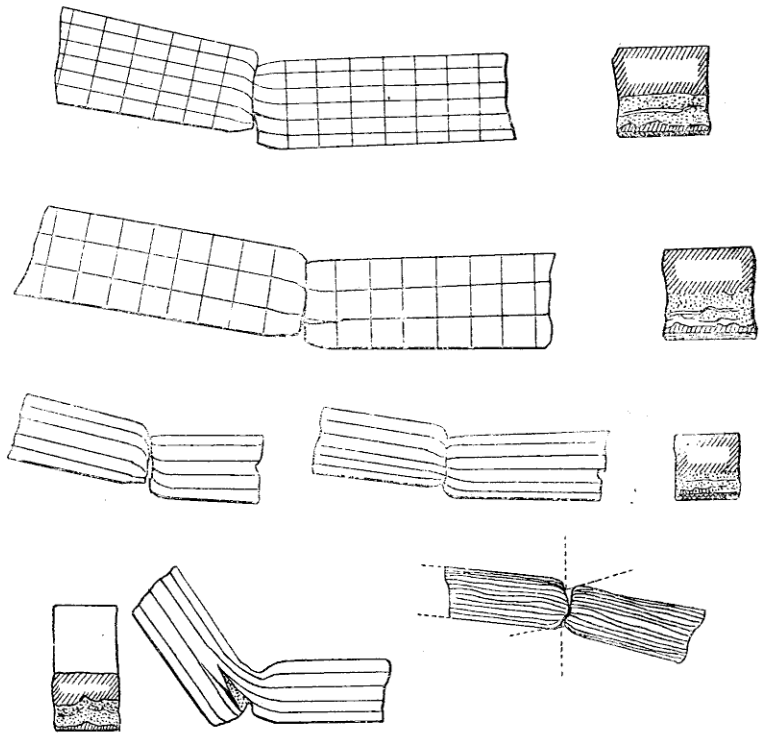


Fig. 154 à 163.

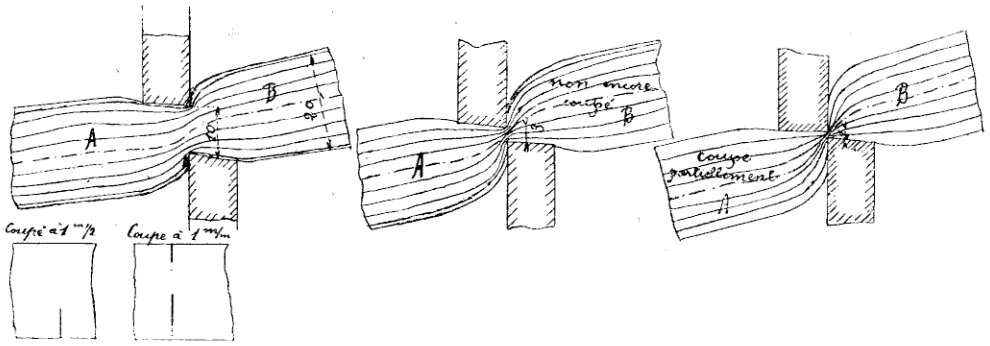


Fig. 164 à 168.

ticale et les lames agissent à la manière de deux tranches dont les bissectrices des angles d'acuité ne sont pas en prolongement.

Cette disposition s'accuse particulièrement quand les lames (fig. 169) n'ont pas un plan de coupe commun, quand elle s'écartent tant soit peu; la pièce est

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

alors très oblique; la rupture, pour du fer rond, est, par exemple, celle indiquée par la figure 169. Il importe donc de maintenir la partie principale de la pièce

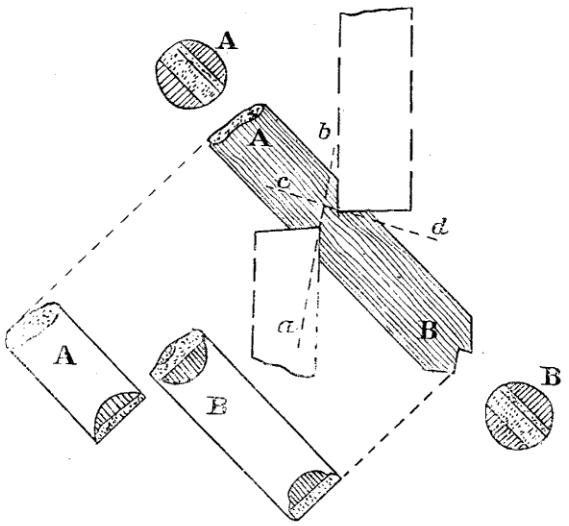


Fig. 169.

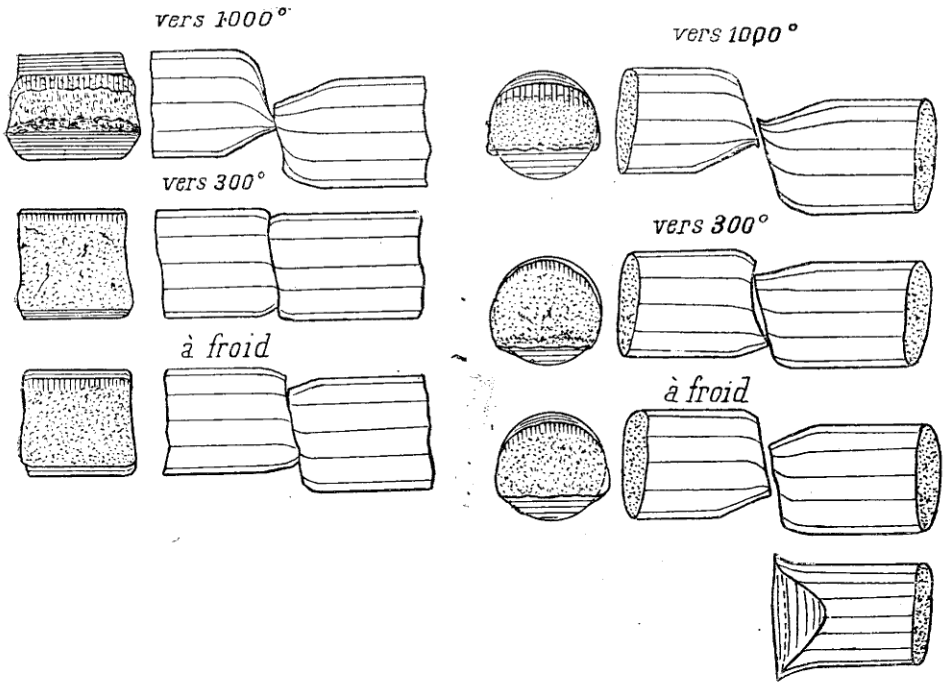


Fig. 170. — Cisaillage de fer à différentes températures.

perpendiculaire au plan de coupe. Si l'on opère avec du fer à chaud ou de l'acier, en produisant une série de coupes successives, on constate des déformations

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

plus ou moins accentuées selon la température (fig. 170 et 170 *bis*). On remarque bien le peu de ductilité du fer vers les températures qui donnent l'aspect bleuâtre ou verdâtre; la rupture se fait alors sous faibles pénétrations avec un bruit caractéristique dénotant la fragilité. Le cisaillage d'un échantillon permet ainsi de se rendre compte de la ductilité d'un métal aux diverses températures. Nous ne préconisons pas ce genre d'essai comme devant supplanter les autres plus précis du contrôle de la ductilité (1); mais, pour le forgeron, la coupe d'une barre à chaud, d'un lingot en billettes, permet par la déformation de la rupture de comparer et de déduire des indications utiles.

Au contraire, un métal très ductile, tel que le plomb, exige des pénétrations

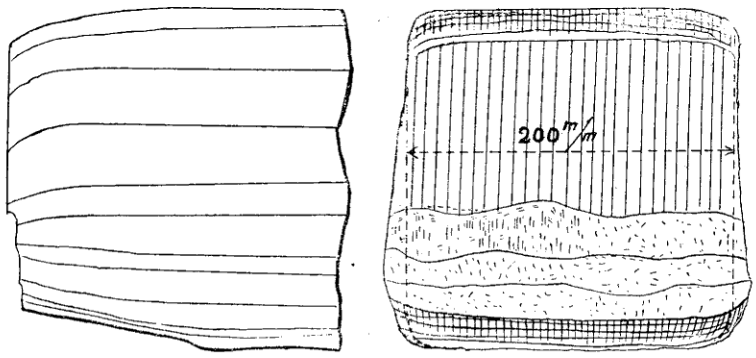


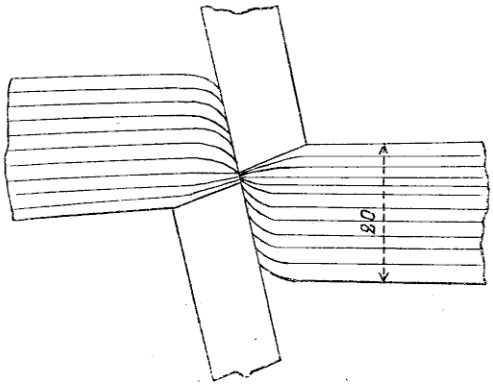
Fig. 170 *bis*. — Coupe d'acier vers 600°.

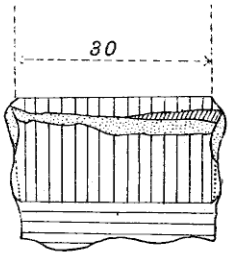
à fond (fig. 171-172-173). De même avec l'acier doux à haute température (fig. 173 *bis*). Dans ces exemples, les angles de glissements γ se rapprochent de 90° et les fibres se rompent presque par traction directe pour peu qu'il y ait du jeu entre les outils. Les lames doivent se croiser pour détacher complètement les parties qui restent adhérentes, tout en glissant l'une contre l'autre sur toute leur épaisseur. Néanmoins, avec le plomb, une zone terne d'arrachement reste apparente lorsque la section n'a pas été en contact pressé déterminant le poli de la surface. Le cuivre, le laiton accusent des coupes (fig. 174-175) analogues à celles du fer ductile. L'acier à outils se brise violemment, les pénétrations des lames sont très faibles (fig. 176-179).

(1) On ne saurait, à notre avis, remplacer avantageusement, par d'autres, les épreuves si simples de pliage et de traction. Cette dernière assure les moindres écarts dans l'estimation des nombres qui peuvent en ressortir, tant au point de vue de la résistance absolue de traction du métal, qu'au point de vue de la ductilité par la mesure de la striction, que trop souvent on néglige, pour apprécier cette propriété essentielle qui est en rapport avec la fragilité. Une épreuve de flexion en combinaison avec une épreuve de cisaillement donnent lieu à des phénomènes plus complexes et présentent beaucoup plus d'aléas de non-concordance dans les rapports de résistance que l'on peut en déduire.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Sans nous attacher davantage à tous les phénomènes auxiliaires qui se passent dans ce genre de cisaillage, et comme l'estimation des forces **P** est,





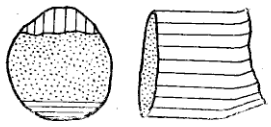


Fig. 174. — Cuivre.

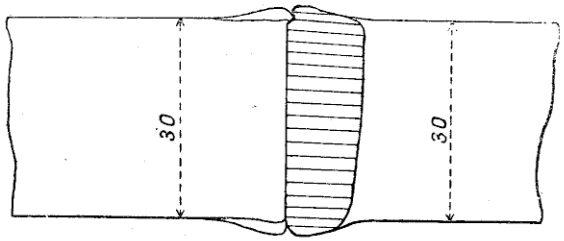


Fig. 171 à 173. — Plomb.

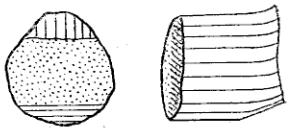


Fig. 175. — Laiton.

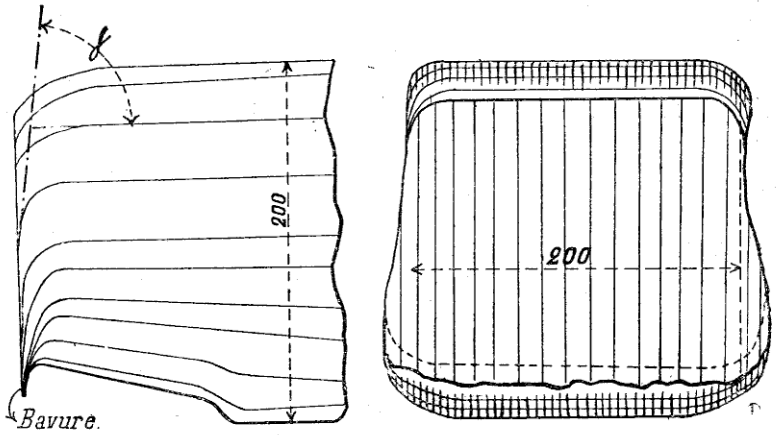
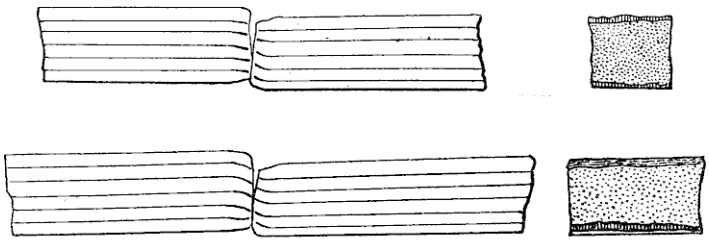


Fig. 173 *bis*. — Coupe d'acier vers 1 000°.

pour ainsi dire, la seule possible dans des essais, ce sont ces forces que nous considérons dans la relation d'équilibre, laquelle comportera simplement la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

résistance principale dite de cisaillage R rapportée à la section courante de la



Fi . 176 à 179. — Acier à outils.

pièce, soit en posant pour une section rectangulaire d'épaisseur a et de largeur b :

$$R = \frac{P}{S} = \frac{P}{a\,b},$$

soit :

$$P = R\,a\,b,$$

relation qui concorde assez bien avec les résultats des essais.

On pourra encore faire ressortir la pression maximum p par millimètre de longueur de lame, soit :

$$p = \frac{P}{b} = \frac{R\,S}{b} = a\,R.$$

Le rapport n, entre la somme des pénétrations et l'épaisseur a, sera aussi considéré, de même que le rapport m de l'effort moyen à l'effort maximum P, de sorte que l'énergie de cisaillage à lames parallèles, serait exprimée par la relation :

$$\tau = m\,P \times n\,a = m\,n\,a\,R\,a\,b = m\,n\,a^2\,b\,R.$$

L'énergie par millimètre carré de section serait :

$$\tau'_1 = \frac{\tau}{a\,b} = m\,n\,a\,R.$$

La pression moyenne p' sur la surface d'appui des lames sera facile à déduire par la connaissance de la largeur d'empreinte c, en posant :

$$p' = \frac{P}{b\,c}.$$

Si l'on fait intervenir la force P'', qui maintient la pièce perpendiculaire au plan de coupe (fig 180), elle a pour effet de réduire fortement ou d'annuler la réaction latérale de la lame L. On est conduit à admettre que la réaction verticale P_1, sur la lame L', est égale à la somme $P + P''$. Et c'est pourquoi, dans ce cas, la lame L' pénètre plus profondément dans la pièce que la lame L. Il est

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rationnel de réduire cette force P'' au minimum en augmentant sa distance au plan de coupe, en maintenant la barre assez loin de ce plan, ce qui d'ailleurs fatigue moins l'ouvrier lorsque la barre est tenue à la main.

Il est également logique de mobiliser la lame L et de fixer la lame L' au bâti afin que l'effort moteur soit celui P. Cependant il faut noter que le moment de l'effort P doit aussi équilibrer le moment de la force P' qui s'exerce au contact de la face verticale de L', ce qui tend à égaliser les forces P et PP_1.

Cisaillage de cornières. — Dans une cornière (fig. 181), l'effort P détermine deux réactions $P' = \frac{P}{2 \cos 45^\circ}$ normales aux ailes de la cornière.

La résistance normale, si chaque aile était libre, serait : $a\ b\ R = P'$. Mais, les

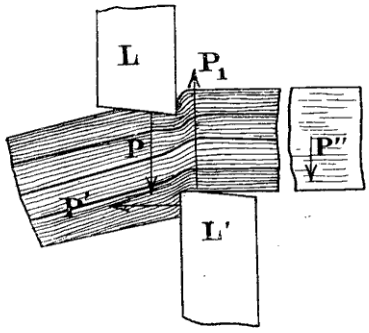


Fig. 180.

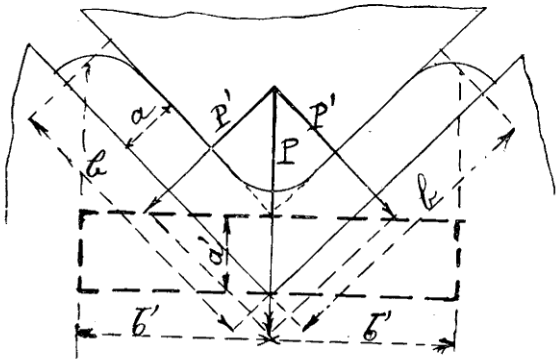


Fig. 181.

deux ailes étant solidaires et la coupe se faisant dans le sens de P plutôt que dans le sens de P', on peut considérer la section projetée d'épaisseur a' et de largeur $2\,b'$ qui est d'ailleurs égale à la section $2\,a\,b$ de la cornière, attendu que l'on a : $a = a' \sin 45^\circ$ et $b = \frac{b'}{\sin 45^\circ}$, soit : $2\,a\,b = 2\,a'\,l'$ et $P = 2\,a'\,b'\,R = 2\,a\,b\,R$.

Comme les valeurs de R et de τ_1 varient avec l'épaisseur des pièces, on peut admettre, ainsi que le montrent les essais, que ces valeurs pour les cornières concordent avec celles pour les barres plates d'épaisseur : $a' = \sqrt{2a^2} = 1{,}414\ a$.

On retrouve, dans la coupe des ailes, des déformations (fig. 182) analogues à celles des barres plates.

Essais de cisaillage à lames parallèles. — La disposition adoptée pour les essais de cisaillage comprenait (fig. 183) deux lames L rechangeables à volonté, montées sur des blocs de fonte B ajustés dans la bride C de la machine à essayer, de manière à les bien guider. L'un des blocs B s'appuyait contre la pièce D mobile exerçant la pression. La pièce P était ou non calée pour s'opposer à une flexion prononcée.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

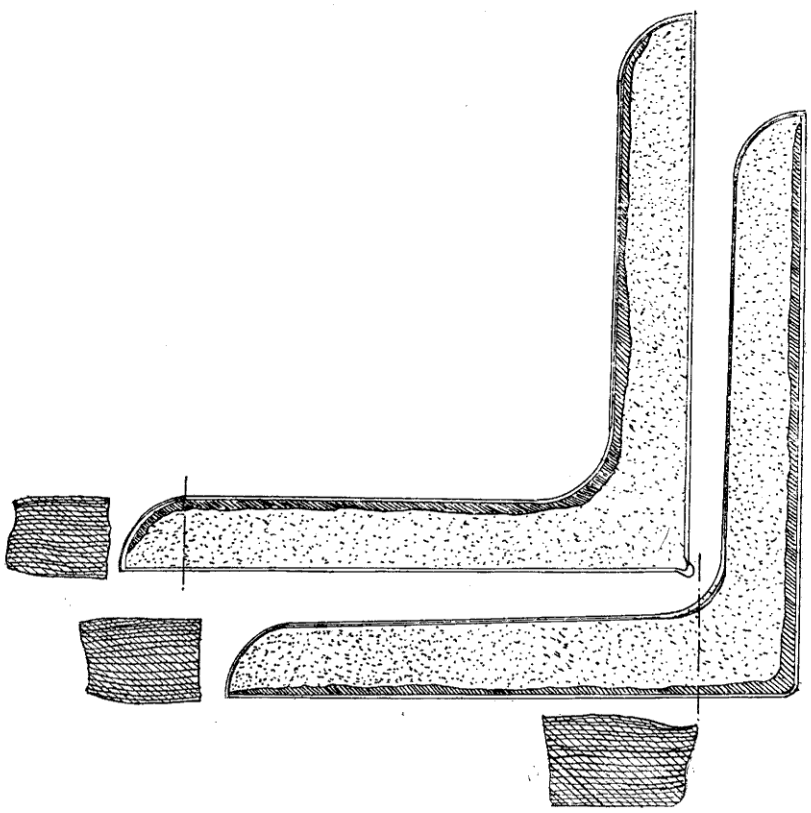


Fig. 182.

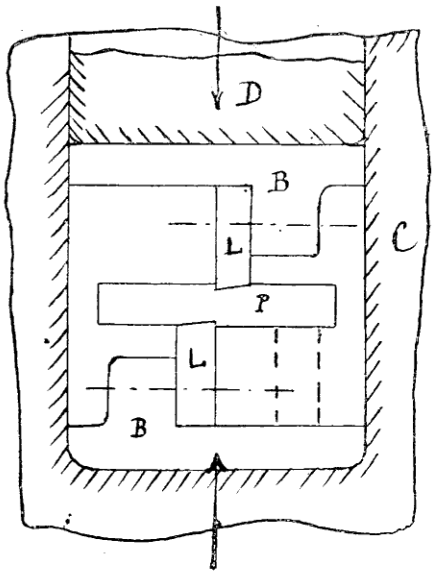


Fig. 183.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les lames avaient un angle d'acuité $\theta = 85°$.

Éprouvettes de fer d'épaisseur variable. — Les éprouvettes de fer ont été débitées dans une même barre de fer laminée de 60 millimètres de largeur; les épaisseurs ont été de : 4, 10, 15, 20 millimètres.

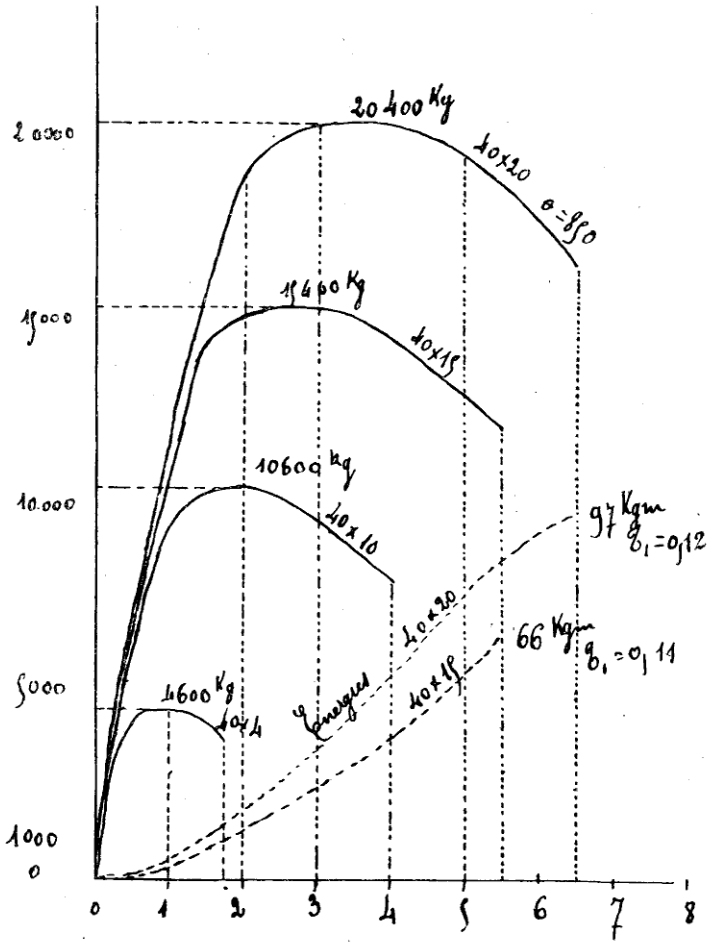


Fig. 184. — Cisaillage de fer avec lames parallèles : $\theta = 85$. Efforts pour sections de 40 millimètres de largeur et d'épaisseur variable.

Nous avons obtenu les courbes A (fig. 184) pour les variations des efforts à mesure de la pénétration.

L'éprouvette de 20 millimètres d'épaisseur s'est rompue avec une pénétration totale des deux lames égale à $6^{mm},5$, soit un rapport : $n = \frac{6,5}{20} = 0,32$.

Pour l'éprouvette de 4 millimètres d'épaisseur, la pénétration de rupture était de 1,8, soit : $n = \frac{1,8}{4} = 0,45$.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On constate que les pénétrations qui déterminent la rupture sont assez faibles.

En considérant d'autres coupes de fer analogue, on peut admettre que le rapport n varie entre 0,25 pour les très fortes épaisseurs (80 millimètres) et 0,45 pour les très petites; avec du fer très ductile, la valeur de n atteint 0,50 et plus, selon l'épaisseur. Ce coefficient est donc des plus variables; son influence sur l'énergie de cisaillage étant prépondérante, il importe de l'estimer au plus près dans chaque cas particulier.

L'effort maximum P correspond au commencement de la déchirure; celle-ci

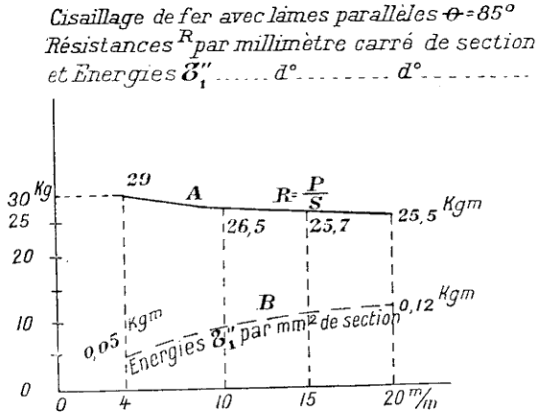


Fig. 185.

s'accentue, puis la séparation se fait à un moment donné, brusquement sous un effort moindre.

Les coefficients de résistance $R = \frac{P}{S}$ varient quelque peu avec l'épaisseur.

Épaisseurs :

	20	15	10	4 mm.
R =	25,5	25,7	26,5	29 kg.

La courbe A (fig. 185) représente la variation de R dont la valeur s'élève avec les faibles épaisseurs.

Le coefficient de résistance à la traction de ce fer, avec une section de 25×10 a été de $R_1 = 39^{kg},4$, l'allongement sur 200 millimètres s'est élevé à 9,5 p. 100 avec striction peu prononcée faisant ressortir la résistance sous l'effort de rupture à $R_2 = 46,3$.

Les rapports des coefficients de cisaillement et de traction pour l'épaisseur 10 millimètres seraient donc :

$$\frac{R}{R_1} = \frac{26,5}{39,4} = 0,64 \qquad \text{et} \qquad \frac{R}{R_2} = \frac{26,5}{46,3} = 0,57.$$

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Deux éprouvettes, l'une prise à la barre et l'autre recuite, ont donné les mêmes résultats à quelques dixièmes de kilogramme près.

Pour cette variété de fer, l'énergie de coupe relative à la section $40 \times 20 = 600$ millimètres carrés, s'est élevée à 97 kilogrammètres, de sorte que l'effort moyen

$$m\,\mathrm{P} = \frac{\tau}{n\,a} = \frac{97}{0{,}32 \times 0{,}020} = 15\,150 \text{ kg.}$$

et le rapport

$$m = \frac{15\,150}{\mathrm{P}} = \frac{15\,150}{20\,400} = 0{,}74.$$

L'énergie par millimètre carré de section ressort à $\tau''_1 = \frac{97}{40 \times 20} = 0^{\text{kgm}},12$ avec l'épaisseur 15 millimètres, l'énergie $\tau = 66$ kilogrammètres.
le rapport

$$m = \frac{\tau_1}{\mathrm{P}\,n\,a} = \frac{66}{15\,400 \times 0{,}366 \times 0{,}015} = 0{,}779,$$

l'énergie

$$\tau''_1 = \frac{66}{40 \times 15} = 0^{\text{kgm}},11.$$

Les épaisseurs 10 et 4 millimètres donnent respectivement $0^{\text{kgm}},095$ et $0^{\text{kgm}},05$ pour l'énergie par millimètre carré.

Les variations de τ'' sont indiquées sur la figure 185, courbe B. On pourrait en déduire $\tau''_1 = 0{,}0035a + 0{,}05$.

La valeur de τ''_1 augmente donc sensiblement avec l'épaisseur tandis que le coefficient m augmente quand l'épaisseur diminue. Comme, d'autre part, la structure du fer présente de nombreuses catégories, il n'est guère possible d'établir une moyenne générale de la valeur de τ''_1 qui s'éloignerait peu de la réalité.

Les pressions moyennes par millimètre carré de surface d'appui des lames ont varié de 70 à 80 kilogrammes, vers l'arête tranchante, ces pressions peuvent au moins être doublées.

En outre, d'autres essais nous ont montré que le coefficient R peut varier de 20 à 34 kilogrammes selon la catégorie de fer, l'épaisseur de la pièce et l'état d'émoussement des arêtes tranchantes.

La vitesse a aussi pour effet d'augmenter la valeur de ce coefficient.

A titre d'exemple, soit à cisailler une barre de fer à froid de $60 \times 60 = 3600$ millimètres carrés de section.

L'effort maximum pourrait atteindre, en tablant sur une valeur de $\mathrm{R} = 25$ kilogrammes pour du bon fer en forte épaisseur :

$$\mathrm{P} = 3\,600 \times 25 = 90\,000 \text{ kg.}$$

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'énergie de cisaillage τ serait, en prenant :

$$\tau''_1 = 0{,}0035\ \alpha + 0{,}05 = 0{,}0035 \times 60 + 0{,}05 = 0{,}26,$$
$$\tau = 0{,}26 \times 3\,600 = 936 \text{ kgm.}$$

Une cisailleuse travaille d'une façon intermittente; elle est munie d'un volant qui emmagasine l'énergie suffisante pour couper la pièce présentée. Si la cisailleuse marche à raison de 10 courses doubles par minute, le travail de coupe rapporté à la seconde, serait :

$$\frac{936 \times 10}{60} = 156 \text{ kgm.}$$

Le rendement étant supposé de 0,50, la puissance développée serait de :

$$\frac{156}{0{,}50} = 312 \text{ kgm.}$$

soit environ 3 poncelets.

L'effort tangentiel moyen à la poulie de 0^m,800 de diamètre que peut comporter une telle cisailleuse chaussée par une courroie animée d'une vitesse de 6^m,50, serait :

$$\frac{312}{6{,}50} = 48 \text{ kg.,}$$

valeur qui ne nécessiterait qu'une assez faible largeur de courroie, mais que l'on augmente pour parer aux coups de force vive qui se développent au moment du travail des lames.

A l'usine de Fives-Lille, la cisailleuse des forges, modèle Fairbairn, présente les éléments qui suivent :

Plus forte barre de fer de section carrée à couper à froid.	100 × 100 millim.
— — rond : diamètre =.	120
Diamètre de la poulie de commande.	0,900
Nombre de tours par minute.	340
Vitesse circonférentielle	16^m,00
Section de la courroie.	200 × 10
Commande par deux couples de roues d'engrenages.	
Poids du volant de 2,00 de diamètre.	1 600 kg.
Vitesse circonférentielle au volant.	35 mètres.
Course de la lame mobile.	144 millim.
Nombre de courses par minute.	15
A vide, l'effort tangentiel moyen au volant =.	21 kg.
Puissance à vide à la vitesse de $35^m = 35 \times 25$ =.	875 kgm.
Coupe d'une barre de fer carrée de 100 × 100.	
Effort sur les lames pour R = 25 kg. P = 100 × 100 × 25 =.	250 000 kg.
Énergie de coupe par millimètre carré : $\tau_1 = 0{,}0035\ a + 0{,}05$ =. . . .	0,4 kgm.
Énergie totale de coupe : $\tau = 100 \times 100 \times 0{,}4$ =.	4 000 kgm.

Cette coupe se faisant à peu près en une demi-seconde, la puissance développée sur la cisaille au moment de la coupe serait de 8 000 kgm.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le volant doit emmagasiner la presque-totalité de l'énergie de coupe 4 000 kgm., avant l'opération.

On voit que ce volant possède une vitesse (35 mètres) bien élevée, et supporte des efforts considérables quand on cisaille les épaisseurs maxima. Il en est de même des engrenages dont les dents se sont brisées ; aussi, par prudence, on ne dépasse pas des coupes supérieures à 70 millimètres d'épaisseur.

Pour emmagasiner 4 000 kilogrammètres en trois secondes environ, la courroie doit développer un effort moyen de $\frac{4\,000}{16 \times 3} = 83$ kg.

Le rendement étant estimé à 0,50, cet effort s'élèverait à $\frac{3}{0{,}50} = 166$ kg.

à ajouter l'effort moyen à vide à la courroie, soit $\frac{21 \times 2}{0{,}90} = 46$.

Effort total ; 212 kg.

Puissance moyenne développée à la courroie $= 212 \times 16^{m} = 3\,392$ kgm., soit 34 poncelets.

Les coupes étant le plus souvent de moindre épaisseur, cette puissance se réduit de beaucoup.

Considérons un lingot d'acier très doux de $200 \times 200 = 40\,000$ millimètres carrés de section, tranché à chaud au rouge cerise.

La résistance R peut être estimée à 10 kilogrammes. L'effort maximum serait :

$$P = 40\,000 \times 10 = 400\,000 \text{ kg.}$$

A cause de la grande ductilité, prenons $m = 0{,}6$ et $n = 0{,}5$. L'énergie de tranchage :

$$\tau = m\,n\,a^2\,b\,R = 0{,}6 \times 0{,}5 \times 40\,000 \times 200 \times 10 = 24\,000\,000 \text{ kgmm} = 24\,000 \text{ kgm.}$$

Soit, par millimètre carré de section, $\tau''_1 = \frac{24\,000}{40\,000} = 0{,}6$ kgm.

Si la vitesse de coupe est de 40 millimètres par seconde, la durée de la coupe serait :

$$\frac{m\,a}{40} = \frac{0{,}6 \times 200}{40} = 3''.$$

La puissance développée ressortirait à :

$$\frac{24\,000}{3} = 8\,000 \text{ kgm.}$$

soit 80 poncelets.

Les cisailleuses coupant de telles pièces comportent un mécanisme hydraulique dont le rendement est d'environ 0,50, de sorte que la puissance de coupe serait d'environ 16 000 kgm.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Il y a avantage à opérer à température plus élevée lorsqu'il s'agit de gros lingots, soit vers 1 000° ; dans ce cas, la résistance de cisaillement peut s'abaisser entre 4 et 5 kilogrammes par millimètre carré.

Par exemple, soit un lingot de $320 \times 320 = 102\,400$ millimètres carrés de section.

L'effort maximum s'élèverait à :

$$102\,400 \times 5 = 512\,000 \text{ kg.}$$

La valeur de m peut encore être prise égale à 0,6, tandis que celle de n doit être portée à 0,70, en supposant une très grande ductilité.

L'énergie de cisaillage serait :

$$\tau = m\ n\ a^2\ b\ \mathrm{R} = 0{,}6 \times 0{,}7 \times 102\,400 \times 0{,}320 \times 5 = 68\,812 \text{ kgm.}$$

soit :

$$\tau''_1 = \frac{68\,812}{102\,400} = 0^{\text{kgm}},67.$$

Avec une vitesse de coupe de 91 millimètres par seconde, la durée de la coupe serait :

$$\frac{m\ a}{91} = \frac{0{,}60 \times 320}{91} = 2''.$$

La puissance développée pour le cisaillage s'élèverait à :

$$\frac{68\,812}{2} = 34\,406 \text{ kgm.}$$

soit 344 poncelets.

Avec un rendement général de 0,50, l'énergie totale dépensée pendant la coupe serait de 688 poncelets.

Dans une cisailleuse tranchant de tels lingots, MM. Delattre et C^ie^, de Ferrière-la-Grande, ont adopté un piston de presse de 0,400 de diamètre, soit une surface de 1 256 centimètres carrés.

La pression par centimètre carré serait donc voisine de :

$$\frac{512\,000}{1\,256} = 410 \text{ kg.}$$

Dans une telle cisailleuse du modèle Breuer et Schumacher, le nombre de coups par minute est variable à volonté jusqu'à un certain point.

MM. Delattre admettent que l'on peut donner 15 coups par minute, ce qui ne s'éloigne guère de l'hypothèse admise ci-dessus pour la vitesse de coupe.

Ces divers exemples montrent comment il est possible d'appliquer les relations de résistance et d'énergie aux cas multiples de la pratique.

Essais de cornières de fer. — Les lames pour les cornières ne s'ajustant pas toujours exactement entre les ailes, les efforts ne se répartissent pas aussi uni-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

formément qu'avec les barres plates; l'une des ailes cède parfois avant l'autre; néanmoins, la rupture totale est le plus souvent brusque. Les sections de séparation sont analogues à celles figure 185 *bis*.

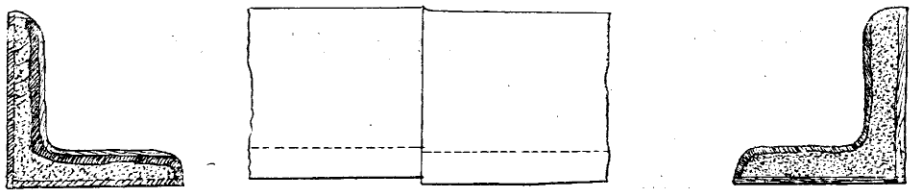


Fig. 185 *bis*.

Nous n'avons opéré que sur quelques échantillons de cornières en fer ordinaire prises à la barre.

Les diagrammes obtenus sont indiqués figure 186.

Le coefficient de résistance $R = \frac{P}{S}$ a varié comme suit :

Dimensions.	$\frac{20 \times 20}{3}$	$\frac{25 \times 25}{5}$	$\frac{50 \times 50}{7}$	$\frac{60 \times 60}{8}$	$\frac{80 \times 80}{10}$
Sections	111^{mm2}	225	665	896	1 500
Effort P	3 800	6 200	16 600	23 300	36 400
Coefficient R. . . .	34,2	27,5	24,9	26	24^{kg},2

Pendant la coupe, l'éprouvette était maintenue dans une position perpendiculaire au plan de coupe.

La valeur de R la plus élevée correspond à la cornière $\frac{20 \times 20}{3}$ dont le métal était peu ductile; de plus, en mince épaisseur, le coefficient R est toujours plus élevé qu'avec de plus fortes épaisseurs.

Les ruptures donnaient lieu à la projection des parties, parfois avec violence.

Nous n'avons pas jugé utile de rechercher les coefficients de résistance de traction pour les comparer avec ceux de cisaillage. Les rapports ne doivent pas s'écarter de ceux déjà signalés.

Cisaillage d'acier à outils. — En opérant à froid sur des pièces d'acier à outils de section 11 × 11 et 20 × 15, nous avons obtenu les courbes des efforts P (fig. 187). Les ruptures très brusques accusent un coefficient n compris entre 0,2 et 0,25. L'éprouvette de 20 × 15 a donné une résistance R = 42 kilogrammes. La résistance de traction R_1, rapportée à la section primitive, s'est élevée, pour cet acier, avec une éprouvette de 10 millimètres de diamètre, à 92 kilogrammes

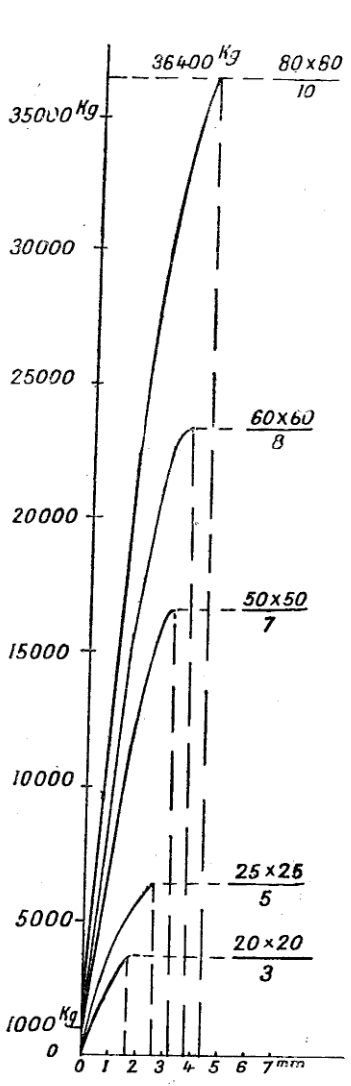
Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

par millimètre carré; l'allongement pour cent sur 100 millimètres était de 9,2 p. 100.

Le rapport

$$\frac{R}{R_1} = \frac{42}{92} = 0{,}45.$$

L'énergie de cisaillage $\tau''_1 = 0{,}75$ kgm. par millimètre carré.



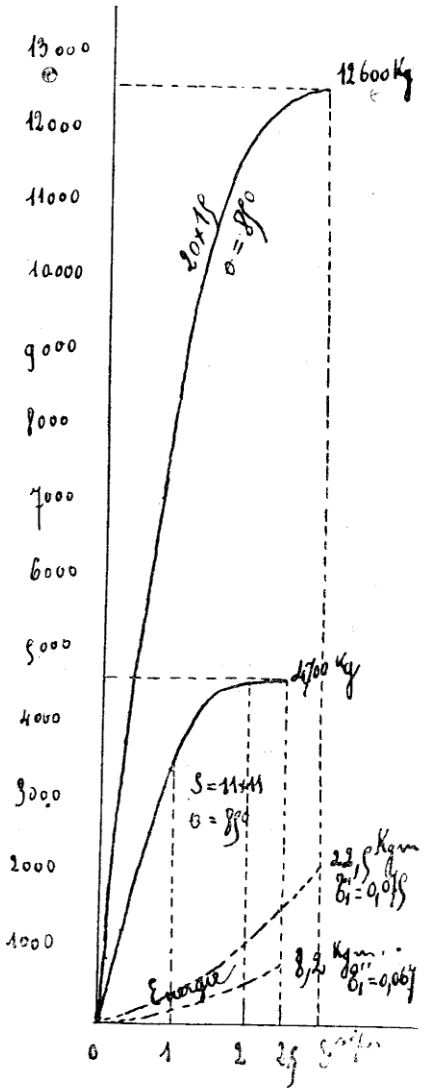


Fig. 186. — Cisaillage de cornières en fer.
Fig. 187. — Cisaillage d'acier fondu à outils avec lames parallèles $\theta = 85$.

L'éprouvette de 11 × 11 a nécessité un effort de 4 700 kilogrammes pour sa rupture par cisaillage, soit une résistance de $R = 38{,}8$ kg.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cet acier a donné, comme résistance de traction $R_1 = 85{,}8$ kilogrammes, avec un allongement de $A = 9{,}6$ p. 100 ; striction très faible ;
soit un rapport :

$$\frac{R}{R_1} = \frac{38{,}8}{85{,}8} = 0{,}45.$$

Les essais de cisaillage avec des éprouvettes d'acier dur nécessitent l'attache des parties qui se séparent, sinon elles sont projetées avec force. Les lames se

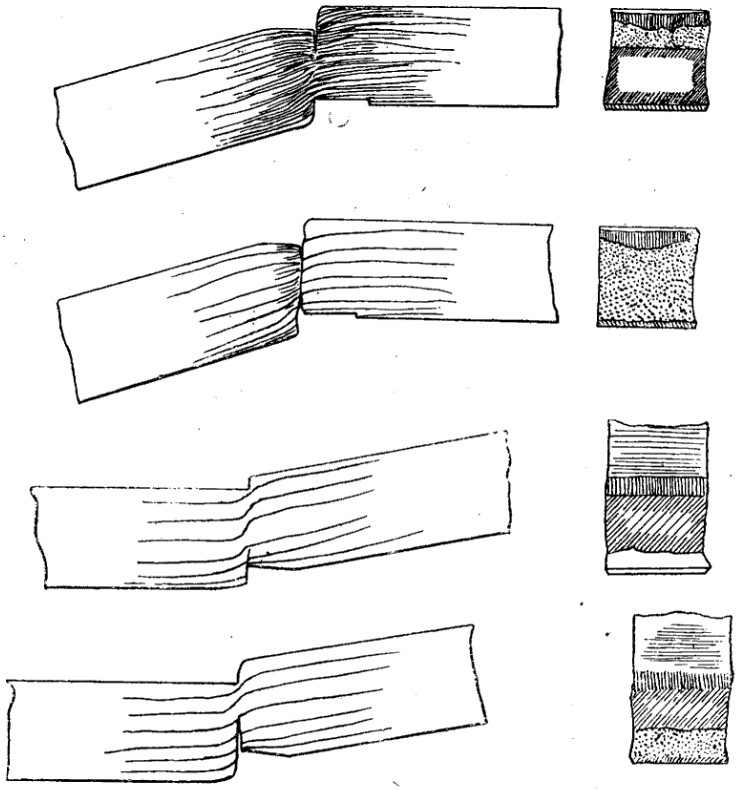


Fig. 188 à 195. — Cuivre.

détériorent, ce qui oblige à restreindre les essais pour ne pas constater de discordances entre les résultats.

Les aciers ordinaires constituent toute une gamme de variétés comprises entre le fer et l'acier à outils ; ils ont donc des valeurs de R et de τ''_1 intermédiaires entre celles que nous avons trouvées pour le fer et l'acier considérés.

Ces valeurs de R et de τ''_1 seraient comprises respectivement entre 30 à 45 kilogrammes et 0,10 à 0,07 kgm.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On constate que l'acier à outils exige moins d'énergie de cisaillage qu'un fer quelque peu ductile.

Ce fait doit être retenu lorsqu'on considérera la coupe des aciers secs sous forme de copeaux. Il concorde aussi avec les résistances vives dues aux chocs,

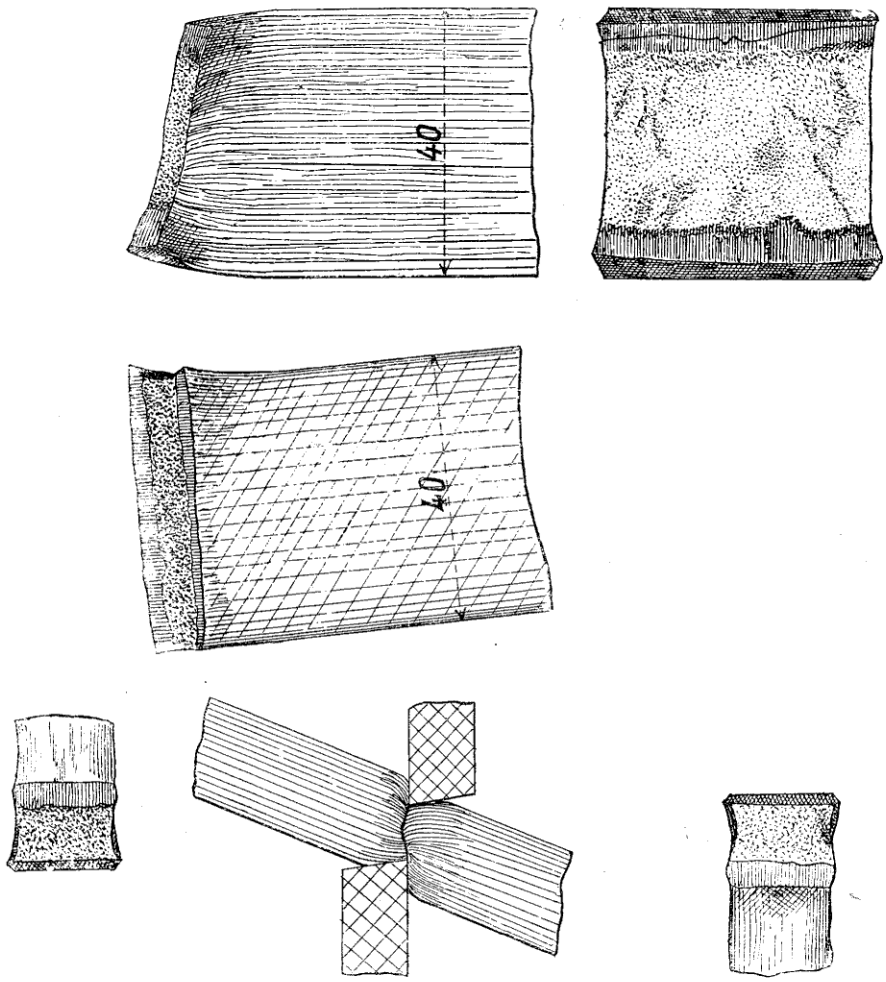


Fig. 196 à 201. — Cisaillage de cuivre avec lames parallèles. Cassures.

qui montrent que des aciers peu ductiles, dits fragiles, se brisent, tandis que de bons fers ductiles résistent mieux.

Les rapports des résistances $\frac{R}{R_1}$ varieraient de 0,70 pour les échantillons de grande ductilité, à 0,45 pour ceux de faible ductilité; tandis que le rapport $\frac{R}{R_2}$ peut varier de 0,3 pour les fers et les aciers les plus ductiles à 0,45 pour les aciers

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

peu ductiles. Les différences sont donc très grandes entre les résistances, tandis qu'elles le sont moins entre les énergies rapportées au millimètre carré de section cisaillée.

Cisaillage de cuivre avec lames parallèles. — Nous avons adopté des éprou-

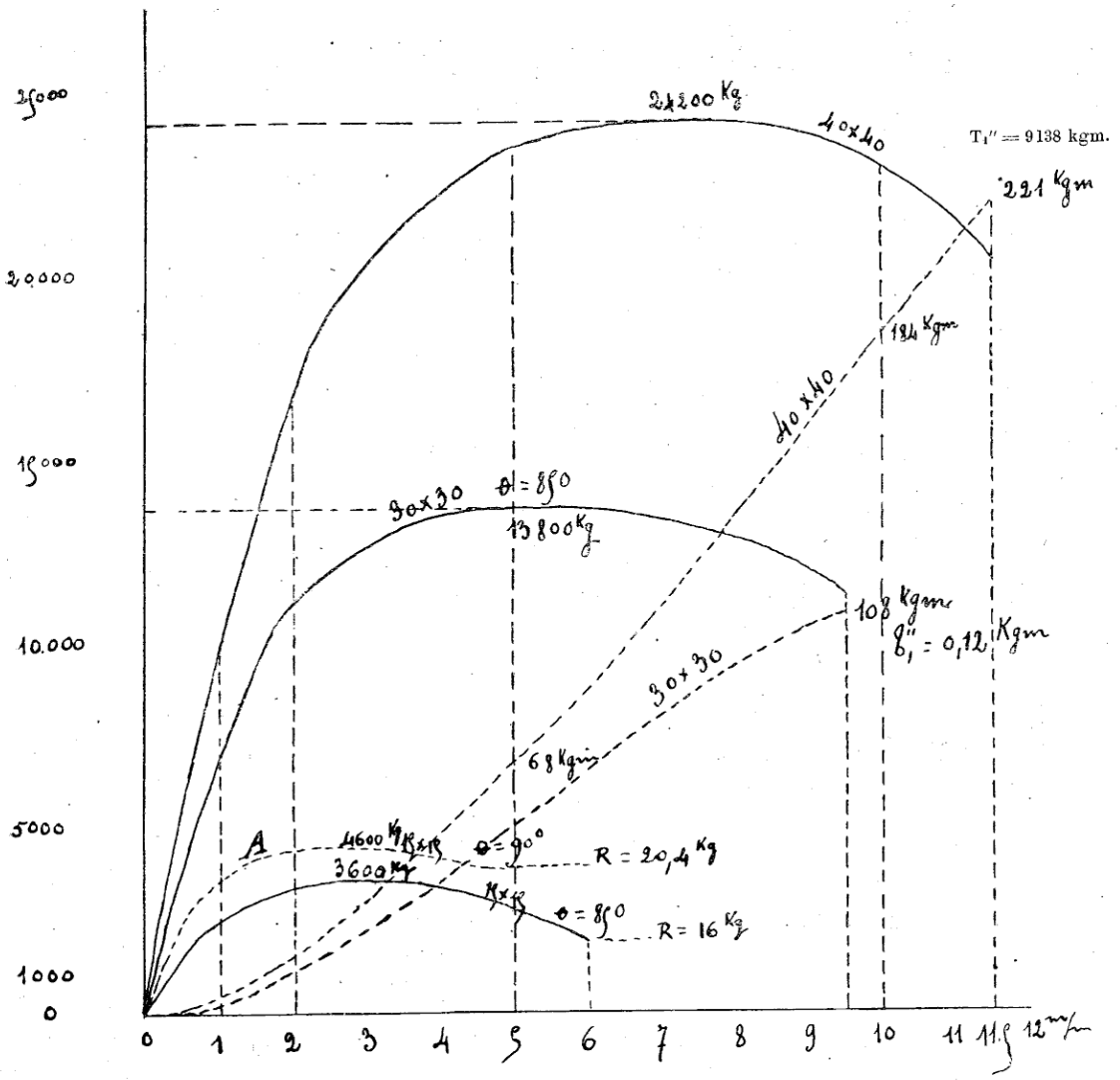


Fig. 202. — Cisaillage de cuivre en barre étirée avec lames parallèles, θ = 850. Efforts relatifs à diverses sections carrées.

vettes à section carrée dont les côtés ont été de 40, 30, 15 millimètres (fig. 188 à 201).

La figure 202 indique les courbes des efforts dont l'allure est assez arrondie vers les valeurs maxima.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le coefficient n varie de 0,3 à 0,5. La rupture brusque ou séparation finale ne se produit qu'après un glissement prononcé des parties, ainsi que le montrent les figures 188 à 195 à différentes périodes de l'opération.

L'éprouvette de 40 millimètres de côté a donné la cassure (fig. 196 à 198) avec zones particulières bien nettes.

Les résistances $R = \frac{P}{S}$ ont varié de $15^{kg},1$ pour l'éprouvette de 40×40 à 16 kilogrammes pour celle de 15×15 (fig. 203).

Une éprouvette de traction débitée dans la barre commune au diamètre de

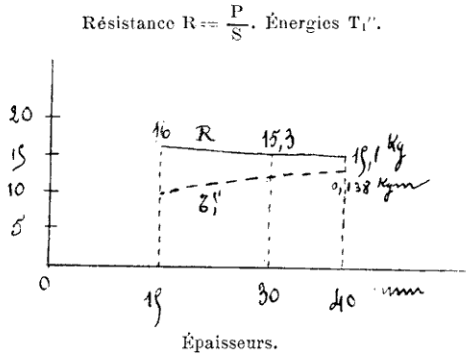


Fig. 203. — Cisaillage de cuivre en barre étirée avec lames parallèles, $\theta = 85°$,

11 millimètres a accusé une résistance $R_1 = 26^{kg},3$ et un allongement, sur 100 millimètres, de 30 p. 100, un diamètre à la striction de 8,5, une résistance à la section de rupture $R_2 = 40^{kg},5$; ce qui donne les rapports :

$$\frac{R}{R_1} = \frac{16}{26,3} = 0,61; \qquad \frac{R}{R_2} = \frac{16}{40,5} = 0,4.$$

Une éprouvette de 15×15, cisaillée avec des lames dont le θ était égal à 90°, a donné la courbe A en pointillé (fig. 202); la valeur de R s'est élevée à $20^{kg},4$. D'autres coupes, avec $\theta = 85°$ mais les arêtes des lames étant un peu émoussées, ont accusé des valeurs de R égales à 18 et 19 kilogrammes. Les énergies τ''_1, ont été de $0^{kgm},138$ pour la barre de 40 millimètres, et de $0^{kgm},12$ pour celle de 30×30. Elles diffèrent peu de celles afférentes au fer, tandis que les résistances R ont des écarts plus élevés. Cela tient à la ductilité plus grande du cuivre par rapport à celle du fer considéré ci-avant.

Cisaillage avec lames obliques. — Le cisaillage progressif par lames obliques (fig. 204 à 207) s'applique aux petites épaisseurs relatives et aux grandes largeurs ou longueurs, telles que celles des tôles, des larges plats.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La coupe se fait peu à peu, à chaque coup de cisaille et à mesure de la présentation de la pièce.

L'angle d'acuité des lames varie de 50 à 90°, selon la dureté du métal; l'inclinaison des tranchants est comprise entre 5 et 15°. La pratique adopte un angle de 6 à 10° afin qu'on ne soit pas obligé de donner une trop grande course

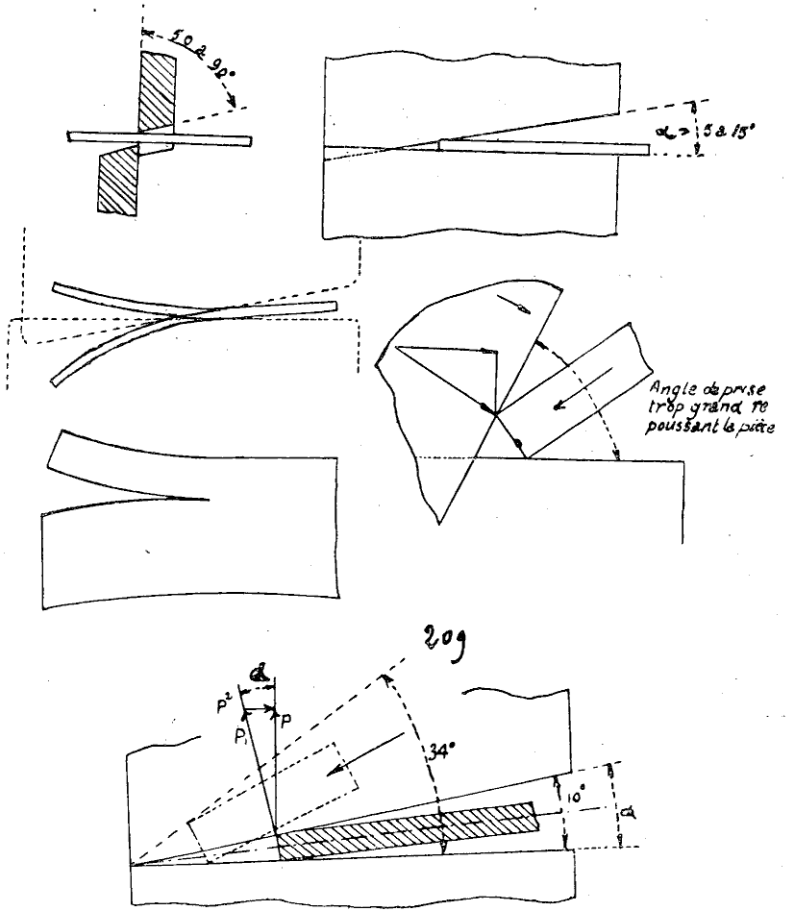


Fig. 204 à 209.

à la lame mobile, et pour éviter une flexion et un arrachement trop prononcés des parties qui se séparent comme en figure 206-207.

En outre, avec un angle trop grand (fig. 208), la pièce serait repoussée.

L'angle de prise de deux lames obliques se détermine facilement, avec une cisailleuse ordinaire à leviers articulés, en présentant aux tranchants des éprouvettes cylindriques (fig. 210).

Pour le fer, la valeur de l'angle pour laquelle la pièce recule est de 30 à 34°, selon l'état des tranchants. Cet angle varie peu pour les divers métaux.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'action des lames obliques est plus complexe que celle des lames parallèles. Les figures 211 à 212 *ter* indiquent les phases du début de l'opération, qui

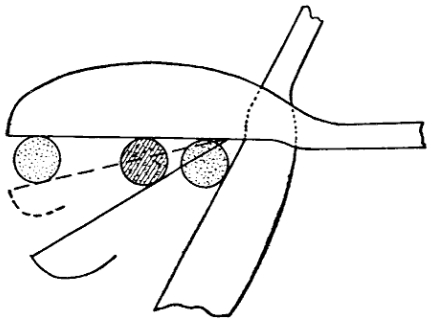


Fig. 210.

comprend : une pénétration des outils dans le métal, une coupe partielle, un glissement dans le plan de coupe en même temps qu'une flexion, deux déchire-

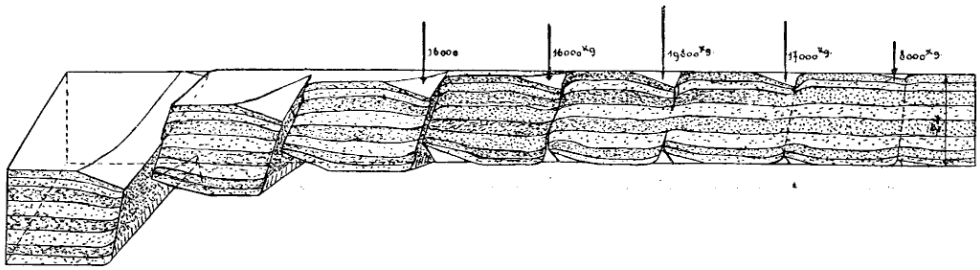


Fig. 211. — Oscillage progressif d'une bande de fer misé avec lames obliques, $\alpha = 90°$.

ments opposés dans le plan de coupe, avec écartement latéral qui favorise la séparation. Celle-ci se fait peu à peu, d'une façon pour ainsi dire continue,

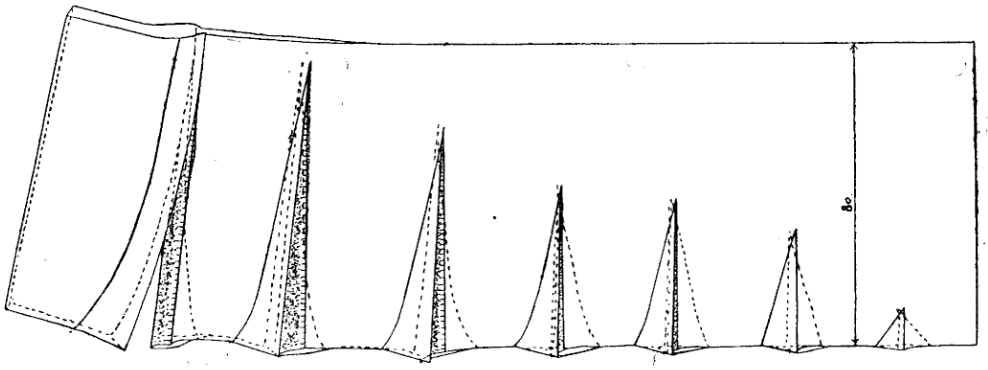


Fig. 211 *bis*.

dans les limites des longueurs découpées et sous un effort qui reste sensiblement constant, mais quelque peu inférieur à l'effort maximum qui se produit au début de l'arrachement, ainsi que le montre le diagramme fig. 213.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pour déterminer les éléments de résistance et d'énergie du cisaillage progressif, considérons une pièce à section rectangulaire d'épaisseur a, dont le plan moyen contient la bissectrice de l'angle α des deux lames L et L′ (fig. 214).

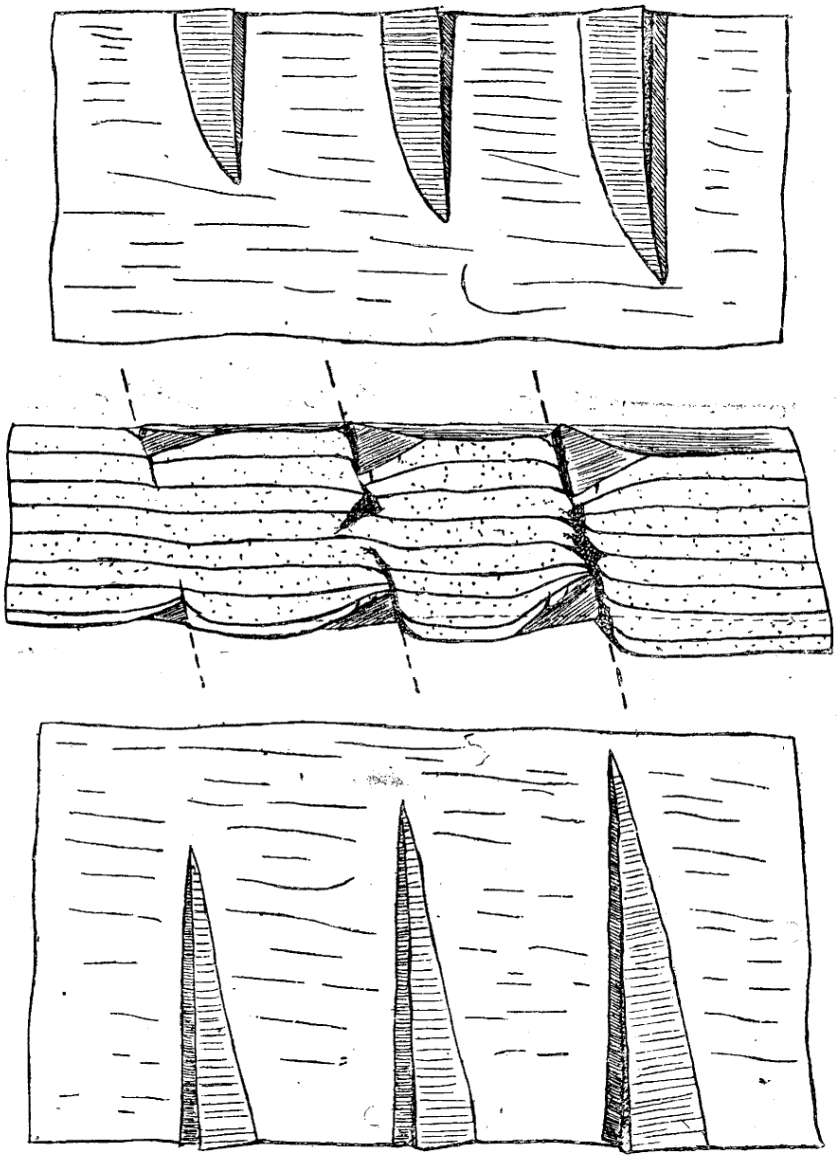


Fig. 212. — Cisaillage progressif d'acier extra-doux, avec lames obliques, $\alpha = 10°$.

Les lames, ayant pénétré de la quantité précisément égale à celle qui produit le commencement de la rupture, sont en contact latéral suivant les triangles tels que ABC. Les efforts par millimètre de longueur de tranchant ont pour valeurs

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

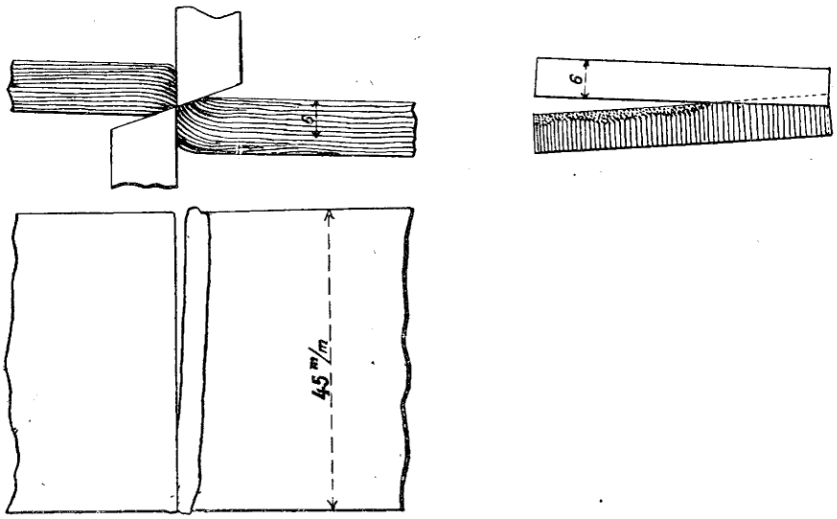


Fig. 212 *bis*.

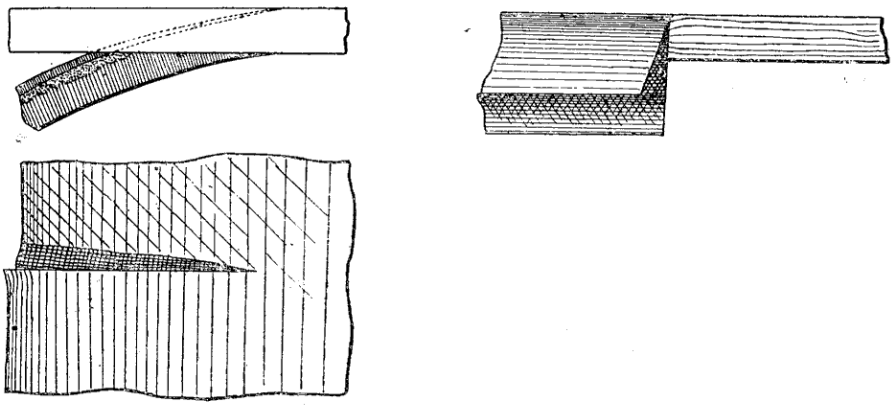


Fig. 212 *ter*. — Cisaillage de plomb avec des lames obliques, $\alpha = 15°$; épaisseur, 7 millimètres ; $\theta = 80°$.

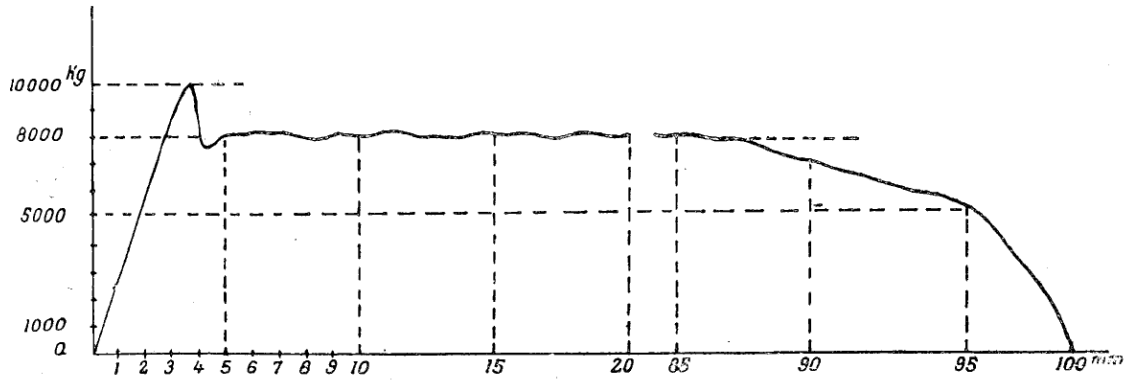


Fig. 213. — Diagramme de cisaillage d'une bande de fer de 15 millimètres d'épaisseur avec des lames obliques, $\alpha = 10°$, $\theta = 80°$.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

proportionnelles approximatives les longueurs limitées par la courbe BF. Ces efforts pourraient être déduits des essais faits avec des lames parallèles. On pourrait admettre qu'ils sont proportionnels aux pénétrations en chaque point considéré de la lame, soit aux ordonnées du triangle ACB, dont AB serait l'axe des abscisses.

En tout cas, si p' est l'effort moyen par millimètre de longueur de tranchant, la résultante P_1, appliquée en E, vers le tiers de AB à partir de A, serait égale à :

$$P_1 = p' \times A\,B = p'\ b'.$$

AC étant la pénétration maximum, égale à : $\frac{na}{2}$, il vient :

$$b' = \frac{n\,a}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}, \qquad \text{soit :} \qquad P_1 = \frac{n\,a\,p'}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}.$$

En considérant l'effort p qui correspond à la résistance de cisaillage R au moment de la rupture, ou l'effort p qui s'exerce par millimètre courant au voisinage du point A, nous avons vu précédemment que p est une fonction de l'épaisseur a et de R, et si on admet que $p' = \frac{p}{2} = \frac{a\mathrm{R}}{2}$, il viendrait :

$$P_1 = \frac{p}{2} \times A\,B = \frac{a\,R\,b'}{2} = \frac{n\,a^2\,R}{4 \sin \frac{\alpha}{2}}.$$

On voit que l'effort P_1 serait, d'après l'hypothèse admise, égal à la moitié de l'effort $ab'R$ qui correspondrait à des lames parallèles attaquant une pièce de largeur b'.

Pour une même épaisseur a, cet effort P_1 est d'autant plus petit que $\frac{\sin \alpha}{2}$ est grand.

Lorsque α ne dépasse pas 10°, la longueur b de tôle qui correspond à b' est très peu différente de b'.

Ainsi, pour :

$$\frac{\alpha}{2} = 5° \qquad b = b' \cos \frac{\alpha}{2} = b' \times 0{,}996.$$

Dans les cisailles ordinaires à leviers articulés, l'effort P_1 peut être déduit facilement d'essais.

On peut en déduire :

$$p' = \frac{2 \sin \frac{\alpha}{2}\,P_1}{n\,a}.$$

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Dans les cisailles à guillotine, l'effort moteur P est dirigé verticalement, et la relation

$$P_1 = \frac{P}{\cos \alpha} = \frac{n\, a\, p'}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{n\, a^2\, R}{4 \sin \frac{\alpha}{2}},$$

permet de calculer P_1 connaissant P et α.

On pourra faire ressortir le rapport :

$$\frac{P}{a} = \frac{n p' \cos \alpha}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{n\, a\, R \cos \alpha}{4 \sin \frac{\alpha}{2}} = K\, a.$$

Pour une valeur donnée de α, le rapport $\frac{P}{a}$ aurait des valeurs croissant proportionnellement avec les épaisseurs, et l'effort $P = Ka^2$ varierait comme le carré de l'épaisseur.

On peut encore poser :

$$P = \frac{n\, a\, p' \cos \alpha}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$$

et appliquer cette relation, si l'on connaît p'.

Notons aussi que la composante $P_2 = P \operatorname{tg} \alpha$ (fig. 214) est précisément la force

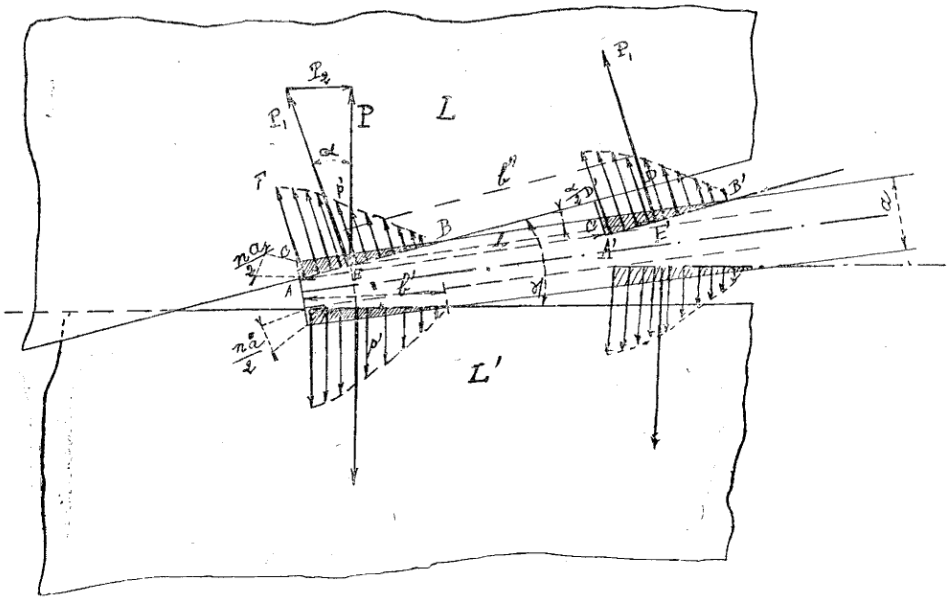


Fig. 214.

qui tend à repousser la pièce de gauche à droite; elle doit être inférieure à l'adhérence des lames sur la pièce, condition toujours satisfaite avec les angles α

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

adoptés par la pratique. De plus, α n'étant guère supérieur à 10°, et cos 10° égal à 0,985, P_1 et P sont pratiquement égaux, d'autant plus qu'on néglige les frottements $P_2 f$ qui se développent sur les guides du coulisseau porte-lame et ceux dus aux réactions sur la face verticale de la lame mobile, réactions qui se reportent sur la face d'appui du coulisseau contre la tête du bâti.

Quant à la flexion des parties séparées, flexion due à l'inclinaison des lames par rapport à la pièce, elle n'est pas négligeable; elle aurait pour effet d'aug-

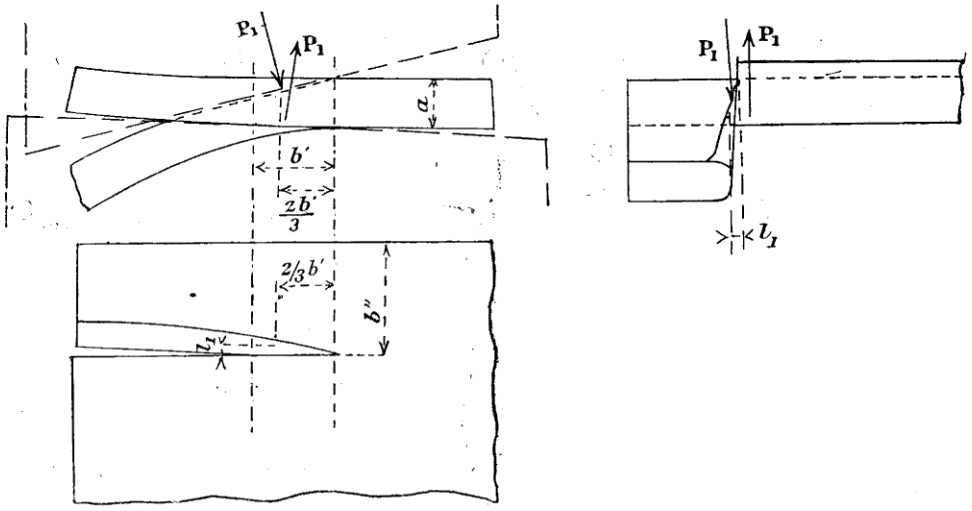


Fig. 215 à 217.

menter, dans une certaine mesure, les efforts de coupe oblique comparés à ceux de coupe parallèle.

Les efforts de flexion, qui croissent comme le carré de l'épaisseur, sont en partie compensés par la réduction de résistance que présente la pièce dès que la déchirure première s'est produite.

La relation d'équilibre relative à l'effort constant devrait s'établir en considérant les phénomènes au moment où la coupe se fait (fig. 215 à 217).

Il y aurait lieu de faire intervenir :

1° La résistance au glissement proprement dit dans le plan de coupe, laquelle est de la forme $ab' R_1 = P_1$.

2° Le moment résistant de flexion dans la section de coupe, égal à

$$\frac{R_2 a^2}{6} \times \frac{2 b'}{3} = P_2 l_1 \qquad \text{soit :} \qquad P_2 = \frac{R_2 a^2 b''}{9 l_1}.$$

3° Le moment résistant dans la section de la bande de largeur b'', section qui

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

correspond à la naissance de la partie non déformée, moment qui aurait pour valeur

$$\frac{R_3\, a^2\, b''}{6} = P_3 \times 2/3\, b'; \qquad \text{soit :} \qquad P_3 = \frac{R_3\, a^2\, b''}{4\, b'}.$$

Il viendrait alors $P = P_1 + P_2 + P_3$.

La résultante des trois coefficients de résistance R_1 R_2 et R_3 qui se trouvent dans des directions rectangulaires deux à deux serait :

$$\sqrt{R^2_1 + R^2_2 + R_3{}^2} = R = \text{coefficient de cisaillage.}$$

Ce coefficient (de résistances composées) serait donc beaucoup plus grand que celui de flexion simple ou que celui de cisaillement simple, ce que font ressortir les essais ci-après. Il nous paraît très difficile d'apprécier exactement la combinaison de ces divers phénomènes. Par approximation, on pourrait admettre que les deux premières actions correspondent au cisaillement par lames parallèles, et les éléments de la troisième pourraient être déduits par différence.

Nous ne pouvons ici entrer plus avant dans cette question des plus complexes.

Nous avons simplement recherché, dans des essais signalés plus loin, l'influence de la largeur de la bande coupée, influence qui montre que, dans les essais de cisaillage à lames obliques, et surtout dans les essais comparatifs, il importe d'opérer avec une bande de même largeur pour toutes les éprouvettes, sinon, il se produit des écarts sensibles dans les résultats. Il faut aussi que la partie opposée à la chute soit assez longue ou large pour ne pas se déformer par flexion. Il en est de même lorsque la partie principale de la pièce est maintenue en contact sur toute la longueur de l'une des lames, soit la lame inférieure horizontale, et que la pièce est assez résistante, la déformation de flexion se totalise sur l'autre partie qui est ordinairement la chute. Dans ce cas, la pénétration de la lame supérieure a une action quelque peu prépondérante pour la coupe, attendu que la réaction sur la lame inférieure se répartit sur une plus grande longueur, ce qui ne favorise pas la pénétration de cette lame. Quand on fait varier l'angle α jusqu'à prendre des valeurs supérieures à 20°, les efforts de poussée P_2 et les effets de la flexion modifient les conditions admises ci-dessus.

Énergie de cisaillage avec lames obliques. — Lorsque les lames (fig. 214) ont attaqué, cisaillé une longueur de pièce égale à $AA' = b$, chacune d'elles a parcouru un chemin $A'D' = DE'$ égale au déplacement de l'effort P_1 sur sa direction.

Le travail de cette force, supposée constante pendant la coupe courante, est donc $P_1 \times DE'$.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le travail τ des deux lames, pour cisailler la longueur b, est de :

$$\tau = 2\,P_1\,D\,E' = 2\,P_1\,b\,\sin\frac{\alpha}{2} = \frac{2\,P\,b\,\sin\frac{\alpha}{2}}{\cos\alpha} = \frac{2\,n\,a\,p'\,b\,\sin\frac{\alpha}{2}}{2\,\sin\frac{\alpha}{2}} = n\,a\,p'\,b.$$

Comme $$p' = \frac{a\,R}{2} \qquad \tau = \frac{n\,a^2\,b\,R}{2}.$$

La surface cisaillée étant $S = ab$, l'énergie τ''_1 par millimètre carré de section serait de :

$$\tau''_1 = \frac{\tau}{S} = \frac{n\,a^2\,b\,R}{2\,a\,b} = \frac{n\,a\,R}{2}.$$

Sur la figure 214, $n\,a\,b$ correspond aux deux rectangles tels que ACC'A' = ABB'A', soit à la surface de pénétration pendant la coupe prolongée.

Les essais conduisent à l'estimation de τ, et à la mesure de n; on peut déduire les valeurs de $R = \frac{2\tau}{na^2b} = \frac{\tau''_1}{na}$ et les comparer avec celles obtenues pour le cisaillage à lames parallèles.

Mais, il ne faut pas perdre de vue que les éléments du cisaillage sont des

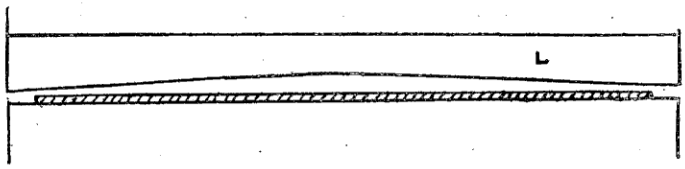


Fig. 217 *bis*.

plus variables pour un même métal. Si les lames s'écartent, si les tranchants ne se trouvent plus dans les mêmes conditions de coupe; si les lames ont un long usage, les efforts peuvent être doubles de ceux qui correspondent à des lames fraîchement affûtées.

Quand la lame mobile L (fig. 217 *bis*) est à double inclinaison, et qu'elle attaque la pièce à droite et à gauche, on conçoit qu'il suffit de doubler l'effort relatif à une seule coupe, et de même l'énergie. Cette disposition adoptée pour les tôles de faible épaisseur est rationnelle, la course est ainsi réduite de moitié.

(*A suivre.*)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

AGRICULTURE

ÉTUDES SUR LA COMPOSITION DU LAIT ET DES PRODUITS DE LA LAITERIE, par **Antonin Rolet,** *Ingénieur-Agronome, Chimiste à l'École nationale d'industrie laitière de Mamirolle* (1).

COMPOSITION ANORMALE

Nous avons dit que des états physiologiques ou pathologiques particuliers pouvaient amener une altération profonde dans la composition du liquide sécrété ou dans les quantités produites. Nous allons en donner quelques exemples.

Influence du rut. — On sait que les ardeurs génésiques se renouvellent à intervalles assez réguliers (vingt jours environ), lorsque la vache n'a pas été satisfaite par l'accouplement ou que celui-ci n'a pas été fécondant.

L'influence de cet état particulier de la bête ne se fait pas sentir seulement sur le lait au moment de l'apparition des signes particuliers, mais encore pendant une période plus ou moins longue qui précède ou qui suit le rut.

L'élément qui semble le plus atteint est la matière grasse, le taux des autres principes ne subissant que de légères variations, à en juger seulement par l'extrait sec, déduction faite de la graisse (tableau XLVI *a*). Le lait a présenté dans tous les cas ses qualités organoleptiques.

Vache A.

DATES.	ACIDITÉ.		DENSITÉ.		MATIÈRE GRASSE.		POIDS.	
	MATIN.	SOIR.	MATIN.	SOIR.	MATIN.	SOIR.	MATIN.	SOIR.
	degrés.	degrés,			p. 100.	p. 100.	kilog.	kilog.
7 juin	20	20	33,3	32,2	2,95	2,80	5,4	5,0
9 —	19	19	31,2	31,9	4,30	3,70	5,4	5,4
12 —	19	20	32,9	32,9	2,85	2,90	5,8	5,6
14 —	18	19	32,6	31,7	3,4	3,6	5,6	5,6
15 —	19	18	35,0	32,6	2,7	3,9	5,4	7,2
16 — (rut).	19	18	32,1	32,2	4,15	4,35	4,8	5,2
18 —	18	19	31,1	31,6	2,75	3,7	5,6	3,4
21 —	19	19	33,9	33,8	3,15	2,85	6,0	5,2
27 —	18	18	30,9	32,8	5,6	4,7	4,8	5,6
28 —	19	19	32,2	31,7	3,7	3,35	5,0	5,4

(1) Voir les *Bulletins* de mai et juin 1901, p. 644.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Mammite. — Cette affection, appelée encore lêche, a atteint la mamelle de la vache B vers la fin décembre.

Le lait fourni par le seul trayon engorgé était mousseux, à goût salé, à mauvaise odeur, de couleur jaunâtre, et contenait de légers caillots.

Vache B.

DATES.	ACIDITÉ.		DENSITÉ.		MATIÈRE GRASSE.		POIDS.	
	MATIN.	SOIR.	MATIN.	SOIR.	MATIN.	SOIR.	MATIN.	SOIR.
	degrés.	degrés.			p. 100.	p. 100.	kilog.	kilog.
10 juin	19	20	32,9	33,1	2,85	3,25	7,2	7,8
12 —	20	20	34,3	32,8	2,7	2,95	8,2	8,8
13 —	20	20	33,3	34,3	3,4	3,3	6,4	7,2
14 —	18	18	33,8	31,7	2,3	2,7	8,0	7,6
15 — (rut).	19	19	31,8	33,1	3,75	3,95	6,4	8,6
16 —	18	18	32,6	32,3	4,10	4,35	7,2	8,6
5 juillet	18,5	18	33,7	32,9	2,8	3,65	6,6	8,0
6 —	19	17	34,9	31,8	2,5	4,35	6,4	8,4
7 — (saillie).	18	18	34,3	31,5	3,25	3,9	6,4	8,0
11 —	17	17	34,1	30,0	2,70	4,3	6,4	8,0
12 —	16	17	32,4	33,1	3,75	2,9	6,2	6,8
15 —	18	17	32,4	30,9	2,90	4,6	6,4	7,4
7 sept. (saillie) . .	13	14	31,3	28,2	1,0	5,4	5,0	8,0
8 —	18	16	28,4	30,8	6,4	4,1	3,8	4,8
12 —	17	17	32,8	31,4	2,6	4,6	5,6	4,2
26 octobre. (rut). .	17	18	32,5	30,2	1,85	4,55	3,2	4,6
27 —	17	18	31,6	30,7	3,90	5,10	5,6	4,2
28 — (saillie) .	17	18	32,3	32,9	2,15	2,90	1,2	5,8
29 —	18	18	29,1	31,5	7,4	3,6	4.6	3,6
30 —	18	17	33,9	30,8	3,15	4,20	4,0	4,0

Le 20 décembre au soir le contrôle a donné pour ce lait prélevé séparément :

Acidité.	11°
Densité	1 022
	P. 100.
Matière grasse.	3,85
Sucre.	1,06

Au bout de soixante-cinq heures, à la température de la chambre (12°) l'acidité n'était encore que de 18°.

A partir du 22 décembre, alors que l'acidité était de 13°,5, ce même lait a été maintenu au lacto-fermentateur à la température de 40°.

Son acidité après seize heures était de 70°.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU XLVI *a*. **Exemples de composition anormale tirés des essais journaliers.**

DATES.	QUANTITÉS.		ACIDITÉ.		DENSITÉ.		MATIÈRE GRASSE.		EXTRAIT SEC.		M. G. / Ex. S.		EXTRAIT SEC (M. G. déduite).		OBSERVATIONS.
	Matin.	Soir.	Matin.	Soir.	Matin.	Soir.	Matin.	Soir.	Matin.	Soir.	Matin.	Soir.	Matin.	Soir.	
							Vache A.								
	kg.	kg.	degr.	degr.											
7 juin	5,4	5,0	20	20	33,3	32,2	2,95	2,80	12,1	11,7	0,24	0,23	9,15	8,90	
12 —	5,8	5,6	19	20	32,9	32,8	2,85	2,90	11,9	12,0	0,23	0,24	9,05	9,10	
15 —	5,4	7,2	19	18	35,0	32,6	2,70	3,90	12,25	13,05	0,22	0,29	9,55	9,15	
16 —	4,8	5,2	19	18	32,1	32,2	4,15	4,35	13,30	13,5	0,31	0,32	9,15	9,15	Chaleurs.
27 —	4,8	5,6	18	18	30,9	32,8	5,6	4,7	14,6	14,0	0,38	0,33	9,0	9,30	
16 octobre. . .	3,0	3,0	18	18	33,0	31,7	2,6	4,2	11,6	13,2	0,22	0,31	9,0	9,0	
2 novembre. .	4,2	4,2	19	22	32,7	32,1	3,15	5,6	12,25	14,98	0,25	0,37	9,10	9,38	
12 décembre. .	5,0	4,6	18	19	35,4	34,6	3,25	3,9	13,05	13,55	0,24	0,28	9,80	9,65	
18 février 1900.	2,4	1,6	17	17	34,8	35,7	2,8	5,45	12,35	15,55	0,22	0,35	9,55	10,10	
25 —	1,4	1,0	17	16	34,8	34,4	2,15	1,60	11,5	10,8	0,18	0,14	9,35	9,20	Dernier jour de lactation.
							Vache B.								
12 juin	8,2	8,8	20	20	34,3	32,8	2,70	2,95	12,15	12,0	0,22	0,24	9,45	9,05	
11 juillet. . . .	6,2	6,8	17	17	34,1	30,0	2,70	4,30	12,0	12,9	0,22	0,33	9,3	8,6	Chaleurs le 7 juillet.
7 septembre. .	5,0	8,0	13	14	31,3	28,2	1,0	5,4	9,2	13,72	0,10	0,39	8,2	8,32	Saillie.
8 —	3,8	4,8	18	16	28,4	30,8	6,4	4,1	14,92	12,85	0,42	0,31	8,52	8,75	
26 octobre. . .	3,2	4,6	17	18	32,5	30,2	1,85	4,55	10,57	13,3	0,17	0,34	8,72	8,75	Chaleurs.
28 —	1,2	5,8	17	18	32,3	32,9	2,15	2,90	10,9	12,0	0,19	0,24	8,75	9,1	Saillie.
29 —	4,6	3,6	18	18	29,1	31,5	7,4	3,6	15,37	12,50	0,48	0,28	7,97	8,9	
14 décembre. .	5,4	4,4	18	18	33,1	33,1	3,15	5,25	12,4	14,7	0,25	0,35	9,25	9,45	
20 —	5,6	4,4	18	16	31,8	32,0	2,0	5,25	10,65	14,5	0,18	0,36	8,65	9,25	Mammite.
21 —	5,0	3,6	19	19	31,3	29,9	8,0	5,7	17,6	14,59	0,45	0,39	9,60	8,89	
5 avril 1900. .	1,8	2,2	15	16,5	29,9	33,0	2,8	4,17	11,1	13,5	0,25	0,30	8,30	9,33	
21 mai.	2,4	»	11	»	25,1	»	4,80	»	12,2	»	0,39	»	7,4	»	Derniers jours de lactation.
26 —	0,5	»	10	»	27,4	»	1,30	»	8,7	»	0,14	»	7,4	»	

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Quand au lait des trois autres trayons, il ne présentait à l'œil qu'une légère coloration jaunâtre, sans autre caractère anormal, on lui a trouvé :

Acidité	16°
Densité	1 032
	P. 100.
Matière grasse	5,25
Sucre	4,00

Marche de l'acidité : après soixante-cinq heures, 32°,5 à la température de 12°.

Au lacto-fermentateur, à 40°, après six heures et demie, acidité 79° (caillé) (acidité initiale 16°,5).

Le lendemain, 21 décembre, la composition pour le mélange du lait des quatre trayons a été :

	Matin.	Soir.
Poids du lait	5k	3k,6
Acidité	19°	19°
Densité	1 031,3	1 029,9
	P. 100.	P. 100.
Extrait sec	18,86	»
Matière grasse	8,00	5,70
Lactose	3,28	»
Sels minéraux	0,94	»
Caséine	6,64	»

Marche de l'acidité : 52°, après cinquante-trois heures à la température de 3°.

Conclusions : La réaction acide est faible, le sucre diminue considérablement, la matière azotée augmente; forte proportion de sels minéraux. — Marche de l'acidité, lente.

Fièvre aphteuse, ou cocotte. — Pendant la durée des recherches, cette maladie a atteint quelques vaches du pays. Nous avons trouvé à divers laits les caractères suivants :

Lait n° 1. — (Pis atteint). Légers caillots.

Traite du soir (16 novembre) :

Acidité	19°
	P. 100.
Extrait sec	13,01
Matière grasse	4,10
Sucre	5,12
Sels minéraux	0,73
Caséine	3,06

Marche de l'acidité : 20°, vingt-quatre heures après, à la température de 15°;

Caillé très floconneux après quatorze heures au lacto-fermentateur, à la température de 40°.

Lait n° 2. — (Mamelle saine.) Vache malade depuis quinze jours;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU XLVII. **Analyse chimique (composition p. 100 en volume).** **Vache A.**

NATURE des ÉLÉMENTS.	DATES DU PRÉLÈVEMENT DES ÉCHANTILLONS.																								MOYENNES.	MOYENNES, DÉDUCTION FAITE DU COLOSTRUM.
	MAI 1899.						JUIN.		JUILLET.		SEPT.	OCTOBRE.			NOVEMBRE.				DÉCEMBRE.				JANVIER 1900.		FÉVRIER.					
	11 m.	12 s.	13 m.	17 m.	24 m.	27 s.	8 s.	23 s.	10	24 s.	26 s.	10 s.	24 s.	25 m.	3 s.	4 m.	15 s.	16 m.	1 s.	2 m.	27 s.	28 m.	12 s.	13 m.	5 s.	6 m.	17 s.	18 m.	25 s.	26 m.		
Matière grasse	3,30	3,14	2,85	3,0	3,42	3,72	3,91	3,06	3,91	3,40	3,79	2,75	3,56	3,3	3,65	3,54	3,60	3,42	4,21	3,30	4,44	4,30	4,66	3,73	4,37	4,15	3,54	2,81	3 ,31	2,16	3,60	3,61
Lactose	2,76	3,98	4,56	4,85	4,84	4,76	5,17	4,96	4,95	4,81	4,90	5,10	4,69	5,5	4,58	4,92	5,12	5,33	4,63	4,67	4,74	4.92	5,00	4,50	4,82	4,85	5,18	5,30	5,00	5,11	4,80	4,93
Sels minéraux	0,98	0,91	0,89	0,82	0,76	0,72	0,71	0,67	0,71	0,70	0,73	0,72	0,74	0,7	0,75	0,76	0,72	0,73	0,74	0,75	0,74	0,78	0,73	0,76	0,73	0,76	0,76	0,78	0,78	0,80	0,76	0,74
Caséine (par différence)	10,09	5,06	4,38	3,60	3,64	4,03	3,24	3,40	3,51	3,22	3,63	3,56	4,13	4,0	3,94	3,94	2,85	2,39	3,98	4,50	3,25	3,04	4,36	4,25	4,28	4,32	4,09	3,76	3,89	3,76	4,01	3,74
Extrait sec	19,13	13,09	12,68	12,27	12,66	13,23	13,03	12,09	13,08	12,13	13,05	12,13	13,12	12,	12,92	13,16	12,29	12,07	13,56	13,22	13,17	13,04	14,75	13,24	14,2	14,08	13,57	12,65	12,98	11,83	13,17	13,02
Eau (différence à 100)	80,87	86,91	87,32	87,73	87,34	86,77	86,97	87,91	86,92	87,87	86,95	87,87	86,88	86,	87,08	86,84	87,71	87,93	86,44	86,78	86,83	86,96	85,25	86,76	85,8	85,92	86,43	87,35	87,02	88,17	86,83	86,98
Extrait, déduction faite de la matière grasse	13,83	9,93	9,83	9,27	9,24	9,51	9,12	9,03	9,17	8,73	9,26	9,38	9,56	10,	9,27	9,62	8,69	8,65	9,35	9,92	8,73	8,74	10,09	9,51	9,83	9,93	10,03	9,84	9,67	9,67	9,57	9,41
Rapport de la matière grasse à l'extrait	0,27	0,24	0,22	0,24	0,27	0,28	0,29	0,25	0,29	0,28	0,29	0,22	0,27	0,2	0,28	0,26	0,29	0,28	0,30	0,24	0,33	0,32	0,31	0,27	0,30	0,29	0,26	0,21	0,25	0,18	0,27	0,27
Densité	43,3	35,5	34,85	33,3	32,7	32,6	31,2	32,8	31,4	31,6	32,7	33,4	33,4	35,	32,6	32,9	33,5	34,1	35,0	35,5	34,0	34,1	35,0	33,5	33,2	34,3	35,3	34,8	34,8	34,8	33,9	33,6
Acidité en degrés	35	25	25	25	25	24	20	18	19	18	18	19	18		18	18	19	19	18	19	19	19	17	18	18	18	18	17	18	17	19,9	18,2

Traite du 16 novembre, matin :

Acidité . . . . . 18°
Densité 1 032,1

P. 100.
Matière grasse. 4,25
Lactose. 5,12

Acidité trente-six heures après 18° (température, 15°). Au lacto-fermentateur à la température 40°, caillé après douze heures.

Lait n° 3. — (Mamelle saine.) Vache malade depuis huit jours.

Traite du 16 novembre, matin.

Acidité . . . . . 18°
Densité 1 032,1

P. 100.
Matière grasse. 3,45

Acidité 19°, après trente-six heures à 15°. Au lacto, à la température de 40°, caille après neuf heures.

Lait n° 4. — (Mamelle saine.) Vache malade depuis six jours.

Traite du matin :

Acidité . . . . . 18°
Densité 1 031,1

P. 100.
Matière grasse. 3,45

Acidité 18°, trente-six heures après (température, 15°). Au lacto, à température de 40°, caillé après onze heures.

En somme, quand la mamelle est saine, l'affection n'a pas de répercussion sensible sur la composition chimique du lait.

ANALYSE CHIMIQUE

L'analyse chimique a porté sur 30 échantillons du lait de la vache A et sur 40 de la vache B. Chaque dosage a été fait en double, et c'est la moyenne des deux analyses qui figure dans chaque colonne des tableaux XLVII, XLIX et L.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les résultats obtenus sur 10 centimètres cubes de lait ont été rapportés à 100 centimètres cubes, l'eau étant représentée par la différence à 100 de l'extrait sec.

Le calcul de l'eau n'a, il est vrai, qu'une importance secondaire, mais cette façon de l'obtenir n'est pas exacte, car en réalité elle constitue le complément de l'extrait au poids des 100 centimètres cubes de lait

Soit, par exemple, un échantillon de densité 1032,2 qui dose 12,31 p. 100 d'extrait. On dit dans le cas ordinaire qu'il renferme 100 — 12,31 = 87gr,69 p. 100 d'eau, alors qu'en réalité ce poids est de 103gr,22 — 12gr,31 = 90gr,91.

En somme il serait plus rationnel de ramener le tout à 100 grammes en se basant sur la densité. Dans ce cas, on obtient évidemment des chiffres plus faibles. Cette différence a son importance quand on a à comparer un lait fraudé au même lait pur. Exemple :

	Composition calculée pour 100 cc.		Composition calculée pour 100 gr	
	Lait suspect.	Lait pur.	Lait suspect.	Lait pur.
Densité	1 024	1 032,2	1 024	1 032,2
	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Extrait sec	9,15	12,31	8,93	11,92
Matière grasse	2,81	3,74	2,74	3,62
Lactose	3,31	4,78	3,23	4,63
Sels minéraux	0,57	0,73	0,55	0,70
Caséine	2,46	3,06	2,41	2,97

On voit que la différence des extraits, dans le premier cas, est de 3gr,16 et de 2gr,99 dans l'autre hypothèse.

L'écart pour les deux procédés est faible, il est vrai, mais pourquoi multiplier les chances d'erreur alors que celle-ci est bien facile à éviter.

Pour l'analyse chimique de nos échantillons, nous avons suivi la méthode préconisée par notre éminent maître M. Duclaux (1).

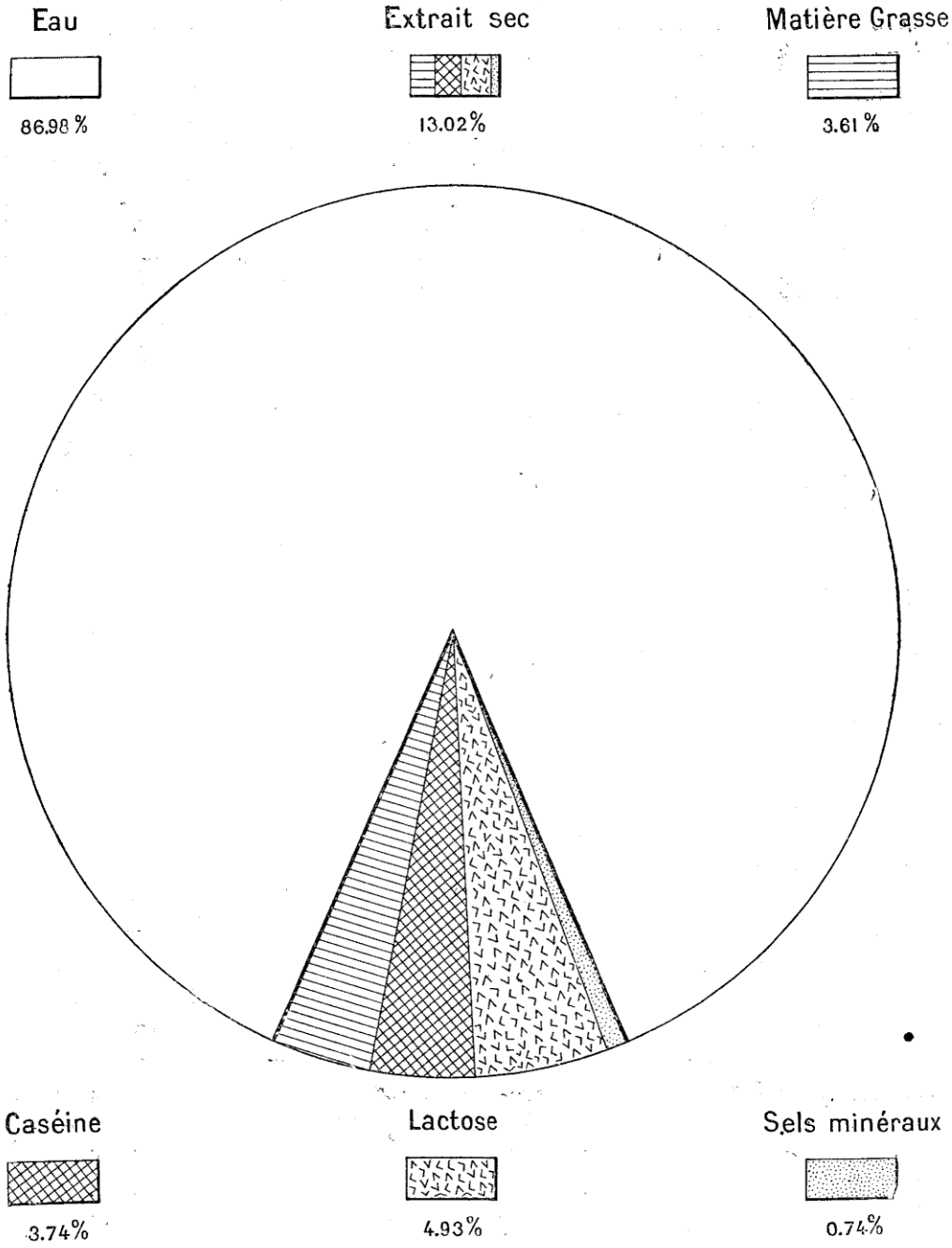
Vache A. — Tableaux XLVII, XLVIII. — L'analyse du 11 mai (lendemain de la parturition) montre que le colostrum est plus riche que le lait normal sauf pour le lactose, qui est en proportion beaucoup plus faible. C'est surtout la matière azotée qui domine. C'est là un fait général. Nous avons trouvé pour une autre vache âgée de 4 ans, à son deuxième veau, et quatre heures et demie après le part :

Acidité	36°
Densité	1 041,7
	P. 100.
Extrait sec	25,64
Matière grasse	10,72
Sucre	2,50
Sels	0,92
Caséine	11,50

(1) Duclaux, *Le lait, études chimiques et microbiologiques.*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU XLVIII. **Composition moyenne d'après l'analyse chimique. Vache A.**



Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU XLIX. **Analyse chimique (composition p. 100 en volume).** **Vache B.**

NATURE des ÉLÉMENTS.	DATES DU PRÉLÈVEMENT DES ÉCHANTILLONS.																				
	MAI 1899.	JUIN.		JUILLET.		SEPT.	OCTOBRE.					NOVEMBRE.						DÉCEMBRE.		JANVIER 1900.	
	28 s.	12 s. (1).	27 s.	12 s.	27 s.	28 s.	16 s.	25 s.	26 m. (1).	28 s. (1).	29 m.	2 s.	3 m.	7 s.	8 m.	29 s.	30 m.	14 s.	15 m.	2 s.	3 m.
Matière grasse. .	3,47	2,82	3,80	3,21	3,97	5,10	3,40	4,54	1,86	2,91	7,41	3,75	4,45	4,0	3,51	3,72	3,64	5,20	3,83	4,56	3,72
Lactose.	4,54	5,00	5,00	4,78	5,01	4,72	5,30	4,26	4,29	4,77	4,41	4,64	4,93	4,63	4,63	4,53	4,53	4,74	4,63	4,74	4,71
Sels minéraux. .	0,92	0,75	0,72	0,79	0,74	0,73	0,74	0,79	0,81	0,84	0,78	0,80	0,79	0,76	0,77	0,77	0,80	0,80	0,78	0,78	0,80
Caséine (par différence). . . .	5,62	3,44	3,23	3,38	2,68	3,75	3,53		3,34	3,55	3,98	4,74	3,60	3,71	3,74	3,45	3,60	3,53	3,95	3,55	4,00
Extrait sec . . .	14,55	12,01	12,75	12,16	12,40	14,30	12,97	12,90	10,30	12,07	16,58	1	13,77	13,10	12,65	12,47	12,57	14,27	13,19	13,63	13,23
Eau (différ. à 100).	85,45	87,99	87,25	87,84	87,60	85,70	87,03	87,10	89,7	87,93	83,42	86,07	86,23	86,90	87,35	87,53	87,43	85,73	86,81	86,37	86,77
Extrait, déduction faite de la matière grasse.	11,08	9,19	8,95	8,95	8,43	9,20	9,57	8,36	8,44	9,16	9,17	10,18	9,32	9,10	9,14	8,75	8,93	9,07	9,36	9 ,07	9,51
Rapport de la matière grasse à l'extrait. . .	0,23	0,23	0,29	0,26	0,32	0,35	0,26	0,35	0,18	0,24	0,44	0,26	0,32	0,30	0,27	0,29	0,28	0,36	0,29	0,33	0,28
Densité.	40,5	32,8	30,4	33,1	30,8	32,0	32,7	30,2	32,5	32,9	29,1	31,9	31,6	31,4	30,6	32,9	33,6	33,1	32,9	32,8	31,5
Acidité.	32°	20°	19°	17°	17°	18°	17°	18°	17°	18°	18°	19°	18°	18°	18°	19°	18°	18°	18°	19°	18°

(1) Saillie.

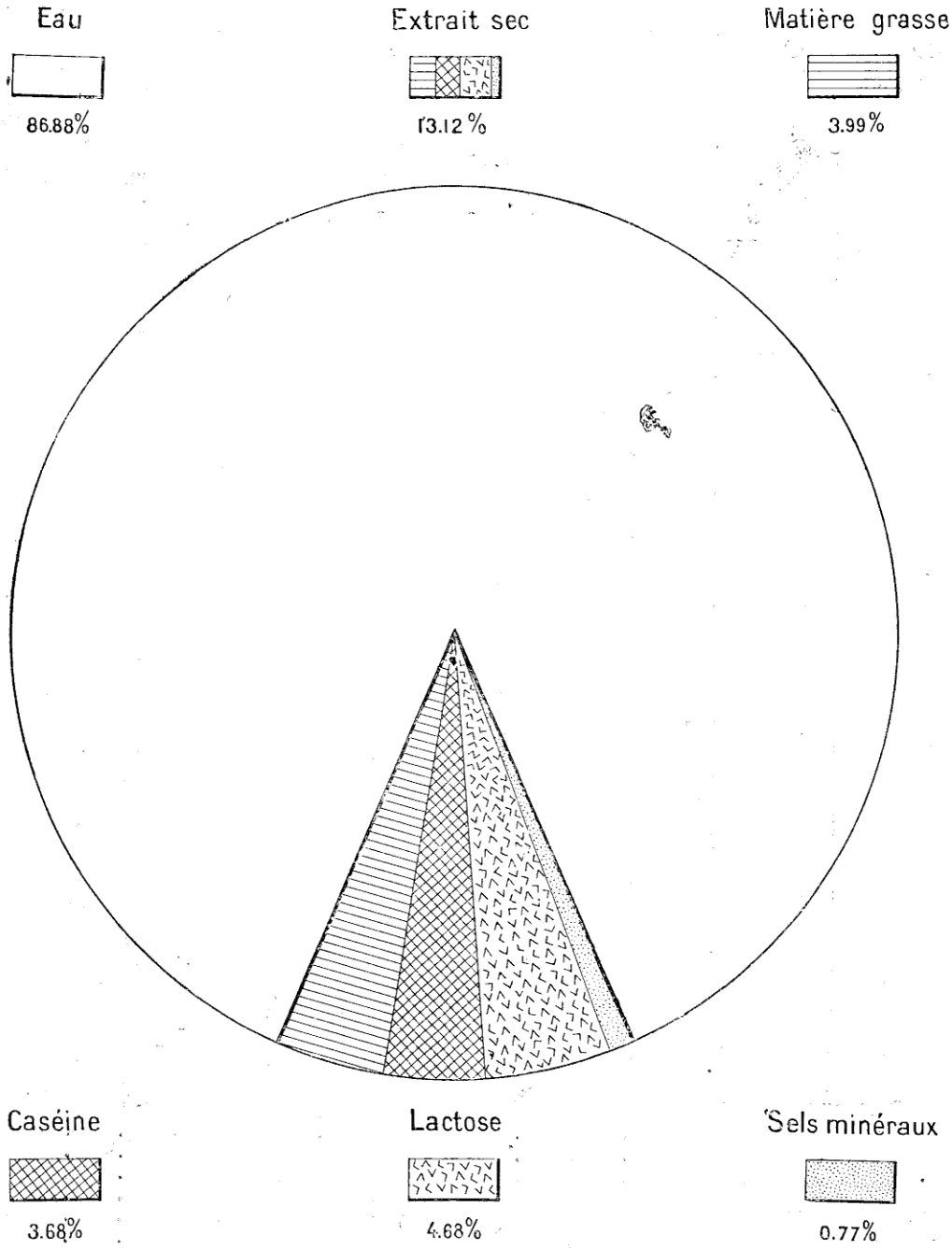
Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU L. **Analyse chimique (Composition p. 100 en volume).** **Vache B** (*suite*).

NATURE des ÉLÉMENTS.	DATES DU PRÉLÈVEMENT DES ÉCHANTILLONS.																			
	JANVIER 1900.		FÉVRIER.		MARS.				AVRIL.				MAI.							Moy. p. le lait marchand du 13 juin 1899 au 4 mai 1900.
	21 S.	22 M.	7 S.	8 M.	2 S.	3 M.	14 S.	15 M.	2 S.	3 M.	18 S.	19 M.	3 S.	4 M.	15 M.	21 M.	23 M.	25 M.	27 M.	
Matière grasse. . . .	4,21	3,51	4,09	3,68	4,06	3,21	4,16	3,86	5,19	3,70	4,42	4,17	4,26	3,94	4,64	4,81	3,77	2,73	2,36	3,990
Lactose	4,82	4,65	4,72	4,62	4,65	4,95	4,73	4,76	4,92	4,96	4,30	4,58	4,31	4,20	3,38	2,93	3,53	2,29	2,24	4,688
Sels minéraux.	0,77	0,78	0,77	0,78	0,78	0,78	0,80	0,79	0,81	0,81	0,75	0,78	0,77	0,78	0,85	0,85	0,88	0,94	0,94	0,779
Caséine (par différ.).	3,80	3,70	3,53	3,85	4,46	3,63	3,64	3,81	3,97	3,55	3,78	3,62	3,90	4,01	4,01	4,13	4,59	4,59	4,97	3,685
Extrait sec.	13,60	12,64	13,11	12,93	13,95	12,57	13,33	13,22	14,89	13,02	13,25	13,15	13,24	12,93	12,88	12,72	12,77	10,55	10,51	13,142
Eau (différ. à 100). .	86,40	87,36	86,89	87,07	86,05	87,43	86,67	86,78	85,11	86,98	86,75	86,85	86,76	87,07	87,12	87,28	87,23	89,45	89,49	86,858
Extrait (M. G. déduite).	9,39	9,13	9,02	9,25	9,89	9,36	9,17	9,36	9,70	9,32	8,83	8,98	8,98	8,99	8,24	7,91	9,00	7,82	8,15	9,15
Rapport de la matière grasse à l'extrait. .	0,30	0,27	0,31	0,28	0,29	0,25	0,31	0,29	0,34	0,28	0,33	0,31	0,32	0,30	0,36	0,37	0,29	0,25	0,22	0,30
Densité	32,5	32,4	31,9	32,1	32,4	33,1	32,2	32,1	33,6	32,8	30,6	30,9	30,9	31,8	27,0	25,2	30,6	27,1	28,0	1032
Acidité	17°	17°	18°	17°	18°	18°	18°	18°	18°	18°	16°	16°	17°	16°	14°	11°	13°	11°	10°	17°,7

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU LI. **Composition moyenne d'après l'analyse chimique. Vache B.**



Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pour une deuxième, de 9 ans, donnant 20 litres par jour, qui avait mis bas le 17 février à 4 heures du matin, on a trouvé ce jour à 6 heures 1/2 du matin et les suivants :

		Acidité.	Densité.	Matière grasse. p. 100.
17 février,	6 h. 1/2 matin.	35°	1 042,3	5,31
17 —	5 h. 1/2 soir.	26°	1 037	2,34
18 —	6 h. 1/2 matin.	23°	1 034,45	3,10
18 —	5 h. 1/2 soir.	25°	1 035,55	3,16
19 —	6 h. 1/2 matin.	25°	1 034,85	2,85
19 —	5 h. 1/2 soir.	25°	1 035,60	3,35
20 —	6 h. 1/2 matin.	23°	1 034,1	2,25
26 —	5 h. 1/2 soir.	19°	1 033,85	2,75
27 —	6 h. 1/2 matin.	19°	1 033,25	2,15
1er mars	5 h. 1/2 soir.	20°	1 034,2	3,43
2 —	—	19°	1 032,75	3,45

Ainsi donc, peu après le vêlage, la matière grasse descend au-dessous de la normale.

On remarquera aussi dans les analyses du tableau XLVII que d'une façon générale les taux de caséine, sucre et sels augmentent sensiblement à la fin de la période de lactation. Les derniers jours la matière grasse diminue dans de notables proportions.

Vache B. — Tableaux XLIX, L, LI. — L'accroissement du poids des sels vers la fin de la lactation est ici plus apparente. La matière grasse et le sucre diminuent, tandis que la caséine augmente.

CONCLUSIONS

On peut tirer de ces études les conclusions générales suivantes :

Acidité. — L'acidité est très élevée pendant les premiers jours qui suivent la parturition. Elle descend au-dessous de la moyenne à la fin de la lactation.

En période normale, le degré varie de 16 à 20.

Dans certaines affections pathologiques ou physiologiques, le rut en particulier, le degré d'acidité peut sortir des limites ordinaires.

Il n'y a pas de différence bien accentuée en faveur de l'une des deux traites du matin et du soir.

Densité. — Très forte au début, la densité va en décroissant pendant le premier tiers de la durée de la lactation, augmente dans le deuxième tiers, pour diminuer de nouveau dans les derniers mois.

Dans les conditions normales de la production, le minimum n'a jamais atteint moins de 1,029. Mais sous l'influence de l'instinct génésique, le poids spécifique s'est abaissé jusqu'à 1,025.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pendant le premier tiers de la période de lactation, la traite du matin est plus dense que celle du soir. La différence est presque nulle au milieu de cette période; enfin c'est la traite du soir qui l'emporte pour les derniers mois (hiver, espacement des traites).

Pour le mélange des laits, le poids spécifique est plus élevé le soir que le matin pendant les cinq premiers et les trois derniers mois de l'année. En juin, juillet, août et septembre, alors qu'il s'écoule à peu près une égale durée entre les traites, il n'y a pas de prédominance marquée.

La moyenne, pour l'année, est de 1 032, le minimum de 1 031.

Matière grasse. — La matière grasse est l'élément le plus sujet aux variations.

Le lait du soir est en général plus riche en graisse, surtout pour les mois d'hiver.

Avec le mélange des laits, c'est en avril, mai, juin et juillet que l'on constate les taux les plus faibles.

Extrait sec. — La matière grasse influe le plus sur les variations de l'extrait.

La proportion des matières sèches, non grasses, est moins sujette aux fluctuations mais en général, dans les conditions ordinaires, elle augmente ou diminue avec celle de la matière grasse. Ainsi on peut constater qu'un lait riche en graisse n'a pas forcément une faible densité, de même qu'un autre, pauvre en cette matière, peut avoir un poids spécifique faible.

Les taux des éléments fixes, dans le mélange des laits, sont moindres en juin, juillet, août et septembre que pour le reste de l'année.

Quantités de lait. — Les quantités de lait vont en diminuant.

La traite du matin est plus abondante que celle du soir, surtout vers la fin de la période de lactation.

Richesse du lait. — Les aliments aqueux, de même que le séjour plus prolongé dans la mamelle augmentent la teneur du lait en eau.

Le lait s'enrichit en matière grasse et en extrait à mesure qu'approche la fin de la lactation, tandis que la quantité diminue.

En général, plus le lait est abondant, moins il est riche; c'est ainsi que le lait du soir est plus concentré.

La proportion des sels minéraux croît les derniers jours de la lactation.

Pour les deux cas considérés, le lait de la jeune vache est moins riche que celui de la vache plus âgée.

Comparaison des traites. — Il se produit des écarts quelquefois assez considérables, au point de vue de l'acidité, de la densité, de la matière grasse, et de l'extrait, pour le lait de deux traites consécutives, ou de deux traites à vingt-quatre heures d'intervalle.

On voit, par ce qui précède, que la composition du lait ne présente pas un

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

caractère de fixité absolu, et que nombreuses sont les causes qui peuvent amener un changement notable dans les proportions de ses éléments.

Aussi on ne saurait trop conseiller, dans le cas d'expertise, d'analyser comparativement, toutes les fois qu'il sera possible, le lait pur prélevé à l'étable, à la traite correspondante, à vingt-quatre heures d'intervalle seulement.

Et encore, dans l'interprétation des résultats, doit-on toujours tenir compte du nombre des vaches, de l'heure de la traite, de l'époque du vêlage et du rut, de l'état de santé des animaux, du mode d'affourragement, etc.

Lorsqu'il s'agit d'un lait individuel, il est prudent de se baser surtout sur le sucre et les sels, éléments les moins variables; l'extrait sec, à notre humble avis, ne devant intervenir, pour ce cas particulier, qu'en troisième ligne.

Enfin, dans le but de faciliter la tâche au chimiste, et d'atténuer le plus possible les erreurs qui pourraient provenir des difficultés que présente toujours le traitement d'un lait caillé, il convient d'ajouter aux échantillons, lors de la saisie par-devant les deux témoins, avant de cacheter les flacons, un antiseptique destiné à conserver le liquide jusqu'au moment où il devra être soumis à l'analyse.

A ce titre, le formol est un agent des plus actifs, 10 gouttes seulement (soit à peu près 1/5 de centimètre cube), dans un demi-litre de lait, le préservent de la coagulation pendant plus de cinq jours, à la température de 19° environ.

Fabrication et composition de quelques fromages et du beurre.

Les procédés de dosage que nous avons suivis dans cette partie de notre travail sont également ceux que M. Duclaux a décrits dans ses études chimiques et microbiologiques sur le lait.

Lait et petit-lait. — Nous avons analysé successivement le lait et le petit-lait, ce dernier provenant de la fabrication des fromages, en distinguant les éléments en suspension et les éléments en solution, la séparation étant obtenue par la filtration de chacun de ces liquides à travers la bougie de porcelaine du filtre Chamberland.

Fromages. — Les fromages ont été étudiés à l'état frais, au sortir du moule, puis, une fois mûrs, au moment de les livrer à la consommation.

EMMENTHAL

Renseignements de fabrication. — Quantité de lait employée, 835 kilogrammes, dont 703 kilogrammes de lait entier provenant de la traite du matin, et 132 kilogrammes de lait écrémé, de la traite de la veille au soir, maintenu

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

douze heures au repos, et écrémé à la poche percée, ce qui a donné 9 kilogrammes de crème, soit en tout 844 kilogrammes de lait travaillés.

Acidité du lait 18°. — Température de la mise en présure, 32°. — Présure (macération de la caillette de veau dans la recuite), $1^{lit},5$, dans $7^{lit},5$ d'eau au moment où on l'ajoute au lait. — Acidité de la présure, 43°;

Durée de la coagulation, 38 minutes.

Nature du caillé obtenu : consistance moyenne.

Durée du décaillage, 22 minutes. — Durée du repos, 5′ + 8′.

Durée du brassage, 7′ + 10′. — Durée du brassage sur le feu 36 minutes. — Température de la cuisson, 56°. — Durée du brassage hors du feu, 50 minutes.

Température à la sortie du fromage, 50°, — Grosseur du grain : moyen.

Acidité du petit-lait après le décaillage, 11°.

Poids du petit-lait, 740 kilogrammes, soit 88,6 p. 100 du lait.

Poids du fromage, $80^{k},5$. — Rendement 9,64 p. 100.

COMPOSITION DU LAIT ET DU PETIT-LAIT

	Lait.			Petit-lait.		
	Entier. P. 100.	Éléments en suspension. P. 100.	Éléments en solution. P. 100.	Entier. P. 100.	Éléments en suspension. P. 100.	Éléments en solution. P. 100.
Matière grasse	3,58	3,58	»	0,61	0,61	»
Sucre	4,81	»	4,81	5,12	»	5,12
Caséine (par différence)	3,80	3,60	0,20	1,04	0,64	0,40
Phosphates	0,35	0,25	0,10	0,10	»	0,10
Sels solubles	0,39	»	0,39	0,42	»	0,42
Extrait	12,93	12,93		7,29	7,29	

COMPOSITION DU FROMAGE FRAIS

	P. 100.
Eau	39,01
Matière grasse	29,09
Sucre	2,35
Caséine, etc. (différence)	26,79
Sels minéraux	2,76

COMPOSITION DU FROMAGE APRÈS QUATRE MOIS ET DEMI DE MATURATION

	P. 100.		P. 100.
Eau	35,73	Caséine filtrable	7,97
Matière grasse	29,87	Rapport de maturation	0,26
Caséine (différence)	30.26	AzH^3 libre par kilogramme	»
Sel marin	0,93	AzH^3 combinée par kilogr.	»
Sels minéraux	3,21	Acide butyrique	3,81

En dehors du fromage, le lait travaillé a donné du beurre fin, du beurre de petit-lait et enfin des résidus : petit-lait écrémé, babeurre.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Voici comment se répartissent les rendements :

	Kilogr.		P. 100.	
Fromage frais.	80,50,	soit	9,53	du lait travaillé.
Beurre fin.	3,00	—	0,35	—
Beurre de petit-lait	3,75	—	0,44	—
Petit lait maigre.	686,5	—	81,33	—
Babeurre fin.	7,0	—	3,19	—
Babeurre de petit-lait. . . .	20,0			
Perte.			5,16	—
			100,00	

GRUYÈRE

Lait travaillé, 406^{kg},33.

Pour le fromage, 305^{kg},67 de lait entier, 93^{kg},33 de lait écrémé, crème 7^{kg},33.

Acidité du lait, 18°. — Température de la mise en présure, 32°.

Présure de caillette, 1^{lit},3/4, diluée dans 3 litres d'eau.

Durée de la coagulation 37 minutes, du décaillage, 21 minutes.

Nature du caillé : moyen.

Durée du repos après le décaillage, 5 minutes; du brassage, 10 minutes.

Durée du brassage sur le feu, 45 minutes. — Température de la cuisson, 56°. — Durée du brassage hors du feu, 35 minutes.

Grosseur du grain : moyen. Température à la sortie du fromage, 51°

Acidité du petit-lait après le décaillage, 11°.

— — — la sortie du fromage, 11°.

Poids du fromage au sortir de la presse, 39 kilogrammes; rendement 9,75 p. 100.

Poids du petit-lait, 352 kilogrammes, soit 88 p. 100 du lait.

COMPOSITION DU LAIT ET DU PETIT-LAIT

	Lait.			Petit-lait.		
	Entier.	Éléments en suspension.	Éléments en solution.	Entier.	Éléments en suspension.	Éléments en solution.
	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Matière grasse.	3,67	3,67	»	0,56	0,56	»
Sucre.	4,77	»	4,77	5,07	»	5,07
Caséine.	3,69	3,19	0,50	1,08	0,47	0,61
Phosphates	0,37	0,24	0,13	0,13	»	0,13
Sels solubles.	0,38	»	0,38	0,41	»	0,41
Extrait	12,88	12,88		7,25	7,25	

COMPOSITION DU FROMAGE FRAIS

	P. 100.
Eau.	39,65
Sucre	2,65
Matière grasse.	29,31
Caséine, etc. (par différence). . . .	25,61
Sels minéraux	2,78

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

COMPOSITION DU FROMAGE APRÈS QUATRE MOIS DE MATURATION

	P. 100.		P. 100.
Eau	36,59	Caséine filtrable	6,27
Matière grasse	30,14	Rapport de maturation	0,21
Caséine (par différence)	29,42	AzH^3 libre par kilogr.	»
Chlorure de sodium	0,54	AzH^3 combinée par kilogr.	»
Sels minéraux	3,31	Acide butyrique p. 100	1,67

RENDEMENTS

Les 407kg,33 de lait travaillé ont donné :

	Kilogr.		P. 100.	
Fromage frais	39,00,	soit	9,59	du lait.
Beurre fin	2,33	—	0,57	—
Beurre de petit-lait	1,85	—	0,45	—
Petit-lait maigre	311,50	—	76,47	—
Babeurre fin	4,16	—	6,29	—
Babeurre de petit-lait	21,50			
Perte			6,63	—
			100,00	

PORT-DU-SALUT

Poids du lait travaillé, 755 kilogrammes. — Poids employé pour le fromage, 743 kilogrammes, dont 242kg,5 de lait écrémé et 500kg,5 de lait entier.

Acidité du lait, 19°. — Température à la mise en présure, 35°. — Quantité de présure liquide du commerce, 126 centimètres cubes dans 4 litres d'eau.

Durée de la coagulation, 40 minutes, du décaillage, 20 minutes, du repos, 12 minutes. — Nature du caillé, dur. Durée du brossage, 15 minutes.

Mise en moules, 1 h. 1/2 après la mise en présure.

Acidité du petit-lait après décaillage, 12°.

Poids des fromages, 88 kilogrammes, soit 11,8 p. 100 de lait. Rognures, 1kg,250.

Poids du petit-lait, 616 kilogrammes, soit 82kg,9 p. 100 du lait.

GOMPOSITION DU LAIT ET DU PETIT-LAIT

	Lait.			Petit-lait.		
	Entier.	Éléments en suspension.	Éléments en solution.	Entier.	Éléments en suspension.	Éléments en solution.
	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Matière grasse	3,51	3,51	»	0,43	0,43	»
Lactose	4,89	»	4,89	5,23	»	5,23
Caséine	3,80	3,47	0,33	1,06	0,74	0,32
Phosphates	0,37	0,23	0,14	0,15	»	0,15
Sels solubles	0,39	»	0,39	0,42	»	0,42
Extrait	12,96	12,96		7,29	7,29	

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

COMPOSITION DU FROMAGE FRAIS

	P. 100.
Eau	50,21
Matière grasse	25,57
Caséine	22,02
Sels minéraux	2,20

COMPOSITION DU FROMAGE APRÈS DEUX MOIS DE MATURATION

	P. 100.		P. 100.
Eau	46,46	Caséine filtrable	5,38
Matière grasse	26,21	Rapport de maturation	0,27
Caséine	23,66	AzH^3 libre par kilogr.	0,19
Chlorure de sodium	1,31	AzH^3 combinée, par kilogr.	5,98
Sels minéraux	2,36	Acide butyrique p. 100.	2,17

RENDEMENTS

Les 755 kilogrammes de lait travaillé ont donné :

	Kilogr.		P. 100.	
Fromage	88,000,	soit	11,66	du lait.
Rognures	1,250	—	0,16	—
Beurre fin	3,15	—	0,41	—
Beurre de petit-lait	2,22	—	0,29	—
Petit-lait maigre	578,00	—	76,55	—
Babeurre fin	7,500	—	2,98	—
Babeurre de petit-lait	15,00			
Perte			7,95	—
			100,00	

CAMEMBERT

La mise en présure se fait à trois reprises différentes, qui ont porté sur un poids total de lait non écrémé de 127 kilogrammes. — L'acidité du mélange des trois laits était de 21°.

1re coagulation : Poids du lait, 58kg,5. — Température à la mise en présure, 30°. — Température de la salle, 20°. — Présure liquide, 5 centimètres cubes dans 300 centimètres cubes d'eau. Durée de la coagulation, 1 h. 3/4.

2e coagulation : Poids du lait, 34 kilogrammes. — Température de la mise en présure, 30°. — Présure liquide, 3 centimètres cubes dans 200 centimètres cubes d'eau. — Durée de la coagulation, 1 h. 47′.

3e coagulation : Poids du lait, 34kg,5. — Température à la mise en présure, 30°. — Présure liquide, 3cc + 300cc d'eau. — Durée de la coagulation, 1 h. 3/4.

Poids total des 68 fromages au sortir des moules, 25 kilogrammes, soit 19,68 p. 100 du lait. Rognures, 1kg,9.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Poids du petit-lait, 81 kilogrammes, soit 63,77 p. 100 du lait.

COMPOSITION DU LAIT ET DU PETIT-LAIT

	Lait.			Petit-lait.		
	Entier. P. 100.	Éléments en suspension. P. 100.	Éléments en solution. P. 100.	Entier. P. 100.	Éléments en suspension. P. 100.	Éléments en solution. P. 100
Matière grasse	4,01	4,01	»	0,29	0,29	»
Lactose	4,92	»	4,92	5,31	»	5,31
Caséine	3,73	3,53	0,20	0,90	0,58	0,32
Phosphates	0,30	0,19	0,11	0,12	»	0,12
Sels solubles	0,44	»	0,44	0,46	»	0,46
Extrait sec	13,40	13,40		7,08	7,08	

COMPOSITION DU FROMAGE FRAIS

	P. 100.
Eau	68,23
Matière grasse	16,57
Caséine	14,51
Sels minéraux	0,69

COMPOSITION DU FROMAGE APRÈS DEUX MOIS DE MATURATION

	P. 100.		P. 100.
Eau	52,98	Caséine filtrable	4,01
Matière grasse	23,71	Rapport de maturation	0,21
Caséine insoluble	15,06	AzH^3 libre par kilogr.	0,13
Caséine soluble	4,06	AzH^3 combinée par kilogr.	0,62
Chlorure de sodium	3,21	Acide butyrique p. 100.	0,49
Sels minéraux	0,98		

FABRICATION DU BEURRE

I. — Beurre de crème montée au repos.

302 kilogrammes de lait ont été laissés au repos, dans des rondots plats d'une vingtaine de litres, à la température de 5°. Ils ont donné, après douze heures, $20^{kg},5$ de crème, prélevée à la poche percée.

	Lait entier mis au repos.	Lait écrémé.
Acidité	19°	19°
Densité	1 033,7	1 034,05
Matière grasse au Gerber	3,65	2,45
Degré d'écrémage	»	32,87

La crème, réchauffée à 26°, est mise à s'acidifier dans une salle à 18°, puis barattée après vingt-sept heures.

La baratte « Progrès » employée a été rincée au préalable avec de l'eau à 47°.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Acidité de la crème, 60°. — Température après quelques tours, 18°. Nombre de tours de la baratte, 45 par minute. — Durée du barattage, 40 minutes. — Température à la fin du barattage, 19°. — Température de la salle, 12°.

Le beurre est d'abord délaité dans la baratte avec 10 litres d'eau à 16°, puis malaxé à sec sur un malaxeur rotatif. — Température de la salle, 12°.

Poids du beurre obtenu, 7 kilogrammes. 1 kilogramme de beurre a exigé 2kg,93 de crème.

Poids du babeurre, 12kg,5. renfermant au Gerber 0,15 p. 100 de matière grasse. Densité 1 036,5. Acidité, 65°. — Perte, 1 kilogramme.

ANALYSE DU BEURRE LE MÊME JOUR

	P. 100.
Eau	15,96
Matière grasse	83,34
Sel marin	»
Sucre de lait	0,34
Sels minéraux	0,11
Caséine, etc. (par différence)	0,25

II. — Beurre de petit-lait.

Le petit-lait qui constitue le résidu de la fabrication des fromages contient encore une certaine quantité de beurre, que l'on extrait de diverses façons.

On peut laisser le liquide au repos au frais, pour ne pas trop favoriser l'acidification, la matière grasse monte à la surface et on la baratte.

On peut l'extraire immédiatement dans la chaudière après la sortie du fromage, en élevant la température à 75-80° et en ajoutant un liquide acide (HCl petit-lait aigri, ou aisy). Il monte à la surface des flocons formés en majeure partie de matière grasse : ce sont les brèches que l'on baratte après acidification.

Enfin, le meilleur procédé consiste à écrémer le petit-lait à l'aide d'un appareil centrifuge.

ÉCRÉMAGE DU PETIT-LAIT

421 kilogrammes de petit-lait, provenant de la fabrication du gruyère, sont passés à l'écrémeuse Mélotte à bras, à bol vertical, du type de 400 litres à l'heure.

Nombre de tours de la manivelle : 43 à la minute.

Température du petit-lait à l'entrée	48°,5	au début,	44° à la fin
— — à la sortie	46°,5	—	43° —
Température de la crème à la sortie	46°	—	42,5 —
— de la salle	10°,5		

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Poids de la crème obtenue, 30 kilogrammes, soit 7,12 p. 100 du petit-lait.
Poids du petit-lait maigre, 388 kilogrammes.
Degré d'écrémage, 83,3 p. 100 de la matière grasse.

	Petit-lait gras.	Petit-lait maigre
Densité	1 027,2	1 027,8
Matière grasse (Gerber)	0,6	0,1

BARATTAGE DE LA CRÈME

Les 30 kilogrammes de crème ont été laissés s'acidifier à la température initiale de 26° (température de la salle, 12°), et barattés après trente-six heures.

Baratte « Progrès » 50 tours à la minute. — Acidité au moment du battage, 50°, température, 16°. Durée du barrattage, 40 minutes; température à la fin, 15°; température de la salle, 10°. — Délaitage dans la baratte, avec eau à 16°. — Malaxeur rotatif, avec eau, à 10°.

Poids du beurre, 2kg,200, soit 7,33 p. 100 de la crème et 0,52 p. 100 du petit-lait.

Poids du babeurre	26 kilogr.
Densité	1 026,6
Acidité	45°
Gerber	0,6

ANALYSE DU BEURRE LE JOUR MÊME

	P. 100.
Eau	15,32
Matière grasse	83,91
Sel marin	»
Lactose	0,41
Sels minéraux	0,06
Caséine, etc. (par différence)	0,30

III. — Beurre de brèches.

Après la sortie de l'Emmenthal, il reste dans la chaudière 696 kilogrammes de petit-lait. On ajoute 35 kilogrammes de petit-lait aigri (acidité, 55°) et 5 kilogrammes d'aisy (acidité, 70°), puis on porte la température à 86°. La quantité de brèches obtenue a été de 50 kilogrammes. Après vingt heures d'acidification, celles-ci ont été soumises au barattage. — Acidité, 45°. — Température au moment de la fabrication, 24°. — Vitesse de rotation de la baratte, 55 tours à la minute.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Poids du beurre obtenu, 3kg,22, soit 6,31 p. 100 des brèches. Babeurre, 46kg,2 (0,88 de matière grasse au Gerber).

ANALYSE DU BEURRE LE JOUR MÊME

	P. 100.
Eau	15,83
Matière grasse	83,07
Sel marin	»
Lactose	0,36
Sels minéraux	0,07
Caséine, etc. (par différence)	0,67

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHIMIE

RÉACTION DU SULFATE DE CHAUX SUR LES CIMENTS PAR **M. Deval.**

L'aluminate de chaux, en s'hydratant, peut fixer trois équivalents de sulfate de chaux en se transformant en sulfo-aluminate de chaux.

On a pensé qu'il y avait là un moyen de doser l'aluminate de chaux contenu dans les ciments de Portland.

Le procédé de dosage consiste à mettre le ciment en contact avec une quantité de sulfate de chaux précipité un peu supérieure à celle qui serait fixée par l'alumine du ciment supposée à l'état d'aluminate de chaux; à maintenir le tout humide et à doser, au bout d'un certain temps, l'acide sulfurique du sulfate de chaux fixé.

Avec les ciments non hydratés, pour lesquels on aurait à craindre que l'humidité n'en détermine la prise, l'essai se fait dans un tube d'essai avec 20 parties d'eau. En agitant fréquemment, on empêche le ciment de faire prise.

Avec les ciments hydratés, on forme une pâte avec deux parties de ciment finement broyé, une partie de sulfate de chaux et une partie d'eau. On maintient cette pâte humide en la plaçant sur une feuille de papier à filtrer dont les extrémités plongent dans l'eau.

Au bout de quelque temps, on délaye cette pâte ou le contenu du tube d'essai dans une quantité d'eau suffisante pour dissoudre la totalité du sulfate de chaux. Le sulfate de chaux qui n'a pas été fixé par l'aluminate de chaux se dissout. Après filtration et lavage à l'eau de chaux, on traite le résidu par le chlorhydrate d'ammoniaque qui décompose à l'ébullition le sulfo-aluminate, et, dans la liqueur claire, on dose l'acide sulfurique, dont on déduit le sulfo-aluminate et par suite l'aluminate de chaux.

Divers ciments de Portland, dont les analyses sont indiquées dans le tableau n° 1 ci-joint, ont été traités par le sulfate de chaux après avoir été pulvérisés de façon à passer à travers le tamis à 5 000 mailles. L'essai a eu lieu sur le ciment anhydre et ensuite sur le ciment hydraté, on a obtenu l'hydratation en gâchant le ciment avec la moitié de son poids d'eau et en formant des briquettes qui ont été maintenues pendant trois mois dans l'eau à l'abri de l'acide carbonique.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU N° 1

Analyses des ciments essayés avec le sulfate de chaux.

	DÉSIGNATION DES CIMENTS.	SILICE.	SILICE INERTE.	ALUMINE.	PEROXYDE DE FER.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE SULFURIQUE.	PERTE AU FEU.	OBSERVATIONS.
1	Ciment avec excès de chaux.	0,165	0,018	0,057	0,023	0,686	0,008	0,009	0,030	
2	Ciment avec excès de chaux.	0,198	»	0,058	0,020	0,681	0,010	»	0,015	
3	Ciment avec excès d'argile.	0,188	»	0,057	0,018	0,665	0,009	»	0,065	
4	Lonquety (enduits). .	0,208	0,220	0,066	0,026	0,608	0,009	0,013	0,043	
5-6	Ciment de Mantes. .	0,217	0,008	0,078	0,030	0,599	0,009	0,015	0,040	
7-8	— port du Havre.	0,215	0,013	0,071	0,027	0,619	0,008	0,009	0,035	
9	— Ruoms. . . .	0,190	0,008	0,044	0,019	0,615	0,008	0,009	0,100	
10	Ciment Lonquety (Macomerie).	0,203	0,018	0,072	0,026	0,616	0,009	0,013	0,040	
11	Ciment anglais. . . .	0,217	0,008	0,072	0,034	0,599	0,009	0,015	0,040	
12	Ciment de Fourmain-traux-Desvres . . .	0,212	0,006	0,074	0,026	0,636	0,011	0,010	0,020	
	Ciments de laboratoire préparés à l'École des Mines.									
13	Ciment 2/7 avec excès d'alumine.	0,158	»	0,100	»	0,460	»	»	0,277	
14	Ciment 10-32 avec excès de chaux. . . .	0,168	»	0,044	»	0,505	»	»	0,280	

Après leur sortie de l'eau, les éprouvettes ont été séchées à basse température sur le couvercle d'une étuve, puis elles ont été broyées de façon à passer à travers le tamis à 5 000 mailles.

Avec le ciment ainsi pulvérisé, on a formé une pâte, comme on l'a dit plus haut. Cette pâte assez consistante a été moulée par pression sous forme de barrettes. Ces barrettes, mesurées et pesées, ont été placées sur une feuille de papier à filtre maintenue humide. Le tout a été recouvert d'une cloche pour éviter l'évaporation et l'accès de l'acide carbonique.

Les barrettes ont augmenté de volume et de poids. L'augmentation de volume et de poids, assez rapide au début de l'expérience, paraît stationnaire au bout de quelques jours, pour se manifester de nouveau. L'allongement des barrettes peut, avec le temps, atteindre 39 p. 100.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU N° II

Résumant les essais de ciment Portland avec le sulfate de chaux.

	DÉSIGNATION des CIMENTS.	DURÉE de L'EXPÉRIENCE.	CIMENT ANHYDRE SO^3 fixé.	CIMENT HYDRATÉ. ALLONGEM. p. 100.	CIMENT HYDRATÉ. SO^3 pouvant être fixé.	CIMENT HYDRATÉ. SO^3 fixé.	CIMENT HYDRATÉ. PERTE au feu.	OBSERVATIONS.
1	Ciment avec excès de chaux.	»	»	»	0,088	»	0,360	
		17 jours	0,038	»	»	»	»	
		1 mois	»	18,8	»	0,095	»	
		1 mois 1/2	»	»	»	0,104	»	»
		2 mois	»	»	»	0,111	»	
		4 mois 1/2	»	»	»	0,132	»	
		6 mois	»	»	»	0,145	»	
2	Autre ciment avec excès de chaux.	»	»	»	0,106	»	0,280	
		1 mois	0,050	16	»	0,074	»	
		2 —	»	»	»	0,101	»	»
		3 —	»	28,5	»	0,108	»	
		6 —	»	»	»	0,158	»	
3	Ciment avec excès d'argile.	»	»	»	0,101	»	0,289	
		1 mois	0,052	18	»	0,071	»	
		4 —	»	26	»	0,112	»	»
		6 —	»	26	»	0,135	»	
4	Ciment Lonquety. Enduits.	»	0,057	»	0,120	»	0,240	Voir n° 10.
		19 jours	»	»	»	»	»	
		1 mois	»	22	»	0,104	»	
		45 jours	»	»	»	0,148	»	
		2 mois 1/2	»	25	»	0,174	»	
		5 mois	»	»	»	0,191	»	
		7 —	»	»	»	0,212	»	
5	Ciment de Mantes (non tamisé).	»	»	»	0,146	»	»	
		25 jours	0,071	»	»	»	0,230	
		1 mois	»	25	»	0,130	»	
		1 mois 1/2	»	»	»	0,159	»	»
		2 mois	»	»	»	0,168	»	
		4 —	»	»	»	0,186	»	
		8 —	»	»	»	0,195	»	
6	Le même ciment passé au tamis 5000 mailles.	»	»	»	0,143	»	0,250	
		25 jours	0,087	»	»	»	»	
		1 mois	»	34	»	0,134	»	
		2 mois 1/2	»	»	»	0,159	»	»
		5 mois	»	»	»	0,188	»	
		7 —	»	»	»	0,186	»	
7	Ciment du port du Havre (non tamisé).	»	»	»	0,137	»	0,235	
		1 mois	»	23	»	0,128	»	
		1 mois 1/2	»	»	»	0,148	»	»
		53 jours	0,084	»	»	»	»	
		4 mois 1/2	»	»	»	0,196	»	
		8 mois	»	»	»	0,194	»	
8	Le même ciment passé au tamis 5000 mailles.	»	»	»	0,129	»	0,250	
		8 jours	»	7	»	0,084	»	
		22 —	»	25	»	0,100	»	
		2 mois 1/2	»	39	»	0,119	»	»
		5 mois	»	39	»	0,157	»	
		8 —	»	»	»	0,194	»	
		11 —	»	»	»	0,198	»	
9	Ciment Ruoms.	»	»	»	0,082	»	0,280	
		45 jours	0,048	»	»	»	»	
		2 mois 1/2	»	19,4	»	0,067	»	»
		5 mois	»	»	»	0,108	»	
		10 —	»	»	»	0,151	»	
10	Ciment Lonquety. Macomerie.	»	»	»	0,132	»	0,255	Voir n° 4.
		25 jours	0,068	»	»	»	»	
		40 —	»	32	»	0,121	»	
		3 mois	»	»	»	0,135	»	
		5 —	»	»	»	0,193	»	
		8 —	»	»	»	0,209	»	
11	Ciment anglais.	»	»	»	0,139	»	0,220	La pâte a durci. Elle n'a plus augmenté de volume, et la quantité de SO^3 fixe est restée stationnaire, celle du ciment hydraté diffère peu de celle du ciment anhydre.
		21 jours	0,070	7,7	»	»	»	
		2 mois	»	7,7	»	0,084	»	
		9 —	»	»	»	0,082	»	
12	Fourmantraux. Desvres.	»	»	»	0,137	»	0,220	
		25 jours	0,072	»	»	»	»	
		3 mois	»	32	»	0,146	»	»
		7 —	»	»	»	0,191	»	
13	Ciment de laboratoire 2/7	17 jours	»	34	0,235	0,197	0,277	
		1 mois	0,228	»	»	»	»	
		1 mois 1/2	»	»	»	0,204	»	»
		2 — —	»	»	»	0,321	»	
14	Ciment de laboratoire 10-32.	»	»	»	0,103	»	0,280	
		17 jours	»	22	»	0,110	»	
		1 mois	0,160	»	»	»	»	»
		2 —	»	»	»	0,157	»	

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Après un certain temps, les barrettes ont été de nouveau mesurées et pesées. Une portion correspondant à un gramme de ciment a été prélevée pour servir au dosage de SO^3 fixé.

Le reste de la barrette a été replacé sur le papier humide, pour servir plus tard à d'autres dosages de SO^3, jusqu'à ce que la quantité de SO^3, étant devenue constante, indique la fin de la réaction.

Nous avons résumé dans le tableau n° 2 les résultats de ces expériences.

Les ciments non hydratés fixent dans le même temps moins de SO^3 que les ciments hydratés. Entre vingt et trente jours, la quantité de SO^3 fixé est environ la moitié de ce que fixerait leur alumine si elle était entièrement à l'état d'aluminate de chaux.

Après un temps qui varie de un mois à trois mois, les ciments hydratés ont fixé une quantité de SO^3 équivalente à celle du sulfate de chaux nécessaire pour transformer toute leur alumine en sulfo-aluminate à trois équivalents de sulfate de chaux. On serait tenté de croire que l'on est arrivé au terme de l'expérience; mais, en la prolongeant, la quantité de SO^3 considéré comme fixé augmente encore, et dans une assez forte proportion, comme l'indique le tableau n° 2.

Cette augmentation, qui se produit de la même façon sur tous les échantillons, ne peut être attribuée à une erreur d'expérience.

Il y a d'ailleurs une certaine concordance entre deux opérations faites à deux mois d'intervalle sur deux échantillons d'un même ciment (le ciment de Mantes, n^{os} 5 et 6).

L'un de ces échantillons n'avait pas été passé au tamis 5 000 mailles. Au bout d'un mois, la quantité de SO^3 fixé est 0,130 pour l'une et 0,134 pour l'autre, ce qui est sensiblement la même chose. Après un mois et demi pour l'un et deux mois et demi pour l'autre, on a, dans les deux cas, 0,157. D'après le calcul, il ne devrait y avoir que les 0,143 de SO^3 fixé.

La même concordance a lieu sur deux échantillons du ciment du port du Havre après huit mois (n^{os} 7 et 8).

En présence de cette augmentation toujours croissante de SO^3 fixé, nous avons, pour arriver plus vite à un maximum, fait intervertir la chaleur.

L'expérience a été faite dans des tubes d'essai bouchés et placés dans un bain-marie. Le ciment mis en expérience pouvait fixer 0,112 de SO^3.

Après 48 heures, il y avait 0,072 de SO^3 fixé.
Après 6 jours — 0,077 —

La température de 100° pouvant modifier l'hydrate d'aluminate de chaux et gêner la réaction, les tubes ont été retirés du bain-marie et placés dans l'eau maintenue entre 40 et 45°.

Au bout de deux mois, il n'y avait encore de fixé que 0,084 de SO^3, et 0,089

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

au bout de sept mois. Tandis, qu'avec le même ciment à froid, on avait obtenu 0,984 au bout de seize jours et 0,189 au bout de deux mois.

La chaleur avait activé la réaction dans les premiers jours de l'expérience ; mais, après le sixième jour, la réaction n'avait fait que des progrès insensibles. La quantité de SO^3 fixé est restée à peu près stationnaire, tandis que, dans les expériences à froid, elle augmente constamment.

On a dû rechercher si, dans les ciments, il n'y aurait pas d'autres corps que l'alumine capables de fixer de l'acide sulfurique, ou s'il ne se formerait pas un sulfo-aluminate à plus de trois équivalents de sulfate de chaux.

Nos recherches ont porté sur le silicate de chaux, le carbonate de chaux, le peroxyde de fer, le sulfo-aluminate de chaux et le ferrite de chaux.

Le silicate de chaux. — Obtenu en précipitant le silicate de soude par le chlorure de calcium et mis en pâte avec la moitié de son poids de sulfate de chaux, puis placé dans les mêmes conditions que les ciments. Au bout de cinq mois, la pâte n'avait pas augmenté de volume et n'avait fixé que des traces non dosables de SO^3.

Le mélange par parties égales de silicate de chaux et de sulfo-aluminate de chaux, traité de la même façon avec le sulfate de chaux, n'avait pas, au bout d'un mois, fixé de SO^3, et n'avait pas augmenté de volume.

Le carbonate de chaux. — En faisant digérer 50 grammes de carbonate de chaux précipité dans une solution de sulfate de chaux contenant $1^{gr},210$ de SO^3 par litre, le litre de cette solution, essayé de mois en mois, n'a pas varié pendant trois mois.

On a mis en présence le carbonate de chaux et le sulfate de chaux à l'état naissant en précipitant le sulfate d'ammoniaque additionné d'un excès de chlorure de calcium par le carbonate d'ammoniaque. Le précipité a été placé dans une quantité d'eau distillée suffisante pour dissoudre tout le sulfate de chaux qui aurait pu se former. Après filtration, le précipité avait retenu un peu de sulfate de chaux, qui s'est dissous peu à peu à la suite de macérations successives dans l'eau distillée. Il n'y a pas eu fixation de sulfate de chaux.

Peroxyde de fer. — 2 grammes environ de peroxyde de fer (1) ont été mis en digestion dans une dissolution de sulfate de chaux dans l'eau de chaux. La liqueur, qui renfermait $0^{gr},80$ de SO^3 par litre, n'en contenait plus que 0,46 au bout de deux mois. Le titre de la liqueur est resté stationnaire encore pendant deux mois. Le précipité recueilli et lavé a été traité à plusieurs reprises par 500 grammes d'eau distillée. Il a abandonné peu à peu presque tout le sulfate de chaux qu'il contenait. Lorsque l'eau distillée n'a plus dissous que des traces de SO^3, le précipité a été traité par HCl. Il ne renfermait plus que $0^{gr},0034$

(1) Préparé à froid.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de SO^3 soit 0,0017 pour 1 gramme de peroxyde de fer : résultat à peu près négatif.

Sulfo-aluminate de chaux. — Ce corps a été mis en pâte avec la moitié de son poids de sulfate de chaux et traité comme les ciments. Le sulfo-aluminate de chaux seul renfermait *0gr,190* de SO^3. Après trois mois, il n'y a pas eu augmentation de volume et on a trouvé, comme SO^3 fixé, *0,187*, c'est-à-dire celui du sulfo-aluminate. Il n'y avait pas eu fixation de SO^3.

Ferrite de chaux. — Le ferrite de chaux a été préparé en précipitant l'azotate de fer par un lait de chaux de façon à former $Fe^2O^3,4CaO$.

Ce ferrite, devenu parfaitement blanc, a été mis dans une solution de sulfate de chaux. Cette solution s'est appauvrie peu à peu. Lorsque la teneur en sulfate de chaux est devenue à peu près constate, on a filtré et recueilli le précipité qui a été lavé et mis en digestion pendant un mois dans *500* centimètres cubes d'eau distillée. On a filtré et renouvelé l'opération de mois en mois pendant six mois.

Les quantités de SO^3 dissoutes ont été les suivantes :

	grammes.
1re macération.	0,041
2e —	0,021
3e —	0,011
4e —	0,009
5e —	0,005
6e —	0,006

L'eau distillée ne dissolvant plus que des quantités très faibles de SO^3, le précipité a été traité par HCl. Il contenait :

Peroxyde de fer.	1,00
Chaux.	1,65
Acide sulfurique.	0,38

Il manque un peu de chaux pour former les éléments du ferrite et du sulfate de chaux (il faudrait 1,665 au lieu de 1,65).

Le ferrite de chaux paraît donc fixer du sulfate de chaux.

De tous les corps qui entrent dans la composition des ciments ou qui peuvent s'y former, il ne paraît y avoir, indépendamment de l'aluminate de chaux, que le ferrite de chaux qui pourrait fixer du carbonate de chaux (1). Mais on a vu que le carbonate de chaux à l'état naissant et le peroxyde de fer précipitent de petites quantités de sulfate de chaux, qui résistent en un premier lavage, et que l'on ne peut enlever que par des macérations plusieurs fois répétées dans l'eau distillée. On a dû rechercher si, dans les expériences sur les ciments, le même fait ne se produirait pas, et si l'excès de sulfate de chaux, considéré comme fixé,

(1) Ce corps ne paraît pas exister dans les ciments de Portland.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ne serait pas seulement retenu dans la pâte, qui est devenue très compacte, et que l'on ne parvient à développer qu'en l'écrasant avec le doigt.

Avant de doser SO^3, on a fait digérer la portion de pâte correspondant à 1 gramme de ciment dans 500 centimètres cubes d'eau distillée pendant quarante-huit heures, puis pendant huit jours. L'eau distillée ne paraissait avoir dissous que des traces négligeables de SO^3. Cependant, après deux mois, l'eau distillée avait dissous $0^{gr},050$ de SO^3.

Le ciment pouvait fixer 0,143 de SO^3. La pâte en avait retenu précédemment 0,186. Par des digestions successives, elle en a abandonné à l'eau distillée :

	grammes.
Au bout de deux mois.	0,050
Elle en retenait encore.	0,126
Total	0,176

On devrait retrouver 0,186, mais les traces de SO^3 dissous dans les digestions précédentes n'ont pas été dosées.

Ce qu'il convient de remarquer, c'est, qu'après les digestions dans l'eau distillée, la pâte ne retenait plus que 0,126 de SO^3, quantité inférieure à ce que pouvait fixer l'alumine du ciment.

Une autre pâte d'un ciment qui pouvait fixer 0,106 de SO^3 et qui en avait retenu 0,181 a été soumise à des macérations successives dans 500 centimètres cubes d'eau distillée.

Pendant la 1re macération qui a duré 3 jours l'eau distillée avait dissous	0,011	de SO^3
Pendant la 2e qui a duré 5 jours.	0,003	—
— la 3e — 5 —	0,004	—
— la 4e — 4 —	0,007	—
— la 5e — 14 —	0,016	—
— la 6e — 5 —	0,013	—
Total en 37 jours.	0,054	—

On a remplacé l'eau distillée par de l'eau chargée de chaux. Après trois macérations, chacune de quarante-huit heures, l'eau de chaux n'avait pas dissous de traces de SO^3. On a repris l'eau distillée qui a continué de se charger de SO^3; après quatre macérations, l'eau distillée avait enlevé au précipité $0^{gr},020$ de SO^3. L'expérience se poursuit. Si l'on retranche l'acide sulfuriqne dissous par ces différentes macérations, soit $0,0524 + 0,020 = 0,074$ de 0,181, on a 0,107, qui correspond presque exactement à la quantité de SO^3 que peut fixer le ciment. L'eau distillée va continuer son action dissolvante ou décomposante, car elle décompose le sulfo-aluminate de chaux.

Une autre portion de pâte correspondant à 0,778 de ciment et pouvant fixer 0,111 de SO^3 a été soumise à des macérations dans l'eau de chaux étendue de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

son volume d'eau. Lorsque l'eau de chaux n'a plus présenté de traces de SO^3 le précipité a été traité par le chlorhydrate d'AzH^3; après filtration, on a dosé l'acide sulfurique fixe, on a trouvé 0,114, ce qui est très voisin de 0,111.

Dans une autre expérience en cours, l'eau de chaux dissout, pendant chaque macération de quarante-huit heures, de 0,002 à 0,003 de SO^3.

Il paraît donc évident que, indépendamment de SO^3 fixé par l'aluminate de chaux, la pâte retient elle-même du sulfate de chaux assez fortement pour qu'il résiste au simple lavage du précipité.

Ces expériences seront poursuivies, mais sur des échantillons conservés complètement à l'abri de l'acide carbonique. Cet acide décompose le sulfo-aluminate en mettant le sulfate de chaux en liberté comme l'indique l'expérience suivante :

Un ciment dont la pâte avait été mal préservée de CO^2 avait fixé les quantités suivantes de SO^3 :

	grammes.
Après 40 jours.	0,067
— 80 —	0,129
— 4 mois.	0,092
— 6 —	0,061

La quantité de SO^3 fixé décroît à partir du quatrième mois. Après six mois, la portion de pâte, correspondant à un gramme de ciment, contenait 0,210 de CO^2.

En résumé, les ciments anhydres fixent plus lentement le sulfate de chaux que les ciments hydratés.

Avec les ciments hydratés, indépendamment du sulfate de chaux fixé par l'aluminate de chaux, la pâte de ciment et de sulfate de chaux maintenue humide retient une quantité de sulfate de chaux, insoluble dans une quantité d'eau suffisante, qui augmente avec le temps, et qui peut rendre inexact le dosage de SO^3 fixé par l'aluminate de chaux.

Le même fait se produit avec des ciments théoriques, préparés à l'École des Mines, et ne renfermant que de la silice, de l'alumine et de la chaux. Il est particulier aux ciments, car on a vu que les pâtes faites isolément avec du sulfate de chaux et du silicate de chaux; du sulfate de chaux et du carbonate de chaux; du sulfate de chaux et du sulfo-aluminate de chaux et même avec un mélange de silicate de chaux et de sulfo-aluminate de chaux, ne retenaient pas de sulfate de chaux.

Dans les expériences relatées ci-dessus, on a employé, pour un gramme de ciment, $0^{gr},500$ de sulfate de chaux à 2 équivalents d'eau. Dans ces conditions, la plus grande quantité de SO^3 qui puisse être fixé serait de $0^{gr},232$; on peut remarquer que, dans la plupart des expériences, on approche de cette limite (ciments n^{os} 4, 5, 7, 8, 10, 12).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

D'après cela on peut supposer que toute l'alumine du ciment se trouve à l'état d'aluminate de chaux, puisque cet aluminate arrive à fixer assez de sulfate de chaux pour se transformer entièrement en sulfo-aluminate de chaux. Cette transformation, que l'on suit par le dosage de SO^3, a lieu progressivement, et on n'en reconnaît la fin que lorsque la quantité de SO^3 retenue par la pâte dépasse celle qui pourrait être fixée si la totalité de l'alumine se trouvait à l'état d'aluminate.

On ne peut reconnaître si, au début de l'expérience, tout ou une partie de l'alumine se trouve à l'état d'aluminate.

Lorsque la quantité de SO^3 retenue par la pâte dépasse les prévisions du calcul, on peut, par des macérations successives et prolongées dans l'eau de chaux, dissoudre l'excès du sulfate de chaux. Lorsque l'eau de chaux ne donne plus de traces de SO^3, le dosage de l'acide sulfurique fixé se rapproche des chiffres donnés par le calcul.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ARTS CHIMIQUES

VALEUR RELATIVE, AU POINT DE VUE DU TANNAGE, DES DIFFÉRENTES MATIÈRES TANNANTES; LEUR RAPIDITÉ POUR TANNER ET DONNER DU POIDS AVEC DES INDICATIONS SUR LEUR QUALITÉ. (*Recherches de l'Association des négociants en cuir. Laboratoire de recherches des industries du cuir de Londres, Institut Hérold. S. E.*). Mémoire paru dans le *Journal of the Society of chemical industry*, 31 mai 1901, p. 426.

Cette étude fut entreprise à la demande de M. C. E. Parker, qui, avec l'honorable compagnie des négociants en cuir, du col. S. B. Berington et du comité de l'éducation technique, pourvut aux fonds nécessaires pour mener à bien ce travail et aux honoraires des auteurs de ces recherches.

Les lignes d'après lesquelles nous arrêtâmes ce travail en vue de trouver les matières qui produisaient le meilleur cuir pour les différents usages et de constater leur rapidité de tannage, devaient nécessairement être contrôlées par l'analyse chimique. En conséquence, la première partie du travail devait être faite au laboratoire pour voir si la méthode moderne d'analyse du tannin et du pouvoir tannant, établie d'après les règles de l'Association internationale des chimistes du commerce des cuirs, était correcte, si elle pouvait être considérée comme donnant la valeur tannante d'un extrait d'une matière tannante et si les résultats obtenus dans une analyse d'un échantillon de matière tannante étaient admissibles dans la pratique.

Dans la méthode ordinaire d'analyse avec la peau en poudre, la solution de tannin ou la solution de la matière à analyser est prise d'une force qui n'excède pas beaucoup 0,3 p. 100 de tannin. Évidemment, si on prend seulement 100 centimètres cubes de la liqueur, dans le procédé de tannage et 7 grammes de peau en poudre, on emploie un très grand excès de peau en poudre, bien plus que suffisant pour absorber toute trace du tannin ou des matières tannantes. C'est pourquoi il fut décidé de vérifier l'exactitude du procédé en prenant, pour un poids donné de peau en poudre, un large excès de liqueur tannante, de force connue, de déterminer le poids du cuir ainsi produit, de déterminer par le procédé Kjeldahl la proportion d'azote dans le cuir qui en résulte et de calculer, d'après le poids de la peau en poudre employée, le poids du cuir qui aurait été produit; enfin, de déterminer par l'analyse la quantité de matière soluble dans la liqueur qui a été absorbée, afin de voir si les résultats concordaient. S'ils concordaient avec tout degré d'exactitude, il était établi, d'une manière parfaite et absolue, que cette méthode d'analyse à la peau en poudre, comme on l'emploie actuellement, constitue une méthode exacte d'analyse et donne au tanneur la valeur absolue d'un extrait ou d'une matière tannante.

Un autre point que l'on espérait élucider et qui n'a pas été étudié antérieurement, était de savoir si les matières solubles, en dehors du tannin, d'une matière tannante

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ou d'un extrait jouaient un rôle important dans la formation du cuir, et, de plus, de déterminer quelle quantité de tannin était combinée avec la peau en poudre et ne pouvait en être enlevée par lavage; enfin, d'autre part, combien de tannin était attiré purement physiquement, et déposé mécaniquement sur les surfaces de la fibre et dans les pores.

Ce travail préliminaire fut exécuté d'abord en employant une solution contenant 2 p. 100 de tannin, puis 4 p. 100 et ensuite 10 p. 100; on opéra sur de la peau en poudre, et, ensuite, sur des râpures grossières de peau.

Les opérations furent conduites comme il suit : on prit 250 centimètres cubes de liqueur tannique, de force telle qu'elle contenait exactement 4 p. 100 de tannin, et, dans un cylindre en verre d'une capacité de 2 litres, on plaça 10 grammes de peau en poudre et 250 centimètres cubes d'eau. Ce cylindre de verre fut fixé dans un appareil à agiter, et agité pendant une heure, jusqu'à ce que la peau en poudre fût complètement gonflée. Ensuite, à des intervalles d'une demi-heure, avec un mouvement régulier, on ajouta 50 centimètres cubes de la liqueur, jusqu'à ce que toute la liqueur ait été employée. L'appareil fut mis en mouvement encore une heure; enfin, après trois heures, le tannage était complet, et il fut constaté que c'était suffisant. D'autres expériences furent faites pendant six heures, mais elles donnèrent les mêmes résultats. On remarque de plus que 250 centimètres cubes d'une solution à 4 p. 100, plus 250 centimètres cubes d'eau, font 500 centimètres cubes d'une solution à 2 p. 100 de tannin pour 10 grammes de poudre en peau.

Le tout fut alors retiré du cylindre, placé sur un large entonnoir fermé avec de la laine de verre et laissé égoutter douze heures, puis bien pressé. Le cuir fut alors pesé et, une portion étant prise pour la détermination de l'humidité, on le calcula à l'état sec. Une portion du cuir ainsi formé fut prise et lavée sur un entonnoir avec un litre d'eau distillée; le cuir restant fut pesé de nouveau, après égouttage, et on détermina l'humidité. Nous obtenons ainsi le poids actuel de cuir sec produit, et, secondement, la quantité actuelle de cuir après lavage ou, en d'autres termes, la quantité de tannin combiné d'une manière permanente avec la peau en poudre.

La liqueur filtrée du premier égouttage fut analysée, et, par différence avec sa force primitive, nous avons la quantité absorbée par la peau en poudre; l'eau de lavage donne ce qui est enlevé par le lavage. Tous ces éléments, calculés comme on le voit dans le tableau A, coïncident, d'une manière tout à fait concluante.

Le cuir, avant et après lavage, fut ensuite examiné par la méthode Kjeldahl, et, d'après les résultats obtenus, on calcula la quantité de tannin absorbée par rapport au poids initial de la peau en poudre. En comparant ces trois résultats réunis dans le tableau A, pour une solution à 2 p. 100, on remarquera que les chiffres coïncident avec un degré d'exactitude auquel les critiques de la méthode d'analyse par la peau en poudre ne se sont jamais attendus.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU A

Solution à 2 p. 100 en 10 grammes de peau en poudre avant lavage.

Matières.	Poids obtenu par analyse.	Poids obtenu par détermination de l'azote.	Poids évalué directement.	Gain en poids.
	gr.	gr.	gr.	p. 100.
Extraits de bois de chêne.	21,6	21,5	21,7	141
— de châtaignier (non décoloré). . .	20,7	20,9	20,9	132
— — décoloré.	20,2	20,0	20,1	123
— de quebracho.	26,0	26,0	25,9	187
— d'hemloch brut.	22,2	22,1	22,1	145
— — décoloré.	23,2	22,7	23,2	157
Après lavage.				
	gr.	gr.	gr.	Perte de poids par le lavage. p. 100.
Extraits de bois de chêne.	15,9	16,2	15,8	27
— de châtaignier (non décoloré. . .	16,8	17,3	17,3	20
— — décoloré.	15,8	15,5	15,2	22
— de quebracho.	20,2	19,4	19,7	24
— d'hemloch brut.	17,8	17,7	18,0	19
— — décoloré.	17,7	17,9	18,2	22

Des séries d'expériences semblables furent faites d'une manière identique, en employant une solution à 4 p. 100 et finalement. une solution à 10 p. 100. En comparant ces tableaux, on constate une correspondance semblable entre le poids final, les résultats par la méthode Kjeldahl et la perte de force montrée par l'analyse.

TABLEAU B

Solution à 4 p. 100.

	Avant lavage.				Après lavage.			
Matières.	Poids par l'analyse.	Poids par détermination de l'azote.	Poids évalué directement.	Gain en poids.	Poids par l'analyse.	Poids par détermination de l'azote.	Poids évalué directement.	Perte de poids par lavage.
	gr.	gr.	gr.	p. 100.	gr.	gr.	gr.	gr.
Vallonnée.	23,8	24,5	24,5	181	15,9	16,4	16,4	33
Myrobalan.	20,3	20,5	20,5	135	14,9	15,0	15,1	26
Écorce de chêne. .	26,3	26,7	26,7	207	19,0	19,0	19,0	29
Mimosa.	21,6	21,3	21,3	145	15,2	14,9	14,5	32
Bois de quebracho..	23,1	23,1	23,2	166	17,5	17,8	17,8	24
Racine de canaigre.	28,6	33,1	33,5	274	18,6	19,9	20,3	39
Solutions à 10 p. 100.								
Extrait de bois de chêne.	30,3	29,8	30,8	242	17,8	17,9	18,8	39
Extrait de châtaignier, non décoloré.	28,6	28,8	30,2	235	17,7	17,7	18,3	39
Extrait de châtaignier décoloré. .	28,0	28,5	29,6	229	16,9	17,3	17,3	40
Quebracho décoloré.	40,7	40,9	40,9	354	27,1	27,3	27,2	33
Hemloch brut. . . .	31,8	31,6	34,3	270	22,9	22,4	23,4	31
Hemloch décoloré..	34,3	34,8	34,9	313	19,9	19,7	19,9	58

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pour faire un travail encore plus exact, on exécuta une seconde série d'expériences sur une échelle un peu plus grande. A cet effet, on prit des copeaux ou des raclures de peau en quantité légèrement plus grande, avec un plus grand volume d'eau. On prit 15 grammes de raclures de peau et on les traita avec un litre de solution à 4 p. 100 faite avec douze matières tannantes différentes. Toutes les expériences furent menées identiquement comme précédemment, c'est-à-dire que les raclures furent gonflées avec de l'eau et les solutions tannantes furent introduites successivement et graduellement.

Comme les morceaux de peau étaient plus gros, le temps fut plus long, et le poids obtenu, le montant du tannin non combiné et du tannin combiné furent reconnus exactement les mêmes comme ci-dessus.

TABLEAU C

Raclures de peau.

Solutions à 4 p. 100.

Matières.	Poids total. D'après l'analyse.	Poids final.	Gain en poids.	Après lavage. D'après l'analyse.	Poids final.	Perte par lavage.
	gr.	gr.	p. 100.	gr.	gr.	p. 100.
Vallonnée	33,8	35,8	190	24,0	24,2	32
Myrobalan	29,1	28,3	126	20,7	20,1	29
Écorce de chêne	56,0	51,8	322	30,2	30,2	41
Mimosa	40,8	40,6	223	27,6	27,0	33
Bois de quebracho	40,0	40,8	226	17,9	17,2	57
Extrait de quebracho	40,9	41,4	227	29,6	29,8	28
Racine de canaigre	37,8	38,2	205	31,1	31,2	19
Extrait de châtaignier décoloré	32,0	32,3	164	25,4	25,6	27
Bois de chêne décoloré	39,9	39,8	223	27,8	27,2	31
Bois de chêne brut	41,1	40,8	231	28,4	28,7	29
Hemloch décoloré	44,0	43,8	251	20,9	20,6	53
— brut	42,0	42,5	245	30,4	30,5	28

En comparant les analyses de la liqueur avant et après, on trouve que les matières autres que le tannin jouent certainement un rôle important dans le tannage, et, sous une forme ou une autre, elles entrent en combinaison pour former du cuir. Mais, dans plusieurs cas, on constate que le montant de la matière insoluble augmentait fréquemment pendant le tannage. Pour en trouver la cause, on entreprit une autre série de recherches menées comme il suit :

On prépara fraîchement une solution forte de Vallonnée, pendant les mois d'été, avec de la bonne Vallonnée de Smyrne et on l'analysa. La densité de la liqueur était 1,095. Un échantillon de cette solution fut retiré du fût et mis dans une bouteille qui fut placée dans le laboratoire, bien bouchée, dans un endroit chaud, mais à l'abri de la lumière. Le gros de la solution fut conservé dans le fût, couvert avec une couche d'huile d'environ un quart de pouce pour empêcher l'évaporation. A peu de jours d'intervalle, la solution était bien agitée afin que l'air eût un libre accès; le fût était placé dans un endroit frais. Ni moisissures, ni décomposition ne se montrèrent pendant l'expérience. De temps en temps on fit des analyses des solutions du fût et de la bouteille, la dernière analyse étant faite au cœur de l'hiver. L'échantillon du laboratoire, après un repos de cinq mois, fut placé au dehors pendant quatorze jours, à la lumière, à l'air et au froid. Les tableaux suivants montrent les résultats analytiques obtenus.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Analyse du liquide du fût.

Vallonnée.	Liqueur récemment préparée.	Après 56 jours.	Après 91 jours.	Après 132 jours.	Après 153 jours.	Après 191 jours.
Substances tannantes. . .	14,64	11,97	11,40	10,76	10,98	10,80
Matières non tannantes. .	6,60	6,64	6,72	6,88	6,70	6,80
Matières insolubles. . . .	0,64	2,81	3,68	3,84	4,34	4,52
Eau	78,12	78,58	78,20	78,52	77,98	77,88
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Pourcentage de la perte en force tannante.	»	18,24	23,13	26,64	25,00	26,23

Analyses de l'échantillon du laboratoire.

Substances tannantes. . .	14,64	13,16	12,74	12,22	12,06	»
Matières non tannantes. .	6,60	6,56	6,62	6,46	6,36	»
Matière insoluble.	0,64	1,78	1,76	2,28	2,38	»
Eau	78,12	78,50	78,88	79,04	79,20	»
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	»
Pourcentage de la perte en force tannante.	»	10,11	12,98	16,53	17,75	»

Analyse ultérieure de l'échantillon 6 du laboratoire exposé pendant quatorze jours après un repos de cinq mois.

Substances tannantes.	12,34
Matières non tannantes.	6,34
Matière insoluble.	2,58
Eau..	78,74
	100,00

Comme on le voit dans ce dernier tableau, l'exposition à la lumière, au froid et à l'air, pendant quatorze jours, de la solution de l'échantillon du laboratoire. après un repos de cinq mois, ne semble pas avoir un effet appréciable. L'échantillon, cependant, montre une perte de 17,75 p. 100 de force en tannin, après le repos de cinq mois, et cette perte, quelque considérable qu'elle soit, n'est pas égale à la perte du liquide du fût, après un repos qui n'était pas inférieur à deux mois. La perte, dans le cas du liquide du fût, semblerait avoir atteint son maximum après un laps de temps de 19 semaines.

Des expériences similaires furent faites avec une solution de Myrobalan fraîchement préparée, qui avait, au début, une densité de 1,096. Les mêmes précautions furent prises avec cette solution; les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Myrobalan.	Liqueur fraîchement préparée.	Après 11 jours.	Après 53 jours.	Après 88 jours.	Après 129 jours.	Après 150 jours.	Après 188 jours.
Substances tannantes. . .	14,66	12,66	11,96	11,48	11,30	11,22	11,40
Matières non tannantes. .	5,98	7,44	7,58	7,48	7,46	7,46	7,46
Matière insoluble.	1,52	2,06	2,81	3,06	3,24	3,44	3,24
Eau..	77,84	77,84	77,65	77,98	78,00	77,88	77,90
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Pourcentage de la perte en force tannante.	»	13,64	18,42	21,69	22,92	23,66	22,23

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On voit encore ici une très grande perte de force tannante, quoique cette perte ne soit pas aussi forte qu'avec la Vallonnée, et le maximum ne semble pas avoir été atteint en plus de trois semaines. Il est, cependant, intéressant de noter le rapide accroissement des matières non tannantes après un repos ne dépassant pas onze jours, accroissement qui est de 24 p. 100.

Un fût de solution de Mimosa fut essayé de même; fraîchement préparée, la liqueur avait une densité de 1,058. On remarquera que cette liqueur se présente comme toute différente des autres; sa perte totale en force tannante, après un repos de neuf mois, était un peu inférieure à 2 p. 100.

Mimosa.	Liqueur fraîchement préparée.	Après 118 jours.	Après 254 jours.
Substances tannantes	11,16	11,14	10,94
Matières non tannantes	4,92	4,80	4,58
Matière insoluble..	0,10	0,12	0,56
Eau..	83,82	83,94	83,92
	100,00	100,00	100,00
Pourcentage de la perte en force tannante.	»	0,179	1,97

Les analyses données dans ces tableaux furent faites en double, en employant la même peau en poudre, qui était conservée dans un flacon bien bouché.

Les trois substances choisies sont caractéristiques de leurs classes; les Myrobalans sont une des matières les plus communes des séries des tannins du pyrogallol; le Mimosa représente les tannins du Catéchol, et la Vallonnée, comme l'écorce de chêne, possède les éléments caractéristiques de ces deux classes de tannins.

La matière insoluble, déposée de ces liqueurs, fut trouvée, comme on s'y attendait, être de l'acide ellagique, connu d'autre part, en tannage, sous le nom de fleur (*bloom*). Celle-ci est une matière extrêmement importante pour la fabrication du cuir, car les praticiens ont généralement supposé que la fleur, ou acide ellagique, était formée par la décomposition ou le dédoublement des matières autres que les tannins et non pas aux dépens des tannins. Les résultats précédents montrent, cependant, que toute la décomposition se fait seulement aux dépens des tannins. Ce qui explique pourquoi une liqueur, après un séjour sur les peaux, dans la fosse ou dans une fosse sans peaux, devient douce et moins astringente ; ils expliquent aussi pourquoi, un lot de peaux tannées étant placé dans une solution forte et récemment préparée de Vallonnée et laissé en repos pendant un mois, les peaux, à la fin, n'avaient pas augmenté pratiquement de poids, mais, si la liqueur est analysée avant et après, on trouvera qu'elle a perdu environ 10 p. 100 de sa force tannante. Jusqu'à présent, les tanneurs ont été généralement sous l'impression qu'une grande quantité de tannin était perdue, soit par fermentation, soit par d'autres causes; mais les résultats précédents montrent que le tannin n'est pas perdu, sauf dans le sens qu'il s'est décomposé en acide ellagique, qui se dépose dans et sur le cuir et dans les liqueurs.

Une autre conclusion pratique à tirer des résultats précédents est que, comme une liqueur tannante fraîche dépose rapidement de la fleur, la liqueur doit être préparée aussi rapidement que possible et employée fraîche sur les matières depuis longtemps en couches. Il n'est probablement pas prudent, dans le tannage du cuir de semelle, de pomper les liquides des couches inférieures pour les ramener à la partie supérieure,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

parce que, dans ces conditions, la fleur, qui est une substance donnant du poids, se filtre dans les lessives, et la liqueur, en retournant aux matières, ne possède plus le même pouvoir au point de vue du poids à donner, comme si c'était une liqueur fraîchement préparée. Pour cette raison, aussi bien que pour les autres, il est meilleur de passer ces couches de liquides au travers de la fosse à tan, au lieu de les renvoyer aux lessives.

Tout le travail précédent fut fait en double, et, dans certains cas, en triple. Chaque analyse, par tannage ou par la méthode de Kjeldahl, fut faite en double sur des échantillons doubles, ce qui représente plus d'une année de travail.

Nous avons la prétention d'avoir réussi à prouver, malgré les erreurs ordinaires d'expérience, que la méthode à la peau en poudre, telle qu'on l'emploie actuellement, est une représentation exacte de l'aptitude d'une matière tannante à former du cuir; que l'excès de tannin employé n'entraîne pas de différences pratiques sur les résultats, à l'exception, naturellement, de former un poids plus grand; mais, dans le travail, les résultats sont proportionnels. Cependant, nous consentons à admettre que la matière citée, par les chimistes du commerce des cuirs, comme formée de snbstances solubles ne contenant pas de tannin, peut largement ajouter au poids du cuir, en étant retenue dans les interstices des fibres de la peau, mais elle ne se combine pas avec la fibre et peut être enlevée par lavage. Pour cette raison, un plus grand pourcentage de ces non-tannins solubles ajoutera à la valeur des matières tannantes par suite de la formation d'acides organiques qui engraisseut et gonflent la peau et facilitent ainsi le dépôt d'une plus grande quantité de tannin dans les fibres du cuir.

Partie pratique.

En vue de déterminer quelles relations existaient entre les résultats obtenus au laboratoire et ceux obtenus dans la pratique, nous instituâmes une série d'expériences.

Dans ce but, on se procura 24 peaux, toutes dans les mêmes conditions de pelanage et, autant qu'il fut possible, de caractères semblables, uniformes en grandeur, poids et épaisseur. Elles furent placées dans une solution nommée « *borophénol* » (préparée en dissolvant 2 p. 100 d'acide borique et 0,5 p. 100 de phénol) en vue d'enlever la chaux de la surface des peaux avant de les placer dans les jus.

En pratique, ce traitement par un agent décalcarifiant devient plus général. Jusqu'en ces derniers temps, on comptait que les liqueurs avaient une acidité suffisante pour enlever la chaux de la surface des peaux, mais l'usage du borophénol ou d'un autre agent décalcarifiant est à recommander. Les peaux étaient aspergées et bien lavées après ce traitement.

Les peaux, pour notre expérience, furent spécialement choisies bien à point, toutes aussi égales que possible en poids et qualité, amenées dans notre atelier à l'état connu, telles qu'elles sortent du pelanage. Chaque peau a été coupée (*rounded*), c'est-à-dire qu'on a enlevé les têtes et les autres parties accessoires, et elles avaient très exactement 6 pieds de long sur 4 pieds de large. Chacune fut coupée en 6 morceaux de 24 pouces carrés, sans avoir deux morceaux de la même peau dans la même cuve; par conséquent, chaque cuve contenait un lot de douze petits morceaux, chacun d'eux représentant une peau différente.

Avant de placer les peaux dans la décoction de tannin connue sous le nom de jus

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ou jusée (*suspender liquor*), chaque peau, comme il a été dit, avait été coupée en six morceaux, faisant un total de 144 pièces de peau, chacun mesurant 24 pouces sur 24. Comme on examinait 12 matières tannantes différentes, il était nécessaire d'avoir 12 cuves distinctes, correspondant à ces matières tannantes, et le tannage fut conduit jusqu'au bout dans chaque cuve.

Quand on travaille sur une grande échelle dans la tannerie, le cuir est généralement passé de cuve en cuve dans des liqueurs plus fortes. Dans le cas présent, manquant de place, on trouva plus commode de renforcer successivement les jus dans les mêmes cuves.

On donna la même force à chacun des jus, c'est-à-dire 0,25 p. 100 de tannin, ainsi qu'il a été déterminé dans la méthode de la peau en poudre, et cela sans avoir égard à la force de l'écorce. Les liqueurs furent uniformément renforcées en même temps. Après trois jours, les premiers jus furent renforcés par l'addition de $\frac{1}{8}$ pour 100 de tannin; après deux jours, la force fut augmentée de $\frac{1}{4}$ p. 100 de tannin. Les jus furent renforcés, à des intervalles de 3 à 4 jours, de $\frac{1}{4}$ p. 100 de tannin dans les cuves, jusqu'au 34e jour, où les pièces furent enlevées des perches auxquelles elles étaient suspendues, et la période de coudrement (*handler stage*) commença.

Une analyse des jus, ainsi qu'il est montré dans le tableau suivant, intéressera certainement comme fixant l'état de ces jus; mais, à cause de leur décomposition par le temps, ce qui forme des acides, etc., il est impossible de regarder leur analyse comme la mesure exacte de l'absorption du tannin par la peau.

	Aréomètre pour les extraits. (Barkomètre.) o	Substances tannantes. p. 100.	Matières non tannantes. p. 100.	Insoluble. p. 100.	Eau. p. 100.
Vallonnée.	12,5	1,18	1,12	0,48	96,92
Myrobalan.	12,5	1,82	1,30	0,32	96,56
Écorce de chêne.	9	1,17	0,89	0,26	97,68
Mimosa	5	1,13	0,37	0,08	98,42
Bois de quebracho.	4	1,02	0,40	0,06	98,52
Extrait de quebracho . . .	4	1,01	0,35	0,16	98,48
Canaigre.	11	1,22	1,46	0,21	97,11
Extrait de châtaignier.. . .	9	1,36	0,74	0,22	97,68
Bois de chêne..	12,5	1,56	1,26	0,26	96,92
— —	13	1,70	1,38	0,24	96,68
Hemloch.	9	1,32	1,12	0,14	97,42
Extrait d'hemloch..	9	1,15	1,27	0,14	97,50

Le degré de tannage que les jus accomplissent est dû à leur passage au travers de la peau, le trait principal étant la coloration des pièces et leur gonflement. En se reportant au tableau 4, on verra à quel degré le cuir est formé au 34e jour.

Comme résultat de la décomposition du tannin et des matières non tannantes, une certaine quantité d'acides est produite, et le degré d'acidité produite diffère d'après les matières tannantes employées. Cette acidité est due à un mélange d'acides acétique, propionique et lactique, et est extrêmement importante, le gonflement du cuir, dans les premières phases, en dépendant largement.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pour achever cette période des cuves de suspension (*suspender stage*), on a, pour chacune des douze décoctions tannantes, déterminé leur acidité, en titrant 10 centimètre cubes de la liqueur avec de l'eau de chaux titrée, par la méthode de Procter. On obtint les résultats suivants :

TABLEAU I

10 centimètres cubes de liquide.

Matières.	Eau de chaux. cc.	Expression en grammes d'acide acétique par litre.
Vallonnée	3,8	1,14
Myrobalan	14,4	4,32
Écorce de chêne	4,0	1,20
Mimosa	1,7	0,51
Bois de quebracho	2,3	0,69
Extraits de quebracho	1,9	0,57
Racine de canaigre	2,3	0,69
Extrait de châtaignier décoloré	2,4	0,72
— de bois de chêne décoloré	3,8	1,14
— — — non décoloré	3,9	1,17
Essence fluide d'hemloch	3,8	1,14
Extrait d'hemloch	7,5	2,25

La température des liquides des cuves était de 20° C.

Pour la seconde période (*handler stage*), les pièces sont placées à plat, l'une sur l'autre, dans les cuves et les liqueurs tannantes sont notablement rafraîchies; dans chaque cuve on ajoute une quantité de liqueur fraîche suffisante pour élever la force de 0,5 p. 100 du tannin actuel. Les liqueurs furent systématiquement renforcées tous les cinq à six jours avec 0,5 p. 100 de tannin en volume. A chaque addition de tannin frais, on retirait une quantité correspondante de la vieille liqueur. Dans cette période, comme le nom l'indique, les peaux étaient coudrées (*handled*) fréquemment en les retirant de la cuve, en les laissant égoutter sur le bord pendant quelque temps, puis en les remettant dans le liquide. En pratique, les peaux sont passées d'une cuve dans une autre, car on emploie une série de cuves. La durée de cette période de travail fut de 40 jours. La température des liquides était descendue à 17° C. par suite du temps plus froid.

Le tableau suivant montre la nature de ces liquides à la fin de cette période de travail.

TABLEAU II

	Barkomètre. o	Substances tannantes. p. 100.	Matières non tannantes. p. 100.	Insoluble. p. 100.	Eau. p. 100.
Vallonnée	22	2,27	1,77	1,04	94,92
Myrobalan	25	3,02	2,08	0,81	94,09
Écorce de chêne	19,5	1,72	2,20	0,45	95,63
Mimosa	11	2,00	0,84	0,26	96,90
Bois de quebracho	7	1,66	0,43	0,06	97,85
Extrait de quebracho	7	1,33	0,79	0,13	97,75
Canaigre	20	1,92	2,08	0,81	95,19
Châtaignier	15	1,98	1,12	0,55	96,35
Extrait de bois de chêne	19	2,20	1,96	0,34	95,50
Extrait de bois de chêne décoloré	20	2,49	2,01	0,32	95,12
Essence d'hemloch	13,5	1,98	1,50	0,16	96,36
Extrait d'hemloch	13,5	2,13	1,42	0,01	96,44

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On commença alors la période finale du tannage. Cette période est connue sous le nom de « mise en couches » (*layers*) ou de « mise en dehors des cuves » (*lay away pits*). Le but de la mise en couches est de communiquer de la fermeté, d'augmenter le poids du cuir et de déposer de l'acide ellagique ou fleur (*bloom*). Pour cette période, les pièces sont placées à plat, avec une couche de pierre ponce entre chacune d'elles; on choisit cette substance pour remplacer la matière tannante ordinairement employée. La pierre ponce joue le même rôle en permettant aux liqueurs de circuler librement entre les peaux, mais, par son caractère inerte, elle ne compliquait pas le problème en augmentant la force tannante des liquides, et, par un dépôt de fleur dans ou sur la peau, elle ne troublait pas la question de poids.

Dans cette période de travail, la force des liquides tannants est augmentée systématiquement à des intervalles définis, qui sont connus techniquement comme la première mise en couche, la deuxième mise en couche, la troisième, la quatrième, et ainsi de suite.

La force des liquides pour la première mise en couche était augmentée seulement de 0,5 p. 100 de tannin, et laissée pendant six jours, ce qui constitue la période de la première mise en couche. Pour la seconde mise en couche, la force était augmentée de 1 pour 100 de tannin et les peaux y restaient pendant sept jours. Avant la troisième mise en couche, toute la vieille liqueur était enlevée, les cuves nettoyées, et on remplissait de nouvelle liqueur; chacune des liqueurs fraîches avait la même force, et contenait 4 p. 100 de tannin. Pour la quatrième et dernière mise en couche, les liqueurs étaient renforcées par 1,5 de tannin, et les pièces y restaient seize jours; après quoi le tannage était complet.

Le tableau suivant donne les analyses des liqueurs de la quatrième mise en couche, quand le tannage était complet.

TABLEAU III

	Barkomètre. o	Substances tannantes. p 100.	Matières non tannantes. p. 100.	Insoluble. p. 109.	Eau. p. 177.
Vallonnée	33	3,13	2,75	1,56	92,56
Myrobalan	33,5	2,56	3,92	1,36	92,16
Écorce de chêne	45	3,42	5,30	1,24	90,04
Mimosa	24	3,96	1,84	0,60	93,60
Bois de quebracho	15,5	3,40	0,56	0,28	95,76
Extrait de quebracho	13	2,71	0,53	0,28	96,48
Canaigre	40	3,24	3,64	2,38	90,74
Extrait de châtaignier	27	3,64	1,48	0.80	94,08
Extrait de bois de chêne	32	3,26	3,18	0,88	92,68
Extrait de bois de chêne décoloré	33	3,28	3,58	0,84	92,30
Essence d'hemloch	24	3,46	2,38	0,48	93,68
Extrait d'hemloch	24	3,18	2,54	0,30	93,98

En réunissant dans des tableaux les résultats des analyses des liquides obtenus à chaque période, notre but n'est pas d'essayer de doser le tannin ajouté par une analyse systématique de ces liquides, parce que, comme nous l'avons déjà dit, une telle méthode ne pourrait être adoptée avec aucun degré d'exactitude, et aussi parce que,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à chaque addition de liquide frais, on retirerait un volume correspondant de l'ancien liquide, ce qui ferait des complications. L'intérêt de ces tableaux repose dans leur comparaison.

L'attention a récemment été attirée, dans les milieux techniques, sur la question des lectures de l'aréomètre pour jus de matières tannantes (*barkometer*), comme représentant la force des liqueurs tannantes. La pratique du barkomètre et les calculs basés sur sa lecture sont fort en vogue chez les tanneurs. Le barkomètre est une sorte d'aréomètre; les lectures du barkomètre correspondent aux deux derniers chiffres de la densité; ainsi, une densité de 1,060 serait 60° du barkomètre; 1,024 serait 24° du barkomètre. Cependant, tandis que le barkomètre ne donne pas d'indications sur la teneur en tannin, les différences indiquent les pertes avec une exactitude suffisante dans la pratique. La comparaison des lectures du barkomètre avec le pourcentage des matières tannantes, dans le tableau précédent, montre qu'il n'existe aucune relation entre les lectures du barkomètre et la force de la liqueur en substances tannantes.

Les matières tannantes, autres que celles à l'état d'extrait, avaient autrefois à être lessivées avant d'être employées. Le lessivage est une opération qui consiste à extraire les substances tannantes avec de l'eau. Les solutions aqueuses de tannin ainsi obtenues diffèrent complètement l'une de l'autre dans leur action et dans les changements qu'elles subissent au cours des diverses opérations. Par exemple, la décoction de Vallonnée s'acidifiait avant d'être employée, et la décoction de Myrobalan l'imitait rapidement; ces deux liquides déposaient aussi une quantité considérable d'acide ellagique. Les liqueurs restaient ensuite complètement claires.

Les pièces furent alors séchées grossièrement et pesées, un échantillon moyen étant pris pour l'humidité. Elles furent alors remises dans leurs couches respectives et y restèrent une semaine. Les peaux furent ensuite lavées dans de l'eau à 45° C., mises à égoutter et accrochées pour sécher. Le jour suivant, on constata qu'une forte moisissure s'était formée pendant la nuit sur le cuir tanné à la canaigre. La peau fut immédiatement décrochée et nettoyée avec un linge imbibé d'acide carbolique, puis suspendue de nouveau. Quatre jours après, la même peau fut trouvée de nouveau couverte d'une forte moisissure, et le cuir tanné au Myrobalan était aussi dans les mêmes conditions. Les deux peaux furent traitées à l'acide carbolique comme précédemment. Trois jours après, les mêmes peaux présentaient de nouveau la même indication de moisissure et subirent le même traitement.

La dessiccation fut très lente et se fit dans une chambre un peu sombre, sans faire usage d'huile, comme c'est l'usage dans le cas du cuir mis à sécher. On ne fit usage de la chaleur que quand la dessiccation fut presque complète. Au séchage, les peaux à la canaigre et au myrobalan montrent une contraction, la dernière se contractant plus fortement et devenant excessivement dure et cornée. Tous les cuirs étaient très fermes après avoir été séchés : la vallonnée et le châtaignier semblaient avoir déposé le plus de fleur..

Dans la pratique, les peaux sont fréquemment passées au sumac pour améliorer leur couleur. On ne le fit pas pour ne pas affecter les résultats analytiques.

Les peaux de chaque cuve furent également divisées en trois portions pour permettre divers essais. Un lot fut simplement huilé sur le grain avec de l'huile de morue et suspendu pour sécher; c'est ce qui constitue le finissage brut (*rough finishing*). Un autre lot fut nettoyé et chevillé. Cette opération est exécutée avec des cuerses, ou lisseurs en pierre, en travaillant du côté du grain, le but étant d'étirer le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cuir, d'enlever les plis et de débarrasser la surface des graviers, de la fleur, des saletés ; après quoi, la peau est huilée avec soin à la main ou à la machine, pour effacer le grain et enlever encore de la fleur, puis, elle est huilée avec soin sur le grain avec de l'huile de morue et suspendue jusqu'à demi-siccité, puis étirée à la main ou à la machine, puis huilée de nouveau et remise à sécher partiellement; après quoi, elle est roulée avec un fort rouleau en cuivre, mise une fois de plus à sécher, roulée de nouveau; enfin, on complète la dessiccation à l'étuve.

Le troisième lot fut corroyé, opération qui consiste à faire pénétrer de la graisse dans le cuir pour le rendre souple et imperméable.

Pendant tout le cours du tannage, des échantillons étaient périodiquement pris dans chaque peau, et toujours dans la même partie de la peau, de manière à assurer l'uniformité des échantillons. La méthode adoptée fut celle qui consiste à découper à l'emporte-pièce de petites sections de la peau (des rondelles d'environ un demi-pouce). Ces échantillons furent analysés et la quantité de cuir formé calculée dans chaque cas. Le tableau 4 montre les résultats obtenus.

TABLEAU IV

Matières.		POURCENTAGE APRÈS UN NOMBRE DE JOURS ÉGAL A : 1	3	6	11	22	34	52	79	86	121	Liqueur finale.
Vallonnée	Peau. . .	96,0	91,9	89,0	85,5	76,2	67,0	60,0	59,4	55,4	51,6	50,6
	Tannin. .	4,0	8,1	11,0	14,5	23,8	33,0	40,0	40,6	44,6	50,4	49,4
Myrobalan	Peau. . .	97,9	93,2	88,1	86,9	82,2	69,6	66,2	63,2	61,3	59,0	58,6
	Tannin. .	2,1	6,8	11,9	13,1	17,8	31,4	33,8	36,8	38,7	41,0	41,4
Écorce de chêne	Peau. . .	98,6	94,0	90,1	84,5	80,9	69,4	67,0	59,9	54,6	49,4	47,3
	Tannin. .	1,4	6,0	9,9	15,5	19,1	30,6	33,0	40,1	45,4	50,6	52,7
Mimosa	Peau. . .	95,6	89,8	86,0	81,5	76,6	68,5	58,8	56,3	54,4	52,4	51,8
	Tannin. .	4,4	10,2	14,0	18,5	23,4	31,5	41,2	43,7	45,6	47,6	48,2
Bois de quebracho	Peau. . .	95,0	89,2	87,6	81,8	72,7	60,3	59,2	57,1	54,9	49,6	48,1
	Tannin. .	5,0	10,8	12,4	18,2	27,3	39,7	40,8	42,9	45,1	50,4	51,9
Extrait de quebracho	Peau. . .	95,1	88,6	87,1	82,3	74,7	61,6	58,7	54,2	53,7	48,4	47,5
	Tannin. .	4,9	11,4	12,9	17,7	25,3	38,4	41,3	45,8	46,3	51.6	52,5
Canaigre	Peau. . .	96,2	91,0	89,0	85,3	70,3	60,1	57,3	56,2	55,8	54,6	53,8
	Tannin. .	3,8	9.0	11,0	14,7	29,7	39,9	42,7	43,8	44,2	45,4	46,2
Extrait de châtaignier	Peau. . .	96,0	90,4	89,4	84,2	77,2	66,9	60,2	58,4	56,7	53,0	51,4
	Tannin. .	4,0	9,6	10,6	15,8	22,8	33,1	39,8	41,6	43,3	47,0	48,6
Bois de chêne	Peau. . .	95,7	89,6	87,0	80,3	73,8	66,1	65,1	58,6	56,4	52,6	50,3
	Tannin. .	4,3	10,4	13,0	19,7	26,2	33,9	34,9	41.4	43,6	47,4	49,7
Bois de chêne non décoloré	Peau. . .	94,8	90,6	88,4	79,3	72,6	68,3	60,7	56,8	54,5	51,5	50,6
	Tannin. .	5,2	9,4	11,6	20,7	27,4	31,7	39,3	43,2	45,5	48,5	49,4
Hemloch clarifié	Peau. . .	95,6	92,8	90,2	87,5	74,2	61,2	56,6	54,9	52,1	50.6	50,5
	Tannin. .	4,4	7,2	9,8	12,7	25,8	38,8	43,4	45,1	47,9	49,4	49,5
Extrait d'Hemloch	Peau. . .	96,9	94,2	92,2	86,3	78,6	67,3	61,3	56,4	53,6	52,9	51,0
	Tannin. .	3,1	5,8	7,8	13,7	21,4	32,7	38,7	43,6	46,4	47,1	49,0

Chaque progrès dans le tannage était contrôlé avec soin par la balance.

Le tableau 5 montre la quantité de cuir obtenue avec une quantité définie de peau et le pourcentage du gain en poids dans les cuirs formés pour chacune des matières tannantes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU V

MATIÈRES TANNANTES.	POIDS DE PEAU humide.	EAU pour cent.	POIDS DE PEAU calculé sèche.	POIDS DU CUIR brut produit.	HUMIDITÉ POUR CENT dans le cuir brut.	POIDS DU CUIR calculé sec.	GAIN POUR CENT dans la formation du cuir.	POIDS DU CUIR corroyé.	EAU POUR CENT dans le cuir corroyé.	POIDS DU CUIR corroyé sec.	GAIN POUR CENT après corroyage.
Vallonnée.	23,660	72	6,568	16,299	18	13,365	103,4	2,165	17	1,792	20,4
Myrobalan.	23,772	72	6,599	14,120	18	11,579	75,6	2,045	17	1,693	20,0
Écorce de chêne. . . .	23,081	72	6,407	16,065	18	13,174	105,6	2,310	17	1,917	23,0
Mimosa.	23,298	72	6,467	15,327	18	12,569	94,5	2,385	17	1,980	24,0
Bois de quebracho. . . .	23,439	72	6,507	15,750	18	12,915	98,4	2,210	17	1,834	20,0
Extraits de quebracho. .	23,419	72	6,501	15,791	18	12,949	99,1	2,410	17	2,000	22,0
Canaigre.	23,328	72	6,476	15,349	18	12,587	94,3	2,165	17	1,797	16,0
Extrait de châtaignier. . .	23,000	72	6,385	15,547	18	12,750	99,6	2,175	17	1,805	18,0
Extrait de bois de chêne. .	24,001	72	6,662	16,304	18	12,370	100,7	2,380	17	1,975	22,0
Extrait de bois de chêne non décoloré.	23,222	72	6,446	15,939	18	13,070	102,7	2,360	17	1,958	18,0
Essence d'hemloch. . . .	24,166	72	6,708	16,065	18	13,175	96,4	2,355	17	1,954	20,0
Extraits d'hemloch. . . .	23,750	72	6,593	15,558	18	12,755	93,4	2,330	17	1,934	25,0

Les résultats obtenus et insérés dans le tableau 5 offrent une comparaison intéressante avec les résultats obtenus au laboratoire et insérés dans le tableau 6. On reconnaîtra que, dans ce cas, la science apporte une remarquable conclusion à la pratique.

TABLEAU VI

montrant la composition du cuir brut obtenu par l'analyse et calculé d'après le poids.

	PAR L'ANALYSE.		PAR LE POIDS.	
Matières.	Peau.	Tannin.	Peau.	Tannin.
Vallonnée.	50,6	49,4	49,1	50,9
Myrobalan.	58,6	41,4	56,9	43,1
Écorce de chêne.	47,3	52,7	48,6	51,4
Mimosa.	51,8	48,2	51,4	48,6
Bois de quebracho.	48,1	51,9	50,3	49,7
Extrait de quebracho	47,5	52,5	50,2	49,8
Canaigre.	53,8	46,2	51,4	48,6
Extrait de châtaignier..	51,4	48,6	50,0	50,0
Extrait de bois de chêne.	50,3	49,7	49,9	50,1
Extrait de bois de chêne décoloré, . .	50,6	49,4	49,3	50,7
Essence d'hemloch	50,5	49,5	50,9	49,1
Extrait d'hemloch.	51,0	49,0	51,6	48,4

La question qui, maintenant, se pose est la suivante : quelle est la quantité de tannin combinée actuellement avec la fibre de la peau pour constituer le cuir? Pour y répondre, on prit un échantillon des douze tannages à l'état brut, et, après l'avoir assoupli, on en lava une portion avec un litre d'eau, à froid. Ce fut suffisant pour enlever par lavage toutes les matières tannantes non combinées. Le cuir fut alors séché, et la quantité de tannin retenu est donnée dans le tableau 7.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU VII

montrant l'analyse du cuir après lavage et, par suite, les tannins non combines.

Matières.	Peau. p. 100.	Tannin. p. 100.	Enlevé par lavage. p. 100.
Vallonnée	58,65	41,35	8,0
Myrobalan	61,23	38,77	2,6
Écorce de chêne	56,29	43,71	8,0
Mimosa	55,50	44,50	3,6
Bois de quebracho	54,90	45,10	5,8
Extrait de quebracho	52,70	49,30	3,2
Canaigre	56,90	43,10	3,1
Extrait de châtaignier	57,90	42,10	5,4
Extrait de chêne décoloré	57,30	42,70	7,1
— non décoloré	58,65	41,35	8,1
Essence d'hemloch	52,80	47,20	2,3
Extrait d'hemloch	56,70	43,80	5,8

D'après les résultats donnés dans le tableau 4, il semblerait que la décoction d'écorce de chêne possédât la plus grande affinité pour la peau, se combinant avec elle pour donner du cuir au taux de 52,7 p. 100 dont plus de la moitié est absorbée durant les trente-quatre premiers jours de l'expérience. La réputation de l'écorce de chêne comme une excellente matière pour former du cuir est appuyée par nos expériences. L'extrait de Quebracho suit de près, étant présent dans le cuir au taux de 52,5. Il possède un pouvoir de pénétration plus rapide que l'écorce de chêne.

L'extrait aqueux de bois de Quebracho se rapproche pour la formation du cuir, se combinant au taux de 51,9.

L'extrait de bois de chêne décoloré est un peu en avant de l'extrait de chêne non décoloré, le premier donnant 49,7 et le second 49,4 du cuir total produit. Leur pouvoir pénétrant est très bon; dans les deux cas, plus de 50 p. 100 de tannin sont absorbés durant les vingt-deux premiers jours.

L'essence d'Hemloch marche de pair avec les extraits de bois de chêne, si on considère la valeur maximum de combinaison, mais son pouvoir de pénétration est bien inférieur. Cet extrait est un extrait mélangé, 30 p. 100 de sa force provenant de l'écorce de quercitron. La vallonnée a une bonne valeur de combinaison, qui est de 49,4 p. 100, mais elle pénètre très lentement. L'extrait d'hemloch vient après; c'est insignifiant, car il a une valeur de combinaison de 49 p. 100, mais il n'a pas une si grande affinité pour la peau. L'extrait de châtaignier possède d'excellentes propriétés de pénétration, mais son maximum de combinaison tombe un peu au-dessous de celui des autres extraits, n'étant que 48,6 p. 100 du cuir total produit. Le mimosa forme du cuir avec la peau au taux de 48,2 p. 100, la moitié environ étant absorbée durant les trois premières semaines.

Le pouvoir pénétrant de la canaigre est aussi remarquable, car il se combine au taux d'environ 30 p. 100, pour un maximum de 42,2 p. 100, en trois semaines.

Il est évident, alors, que la longueur du temps du tannage avec cette substance excédait beaucoup celle nécessaire pour produire du cuir et que le petit gain de tannin absorbé par la peau ne compense pas cet excès de temps.

Le myrobalan vient après, avec une valeur de combinaison de 41 p. 100. Sa faible

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

valeur de combinaison n'est pas compensée par son pouvoir pénétrant qui est à peu près égal à celui de l'écorce de chêne.

La bonne concordance entre les résultats de l'analyse et ceux obtenus en calculant, d'après le poids de la peau sèche, le poids du cuir sec obtenu, comme le montre le tableau 6, a déjà été indiquée.

Le pourcentage du tannin obtenu par pesée directe, comme le montre le tableau 6, établit une relation directe avec les résultats de la colonne montrant le pourcentage du gain en poids dans le tableau 5, la différence étant probablement due à la difficulté de déterminer exactement le taux de peau sèche d'après la peau humide. Il apparaîtrait de ces résultats que la valeur de combinaison d'une matière tannante n'indique pas nécessairement sa valeur au point de vue de l'*augmentation de poids*.

L'écorce de chêne maintient encore sa supériorité par suite de sa propriété de donner du poids. L'extrait de Quebracho, cependant, ne la suit pas. Cela doit être dû à ce que cet extrait est du tannin presque pur, et que, par conséquent, il ne possède pas les constituants qui sont capables d'augmenter le poids. L'extrait aqueux de Vallonnée vient après, sous ce rapport. Le bois de chêne non décoloré tient le troisième rang au point de vue de la qualité de donner du poids, suivi immédiatement par l'extrait de bois de chêne décoloré, ainsi qu'on devait s'y attendre, ces deux matières possédant naturellement des propriétés susceptibles de donner du poids.

Cela expliquerait que les constituants, au point de vue du poids donné, d'une substance tannante sont les matières autres que les tannins et les produits insolubles qui sont fournis par un dédoublement des tannins. Comme on l'a montré dans la première partie de ce travail, la Vallonnée possède ce pouvoir à un très haut degré, pas moins de 14 p. 100 des tannins étant transformés en matières insolubles en quatre semaines. Les petites particules insolubles, qui se trouvent toujours dans les extraits de tan du commerce, ont probablement aussi une certaine part pour donner du poids au cuir. Pour la raison que la Vallonnée possède cette caractéristique, on en use largement, en pratique, comme matière de saupoudrage, c'est-à-dire placée entre les peaux sous forme de poudre, quand elles sont dans le liquide. Les pièces sont laissées en couches pendant un certain temps, la fleur insoluble se déposant dans le cuir et sur la surface.

L'extrait de châtaignier a le cinquième rang, suivi, au point de vue de la qualité de donner du poids, par l'extrait de Quebracho, le bois de Quebracho, l'Hemloch clarifié, le mimosa, la canaigre et l'extrait brut d'Hemloch. Tous ceux-ci varient de 12 p. 100 de l'un à l'autre.

Le Myrobalan, comme d'ordinaire, vient un peu après, avec une différence de 17 p. 100 entre lui et l'extrait d'Hemloch, ou, exactement, 30 p. 100 de moins que l'écorce de chêne.

Si l'on discute le tableau 7, il apparaît que le pourcentage de tannin, capable d'être enlevé par lavage à l'eau froide, diffère d'après les substances. Nous nous limiterons, cependant, à ne considérer que le tannin retenu par la peau. L'extrait de Quebracho offre la plus grande résistance au lavage, car 49,3 p. 100 restent dans la peau. L'Hemloch clarifié vient après, suivi par le bois de Quebracho avec 45,1 p. 100. Le mimosa est d'environ 2 p. 100 en avant de l'écorce de chêne, cette dernière ayant une valeur de combinaison de 47,3 p. 100. Les extraits de Canaigre et d'Hemloch se rangent ensemble avec 43,2 p. 100.

Ils sont suivis par l'extrait de bois de chêne décoloré ayant une valeur de combi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

naison de 42,7 p. 100. L'extrait de châtaignier suit de près avec 42,1 p. 100. Le bois de chêne non décoloré vient ensuite avec la Vallonnée, tous deux ayant la même valeur de combinaison de 41,3 p. 100. Le Myrobalan ferme la liste avec 38,7 p. 100.

Pour estimer la valeur pratique de ces chiffres, il faut tenir compte de ce que le cuir était coupé en fragments avant le lavage. Avec le lavage et le nettoyage ordinaires, la perte ne sera pas si grande, mais les rapports seront encore bons.

Quant aux cuirs corroyés, ils ont tous été traités de même. Si nous examinons la colonne montrant le pourcentage de gain en poids, après corroyage, dans le tableau 5, on voit que les divers cuirs tannés ont des capacités différentes pour absorber la graisse et autres matières pesantes. L'extrait d'Hemloch gagne le plus, par le corroyage, augmentant de 25 p. 100 en poids.

L'Hemloch est employé par les tanneurs en Amérique, et l'on dit que les corroyeurs américains peuvent augmenter le poids du cuir de 50 p. 100, tandis que 20 p. 100 est le gain moyen dans le tannage anglais. Nos expériences semblent indiquer ce fait que l'Hemloch possède des affinités naturelles pour absorber la graisse. La canaigre semble, pour l'augmentation de poids, être la dernière des douze substances, l'augmentation étant seulement de 16 p. 100 après le corroyage.

On pourrait peut-être dire que ce gain en poids est très influencé par la méthode employée pour faire pénétrer la graisse ainsi que par la nature de la graisse employée. Le point important pour la pratique est de savoir combien on peut introduire de graisse sans qu'il y ait excès dans le cuir.

Dans le travail précédent, toutes les peaux furent corroyées exactement de la même manière, avec la même graisse, la même quantité, les mêmes méthodes pour chaque peau, ce qui rend les résultats comparables.

Couleur.

Comme la couleur d'une peau tannée joue un rôle très important dans la valeur de cuir, au point de vue commercial, nous estimâmes utile de rechercher l'action de la lumière sur la couleur des différents tannages. Dans ce but, nous prîmes des échantillons, partiellement couverts pour éviter l'exposition à la lumière, l'autre partie de chaque échantillon étant librement exposée à l'action de la lumière solaire. Les différentes peaux tannées restèrent, dans ces conditions, exposées à la lumière du nord pendant six mois, d'avril à novembre.

Les tannages les moins influencés par la lumière sont ceux au bois de chêne décoloré et non décoloré. Puis, vient l'extrait de châtaignier, suivi de près par la Vallonnée. Le tannage à l'écorce de chêne est un peu foncé. Les deux tannages au Quebracho sont considérablement foncés; les deux tannages à l'Hemloch le sont aussi plus qu'on ne pouvait l'attendre d'un tannage qui n'est pas très clair au début. La Canaigre et le Mimosa, tous deux clairs au début, foncent à un très haut degré par exposition à la lumière; c'est là un des traits de tous les tannins de la série du catéchol.

Qualité.

Afin d'obtenir la qualité des différents tannages au point de vue commercial, nous sollicitâmes l'opinion de plusieurs tanneurs, corroyeurs et négociants en cuir bien connus. L'opinion unanime est que les tannages à l'extrait de bois de chêne sont supérieurs, comme représentant de bons tannages, bien francs. Celui à l'écorce de chêne

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

est décrit comme étant bien ferme, bien plein et convenable pour courroies ou semelles.

Le tannage à l'Hemloch serait bon pour courroies et semelles; celui à la Vallonnée était spongieux et ne conviendrait que pour des courroies, ce qui est probablement dû à ce qu'on avait fait usage d'une liqueur ayant déjà déposé beaucoup de sa fleur. Si la Vallonnée avait été employée directement, le cuir aurait été ferme, grâce au dépôt de la fleur sur les fibres.

Le tannage au Myrobalan est décrit comme étant très doux et mal rempli, et le Quebracho comme convenable pour les articles à bon marché. Le tannage à la canaigre est condamné, comme étant le plus pauvre de la série.

Ce qui précède est une opinion sur le cuir fini; or, dans la pratique, le tanneur n'use pas d'une seule substance, mais d'un mélange de plusieurs substances. Par exemple, il ne s'ensuit pas, parce que le cuir tanné à la canaigre est condamné, que cette canaigre ne devrait pas être employée dans les premières périodes de tannage. Des praticiens ont grande confiance dans le Myrobalan parce qu'il est connu comme produisant de l'acide, en graissant le cuir et lui donnant aussi une bonne couleur claire. Le tanneur n'use pas du Myrobalan dans les dernières périodes, mais il se sert du bois de chêne ou de la Vallonnée pour donner de la fermeté et du poids. Certains font usage d'Hemloch après la seconde période de travail (*handler stage*).

En vue de déterminer à quel degré la matière tannée résistait à la pénétration de l'humidité, on a fait une série d'expériences au moyen d'un cylindre de cuivre mesurant douze lignes sur deux, à une des extrémités duquel on fixa une fermeture à vis, entre laquelle on plaçait un morceau de cuir; le cylindre était ensuite rempli d'eau froide et on notait l'heure. La pénétration de l'eau au travers du cuir fut observée avec soin et, dès qu'une goutte se formait, on notait de nouveau le temps; la pénétration de l'eau se faisait du côté du grain.

Matières.	Épaisseur du cuir en pouces de 25mm,4.	Temps de pénétration en minutes.
Vallonnée	0,25	17
Myrobalan	0.25	60
Écorce de chêne	0,27	6
Mimosa	0,25	11
Bois de quebracho	0,25	3
Extrait de quebracho	0,25	2
Canaigre	0,25	9 h. 30 min.
Extrait de châtaignier	0,22	13
Bois de chêne	0,31	12
Bois de chêne non décoloré	0,22	9
Essence d'hemloch	0,27	11
Extrait d'hemloch	0,25	10

Ce tableau exige à peine une explication, excepté, peut-être, au sujet de la grande différence entre la canaigre et les autres substances. L'immense supériorité de la canaigre, comme tannage résistant à l'eau, est due très probablement au dépôt d'une grande quantité d'hydrates de carbone qui sont contenus dans la canaigre, et qui, après dessiccation, offrent une grande résistance à la pénétration de l'humidité.

Le tableau suivant intéresse évidemment, comme montrant la résistance relative à la traction pour le cuir à semelles fini et le cuir corroyé.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Matières.	Cuir à semelles brut. Livres par section d'un pouce carré (1).	Cuir corroyé. Livres par section d'un pouce carré.
Vallonnée	2,713	2,982
Myrobalan	2,882	2,534
Écorce de chêne	1,980	2,578
Mimosa	2,485	3,727
Bois de quebracho	2,385	3,777
Extrait de quebracho	3,031	3,180
Canaigre	2,236	2,882
Extrait de châtaignier	3,167	4,411
Bois de chêne	1,926	2,767
Bois de chêne non décoloré	2,488	3,450
Essence d'hemloch	2.302	3,130
Extrait d'hemloch	2,584	3,280

En présentant à l'examen de la Société et au commerce des cuirs de la Grande-Bretagne, ces recherches qui représentent plus de deux années d'étude, les auteurs, quoique conscients des nombreuses lacunes de ce travail, ont la confiance qu'il aura de la valeur pour le tanneur en l'aidant à mieux connaître les complications que rencontrent les principes de l'art du tannage, et, aussi, que son exécution marquera le point de départ d'une investigation plus scientifique du problème complexe que présente la transformation de la peau en cuir. Seuls, les chimistes qui ont tenté d'examiner ce problème peuvent estimer complètement toutes les difficultés que les auteurs ont rencontrées, en opérant avec des substances de constitution encore indéterminée et qui sont sensibles aux plus faibles modifications.

Comme conclusion, un semblable travail doit nécessairement exiger une assistance étrangère, et les auteurs prennent cette occasion pour remercier les membres du commerce des cuirs qui ont aidé, de la façon la plus précieuse, ces recherches en fournissant les diverses matières tannantes et en donnant leur avis technique.

Les remerciements des auteurs sont dus spécialement au Dr J. Gordon Parker, directeur de l'Institut Herold, sous la direction duquel ces recherches furent entreprises, pour son aide et ses conseils constants.

(1) Une livre par pouce carré vaut 0k,068 par centimètre carré.

ACH. LIVACHE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MÉTALLURGIE

PROPRIÉTÉS DES ACIERS COULÉS, D'APRÈS **M. J. O. Arnold** (1).

Les recherches exposées dans ce mémoire, qui est le premier d'une série, ont été commencées, il y a environ six ans, dans les aciéries et les laboratoires du *Sheffield University College;* le programme comprenait la détermination de :

1° L'influence de la composition chimique sur les propriétés mécaniques et la microstructure des aciers coulés;

2° L'influence du recuit sur les propriétés mécaniques et la structure de ces aciers;

3° L'influence des variations de la chaleur spécifique sur leurs propriétés mécaniques;

4° L'influence des procédés de fabrication, notamment de la différence, s'il y en a une, entre les aciers coulés au creuset et au four à réverbère;

5° L'influence de la masse, c'est-à-dire la différence entre les propriétés des petites et des grosses pièces en fonte d'acier;

6° L'influence du traitement thermique sur les fontes d'acier recuites et non recuites;

7° L'influence de la trempe à l'huile sur les fontes d'acier recuites ou non;

8° L'influence du silicium et du manganèse sur la chaleur de récalescence au point de transformation du carbone Ar 1, afin d'en tirer, si possible, des indications thermiques sur la formation des carbures doubles et triples;

9° Les propriétés relatives des aciers coulés et similaires recuites après forgeage.

Composition chimique. — Il faut, dans une recherche des meilleures compositions des fontes d'acier, se rappeler les spécifications actuellement imposées pour s'assurer la meilleure qualité. On exige ordinairement une résistance de rupture maxima de 47 kilogrammes par millimètre carré avec allongement de 20 p. 100 sur 50 millimètres et un angle de pliage de 90° au moins, sur une barre de 25 millimètres de côté. Afin d'étudier l'influence de la composition chimique sur ces propriétés mécaniques, on fabriqua des échantillons d'aciers coulés en séries de trois groupes distincts :

Groupe A : Fonte en fer et presque pur carbone, avec très peu de soufre de manganèse et de phosphore.

Groupe B : Fer, carbone et silicium, avec très peu des autres éléments.

Groupe C : Fer, carbone et manganèse, avec très peu des autres éléments.

(1) *Iron and Steel Institute.* Meeting de mai 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

GROUPE A, FER ET CARBONE

Ce groupe, dont l'étude fait l'objet de ce mémoire, bien que, peut-être, le moins ntéressant au point de vue pratique, est, en réalité, d'une importance capitale, parce qu'il constitue un point de départ pour la détermination exacte de l'influence du manganèse et du silicium. Les séries essayées consistent uniquement en aciers au creuset fabriqué avec le meilleur fer de Suède. Les fontes ont été coulées dans les lingotières en sable sec, en groupes de quatre barres de 44 millimètres de diamètre, venues en croix au bout d'une tige de 76 millimètres; poids total, environ 13 kilogrammes. Deux des barres de chaque coulée étaient détachées pour être recuites, et les deux autres essayées telles quelles; on retirait facilement de ces pièces les éprouvettes nécessaires pour les essais de résistance et de micrographie.

Dimensions des éprouvettes pour les essais de tension et de compression : 143 millimètres de diamètre sur 510 de long; pour le pliage, 255 de long sur 19 de diamètre; pour la micrographie, des coupes transversales seulement, de 13 millimètres de diamètre sur $2^{mm},5$ d'épaisseur; pour la détermination de la densité, des barres polies de 51 millimètres de long sur $9^{mm},5$ de diamètre.

Méthode de recuit. — Pour protéger ces petites barres des scories, on les enferma, pendant leur recuit, dans des boîtes en fonte remplies de chaux vive; ces boîtes étaient maintenues à la température de 950° pendant soixante-dix heures, et on en retirait les fontes suffisamment refroidies après une centaine d'heures. La courbe de ce refroidissement est donnée par le diagramme figure 1 en fonction du temps et des températures. On remarquera que la période de ségrégation des éléments de ces fontes cesse une vingtaine d'heures après la fermeture du four; en fait, la chute de température de 750 à 550°, période vitale, où se détermine la structure finale des fontes ordinaires, ne dure que trente heures; la période prolongée du refroidissement lent de 550 à 30° n'a que peu d'influence sur cette structure, mais elle est d'un intérêt capital au point de vue des retraits inégaux des masses de sections variables qui se produisent quand on les refroidit trop vite.

Malgré les précautions prises pour éviter l'oxydation, il se produisit, pendant le recuit, une décarbonisation notoire des fontes sursaturées, et avec une oxydation du carbone bien plus rapide dans la cémentite que dans la martensite.

Densité. — Les résultats des recherches ont été, en ce qui concerne la densité, complètement négatifs; la seule remarque digne d'intérêt est que, en règle générale, mais pas toujours, la densité augmente un peu par le recuit; mais on n'a pas pu établir de corrélation entre les densités des fontes et leurs propriétés mécaniques.

Corrélations mécaniques, chimiques et micrographiques. — Les deux échantillons désignés par les marques Fe B et 473, de fer presque pur, à 0,07 et 0,06 p. 100 de carbone, recuits dans des conditions identiques, présentèrent des différences déconcertantes, comme il s'en rencontre souvent dans la pratique. Le Fe B constitue probablement un record des fontes d'acier au creuset fer et carbone. Il s'est, après recuit, montré, sous tous les rapports, l'égal de l'acier doux forgé. Le 473, au contraire, ne donna que des résultats mécaniques déplorables, incapables d'être améliorés par le recuit, bien qu'il en modifie considérablement la structure. En présence de ces faits, on fit un examen micrographique de ces échantillons avec un soin exceptionnel; tels que coulés, leurs structures ne différaient pas sensiblement, mais après recuit, la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

structure très cristalline du 473 se manifesta sous une faible attaque, qui n'en révéla aucune dans le Fe B. Sous une très forte attaque, la même pour les deux, le Fe B montra de très larges cristaux de ferrite à joints serrés, et le 473 de petits cristaux de ferrite avec joints lâches, en ce sens que l'acide creusait de grands espaces entre ces cristaux. Ce cas est loin d'être le seul où la présence de très grands cristaux soit associée à une grande ductilité, comme si l'état des joints avait, sur les propriétés mécaniques, une influence plus grande que celle de la dimension des cristaux. Quant à la cause même de ces différences cristallographiques et mécaniques, elle est encore

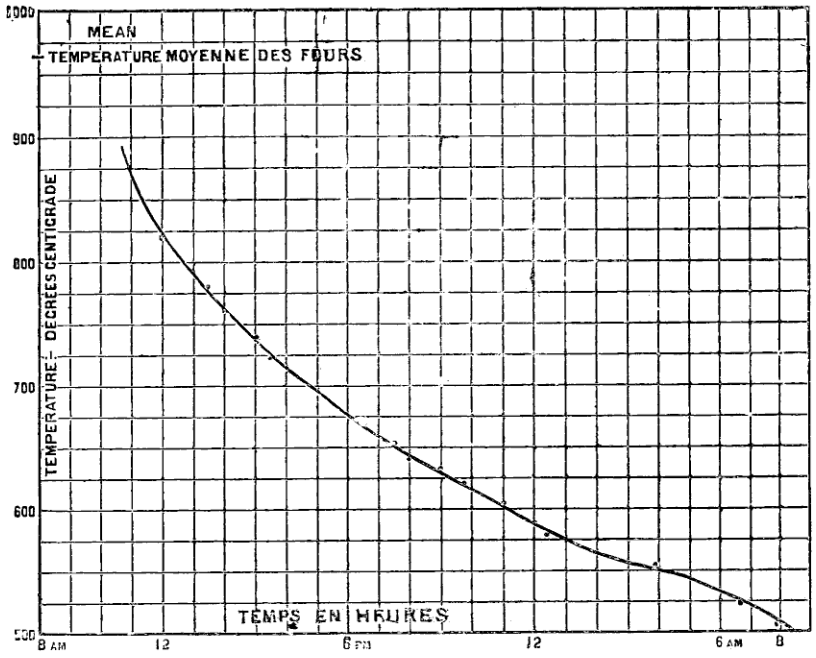


Fig. 1.

inconnue; peut-être réside-t-elle dans la différence des températures initiales des coulées.

La coulée 458 renfermait 0,37 p. 100 de carbone, et l'influence de cet élément s'y fit sentir par une augmentation de la résistance de 3 kilogrammes environ par millimètre carré et une diminution considérable de la ductilité, principalement dans les arreaux non recuits.

Comme cette teneur de carbone est la plus fréquente en pratique, on coula trois autres lingots de même teneur, dans l'espoir d'y voir se reproduire les variations que l'on constate souvent en pratique dans des coulées de composition chimique presque identique; malheureusement, la microstructure ne jette aucune lumière sur ce sujet.

Les variations des propriétés mécaniques des aciers coulés à 0,4 de carbone peuvent se résumer comme il suit :

Dans le métal simplement coulé, la limite d'élasticité varie de 21 à 27 kilogrammes par millimètre carré et la résistance à la rupture de 34 à 38 kilogrammes, avec un allon-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

gement de 5 à 8,4 p. 100 sur 50 millimètres; la striction varie de 5,9 à 12,3 p. 100, et l'angle de pliage de 32 à 90°.

Après recuit, la limite d'élasticité varie de 14 à 19 kilogrammes par millimètre carré, la résistance à la rupture de 33 à 38 kilogrammes; l'allongement, sur 50 millimètres, de 12,5 à 24,5 p. 100 et la striction de 1 à 29 p. 100; tous les barreaux recuits se plient en double sans crique.

La coulée CC2, (fig. 2) à 0,50 p. 100 de carbone, présenta de très curieuses propriétés; ses barreaux se rompaient si vivement qu'il était impossible de distinguer la charge limite d'élasticité de celle de rupture, bien que l'existence d'une différence entre ces deux charges fût indiquée par un faible allongement de 3 p. 100, l'angle de pliage fut insignifiant : 12°; le recuit fit tomber la limite d'élasticité de 28 à 23 kilogrammes par millimètre carré et relever la résistance à la rupture de 29 à 41 kilogrammes; l'allon-

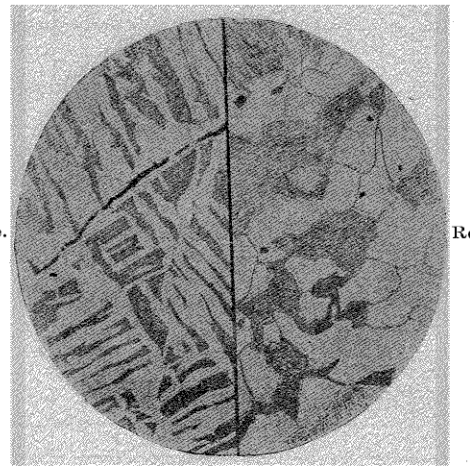


Fig. 2. — CC2. Grossissement, 315 diamètres.

gement fut très remarquable, atteignit 20,5 p. 100 avec une striction de 16 p. 100 seulement et un angle de pliage de 86 p. 100, résultats tout à fait anormaux.

L'étude de la microstructure du CC2 a révélé quelques principes fondamentaux des propriétés mécaniques des petites coulées non recuites riches en manganèse et pauvres en silicium.

La fragilité des barreaux non recuits semble due à deux principales causes, dont la première est la faible adhérence entre les lignes de jonctions longues et tranchées des constituants; malgré la forme en treillis de leur section, ils sont, en réalité, constitués par des cellules allongées de perlite granulaire noire, entourées de cloisons épaisses de ferrite pâle. La seconde cause de la fragilité : les lignes brunes tracées presque exclusivement au travers de la ferrite et englobant de gros groupes de deux constituants, est certainement la plus puissante. Ces lignes d'extrême fragilité seront étudiées plus à fond à propos des coulées du groupe B : fer, carbone et silicium; nous ne ferons ici que quelques remarques préliminaires à leur sujet.

Il y a quelques années, M. J. E. Stead, à qui M. Arnold avait indiqué ces curieuses cloisons enveloppantes, en confirma l'existence dans les petites pièces coulées, et, tout en reconnaissant leur fâcheux effet mécanique, il les considéra comme d'une

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nature analogue à celle de scories très fusibles dissoutes et se séparant pendant le refroidissement. L'auteur n'a pu confirmer cette manière de voir parce que, avant l'attaque, elles sont invisibles et, par suite, probablement d'une nature métallique ; il les considère comme un sulfo-siliciure métallique de fer fusible se ségrégeant sous une forme granulaire menue. M. Stead a d'ailleurs retiré, par des tamisages successifs, et de coulées analogues, un résidu riche en silicium et en soufre. Ces cloisonnements ne sont dangereux que dans les petites coulées à teneur moyenne en carbone. Leur présence est souvent révélée à l'attaque par un dégagement d'hydrogène sulfuré qui recouvre le fer adjaçant d'irisations de sulfures; le recuit les détruit, en général, et les transforme en plaques de pur sulfure de fer, comme sur la micrographie fig. 2, et la disparition de ces cloisonnements suffit, en grande partie, pour expliquer l'augmentation de la ductilité et de la ténacité produite souvent par le recuit dans les

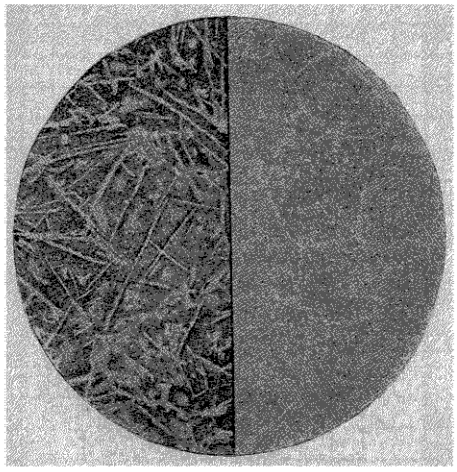


Fig. 3. — N° 522. Grossissement 460 en diamètres.

aciers coulés, principalement dans ceux où les éléments étrangers sont constitués surtout par du carbone et du silicium ; enfin, il semble qu'une faible teneur en soufre soit plus favorable qu'une grande à la formation de ces cloisonnements dangereux.

A la teneur de 0,6 p. 100 de carbone, on franchit, au point de vue mécanique, un point critique; la ductilité baisse sensiblement, ainsi que la limite d'élasticité et la résistance de rupture.

L'examen des coulées 522 et 573 a démontré que les aciers coulés très riches en carbone ne peuvent, même après recuit, se comparer qu'aux bonnes fontes grises. Les micrographies du 522 (fig. 3) avant et après recuit, montrent que le recuit y oxyde une grande quantité de cémentite. Dans les barreaux recuits, ce qui reste de cémentite forme de larges cloisonnements, qui renfermaient primitivement de la perlite; et, pendant le lent refroidissement, les lamelles de cette perlite se sont agrégées en plaques épaisses, qui se seraient, sans doute, par un refroidissement encore plus lent, converties en globules. Dans ce cas, il paraît certain que, en raison de la grande différence de leur coefficients de dilatation, les cloisons de cémentite se sont, en grande partie, détachées de leurs noyaux.

La courbe fig. 4, qui donne les angles de pliage en fonction des teneurs en car-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

bone, représente, avec une certaine approximation l'influence de cette teneur sur la ductilité des aciers coulés recuits; on y remarque, à partir de 0, 55 p. 100 de carbone, une chute subite de la ductilité, qui disparaît presque pratiquement.

Traitement thermique. — Les données micrographiques et mécaniques suivantes ont présenté des résultats typiques du traitement thermique des petites coulées en opérant sur quatre barres de $9^{mm},5$ coulées en fer presque pur, à 0,36 p. 100 de carbone.

Barreau n° 660, non recuit. Microstructure habituelle en treillis, mais avec, pour une faible teneur en silicium, les cellules de ferrite attaquées imprégnées à un degré inusité de couches minces de sulfo-siliciure.

Les essais de résistance ont donné les résultats suivants : limite d'élasticité par

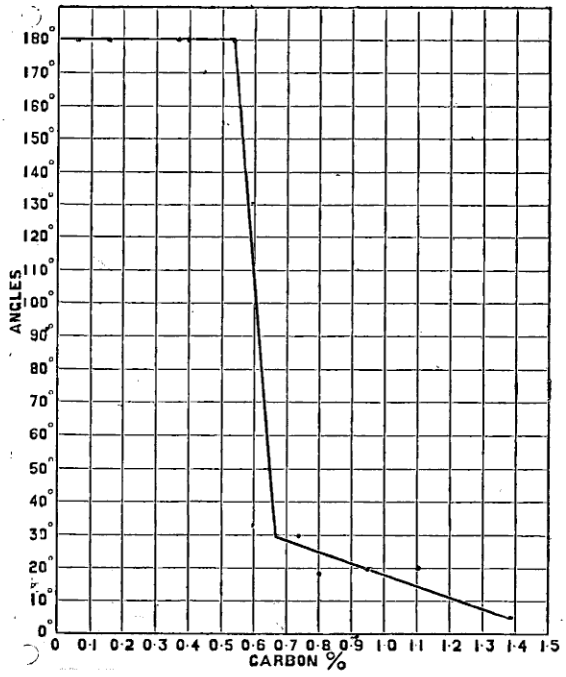


Fig. 4.

millimètre carré 21 kilogrammes; résistance de rupture 21 kilogrammes allongement 10 p. 100 sur 50^{mm}; striction 2,20 p. 100. C'était donc un métal à peine supérieur à une bonne fonte grise.

N° 660 *recuit.* La microstructure a montré, comme d'habitude, une masse uniforme de cristaux de ferrite, sans trace de sulfo-siliciure et avec de larges plaques de perlite décomposée, perlite dans laquelle les lamelles de Fe^2C s'étaient largement séparées en petites pièces de cémentite.

Les essais de résistances ont donné les résultats suivants, très médiocres : limite d'élasticité, 15 kilogrammes par millimètre carré; résistance de rupture 35 kilogrammes; allongement 14,5 p. 100; striction 15 p. 100?

N° 660, *tel que coulé puis réchauffé* lentement pendant une heure, jusqu'à 850°, maintenu une heure à cette température, et refroidi à l'air libre.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La microstructure montra une masse agglomérée de ferrite, avec petits grains de ferrite noire; pas de sulfo-siliciure, texture beaucoup plus fine que celle des barreaux recuits.

Les essais de résistance ont donné les résultats suivants, supérieurs à ceux du barreau recuit : limite d'élasticité 21 kilogrammes par millimètre carré; résistance à la rupture 42 kilogrammes; allongement 13,50 p. 100; striction 18,60 p. 100.

N° 660, *recuit puis réchauffé* comme le barreau précédent.

Microstructure presque identique mais plus fine.

Résistance limite d'élasticité 25 kilogrammes par millimètre carré; de rupture 37 kil., 5; allongement 11 p. 100; striction 9 p. 100.

L'ensemble de ces résultats semble démontrer que le meilleur traitement à faire subir à des fontes d'acier cassantes, à 0,4 p. 100 de carbone, consiste à les réchauffer pendant une heure environ à une température supérieure de 50° à leur point critique le plus élevé, puis à les laisser se refroidir à l'air.

CONCLUSIONS PRATIQUES

D'après les résultats de ces essais préliminaires, le fer pur et l'acier au carbone ne constitue pas des métaux susceptibles de satisfaire aux spécifications actuellement imposées pour les fontes d'acier; on peut bien leur assurer la ductilité voulue, mais sans la ténacité corrélative, de sorte que les métaux essayés sont, à l'exception du fer pur, presque sans intérêt industriel. Néanmoins, ils constituent la base d'après laquelle on pourra déterminer exactement l'influence mécaniq ue du silicium et du manganèse.

Propriétés comparatives des aciers coulés et forgés. Dans certains cas, des aciers coulés ont pu présenter des propriétés presque identiques à celles des aciers forgés; mais ce sont des exceptions très rares; en général, les propriétés mécaniques des fontes d'acier recuites sont très inférieures à celles des aciers forgés, et ceci est d'autant plus remarquable que des aciers coulés et forgés de propriétés mécaniques très différentes peuvent présenter la même densité, la même composition chimique et la même microstructure; en voici quelques exemples.

ACIER.	CARBONE p. 100.	LIMITE d'élasticité en kil. par mm².	RÉSISTANCE à la rupture en kil. par mm².	ALLONGEMENT p. 100.	STRICTION p. 100.
Coulé et laminé. . . .	0,21	27	40	42,1	67,8
Coulé et recuit	0,16	15	31	31,0	47,0

On voit, par les chiffres du tableau ci-dessus, que l'acier laminé est bien supérieur comme ténacité, ductilité et limite d'élasticité à l'acier coulé.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cette supériorité est encore plus accentuée quand on passe aux teneurs en carbone élevées, comme on la voit par les chiffres du tableau ci-dessous:

ACIER.	CARBONE p. 100.	LIMITE d'élasticité en kil. par mm².	RÉSISTANCE à la rupture en kil. par mm².	ALLONGEMENT p. 100.	STRICTION p. 100.
Coulé et laminé. . . .	0,89	39	52,4	13,0	15,4
Coulé et recuit	0,83	30	29,0	4,0	1,7

Aux teneurs encore plus élevées, les différences sont encore plus remarquables :

ACIER.	CARBONE p. 100.	LIMITE d'élasticité en kil. par mm².	RÉSISTANCE à la rupture en kil. par mm².	ALLONGEMENT p. 100.	STRICTION p. 100.
Coulé et laminé. . . .	0,38	28	47	34,5	56,3
Coulé et recuit	0,40	16	38	24,5	29,0

La supériorité du métal laminé se maintient, et grandement jusqu'à des teneurs de 1,20 p. 100 de carbone :

ACIER.	CARBONE p. 100.	LIMITE d'élasticité en kil. par mm².	RÉSISTANCE à la rupture en kil. par mm².	ALLONGEMENT p. 100.	STRICTION p. 100.
Coulé et laminé. . . .	1,20	55	61,65	8,0	7,8
Coulé et recuit	1,10	20	12,86	0,0	0,0

Par contre, en général, le recuit, qui est favorable aux aciers coulés, est nuisible aux aciers laminés. (G. R.)

NOUVEAU TRAITEMENT DE LA NIOBITE; PRÉPARATION ET PROPRIÉTÉS DE LA FONTE DE NIOBIUM. Note de M. **Henri Moissan** (1).

L'étude du métal niobium est encore très incomplète, et nous ne connaissons aucune de ses propriétés. Nous rappellerons rapidement que Henri Rose (2) avait cherché à préparer ce corps simple en décomposant le fluoxyniobate de potassium par le sodium. D'après Delafontaine (3), la poudre noire obtenue dans cette réaction n'est qu'un oxyde inférieur de niobium. A la suite de ses belles recherches sur les composés fluorés du niobium et du tantale, Mari-

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1er juillet 1901, p. 20.
(2) Henri Rose, *Pogg. Ann.*, t. CIV, p. 310.
(3) Delafontaine, *Archives des Sciences phys. et nat. de Genève*, t. XXVII, p. 167; 1886.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

gnac (1) a repris l'étude de cette question. Il a d'abord réduit le fluoniobate de potassium par le sodium, et il a recueilli une poudre de couleur noire ou grisâtre, dont la densité variait de 6 à 6,6, et qu'il regardait comme un hydrure de formule NbH. Il a réduit ensuite le fluoniobate de potassium par l'aluminium. Dans ces conditions, il a préparé un alliage de niobium et d'aluminium voisin de la formule $Nb\,Al^3$.

Enfin M. Roscoë (2), par la réduction du chlorure de niobium dans un courant d'hydrogène, en s'entourant des précautions qu'il a décrites dans son Mémoire classique *Sur la préparation du vanadium*, a obtenu une poudre de couleur grise d'une densité de 7,06 et ne renfermant plus que 0,27 pour 100 d'hydrogène.

Traitement de la niobite. — Nous sommes partis, dans ces recherches, d'une niobite de provenance américaine, d'une densité de 5,75. Elle se présentait en cristaux agglomérés assez volumineux et se pénétrant les uns les autres. Elle renfermait : acide niobique et tantalique, 83,20; fer, 7,58; manganèse, 3,82; elle contenait, en outre, une petite quantité de silice. Cette niobite grossièrement concassée était triée à la main pour éliminer les fragments riches en silice.

Le minéral réduit en poudre a été additionné de charbon de sucre, puis aggloméré par pression et chauffé au four électrique 7 à 8 minutes avec un courant de 1000 ampères sous 50 volts. Pendant l'expérience, la totalité du manganèse et la plus grande partie du fer et du silicium sont volatilisées. Il reste une fonte grise de couleur claire, à cassure cristalline, qui contient tout le niobium et le tantale combinés avec le carbone sans graphite libre. Cette fonte renferme de 2,18 à 2,34 de carbone. Chaque préparation permet d'en obtenir 600 grammes.

Cet alliage est réduit en poudre grossière, puis attaqué par une solution d'acide fluorhydrique pur additionnée d'une petite quantité d'acide nitrique. Après filtration, le liquide est traité par le fluorhydrate de fluorure de potassium, de façon à produire, avec l'acide tantalique, un fluotantalate et, avec l'acide niobique, un fluoxynobiate. On sépare ces deux sels, grâce à leur différence de solubilité, en suivant exactement la méthode assez délicate indiquée par Marignac. La petite quantité de fer qui reste dans le fluoxyniobate est précipitée par le sulfhydrate d'ammoniaque. Le fluoxyniobate de potassium est ensuite purifié par des cristallisations successives. Lorsque la chauffe de niobite et de charbon a été bien faite au four électrique, la fonte doit fournir, par dissolution dans l'acide fluorhydrique, un liquide incolore. En effet, s'il reste du manganèse, il se forme une solution brune qui est due à l'action de l'acide fluorhydrique sur le carbure de manganèse.

Le fluoxyniobate de potassium est ensuite transformé en acide niobique qui, après calcination, est tout à fait blanc.

Préparation de la fonte de niobium. — Nous avons fait un mélange de : acide niobique 82; charbon de sucre 18, répondant à la formule

$$Nb^2O^5 + 5\,C = 2\,Nb + 5\,CO.$$

Ce mélange, légèrement humecté d'essence de térébenthine, a été aggloméré par pression sous forme de petits cylindres qui ont été ensuite calcinés lentement au four Perrot. Un certain nombre de ces cylindres ont été disposés dans une nacelle de charbon, placée au milieu d'un tube de même substance, au milieu de notre four électrique à tube. La durée de la chauffe est très courte; elle doit être de trois minutes avec un courant de 600 ampères et 50 volts. La décomposition est violente. On voit l'acide niobique entrer rapidement en fusion, et aussitôt la réaction se produit avec une vive effervescence. Dès que cette dernière est ter-

(1) Marignac, *Recherches sur les combinaisons du niobium* (*Ann. de Chim. et de Phys.*, 4e série, t. VIII, p. 5; 1886) et *Recherches sur la réduction du niobium et du tantale* (*Arch. des Sciences phys. et nat. de Genève*, t. XXXI, p. 89; 1868).

(2) Roscoe, *Chemical News*, t. XXXVII, p. 25.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

minée, on arrête la chauffe. Après refroidissement, la nacelle renferme un lingot bien fondu, peu adhérent au graphite et à cassure franchement métallique (1).

Propriétés physiques. — La fonte de niobium est assez dure; elle raie profondément le verre, et facilement le quartz. Au chalumeau à gaz oxygène, il nous a été impossible de l'amener à l'état liquide. Son point de fusion est donc supérieur à 1800°; au four électrique, elle se liquéfie avec facilité.

Propriétés chimiques. — La fonte de niobium chauffée légèrement dans une atmosphère de fluor devient incandescente et fournit d'abondantes fumées blanches d'un fluorure volatil. A la température de + 205°, elle est attaquée par le chlore avec un grand dégagement de chaleur, et il se produit le chlorure de niobium volatil $Nb\,Cl^5$, de couleur jaune d'or. La vapeur de brome l'attaque à une température un peu supérieure en fournissant un sublimé jaune à peine coloré. A la température de fusion du verre, l'iode est sans action.

La fonte de niobium réduite en poudre et chauffée dans un courant d'oxygène prend feu à 400°; l'incandescence est très vive, et il se fait un acide niobique léger, qui paraît foisonner au moment de la combustion. La réaction est identique en présence de l'air, bien que la température de combinaison soit plus élevée. La vapeur de soufre, à la température de 600°, ne produit qu'une attaque superficielle. Le sélénium et le tellure sont sans action à la même température.

Lorsque l'on chauffe cette fonte de niobium réduite en poudre dans un courant d'azote à 1200°, chaque parcelle de métal se recouvre d'une belle couche jaune plus ou moins profonde, d'un azoture de niobium, dont nous donnerons plus tard la composition. Mais, à une température de 500° à 600°, l'azote, le phosphore, l'arsenic et l'antimoine sont sans action apparente sur cette fonte de niobium.

L'action du carbone est assez curieuse. Maintenu peu de temps à l'état liquide, en présence de graphite, le niobium absorbe lentement du carbone qui entre en combinaison. En chauffant l'acide niobique en présence d'un excès de charbon, nous n'avons pas encore obtenu de fonte contenant un excès de graphite.

Le niobium s'allie difficilement avec les métaux; le sodium, le potassium et le magnésium peuvent être distillés sur cette fonte de niobium sans s'y combiner. Il ne donne pas de combinaison avec le zinc. Chauffé avec du fer doux à la température de fusion du métal, une petite quantité entre en combinaison. L'examen d'une surface polie de cet alliage de fer et de niobium a montré : 1° des fragments de niobium non altérés; 2° des stries irrégulières d'une combinaison de fer et de niobium ou d'un carbure double de fer et de niobium; 3° un milieu ferrugineux très abondant servant de dissolvant.

L'acide chlorhydrique gazeux attaque la fonte de niobium au-dessous du rouge sombre et sans incandescence; il se dégage de l'hydrogène, et il se sublime un chlorure d'un blanc jaunâtre.

A la température ordinaire, le niobium ne réagit pas sur l'eau; même à 600°, la vapeur d'eau et l'hydrogène sulfuré n'exercent aucune action sur la fonte de niobium réduite en poudre.

Le gaz ammoniac passant au rouge sur cette fonte en poudre fine est complètement dissocié en hydrogène et azote. Le niobium, dans cette expérience, ne change pas de poids et il paraît se faire une décomposition semblable à celles qui ont été indiquées par MM. Ramsay et Young.

Le gaz acide sulfureux est réduit avec incandescence vers 600°. Le protoxyde d'azote au rouge sombre produit une combustion très vive, et il reste une poudre grise qui ne renferme pas d'azote. La réaction est incomplète. Avec le bioxyde d'azote, on obtient le même résultat, et la combustion est plus vive. L'anhydride phosphorique est réduit par la fonte de niobium au rouge sombre, avec une abondante volatilisation de vapeurs de phosphore. Le gaz acide

(1) Le refroidissement doit se faire autant que possible à l'abri de l'azote de l'air.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

carbonique est décomposé au rouge avec production d'oxyde de carbone. L'acide iodique et l'anhydride arsénique sont réduits avec incandescence à une température plus basse. Le sesquioxyde de chrome maintenu au four électrique avec la fonte de niobium liquide est réduit avec facilité et donne un alliage cassant de chrome et de niobium.

Le protoxyde et le bioxyde de plomb additionnés de niobium pulvérisé déflagrent dès que l'on chauffe légèrement. Les deux chlorures de mercure sont décomposés au rouge sombre avec formation de chlorure de niobium et mise en liberté de mercure.

La fonte de niobium est attaquée par la potasse en fusion; il se fait un niobate alcalin et de l'hydrogène se dégage.

Le sulfate de potassium en fusion est réduit par le niobium avec production de sulfure de potassium et de petits cristaux bleus insolubles dans l'eau bouillante, et présentant au microscope l'apparence de petits cubes. Le chlorate de potassium ne réagit pas sur le niobium avant sa température de décomposition. Mais lorsque cette température est atteinte, la réaction se produit avec une vive incandescence. De même, l'azotate de potassium chauffé à sa température de décomposition fournit au contact de la fonte de niobium un violent dégagement de vapeurs nitreuses.

La solution d'acide fluorhydrique attaque lentement la fonte de niobium. Au contraire, l'acide chlorhydrique et l'acide azotique n'exercent aucune action sur ce corps même à leur température d'ébullition. L'acide sulfurique n'est pas décomposé à froid par la fonte de niobium réduite en poudre fine. En chauffant, l'attaque se produit avec une grande lenteur; l'acide se colore en brun et il se précipite de l'acide niobique. La fonte de niobium n'est pas attaquée par l'eau régale, tandis qu'elle se dissout rapidement dans un mélange d'acide fluorhydrique et d'acide nitrique.

Analyse. — Le dosage du carbone dans la fonte de niobium a été fait par combustion dans l'oxygène. La fonte réduite en poudre fine était placée dans une nacelle et chauffée dans un tube de verre de Bohême. La combustion se fait avec une grande facilité, et nous nous sommes assuré qu'elle est rapidement complète. Du poids d'acide carbonique recueilli il est facile de déduire le poids du carbone combiné. Nous rappellerons que, dans toutes les fontes que nous avons préparées jusqu'ici, nous n'avons jamais rencontré de graphite libre (1). Nous indiquerons ci-dessous quelques-unes de nos analyses :

	1	2	3	4	5
Carbone combiné	3,40	3,15	2,93	2,71	2,30

Conclusions. — En résumé, l'emploi du four électrique permet d'obtenir avec facilité une fonte mixte de niobium et de tantale de laquelle, en appliquant la méthode de Marignac, on peut séparer le niobium et le tantale sous forme de composés oxygénés.

L'acide niobique, qui était irréductible par le charbon à la plus haute température de nos fourneaux ordinaires et à celle du chalumeau à gaz oxygène, peut être réduit dans mon four électrique et donner une fonte très dure, ne contenant qu'une petite quantité de carbone combiné. Cette fonte, qui reste solide à la température de fusion du platine, qui est à peu près inattaquable par les acides, qui n'exerce pas d'action au rouge sur la vapeur d'eau, qui brûle dans l'oxygène avec facilité en produisant un acide stable, possède en même temps des propriétés réductrices très curieuses. Cet ensemble de réactions éloigne le niobium des métaux et rapproche ce corps simple du bore et du silicium.

(1) Nous nous sommes assuré, dans des expériences préliminaires, que la fonte de niobium ne dissolvait pas l'azoture du même corps simple.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

NOTES DE MÉCANIQUE

ESSAIS DE ROUES TANGENTIELLES, D'APRÈS *M. E. Keely* (1).

Ces essais ont été exécutés au laboratoire du *Sibley College*, à Ithaca, au moyen de la chambre à roues représentée par la figure 1, extrêmement commode pour y installer et expérimenter, dans des conditions comparables et rigoureusement définies, des

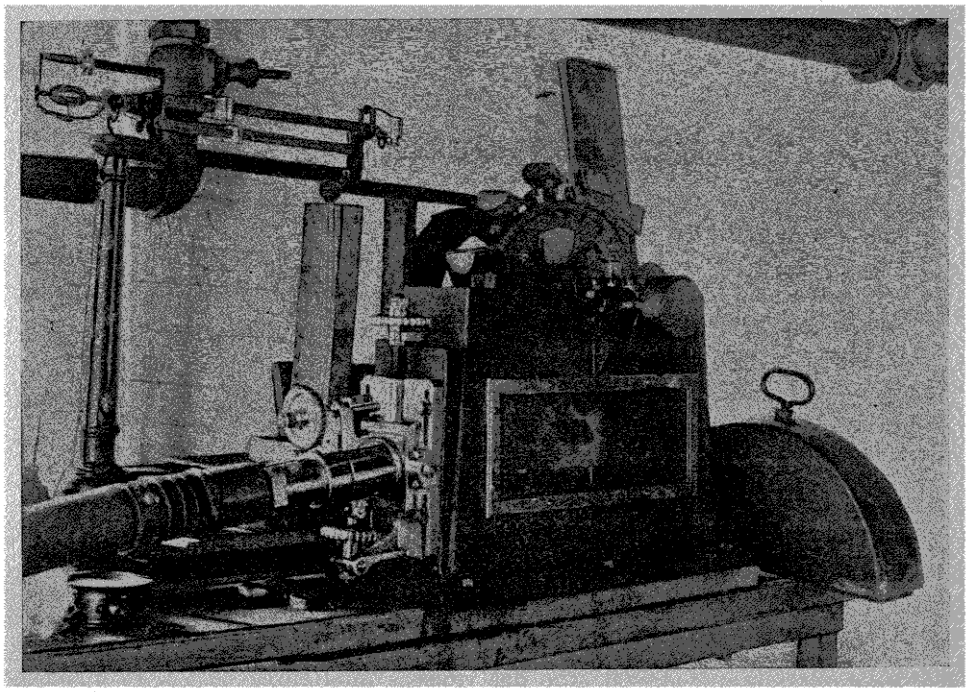


Fig 1. — Installation des essais de roues *Pelton* au *Sibley College*.

roues tangentielles de toute espèce. L'ajutage qui fournit le jet moteur peut s'ajuster en hauteur et en inclinaison.

L'eau sous pression était fournie par une pompe à vapeur duplex refoulant dans un réservoir d'air assez grand pour maintenir la pression invariable. On employa quatre ajutages de 8, 9,5, 11 et 13 millimètres de diamètre, et à coefficients de débit de 98, 100, 99 et 89 p. 100, déterminés en laissant ces ajutages remplir, sous des charges connues, un réservoir pesé sur une bascule, et en notant le temps nécessaire

(1) *Sibley Journal of Engineering*, juin 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à ce remplissage. Le coefficient faible de l'ajutage de 13 millimètres est dû à ce que sa section n'était pas rigoureusement circulaire.

La roue, connue sous le nom de roue Maelstrom (n° 3, fig. 2), a ses augets terminés en spirale de manière à couper le jet aussi peu que possible et seulement quand il passe d'un auget au suivant. L'auget n° 2, construit par l'usine Risdon, à San Francisco, est semblable à ceux des roues Pelton; celui de Doble (n° 4), aussi à San Francisco, se distingue de ceux de Pelton par la suppression de la lèvre d'entrée, qui détourne une partie du jet; ici, l'arête médiane de l'auget pénètre immédiatement dans le jet et le coupe dans un seul plan.

On sait que, pour que les roues tangentielles aient leur rendement maximum, il faut que l'eau y entre sans choc et en sorte sans vitesse, et que, pour satisfaire à cette

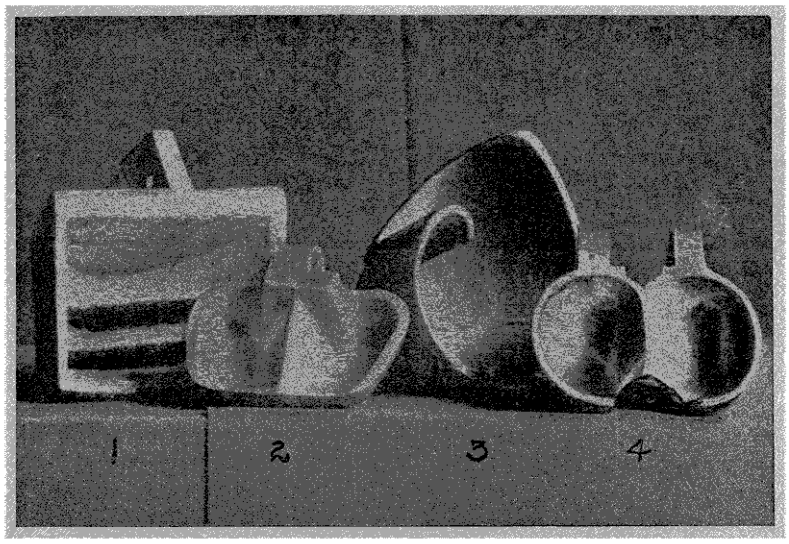


Fig. 2. — Types d'augets n° 1, *De Rener;* 2, *Risdon;* 3, *Maelstrom;* 4, *Doble.*

dernière condition, la vitesse tangentielle de leurs augets doit être égale à la moitié de celle du jet, en supposant nul le frottement de l'eau sur l'auget; en pratique, ce frottement intervient, ainsi que celui des paliers et la résistance de l'air, de sorte que le rendement maximum s'obtient avec des vitesses inférieures de 5 à 15 p. 100 à la vitesse théorique.

Il faudrait, en outre, pour atteindre le rendement maximum, que le jet fût renvoyé exactement à 180° de sa direction primitive, ce qui est (fig. 4) impossible en raison de la présence du godet suivant, qui s'opposerait alors à la sortie de l'eau; en pratique, l'angle minimum b, de sortie, est donné par la formule $\text{tang } b = \frac{nt}{2\pi . R}$, dans laquelle t est la somme des épaisseur de l'auget et du jet au point de sortie et R le rayon de la roue. Dans la roue de Willans (fig. 3), on peut obtenir le retournement ou la réflexion du jet à 180°, parce que les augets y sont télescopés de manière à éviter leur choc par ce retour.

On a, sur le diagramme figure 6, indiqué, pour 8 des roues essayées et numéro

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tées en abscisses de 1 à 8, les rendements maxima obtenus avec un même ajutage de $9^{mm},5$ et des charges A B C et D de $22^{m},40$, $71^{m},63$, 40 mètres et $57^{m},60$; ces maxima

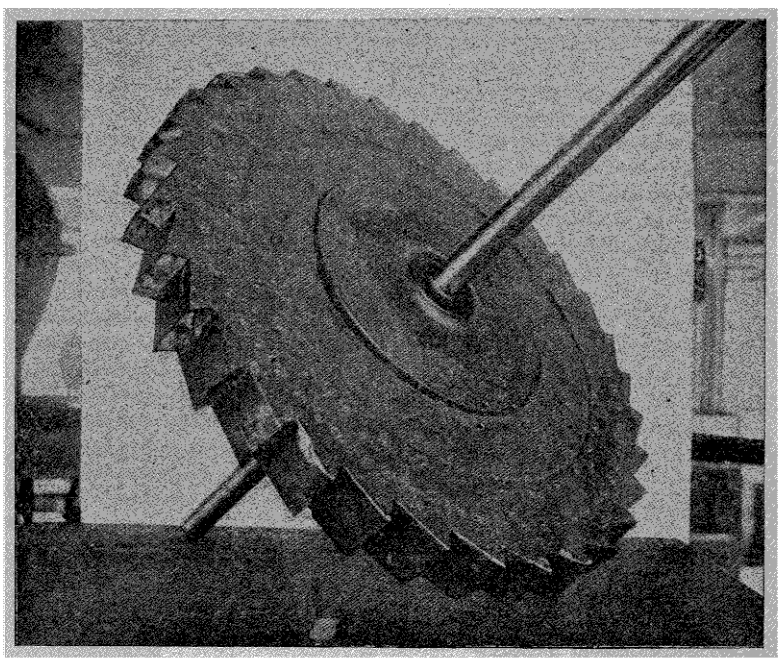


Fig. 3. — Roue *Willans*.

sont donnés par l'intersection des ordonnées 1, 2, 3... avec les courbes A B C D; on voit que ces rendements ne dépassent guère, pour des roues de ce diamètre (400 millimètres), le chiffre de 75 p. 100.

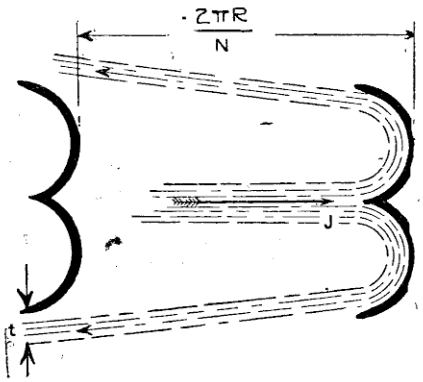


Fig. 4.

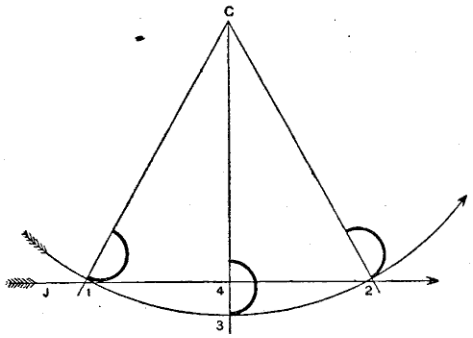


Fig. 5.

La courbe OMIR (fig. 7) représente les variations du rendement d'une roue Willans de 400 millimètres avec la vitesse relative du jet d'un ajutage de $9^{mm},5$, sous une charge de $71^{m},60$; les abscisses 0, 0.2, 0.4... 2, indiquent le rapport du double de la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vitesse tangentielle de la roue à celle du jet. Avec des augets convenablement disposés, la courbe du rendement a, jusqu'au point M, la forme d'une parabole; puis, au delà, elle s'abaisse plus rapidement, parce que l'eau passe entre les augets, comme on

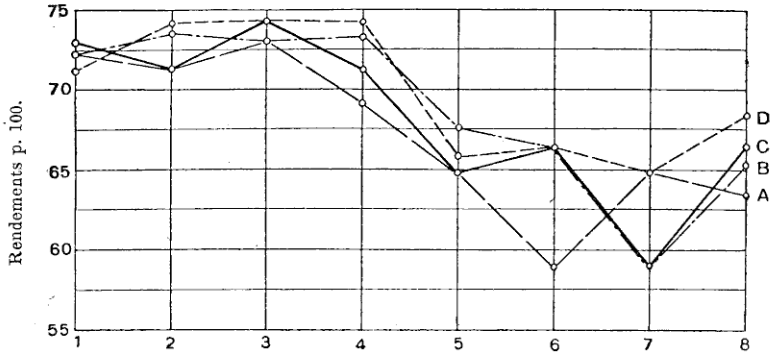


Fig. 6.

le voit en figure 5. On voit que, pour laisser libre passage au jet J, le temps que l'eau met à aller de 1 à 2 doit être le même que celui employé par l'auget 3 à aller en 2, et le nombre des augets doit être tel que cette condition soit remplie au point M; s'il y en a trop, on perd cet avantage, et le rendement s'abaisse en outre par l'augmentation

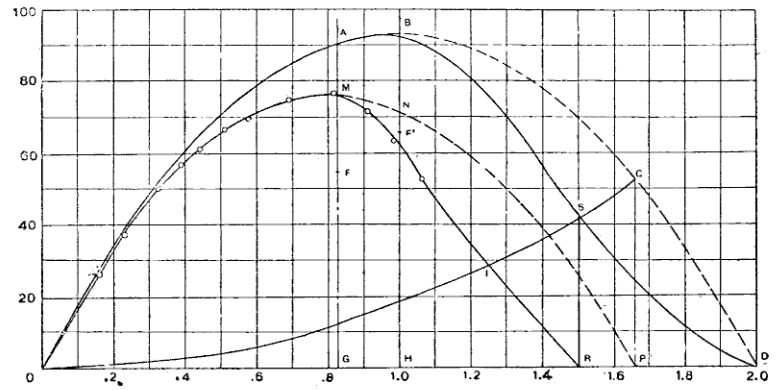


Fig. 7.

du frottement de l'eau sur les augets, ses chocs en retour sur ces augets, etc. La courbe OISC (fig. 7) représente le frottement des paliers et la résistance de l'air au mouvement de la roue, et, si l'on ajoute ses ordonnées à celles de la courbe OMIR, on obtient le rendement final des augets, en éliminant les autres pertes mécaniques; ce rendement est constant et égal à 93 p. 100.

LAMINOIR *Hodgson* ET *Norton* (1).

Dans ce laminoir, le rapprochement des cylindres est commandé automatiquement par un cylindre hydraulique dont la distribution est menée par une commande

(1) *Bulletin* de mai 1898, p. 641.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

reliée aux cylindres mêmes du laminoir. Les vis 77, qui commandent l'écartement des cylindres du laminoir sont (fig. 1 et 2) actionnées par la crémaillère 9 du cylindre hydraulique 13, en prise avec les pignons 8 8, fous sur 7, et portant chacun une vis

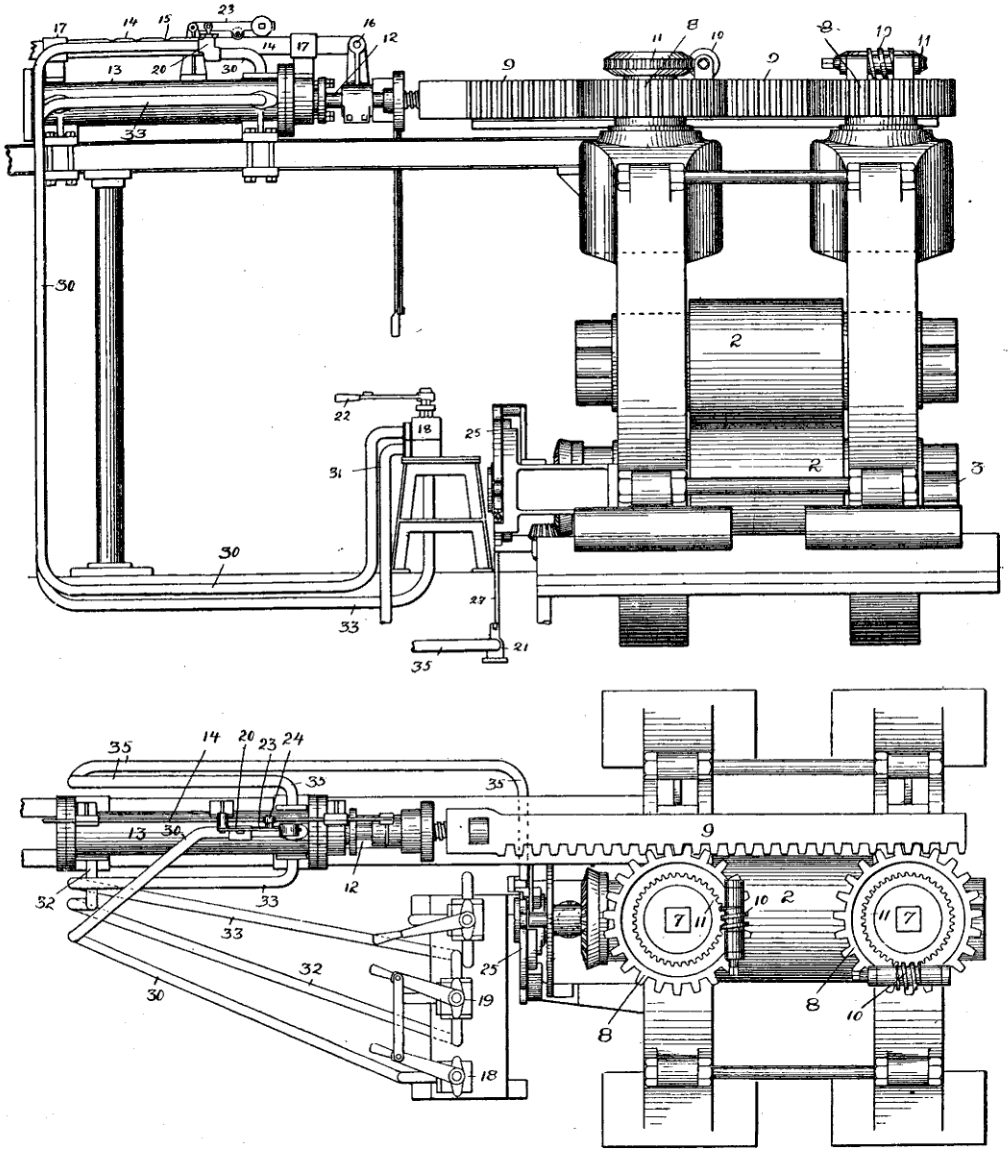


Fig. 1 et 2. — Laminoir *Hodgson et Norton*. Élévation et plan.

10, engrenée avec un pignon 11, calé sur 7; on peut ainsi commander, par ces vis et à la main, chacune des vis 7 indépendamment, pour le réglage en parallèle des cylindres lamineurs.

La tige du piston du cylindre 13 porte (fig. 1 et 7) une barre 14, à encoches 15,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

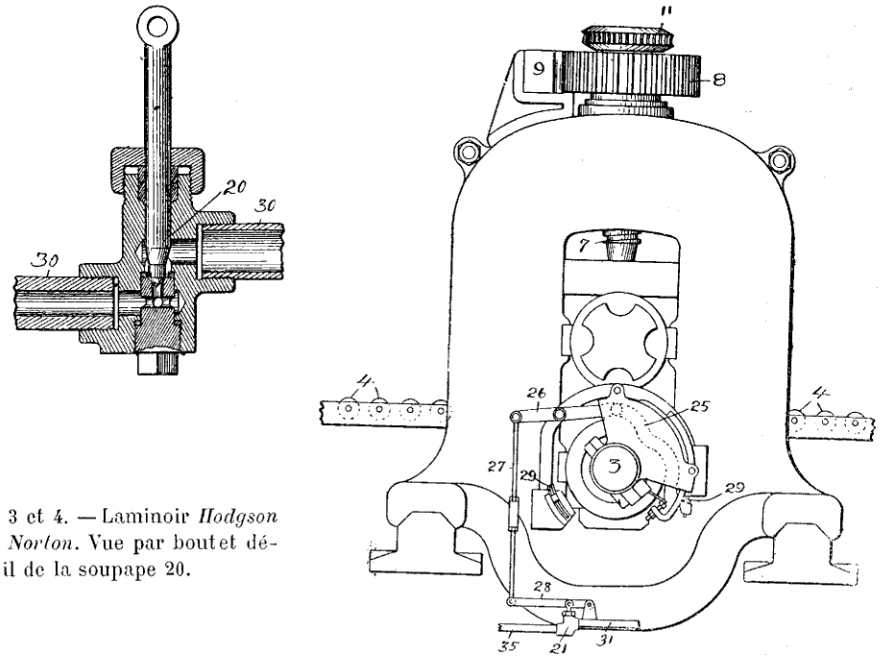


Fig. 3 et 4. — Laminoir *Hodgson et Norton*. Vue par bout et détail de la soupape 20.

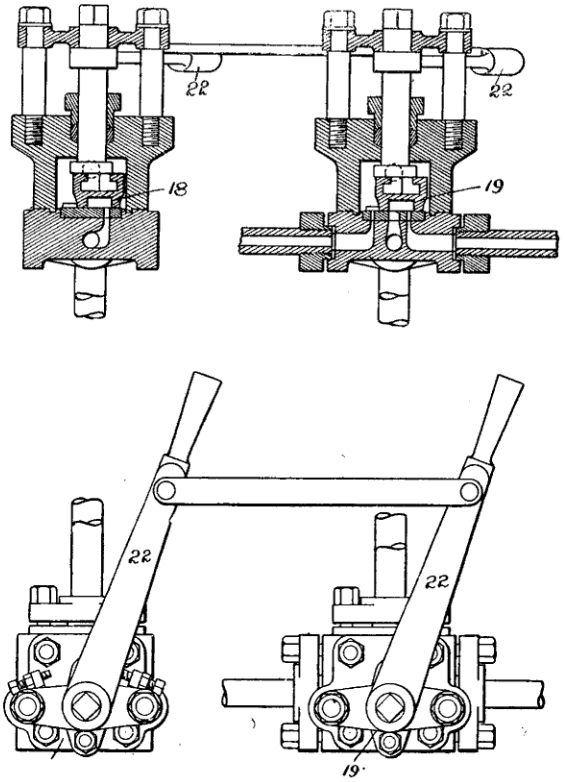


Fig. 5 et 6. — Laminoir *Hodgson et Norton*. Détail de la manœuvre des tiroirs 18 et 19.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

facile à remplacer par une autre, et c'est l'écartement de ces encoches qui détermine la longueur des courses successives du piston de 13 et des rapprochements correspondants des cylindres du laminoir.

La distribution de l'eau sous pression est faite au cylindre 13 par quatre valves 18, 19, 20 et 21, dont deux : 18 et 19, conjuguées par une bielle et manœuvrées par les leviers 22 (fig. 6). La valve 20 est (fig. 7) commandée par la barre 14 au moyen du

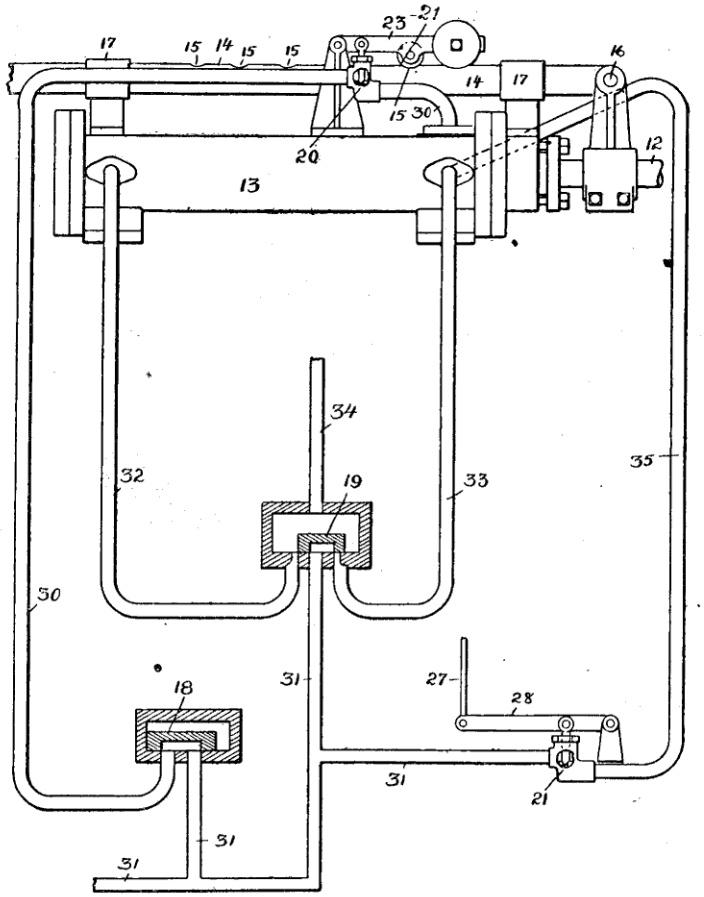


Fig. 7. — Laminoir *Hodgson et Norton*. Schéma du fonctionnement.

levier 23 et du galet 24, qui tombe dans les encoches 15. La valve 21 est commandée par (fig. 3) la came 25, montée à frottement sur le tourillon du cylindre de laminoir 3, et le renvoi 26, 27, 28; et la rotation de cette came est arrêtée, à chaque renversement du laminoir, par l'un des tocs 29.

Le tiroir 18 (fig. 7) qui ouvre l'échappement de l'eau sous pression, est commandé, comme nous l'avons vu (fig. 6) en même temps que 19 et est relié par le tuyau 30 à l'avant du cylindre 13; le tiroir 19 est relié par 34 à l'eau sous pression et par 32 et 33 aux deux bouts du cylindre 13, ainsi qu'à l'échappement 31. On voit aussi (fig. 7) que 20 relie par 30 l'avant du cylindre 13 au tiroir d'échappement 18, relié, d'autre part, à ce même avant par la valve 21 et le tuyau 35.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Quand les tiroirs 18 et 19 occupent les positions figure 7, de manière à ouvrir l'échappement à l'avant et l'admission à l'arrière du cylindre 13, le piston de ce cylindre reste néanmoins immobile parce que 30 est encore fermé par 20 et 35 par 21; mais, dès que la rotation du laminoir est renversée, sa came 25 (fig. 3) ouvre 21 pendant un instant de manière à laisser l'eau s'échapper de l'avant du cylindre 13 assez pour permettre à son piston de faire franchir au galet 24 l'encoche de 15 où il se trouve, et d'ouvrir ainsi la valve 20; cette ouverture permet au piston de 13 de continuer son mouvement jusqu'à ce que le galet 24 retombe dans l'encoche 15 suivante, referme 20, et s'arrête; puis la même opération se renouvelle à chaque renversement de la marche du laminoir.

A la fin du laminage, quand toutes les encoches 15 y ont passé, on ferme en 22 la communication entre 30 et 31 par 18, et on fait communiquer 32 et 31, par 19, avec admission de l'eau sous pression, par 33, à l'avant de 13, dont le piston, revenant à gauche, ramène 14 dans sa position primitive, ainsi que les cylindres du laminoir.

PRESSE *Hughes* A FAIRE LES BILLETTES

Cette machine prend les gros lingots d'acier dès qu'ils sont suffisamment refroidis pour être manipulés, les coupe en billettes et les presse de manière à en supprimer

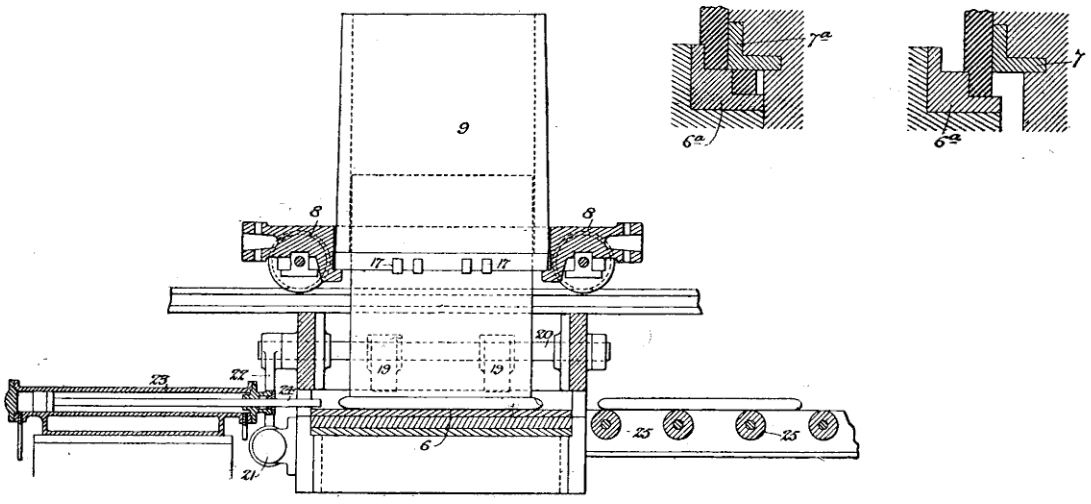


Fig. 2, 7 et 8. — Presse *Hughes*. Coupe transversale et variante des mâchoires.

le creux et à les rendre aussi homogènes que possible. On évite ainsi soit la coulée en petits lingots, soit le passage des gros lingots dans un laminoir blooming spécial, suivi de leur découpage en billettes : la fabrication des billettes est plus rapide et moins coûteuse.

Le moule à lingot 9 (fig. 1) est amené, par le chariot 8, au-dessus de l'ouverture 18, et, quand le lingot s'y est suffisamment refroidi, le fond 10 de la lingotière, accroché en 17 aux billettes 15, est retiré de 9 par le cylindre hydraulique 11 et le renvoi 12, 13, 14 (fig. 1 et 4); le lingot tombe alors sur l'avant 6 du piston 4, comme en figure 5, où il arrive, guidé par 18 et appuyé sur le bloc 2 par le bras 9, que commande la paire

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

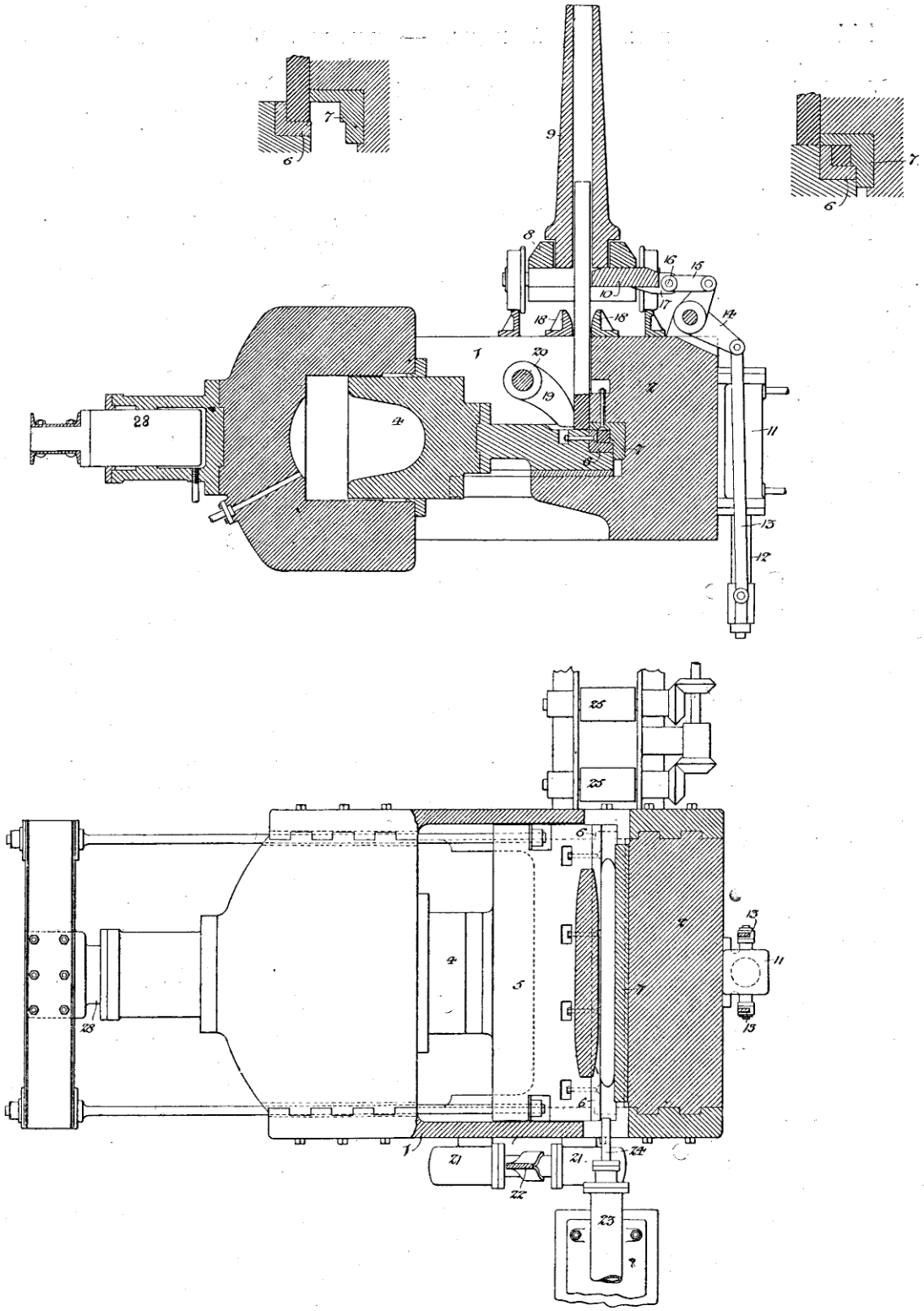


Fig. 1, 3, 5 et 6. — Presse *Hughes* à faire les billettes. Coupe verticale, plan-coupe et détail.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de cylindres 21 (fig. 4). On fait alors avancer le piston 4, de manière à couper le bout du lingot entre 6 et 7, comme en figure 6, et à l'y comprimer; on laisse ensuite le piston 26, toujours en pression, rappeler le piston 4, et l'on chasse, par le piston du cylindre 23 (fig. 2), la billette ainsi coupée à sa longueur et comprimée sur les galets transbordeurs 25.

Afin d'assurer l'homogénéité du lingot, le moule 9 est disposé de manière à lui donner la forme amincie aux extrémités que l'on voit en figure 3, de sorte que la

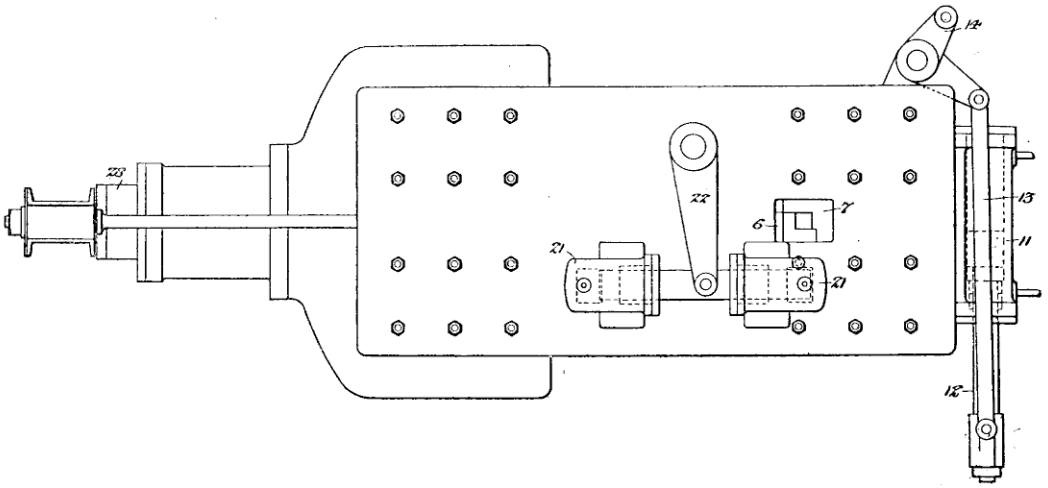


Fig. 4. — Presse *Hughes*. Elévation.

pression des matrices 6 et 7 s'exerce d'abord au centre du lingot, où il est le plus poreux, puis, progressivement, aux deux bouts, vers lesquels se produit l'écoulement du métal.

On peut aussi, comme en figure 7 et 8, comprimer le métal avant de le couper, la descente du lingot se faisant alors en deux temps.

CHAUFFAGE DES CHAUDIÈRES AU CHARBON PULVÉRISÉ A LA FABRIQUE DE CIMENT *Alpha* (1).

Comme le savent nos lecteurs (2), l'emploi des fours tournants chauffés au pétrole ou au charbon pulvérisé est très répandu, presque universel dans les manufactures de ciment aux États-Unis, et le succès du charbon pulvérisé, pour ce chauffage, a tout naturellement incité à en tenter l'application aux foyers des chaudières.

Cette application, qui n'est d'ailleurs pas nouvelle (3), a particulièrement bien réussi dans la grande usine modèle de la Compagnie Alpha, dont les établissements, situés à Alpha (New-Jersey), ont leurs chaudières chauffées au moyen de charbon pulvérisé par une installation due à la *Engineering and Powdered Fuel C°*, de Philadelphie.

Le charbon employé est de la houille bitumineuse tout-venant; il est d'abord pul-

(1) *Engineering News*, 20 juin.
(2) *Bulletin* de janvier et de juin 1899, p. 121 et 887.
(3) *Bulletin* de février 1897, p. 291.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vérisé en grains de la grosseur d'un grain de blé, puis, s'il contient plus de 6 p. 100 d'humidité, passé dans un sécheur du type Cummer, constitué (fig. 6) par un cylindre horizontal tournant chauffé extérieurement par un foyer et traversé par un courant d'air. Du sécheur, le charbon tombe dans un magasin (*Coal Bin*, fig. 1), puis au broyeur (fig. 2 et 3), aux boulets duquel il arrive par son axe vertical.

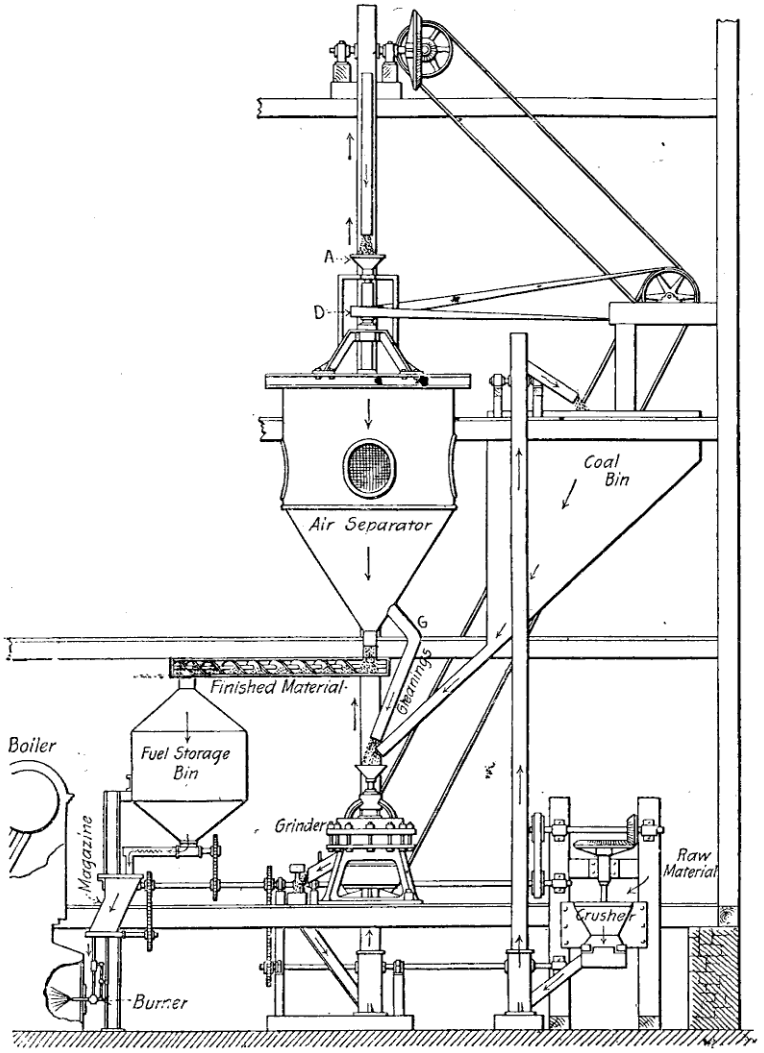
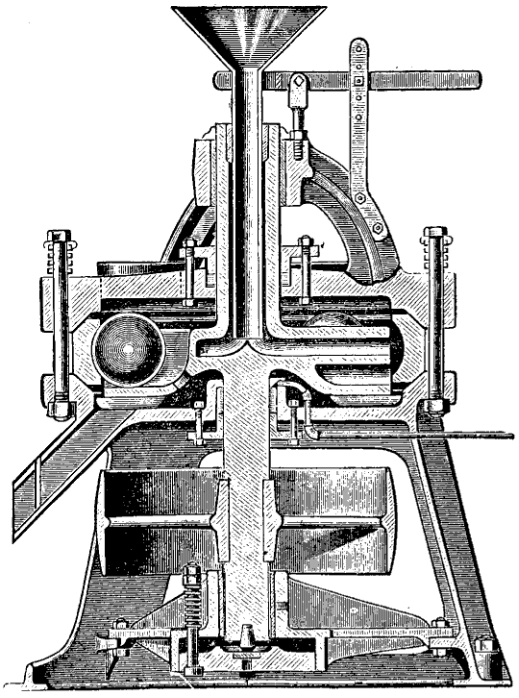


Fig. 1. — Chauffage des chaudières au charbon pulvérisé. Disposition générale.

Du broyeur, la poussière de charbon passe au séparateur à air, où il tombe par le tuyau central A (fig. 4) en E et se mêle au courant d'air déterminé par le ventilateur C qui le rejette sur l'écran de l'enveloppe, et où les particules les moins fines se séparent en G; la poussière de charbon ainsi formée passe par F dans un magasin qui le distribue aux chaudières, et les gros de G reviennent au broyeur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Du magasin, la poussière de charbon est amenée par une vis (fig. 5) au brûleur à



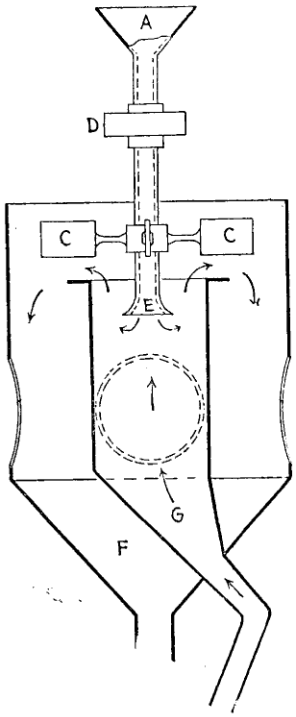


Fig. 4. — Séparateur.

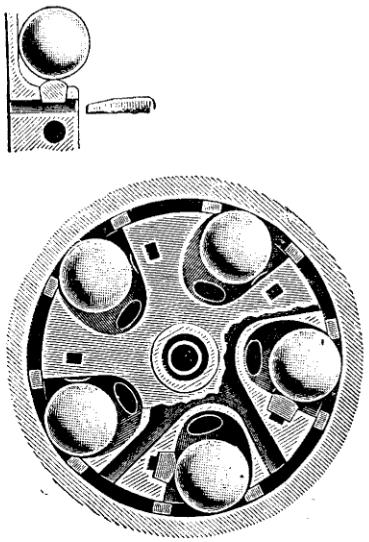


Fig. 2 et 3. — Broyeur.

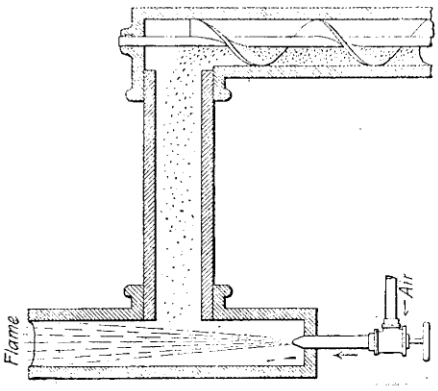


Fig. 5. — Brûleur.

injection d'air, où il brûle sans fumée, comme un jet de gaz. L'allumage se fait par un feu de bois, puis la chaleur du foyer suffit à en assurer la continuité. Quand les pro-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

portions d'air et de charbon sont bien réglées pour une combustion parfaite sans excès d'air, la chaleur est très intense et les murailles du foyer doivent être construites en briques réfractaires de première qualité, principalement aux points directement frappés par la flamme ; il y faut des briques siliceuses ou des scories de ciment.

Des essais exécutés par M. de Kinder sur un foyer de chaudière tubulaire à retour de flamme ainsi alimenté ont montré que la combustion était parfaite quand on marchait presque sans fumée, avec environ 14 kilogrammes d'air par kilogramme de charbon.

Comme on peut, en donnant à l'air une vitesse suffisante, forcer à volonté l'injection de charbon, il est facile de forcer aussi, avec ce système, la vaporisation des chaudières ; et l'on peut citer comme exemple un essai exécuté sur une chaudière à tubes d'eau Stirling (1) dont on a pu presque doubler la vaporisation en passant d'une

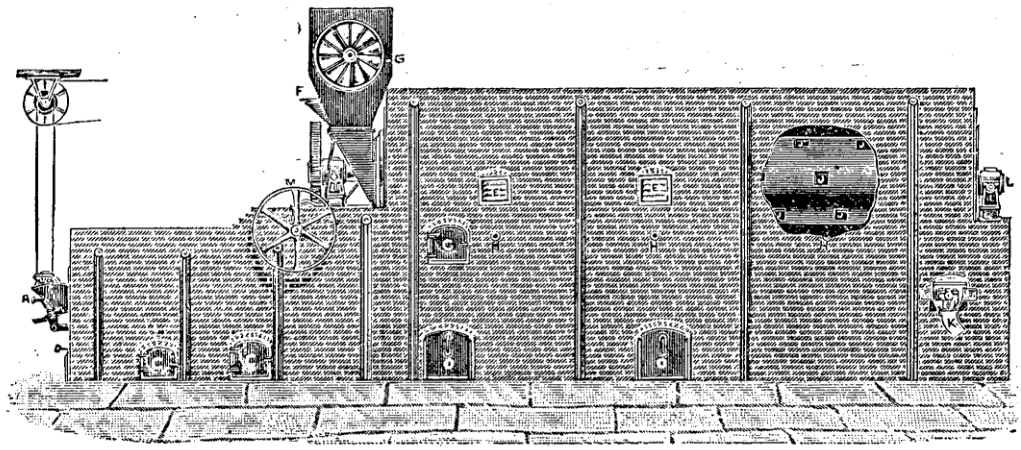


Fig. 6. — Sécheur *Cummer*.

dépense de 400 kilogrammes de charbon par heure à 590 kilogrammes, et ce avec des vaporisations peu différentes de 11^{kg},12 et 12 kilogrammes d'eau par kilogramme de combustible.

Pour bien marcher, le charbon doit être pulvérisé très fin, et, dans cet état, il ne peut être conservé sans crainte de s'enflammer spontanément. Quant au prix de la pulvérisation, on peut l'estimer en moyenne, de 0 fr. 50 à 1 fr. 25 par tonne ; la machinerie nécessaire pour broyer et séparer 75 à 100 tonnes de charbon par vingt-quatre heures exige 24 chevaux, ou environ le centième de la puissance que ce charbon peut produire sous une bonne chaudière ; c'est moins que la dépense exigée par nombre de grilles à alimentation mécanique.

ALLÈGE POUR CHARBONS *Clarke* (2).

Nous avons fréquemment signalé les remarquables dispositions adoptées aux États-Unis pour la manutention des charbons et des minerais, dans les ports et sur les

(1) *Bulletin* d'avril 1894, p. 175.
(2) *Engineering News*, 20 juin, p. 445.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rivages des mines (1) ; l'allège que nous allons décrire en est un nouvel et très intéressant exemple, car elle permet de transborder de grosses charges très rapidement : au taux de 125 à 135 tonnes par heure, presque automatiquement, et en les pesant en même temps.

La coque de l'allège a (fig. 2 à 3) 44 mètres $\times$ $5^{m},20$ $\times$ $9^{m},15$ de large : capacité, 1 000 tonnes ; elle est divisée en 7 trémies de $4^{m},88$ dans le sens de la longueur de l'allège sur $8^{m},50$ d'ouverture à leur partie supérieure ; et chacune d'elles est pourvue, au bas (fig. 4), de trois portes de 560 $\times$ 610 millimètres, débouchant sur un canal

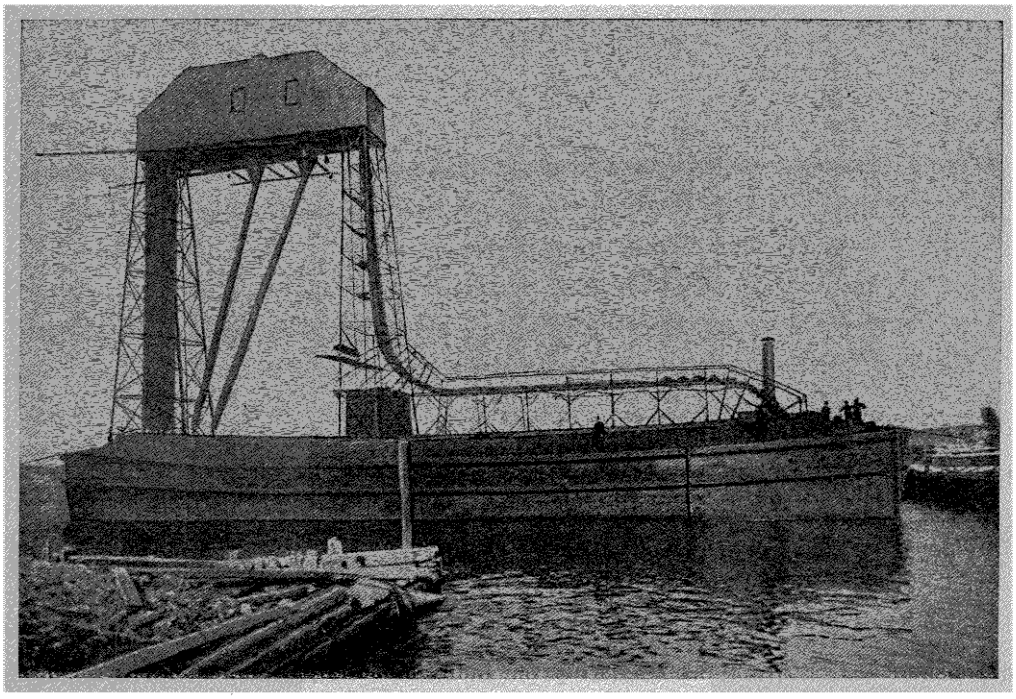


Fig. 1. — Allège *Clarke*.

qui s'étend sur toute la longueur de l'allège, et dans lequel circulent les godets d'un convéyeur. Ce convéyeur emporte le charbon au haut d'une tour, où il est pesé par deux bascules automatiques, dans lesquelles les godets successifs se déchargent alternativement, et de ces bascules (*Scales*, fig. 5), le charbon est déchargé dans des chutes qui le distribuent au navire en chargement.

Le fond de chacune des trémies est constitué par deux vantaux à charnières, de $3^{m},35$ $\times$ $4^{m},88$, commandés par des cylindres hydrauliques (fig. 4) de 150 $\times$ $1^{m},07$ de course, au nombre de deux par vantail, et conjugués de manière à marcher rigoureusement d'accord, malgré les inégalités de leurs charges. Cette liaison est réalisée par une valve hydraulique automatique à deux voies, qui commande l'admission de l'eau

(1) *Bulletins* de décembre 1895, p. 1367 ; janvier, février, mai, décembre 1896, p. 139, 280, 750 et 1681 ; février et novembre 1897, p. 294 et 1518 ; janvier, avril, juillet 1898, p. 90, 496 et 897 ; janvier et mai 1899, p. 140 et 790.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sous pression aux deux cylindres du même côté d'un vantail. Tant que le bord extérieur du vantail soulevé reste horizontal, ce robinet reste dans sa position moyenne, admettant l'eau également aux deux cylindres de ce vantail ; mais, dès que l'une de ces extrémités se lève plus que l'autre, la valve étrangle l'admission au cylindre correspondant, jusqu'à ce que l'horizontalité soit rétablie. L'eau sous pression est fournie par une pompe avec accumulateur logée, comme les chaudières, à l'arrière de l'allège, et l'on peut aussi commander à la main les distributeurs des cylindres par des leviers sur le pont.

Les portes des trémies sont des plaques de fonte montées sur des glissières disposées de manière à ne pouvoir se boucher par le charbon, et elles sont commandées

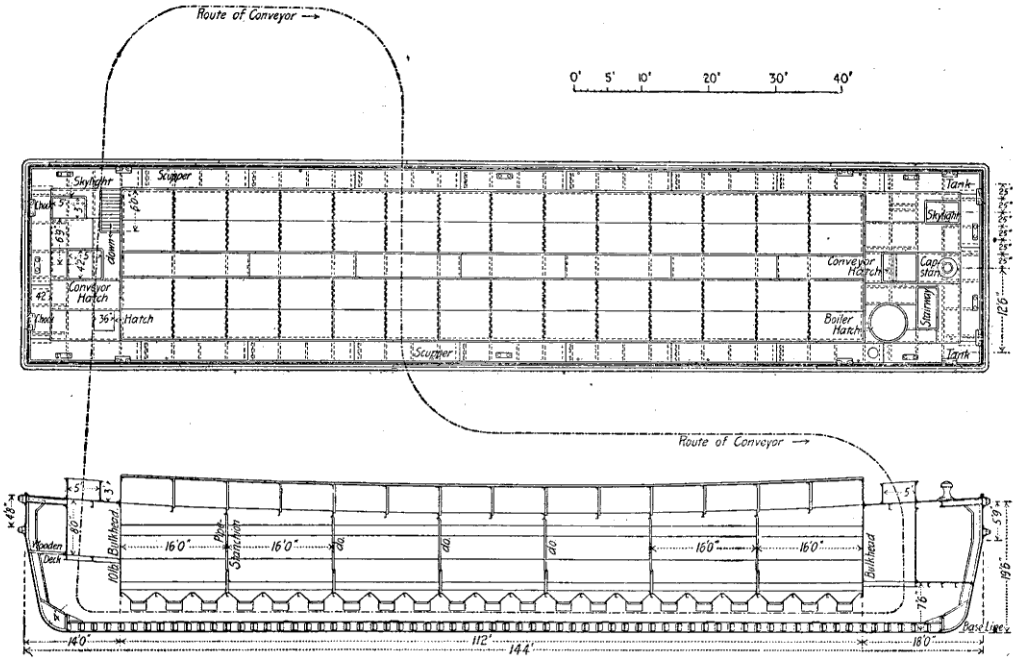


Fig. 2. — Allège *Clarke*. Schéma du fonctionnement.

par des leviers embrayables (fig. 6) sur un arbre que mène un cylindre à vapeur; les embrayages de ces leviers sont commandés du pont, ainsi que la distribution du cylindre à vapeur. A côté des portes, au fond des trémies, se trouve un racleur rotatif (fig. 4) à pics, qui désembrouille le charbon et en facilite l'écroulement; ce racleur est commandé par une transmission à chaînes que l'on peut débrayer à volonté.

Les godets du convéyeur, du type représenté en figure 8, pivotés sur deux axes, sont disposés de manière que leurs bords se recouvrent et ne laissent pas de charbon passer entre eux; leur trajet est indiqué sur le schéma fig. 2; les galets de leur chaîne sans fin sont constamment guidés par les rails directeurs et porteurs, et l'on voit, en figure 5, comment ils se déversent alternativement dans chacune des bascules.

Au taux de 125 tonnes par heure, élevées à 22^{m},80, hauteur de la tour, la puis-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sance théorique à dépenser est d'environ 10 chevaux 6, auxquels il faut ajouter au moins 1 cheval pour les résistances passives; le moteur est de 20 chevaux, sa vitesse

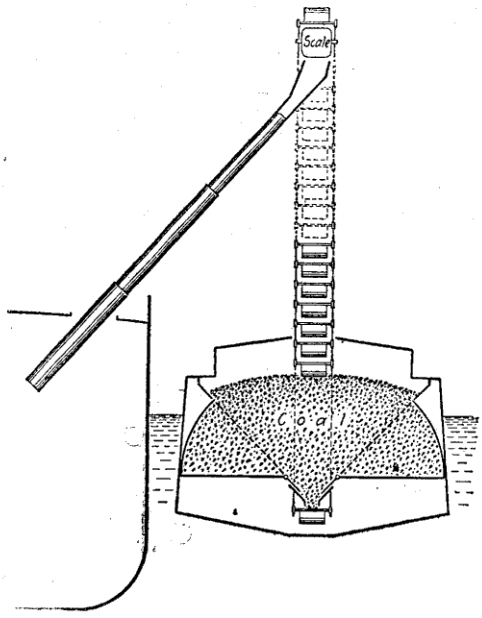


Fig. 3. — Allège *Clarke*. Coupe transversale schématique.

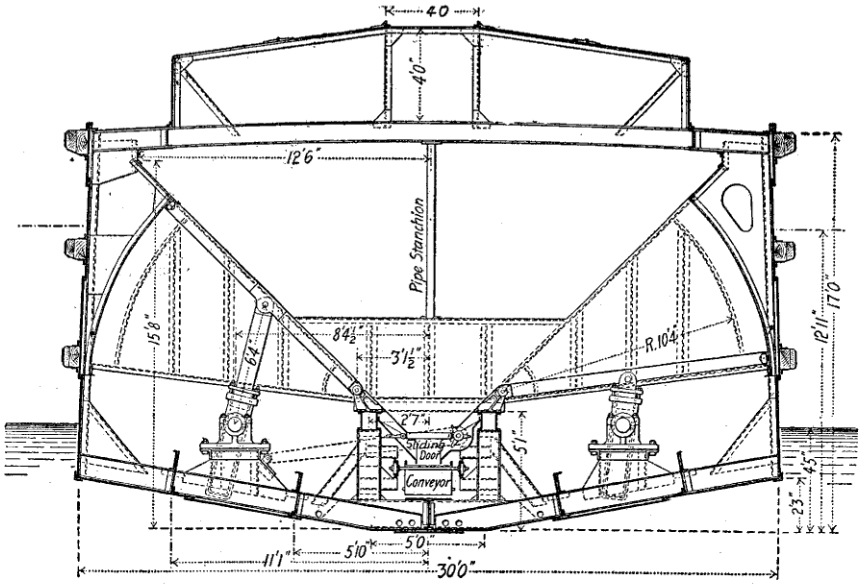


Fig. 4. — Allège *Clarke*. Coupe transversale de la coque.

varie de 200 à 250 tours par minute, les 200 tours correspondant au débit de 125 tonnes par heure. La chaudière verticale, de $1^{m},50$ de diamètre, tarée à 50 chevaux, est timbrée à $4^{kg},2$.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

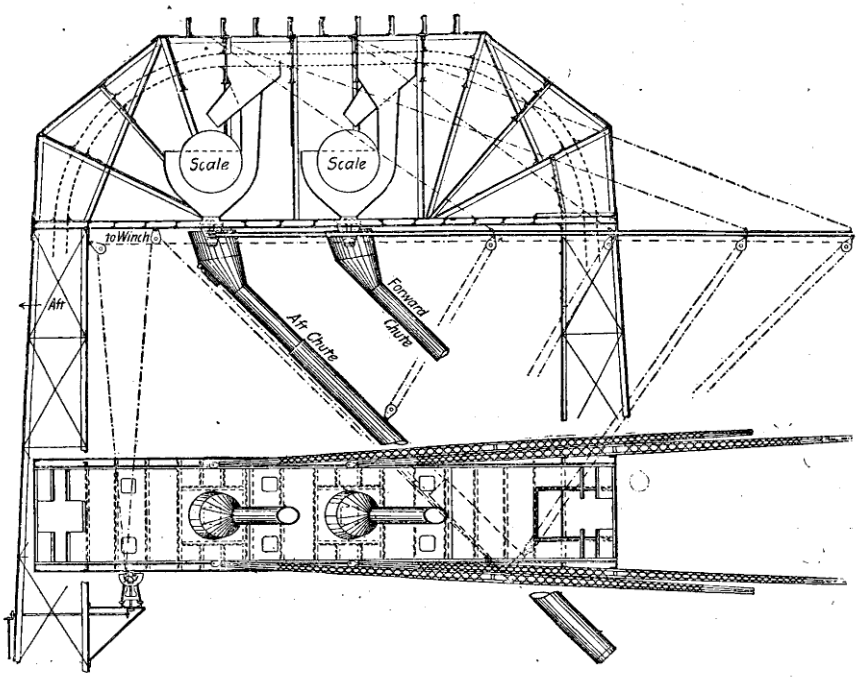


Fig. 5. — Allège *Clarke*. Pesage.

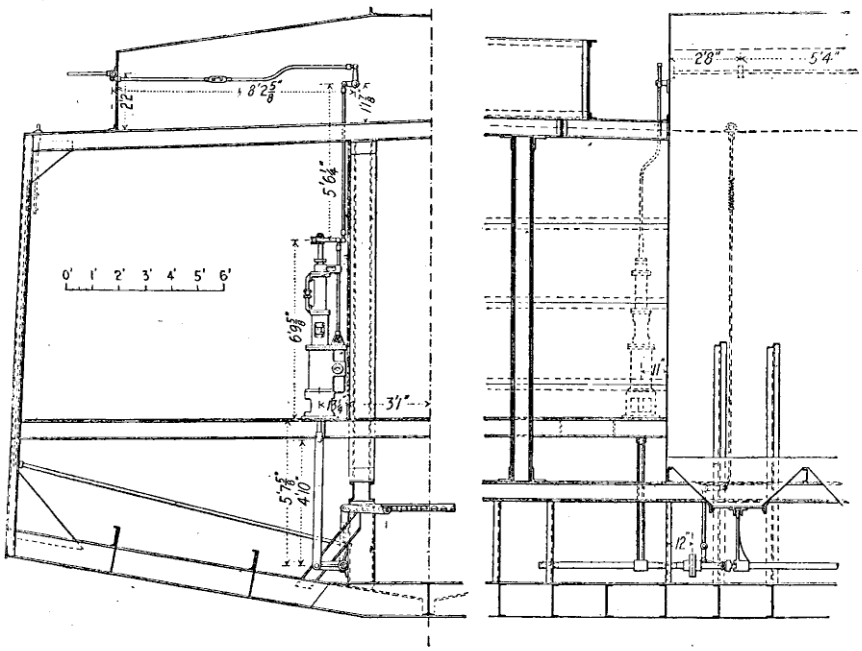


Fig. 6 et 7. — Allège *Clarke*. Commande des portes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les bascules, du type *Clarke* à cylindres tournants, pèsent par quart de tonne, de sorte que, au taux de 125 tonnes par heure, chacune d'elles fonctionne deux cent cinquante fois par heure ; un compteur électrique enregistre les pesées sur le pont ;

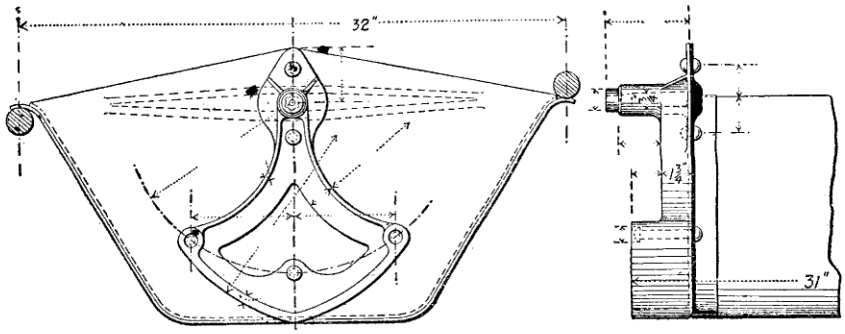


Fig. 8. — Allège *Clarke*. Détail d'un godet.

ces bascules, très précises, à 1 p. 100 près, sont aussi très solides, car elles ne manifestent aucune usure après une année de service.

Cette manutention du charbon se fait sans le détériorer, et avec six hommes seulement, dont un commandant et un mécanicien. Le chargement du navire se fait sans le concours d'aucun de ses hommes ; cette allège fonctionne avec un plein succès depuis un an, à New-York, sous la direction de l'*Automatic Coaling and Weighing Barge C°*, 71 Broadway.

LE POINÇONNAGE DES MÉTAUX D'APRÈS M. *H.-V. Loos* (1).

Dans les expériences sur le pressage de l'acier dont nous avons rendu compte dans notre *Bulletin de février 1900* (p. 290), M. Loos avait constaté que, d'après les chiffres donnés par sa poinçonneuse hydraulique, la résistance au poinçonnage était inférieure de 30 p. 100 environ à celle ordinairement admise et à celle constatée pour le cisaillement.

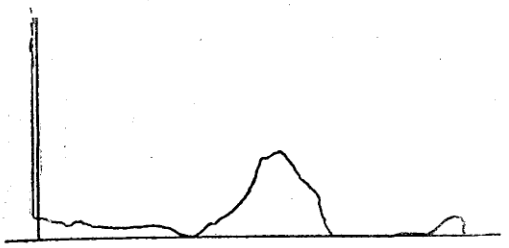
De nouvelles expériences n'ont fait que confirmer cette assertion en apparence paradoxale, mais que M. Loos explique en remarquant que le poinçon de la machine des essais marchait cinq ou six fois moins vite que ceux des poinçonneuses mécaniques usitées dans l'industrie, de sorte que les phénomènes d'écoulement du métal qui se produisent pendant leur poinçonnage sont tout différents ; et, de cette constatation, il déduit que, pour s'assurer le meilleur rendement, le poinçon devrait marcher à deux vitesses : lentement pendant sa pénétration et vite pendant son retrait. C'est d'ailleurs en appliquant ce principe que MM. *Hopes* et *Townsend* ont pu, dans des expériences célèbres, poinçonner des écrous ayant plusieurs fois le diamètre du poinçon.

Les nouvelles expériences de M. Loos, exécutées sur des tôles d'acier d'épaisseurs mesurées au micromètre, ont donné, comme résistance par centimètre carré de section arrachée, avec des poinçons biseautés, 2900 kilogrammes en augmentant un peu avec l'épaisseur de la tôle, et jusqu'à 3200 kilogrammes, ou 25 p. 100 de plus, avec

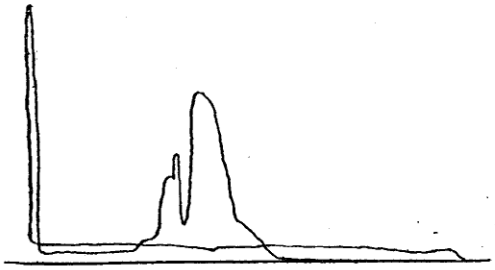
(1) *Journal of the Franklin Institute*, juin 1901, p. 456.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

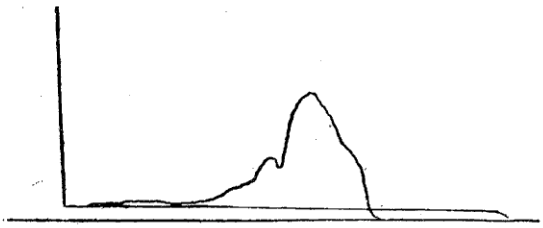
PREMIÈRE SÉRIE



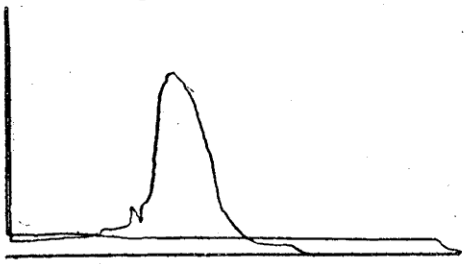
Tôle de 6 millimètres acier. Poincon de 25 millimètres biseauté. Un trou.



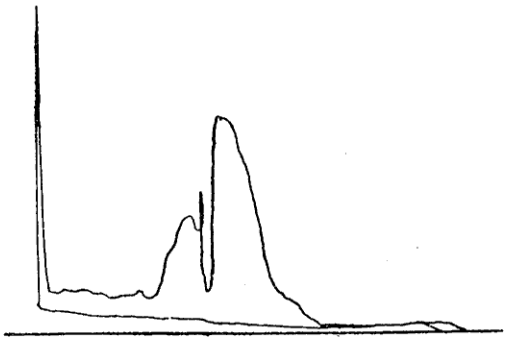
Tôle de 6 millimètres. Poinçon de 26 millimètres plat. Un trou.



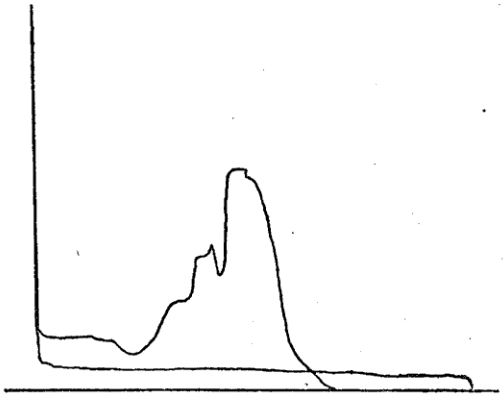
Tôle d'acier de 8 millimètres. Poinçon de 25 millimètres biseauté. Un trou.



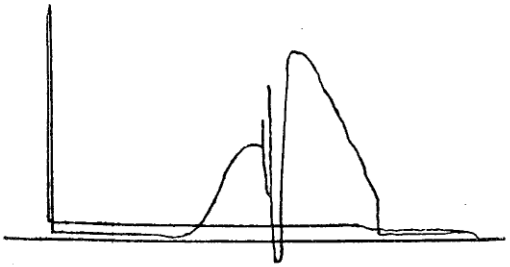
Tôle de 8 millimètres. Poinçon de 26 millimètres plat. Un trou.



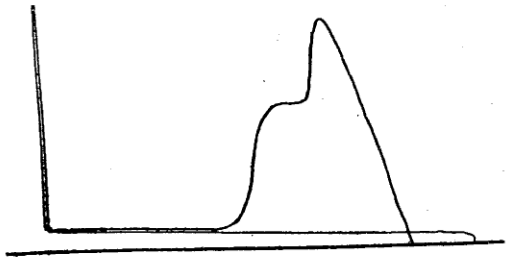
Tôle d'acier de 9^{mm},5. Poinçon plat de 26 millimètres. Un trou.



Tôle d'acier de 11 millimètres. Poinçon plat de 26 millimètres. Un trou.

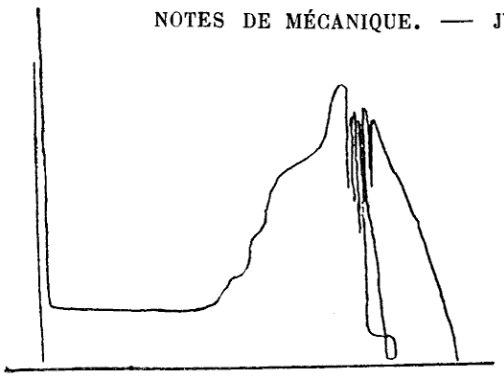


Tôle d'acier de 11 millimètres. Poinçon de 24 millimètres biseauté. Un trou.



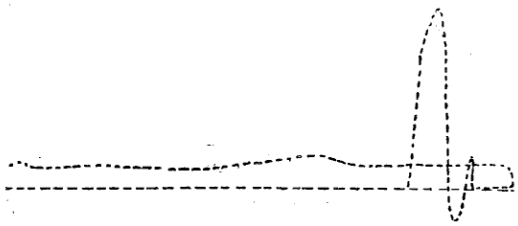
Tôle de 13 millimètres. Poinçon de 24 millimètres biseauté. Un trou.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

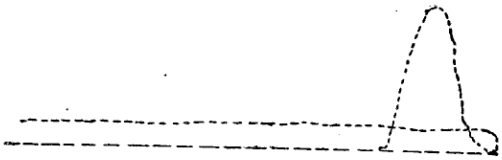


Tôle de 14 millimètres en acier. Poinçon de 24 millimètres biseauté. Durée de la pénétration : 15 secondes. Un trou.

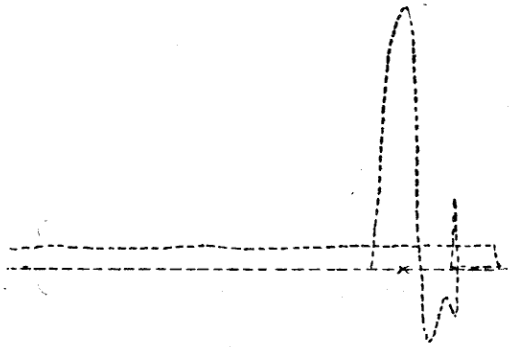
DEUXIÈME SÉRIE



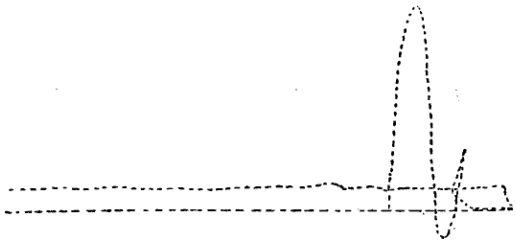
Tôle de 9mm,5. Poinçon de 25 millimètres biseautés. 4 trous.



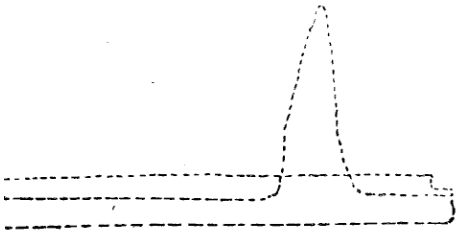
Tôle de 9mm,5 acier. Poinçon de 25 millimètres plat. 5 trous.



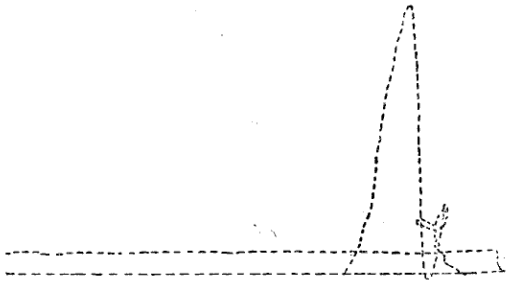
Tôle de 13 millimètres. Poinçon de 25 millimètres biseauté. 4 trous.



Tôle de 14 millimètres. Poinçon de 25 millimètres plat. 3 trous.



Tôle de 11 millimètres. Poinçon de 25 millimètres biseauté. 3 trous.



Tôle de 11 millimètres. Poinçon de 25 millimètres biseauté. 4 trous.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des poinçons plats, résistance alors presque indépendante de l'épaisseur des tôles ; de sorte que, aux épaisseurs de 13 à 14 millimètres, la résistance est à peu près la même pour les deux espèces de poinçons.

Ces résultats concordent avec ceux obtenus pour le cisaillement, où, à partir d'épaisseurs de 45 à 50 millimètres, le biseautage de la lame n'a plus d'effet.

Les tôles essayées, en acier Martin basique, avaient une résistance à la rupture de 42 kilogrammes par millimètre carré.

Tableau des expériences (figures p. 153 et 154).

Épaisseur des tôles en milimètres.	Résistance en kil. par mm² de section.	
	Poinçon biseauté.	Poinçon plat.
6 Première série	2 800	3 470
8 Première série	2 760	3 220
9,5 Deuxième série	3 000	2 100 ?
11 Première série	2 900	2 880
13 Première série	2 970	»
Deuxième série	3 090	2 700 ?
14 Première série	3 200	»
Deuxième série	3 200	3 185
Troisième série	3 150	»

Les diagrammes de ces expériences sont donnés par les figures.

LAMINOIR POUR TOLES DE LA *Carnegie Steel* C° DE HOMESTEAD

La Carnegie Steel C° décida, au mois de juillet 1898, d'établir à Homestead un laminoir universel pour tôles de 45 mètres de longueur et de 1m,20 de largeur (1). Le terrain disponible de 9 mètres en contre-bas de l'aciérie était utilisé comme dépôt de scories. Comme on était très pressé, on décida de remblayer le terrain, mais d'établir les fondations sur le sol naturel. On dut envoûter une petite rivière affluente et les fondations furent, à l'exception de celles des fours à réchauffer, de la machine, du laminoir et des chaudières, en voûtes sur pieds-droits en béton, avec espaces intermédiaires comblés et soigneusement pilonnés. Au mois d'août 1898, on commença les études, et une année après, le laminoir a pu être mis en fonction. Les frais totaux d'installation ont atteint 3 350 000 francs. La capacité du laminoir est de 500 tonnes en vingt-quatre heures.

La chaufferie (fig. 1) comporte 56 chaudières du type Cahall, chacune de 250 chevaux, avec grilles automatiques ; chaque groupe de 4 grilles est actionné par une petite machine à vapeur. Le charbon est levé des soutes par une noria dans le réservoir du four et amené aux grilles.

Le chargement du charbon sur les grilles est commandé par des moteurs électriques. Les cendres tombent en arrière des grilles sur un plan incliné d'où, après qu'on a ouvert un registre, elles arrivent dans un wagonnet. Celui-ci est soulevé par

(1) *Stahl und Eisen*, 15 juin 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

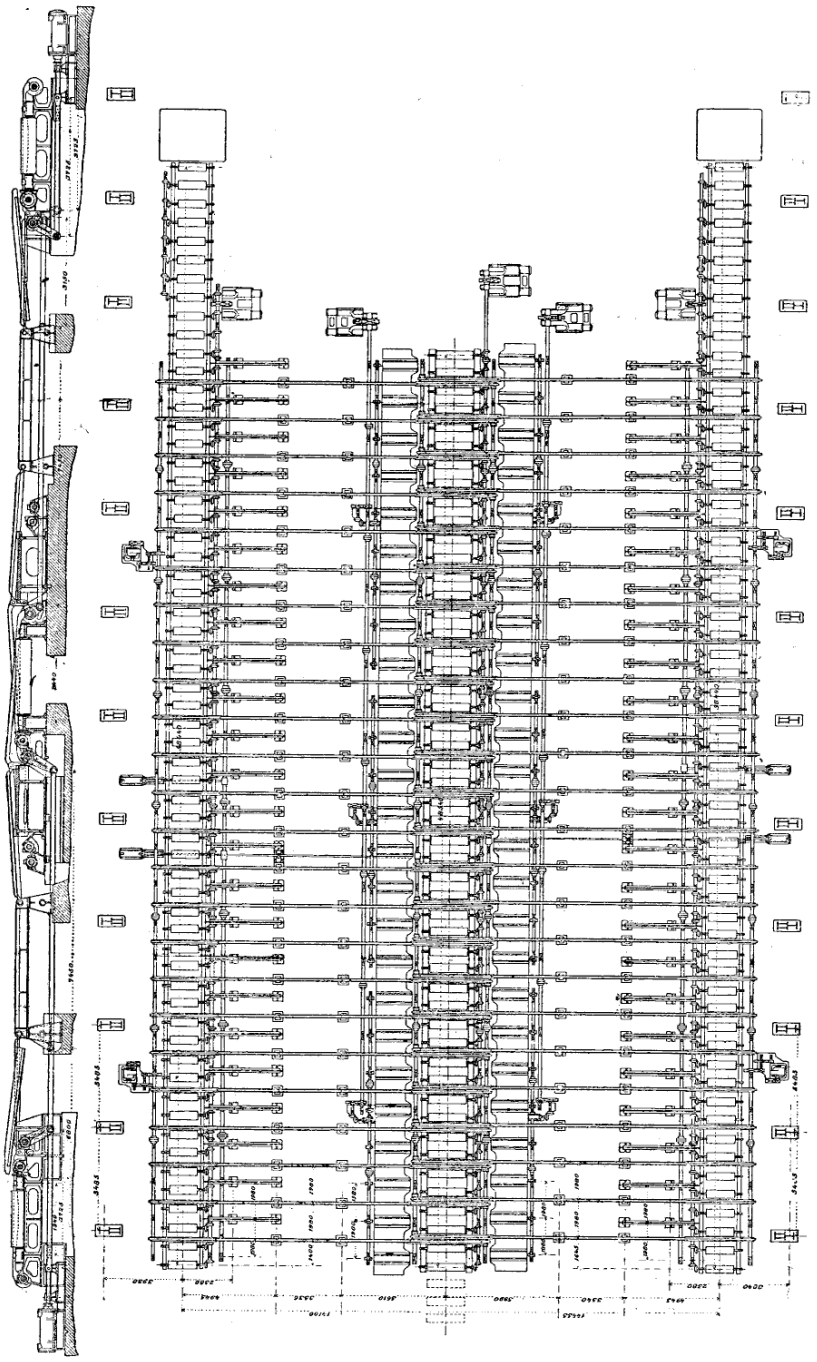


Fig. 1 et 2. — Laminoir de *Homestead*.

un monte-charge (à droite de la figure 3) et les cendres sont déchargées dans un wagon de chemin de fer.

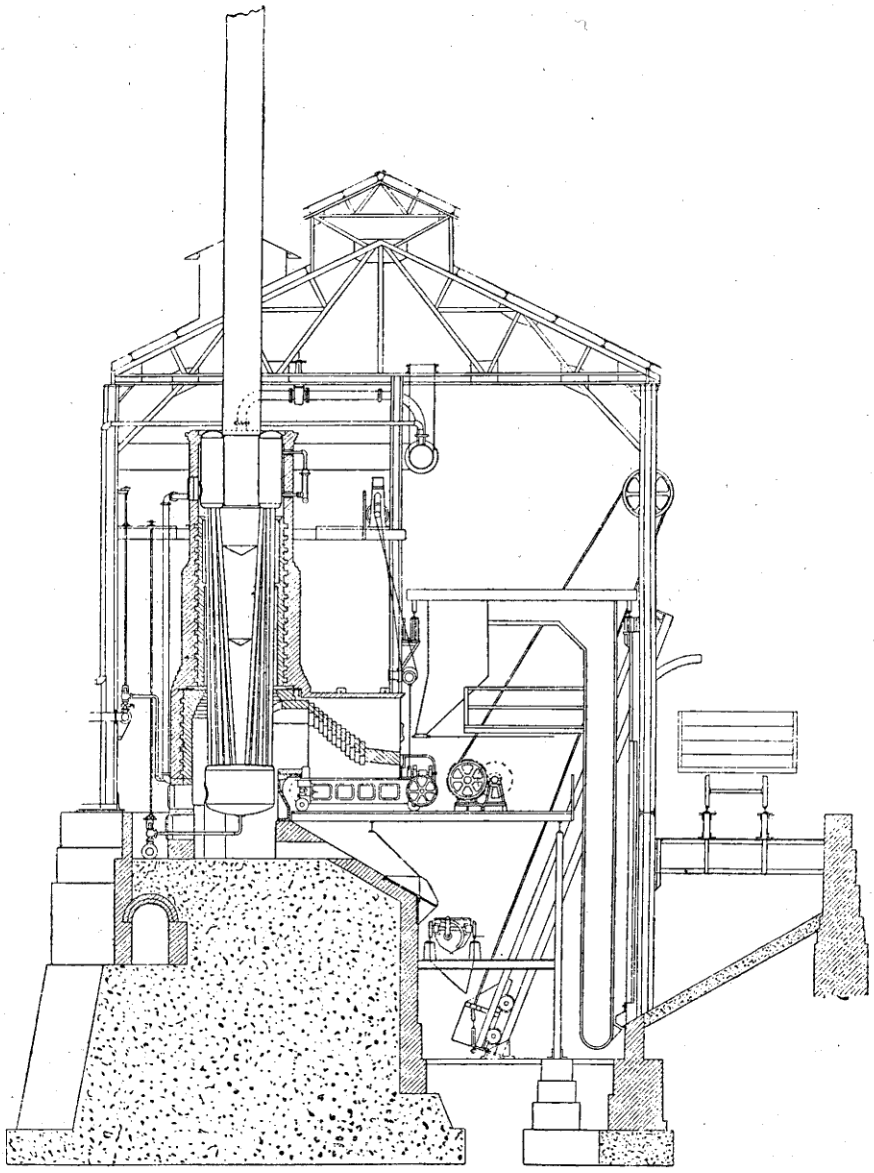


Fig. 3. — Chaufferie du laminoir de *Homestead*. Coupe transversale.

Les figures 1 et 2 montrent la disposition des cylindres du laminoir et des transbordeurs.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

GRUES ÉLECTRIQUES POUR LA MANUTENTION DES CHARBONS AU PORT DE ROTTERDAM (1)

Cette installation a été établie par la société Nagel et Kaemp de Hambourg.

Treuils. — Les treuils, à l'exception d'un seul, sont logés dans un bâtiment spécial (fig. 1 à 3), avec un pont roulant pour le montage et le démontage des différents

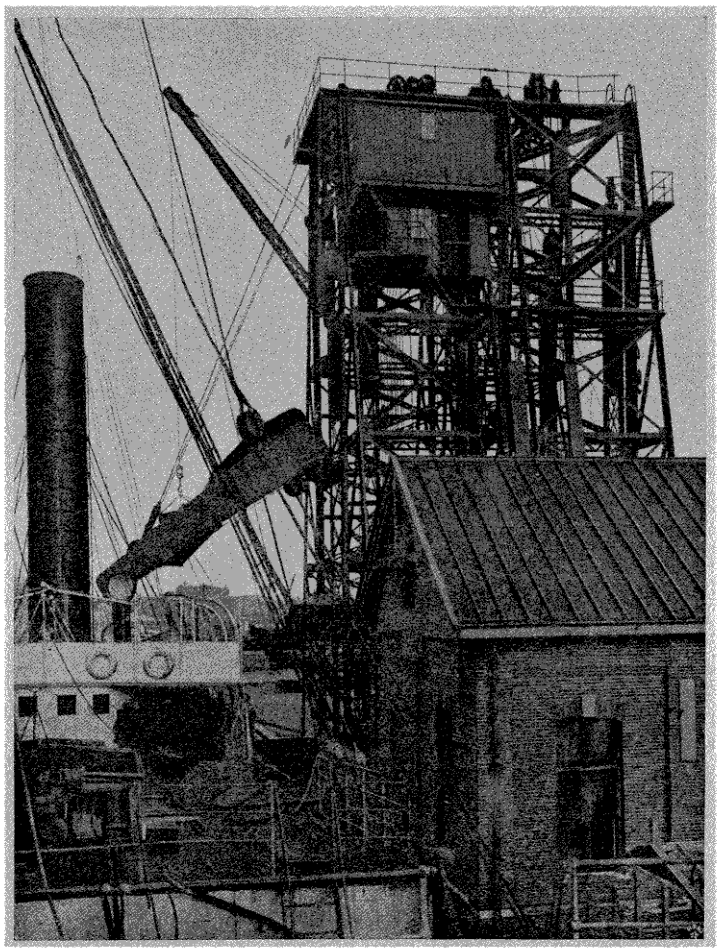


Fig. 1. — Manutention des charbons du port de Rotterdam. Ensemble d'une grue.

mécanismes. Les moteurs électriques, ainsi que les freins, sont manœuvrés par le mécanicien qui se tient dans une cabine très élevée (fig. 1 et 2). Les freins sont actionnés au moyen de petits moteurs électriques. Pour le chargement et le déchargement du charbon, il faut effectuer les opérations suivantes :

1° Soulèvement et abaissement de la plate-forme mobile. .	Treuil de soulèvement.
2° Basculement de la plate-forme basculante.	Treuil à bascule.
3° Soulèvement et abaissement de la gouttière.	Treuil de la gouttière.
4° Chargement et inclinaison de la gouttière.	
5° Soulèvement de la charge	Treuil de levée.
6° Pivotement de la grue.	Treuil de pivotement.

(1) *Zeitschaft des Vereines deutscher Ingenieure*, 8 et 15 juin 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les opérations 3 et 4 sont seules exécutées à la main dans le bâtiment du treuil; elles s'effectuent rarement.

On a dû prendre des précautions spéciales pour l'établissement de la ligne, la tension étant de 500 volts et le climat de Rotterdam très humide.

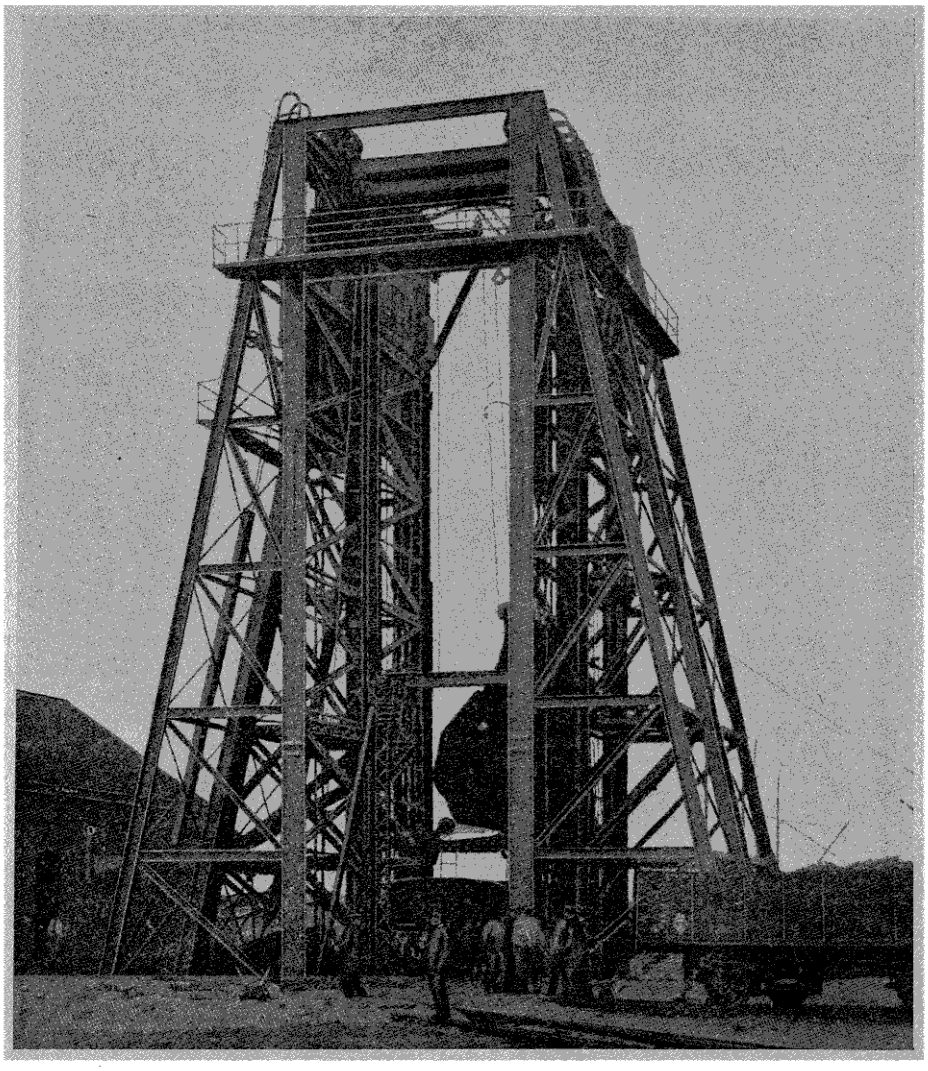


Fig. 1 *bis*. — Manutention des charbons du port de Rotterdam. Ensemble d'une grue.

La charge est toujours abaissée par le freinage des induits des moteurs, les induits étant reliés en court-circuit à l'aide d'une résistance intercalée. L'intensité du courant de freinage est, de la sorte, proportionnée à la charge; la vitesse de l'abaissement est en raison inverse de la résistance intercalée dans le circuit du courant de freinage, que l'on règle au moyen de rhéostats à gradins. Pour les treuils de soulèvement et de bascules, on a fait usage de moteurs en dérivation, dont

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

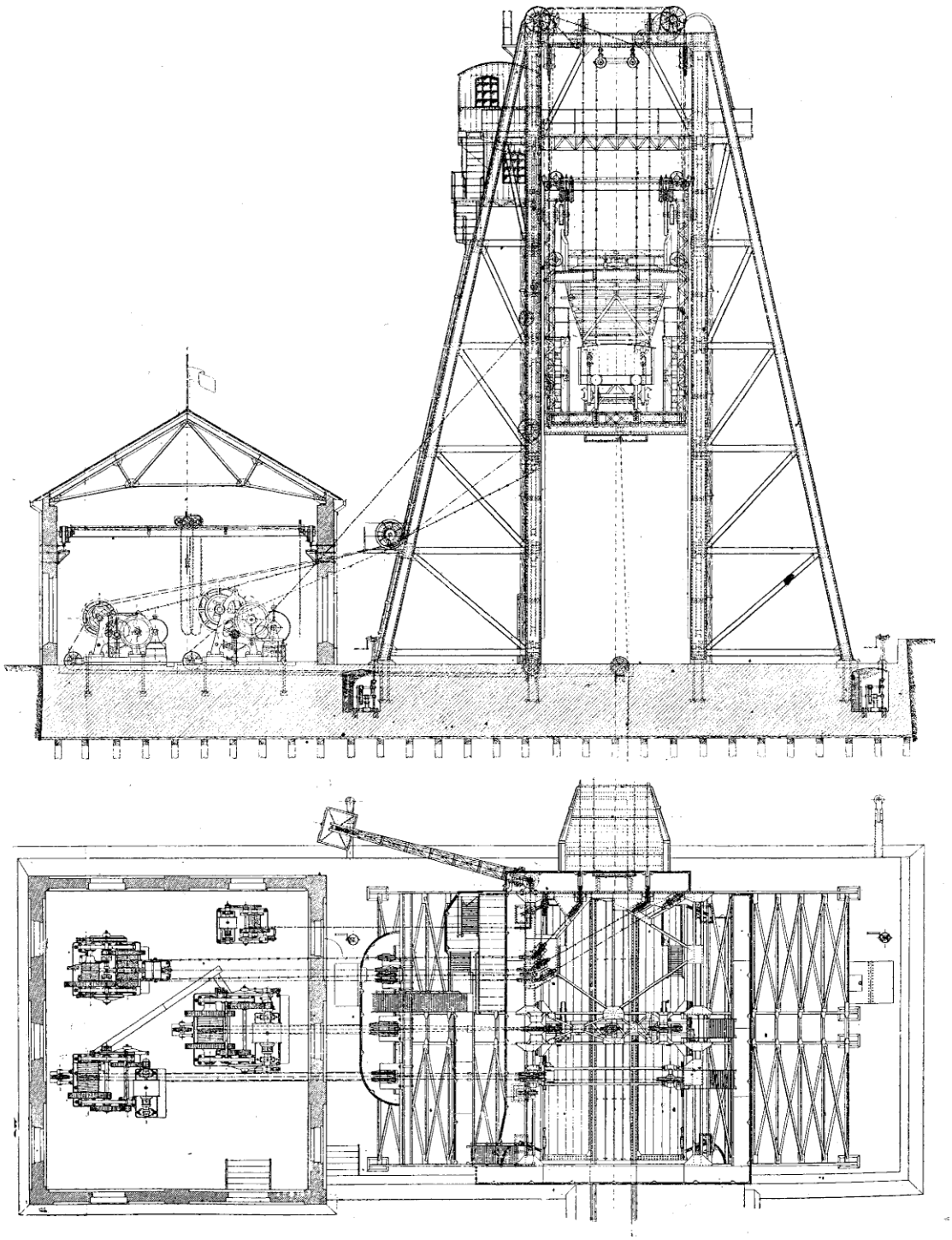


Fig. 1 et 2. — Manutention des charbons du port de Rotterdam. Ensemble d'une grue.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'enroulement de charge n'est pas interrompu mais seulement affaibli pendant les arrêts au moyen de résistances intercalées. Les autres treuils sont actionnés par des moteurs en série.

Le *treuil de soulèvement* soulève la plate-forme qui pèse, avec le wagon chargé, 44 tonnes, à la vitesse de $0^m,33$ par seconde. Cette plate-forme est suspendue

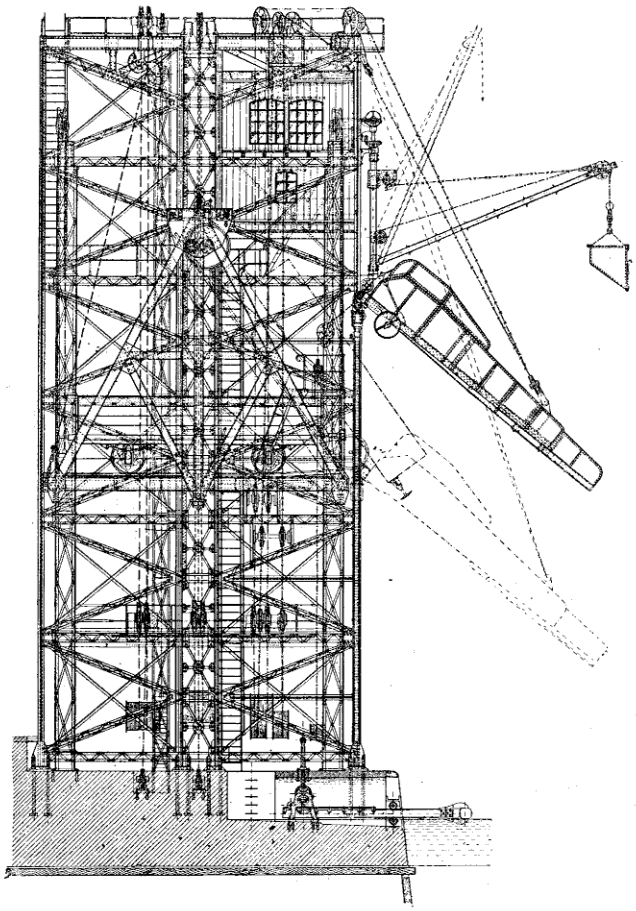


Fig. 3. — Grue figure 2. Vue de côté.

à un câble en fils d'acier de 40 millimètres (fig. 4 et 6). Le tambour du treuil (fig. 7 et 9) est actionné par un moteur de 130 chevaux fixé sur la même plaque que la plate-forme et qui fait faire à la commande 870 tours par minute. Le rapport de transmission à 3 gradins est de : $\frac{1}{4} \times \frac{1}{3} + \frac{1}{5} \times \frac{1}{60}$. Le tambour a un diamètre de $1^m,00$, le pas des engrenages est de 100 millimètres, l'épaisseur des dents est double de celle qui serait nécessaire. Les roues dentées calées sur l'arbre du tambour, ainsi que les engrenages intermédiaires, sont en acier moulé, ceux des moteurs sont en fonte et en cuir brut. L'arbre de la commande est muni d'un frein

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à friction (fig. 10 et 11), de sorte que si le courant était coupé brusquement, la

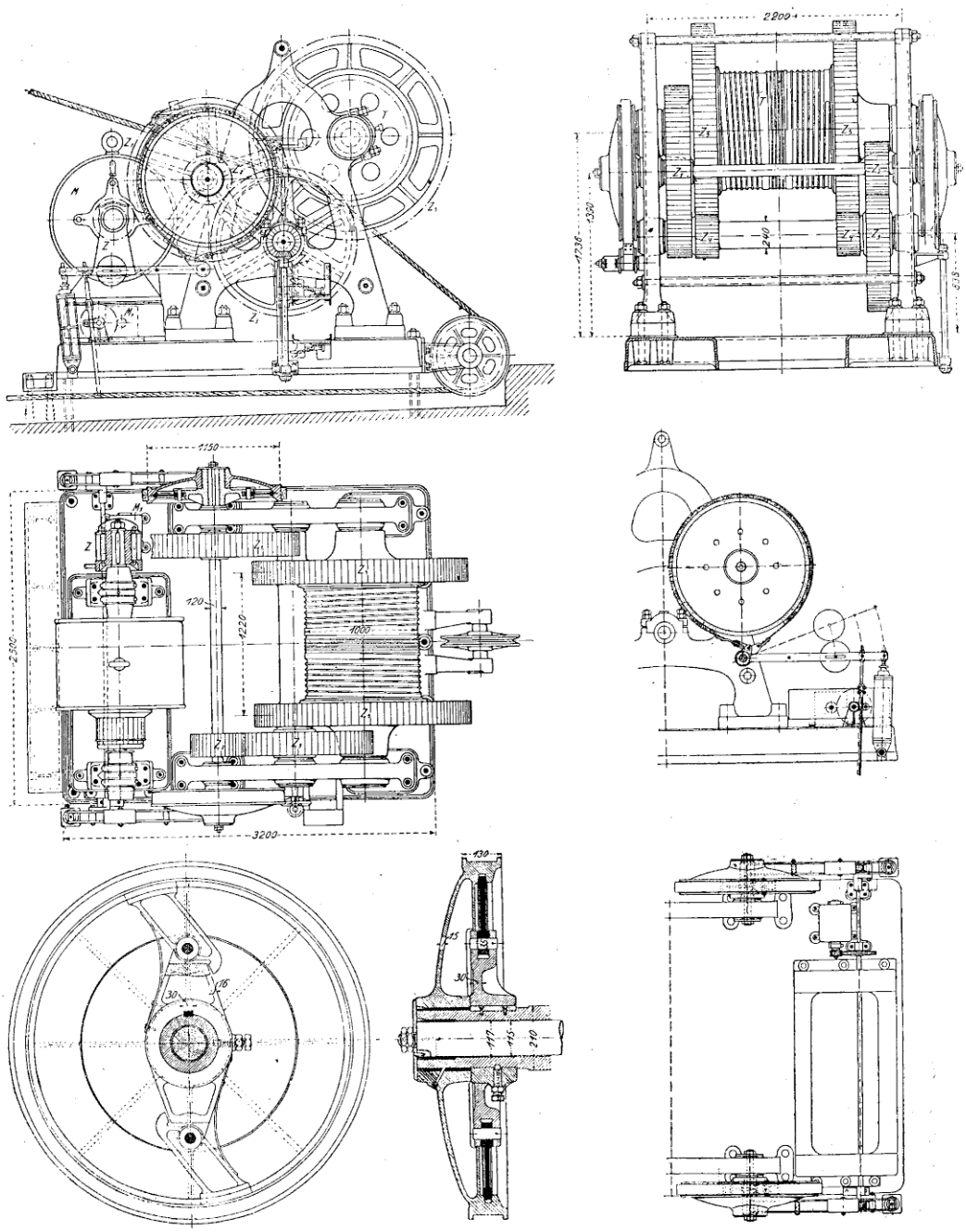


Fig. 7 à 13. — Treuil de soulèvement.

charge resterait suspendue. Lorsqu'on a soulevé la charge à la hauteur voulue, on met

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

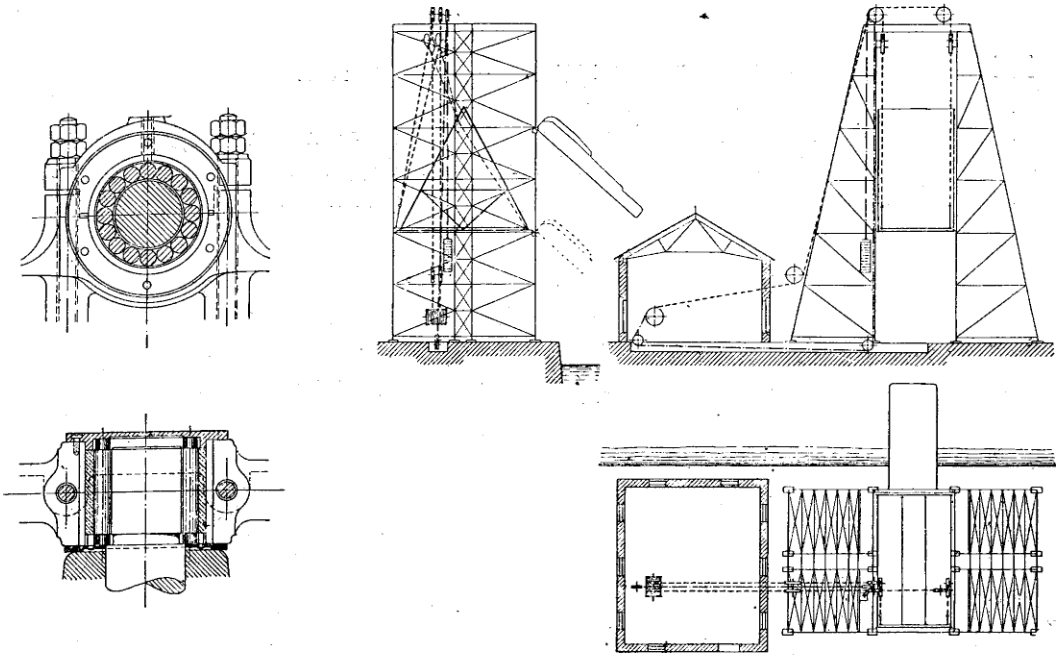


Fig. 14 et 15. — Paliers du treuil, figure 7. — Fig. 16 à 18. — Câbles du treuil de bascule.

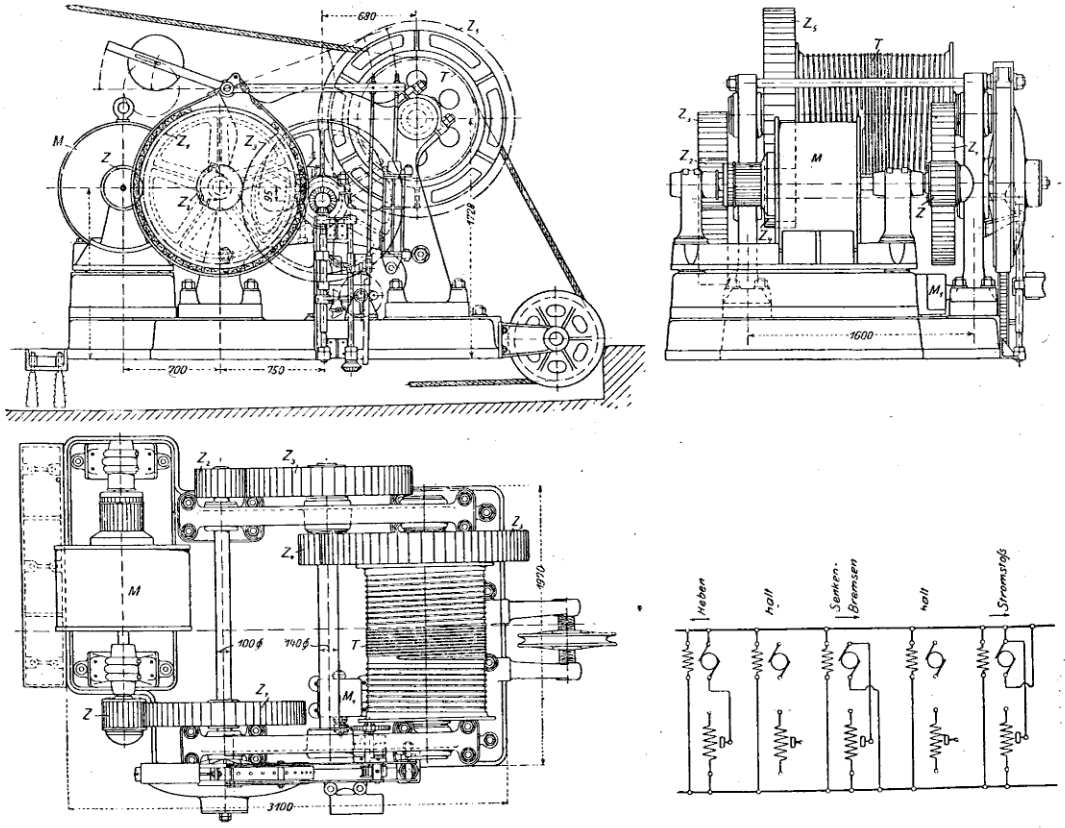


Fig. 19 à 22. — Treuil de bascule et son commutateur. (*Heben*) levée, (*Halt*) arrêt, (*Senken*) descente, (*Bremsen*) train.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

en action, par l'arbre de transmission intermédiaire, un commutateur-disjoncteur; le mouvement du treuil est alors arrêté par les freins à encliquetages (fig. 11 et 12). Pendant l'abaissement, les contrepoids de serrage des freins sont (fig. 10) soulevés à l'aide

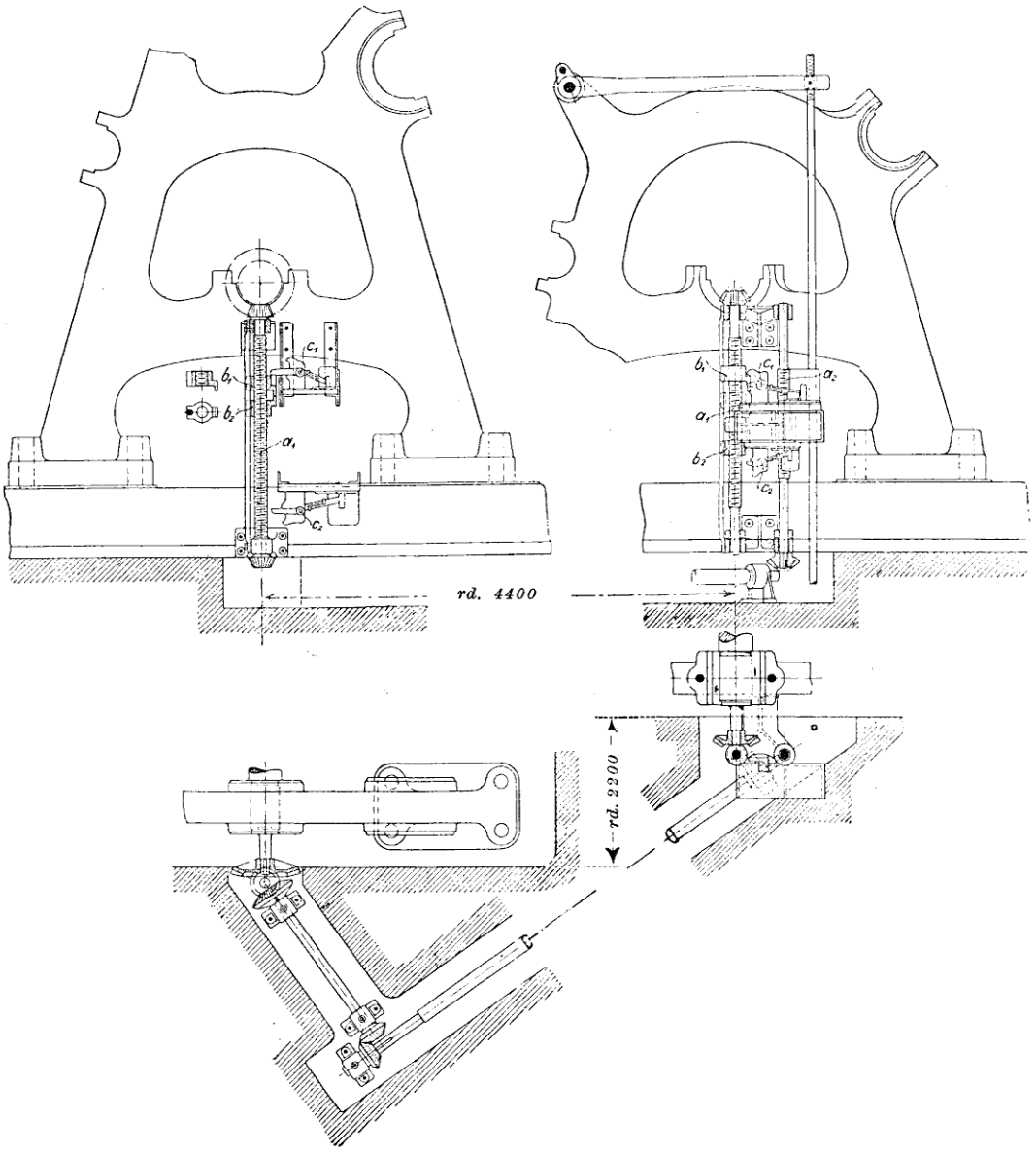


Fig. 23 à 25. — Disjoncteur de sûreté pour les treuils de levée et de bascule.

d'un moteur spécial (fig. 13) avec *dash-pots* de façon que les freins se serrent sans choc. Comme la plate-forme seule ne pèse pas beaucoup plus que les contrepoids, on est obligé, dans les cas où la plate-forme est abaissée sous le wagon, de lui fixer un câble spécial qui s'enroule autour du tambour du treuil de soulèvement. Les paliers de ce

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

treuil sont munis de rouleaux en acier (fig. 14 et 15). Le commutateur placé dans la cabine du mécanicien est identique à celui du treuil de basculement.

La partie moyenne de la plate-forme portant le wagon est basculante ; du côté de l'eau, cette partie est supportée par deux boulons en acier et elle peut être basculée au moyen de deux câbles fixés sur la traverse postérieure du treillis.

Les câbles sont amenés au *treuil de basculement*, comme le montrent les figures 16 à 18. Le mécanisme de ce treuil fonctionne à vide lors du soulèvement et

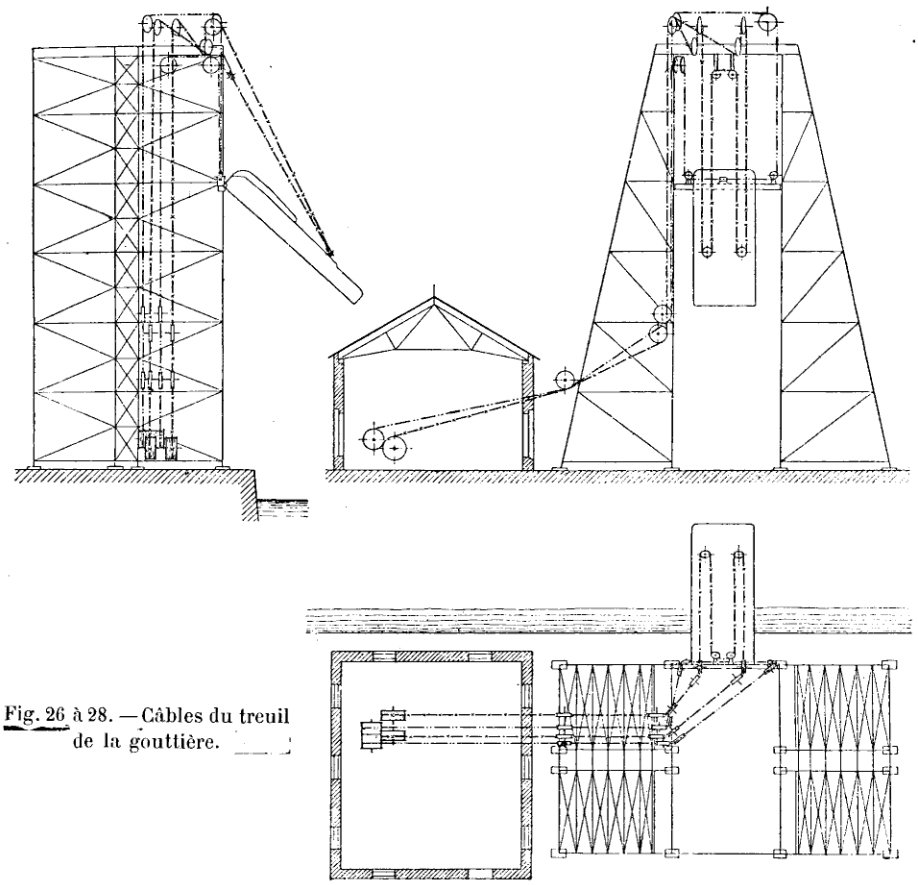


Fig. 26 à 28. — Câbles du treuil de la gouttière.

de l'abaissement de la plate-forme ; pour cette raison, on a prévu un contrepoids qui entre en action dès que les câbles de basculement ne sont plus suffisamment tendus. A cet effet, on a disposé sur le tambour du treuil de basculement, entre les deux brins de câbles, un troisième brin. Ce treuil est muni de trois transmissions (fig. 19 à 21). Il est actionné par un moteur électrique de 60 chevaux-vapeur et fait 500 tours par minute. Le rapport de transmission est : $\frac{1}{4} \times \frac{1}{35} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{56}$. Comme on a affaire ici à des efforts moindres que dans le cas de treuil de soulèvement, on n'a prévu qu'un seul frein à friction et encliquetages, ce frein est également actionné par un moteur spécial et muni de dash-pots. La plate-forme peut être inclinée de 50 centi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mètres; dès que cette inclinaison est obtenue, le courant est interrompu au moyen d'un disjoncteur final, actionné mécaniquement lors de l'abaissement de la plate-forme basculante; son poids propre suffit à opérer le mouvement, la vitesse est alors réglée au moyen du frein du moteur.

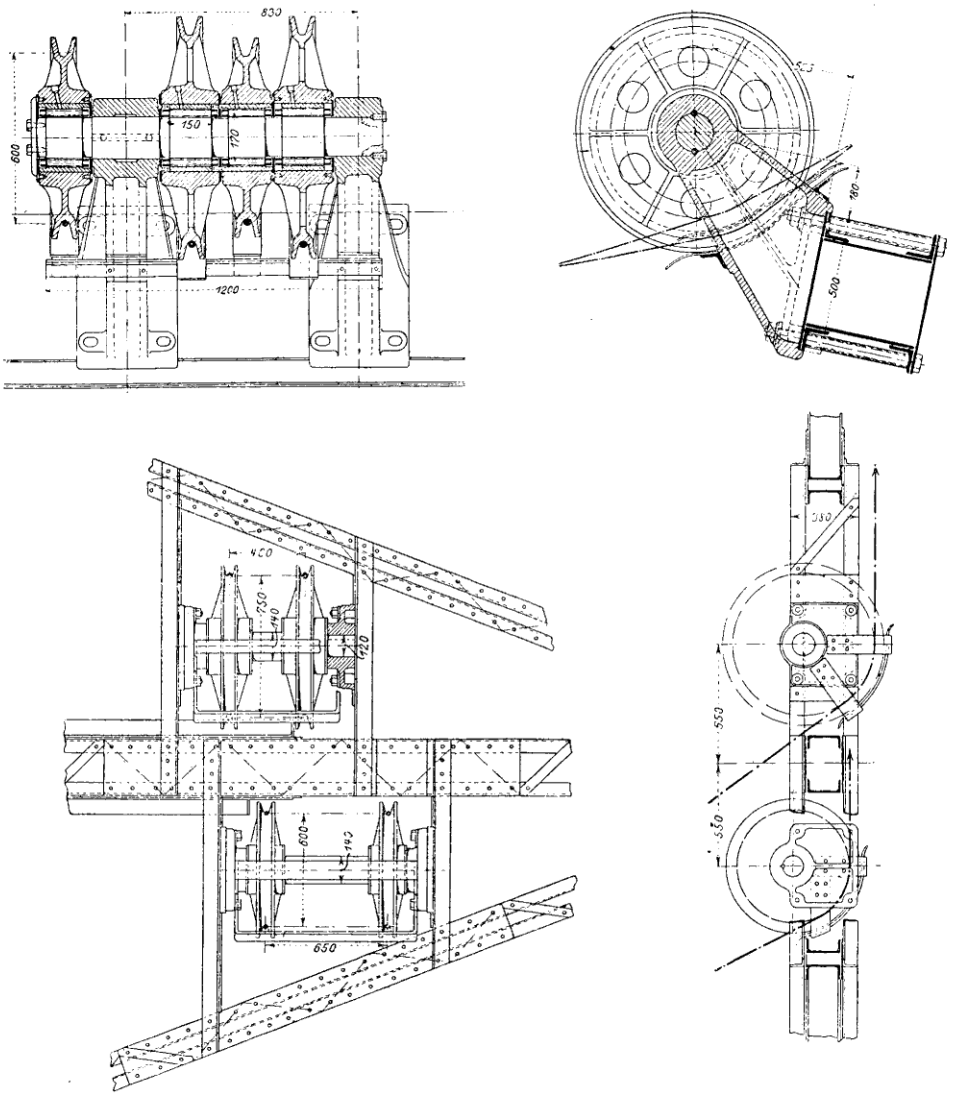


Fig. 29 à 32. — Guidage des câbles de la gouttière.

Les *commutateurs* placés dans la cabine du mécanicien sont identiques pour le soulèvement et pour le basculement. Leur schéma est donné par la figure 22.

Les figures 23 à 25 montrent le *disjoncteur final*, destiné à limiter la course des treuils de soulèvement et de bascule. Dans les deux appareils, le deuxième arbre intermédiaire actionne une vis verticale a_1, sur laquelle se déplacent, pendant la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

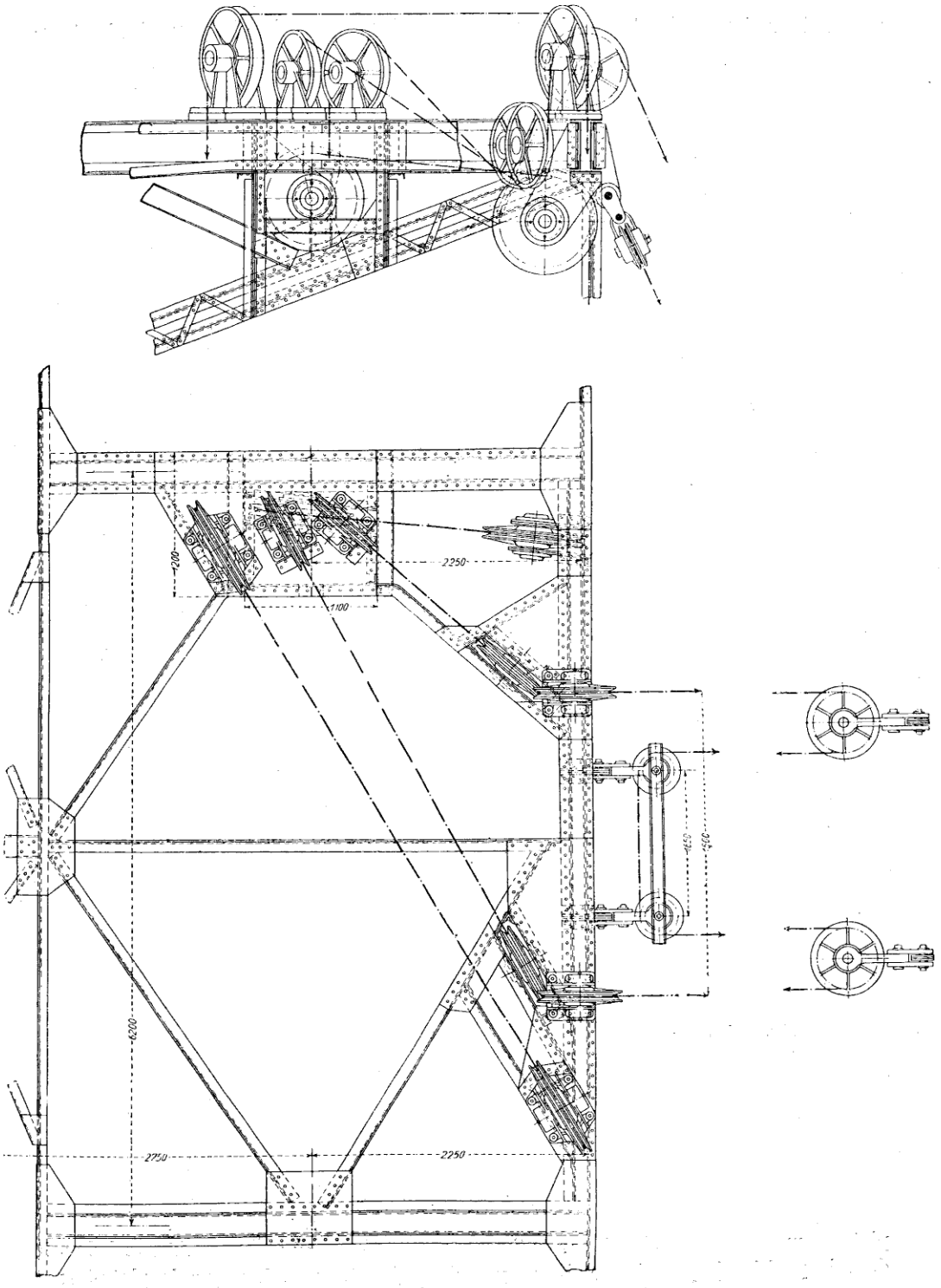


Fig. 33 à 36. — Guidage des câbles de la gouttière.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

course deux écrous b_1 et b_2. L'écrou b_1 coupe, dans la portion la plus élevée de la

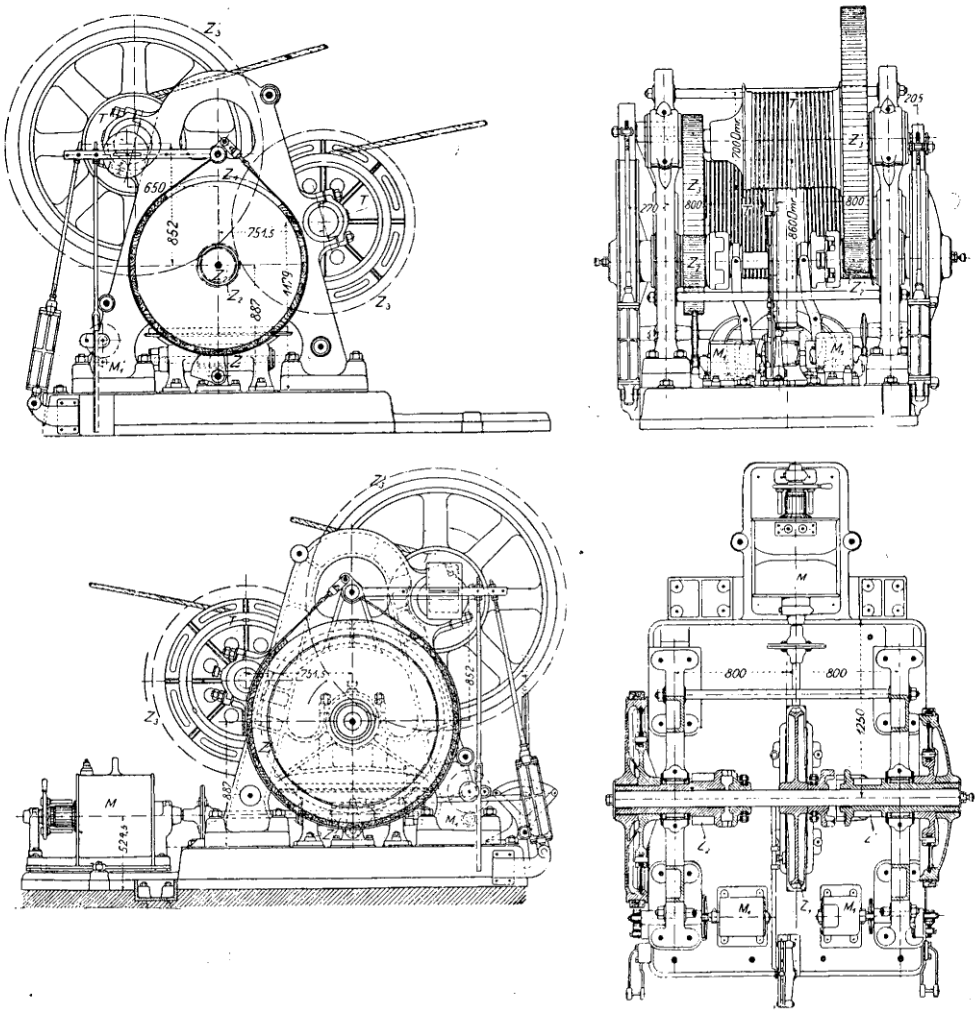


Fig. 37 à 41. — Treuil de la gouttière.

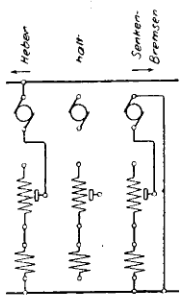


plate-forme mobile, le circuit du moteur au moyen du disjoncteur c_1 ; l'écrou b_2 le fait dans la position la plus basse, au moyen du disjoncteur c_2. Lorsque la plate-forme

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

basculante s'est mise en position, le circuit du moteur qui actionne les freins est

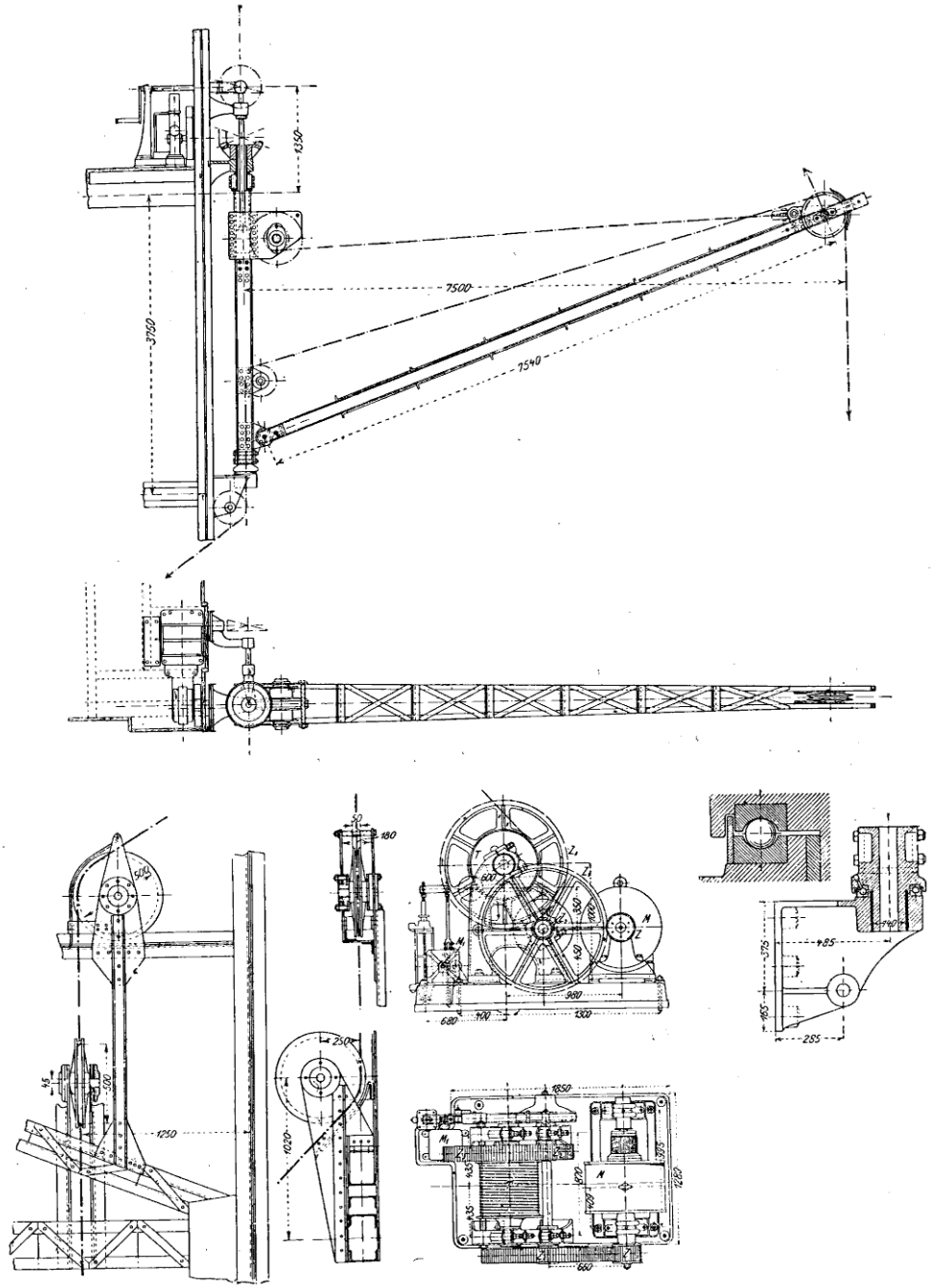


Fig. 42 à 50. — Grue auxiliaire.

fermé par un deuxième conducteur venant du mécanisme de réglage du treuil de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

soulèvement, de sorte que, au moment où la plate-forme commence à s'abaisser, le frein mécanique du treuil de bascule est de nouveau desserré. Cette fermeture du circuit du moteur du frein est nécessaire, car autrement le treuil de bascule ne pourrait pas fonctionner à vide pendant l'abaissement de la plate-forme. Les disjoncteurs instantanés ne sont pas, dans le treuil de basculement, fixés sur le bas, comme dans le treuil de soulèvement, mais bien posés sur une pièce en fonte qui peut se déplacer sur une deuxième vis a_2, également verticale (fig. 25). Celle-ci est actionnée, au moyen d'une transmission à roues coniques, par le treuil de soulèvement de

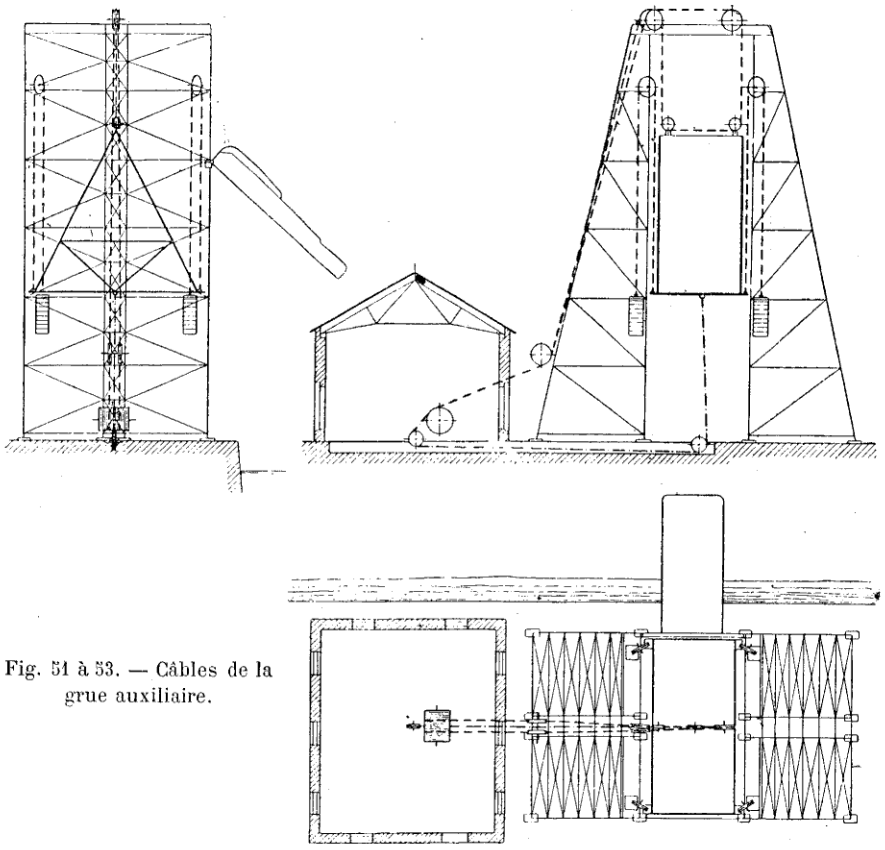


Fig. 51 à 53. — Câbles de la grue auxiliaire.

façon qu'elle fasse, pendant la course de la plate-forme, le même nombre de tours que la vis a_1. Par conséquent, les écrous b_1 et b_2 ne sont pas déplacés pendant le soulèvement et l'abaissement de la plate-forme vers le disjoncteur $c_1 - c_2$; ce n'est que lorsque, pendant le basculement, le treuil de soulèvement s'arrête, que les écrous se déplacent vers les disjoncteurs.

La gouttière est actionnée par *deux treuils*, qui peuvent être embrayés à tour de rôle avec l'arbre du moteur. Cet embrayage est effectué à la main. L'un de ces treuils est destiné au soulèvement et à l'abaissement de la gouttière, l'autre à modifier son inclinaison.

La disposition schématique des câbles des deux treuils est donnée par les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

figures 26 à 28. Ces treuils portent quatre câbles, qui s'enroulent d'abord autour de quatre poulies placées l'une à côté de l'autre sur un support à axe incliné (fig. 29 et 30) et ensuite autour de deux paires de poulies placées l'une au-dessous de l'autre sur le montant (fig. 31 et 32) pour arriver au sommet du treillis. De là, les câbles sont conduits par des poulies vers le côté le plus rapproché de l'eau (fig. 33 et 34). Le soulèvement et l'abaissement de la gouttière se font à la vitesse de 65 millimètres, et l'inclinaison de son extrémité d'avant à 100 millimètres par seconde. Le rapport de transmission devenant, dans ce cas, considérable, on a intercalé entre le moteur et le treuil un engrenage hélicoïdal (fig. 34 à 37). Le moteur développe une puissance de 17 chevaux et actionne une vis sans fin qui fait 700 tours par minute. Sur l'arbre qui porte la roue hélicoïdale, on a placé deux embrayages à mâchoires, pour commander les deux treuils. Chacun d'eux est muni d'un frein qui peut être

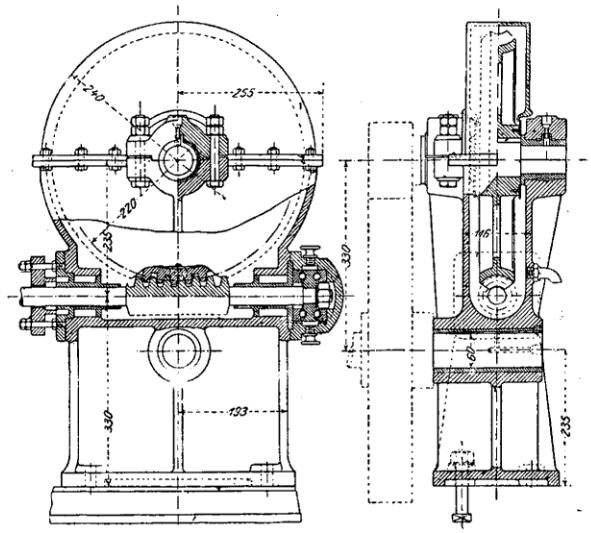


Fig. 54 et 55. — Rotation de la colonne, figure 42.

desserré au moyen d'un moteur. On n'a pas prévu de dispositif pour limiter la course, les vitesses de ces treuils étant faibles. De chaque côté de la gouttière, on a disposé des pieds-de-biche qui s'insèrent dans les crémaillères des montants d'avant du treillis; de la sorte, on peut décharger les câbles de soulèvement. Les pieds-de-biche sont engagés et dégagés à la main. Le commutateur placé dans la cabine du mécanicien est à ruban horizontal, mais il est actionné au moyen d'un volant à la main porté par un arbre vertical. Le schéma de ce commutateur est indiqué par la figure 38. Le moteur est excité en série. Le poids de la gouttière suffit toujours pour mettre les treuils en action dès que les freins sont desserrés; par suite, il n'est pas nécessaire de faire usage du courant pour le démarrage.

La *grue auxiliaire* est destinée à décharger dans le navire vide un cône de charbon afin que le charbon qui tombe de la gouttière ne soit pas écrasé. Elle est fixée sur le treillis au moyen d'une colonne pivotante (fig. 40 et 41) ; la volée peut varier de $3^m,5$ à $7^m,5$, l'inclinaison de la flèche étant modifiée par le câble qui s'enroule autour

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'un tambour actionné à la main au moyen d'un mécanisme à manivelle. La charge est soulevée et abaissée avec une vitesse de $0^m,6$ par seconde. Le câble, qui vient du treuil (fig. 47) placé dans le bâtiment des machines, s'enroule autour des poulies fixées sur le treillis (fig. 51) et arrive à la grue. Le treuil est muni d'un moteur spécial pour le desserrage des freins, mais il ne comporte pas de dispositif pour limiter automatiquement la course; ce moteur fait 630 tours par minute et développe une puissance de 18 chevaux. La colonne de la grue tourne sur des billes (fig. 54). Le commutateur est semblable à celui du treuil de la gouttière.

Le schéma du tableau (fig. 56) est semblable à celui des commutateurs des treuils de soulèvement et de basculement, à la différence, qu'entre la position d'arrêt et la position de soulèvement, on a intercalé une position correspondant au frein qui sert à arrêter le crochet vide qui se lève, puisque le frein à cliquet n'agit pas dans le sens du soulèvement. Le moteur est bien accessible dans la cabine du mécanicien; il fait

Fig. 56.

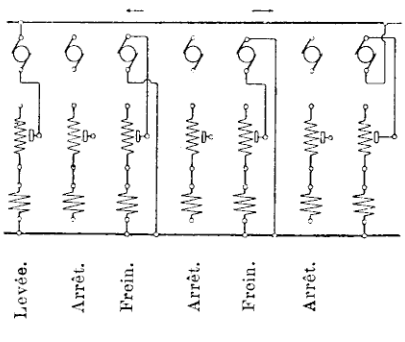
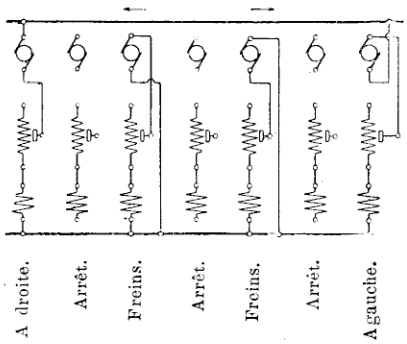


Fig. 57.



1 000 tours par minute et développe une puissance de 4 chevaux. Le commutateur est semblable à celui du treuil de soulèvement, le volant à main est calé sur un arbre vertical, de sorte que son pivotement coïncide avec le mouvement de la flèche de la grue. Son schéma est indiqué par la figure 57. Pour pouvoir inspecter aisément les nombreuses poulies à l'intérieur du treillis, on l'a muni de galeries et d'échelles.

La *Plate-forme mobile* (fig. 58) est guidée par des galets le long du treillis. De chaque côté, elle est munie de poutres en A, qui sont reliées en haut par une transversale. Du côté de l'eau, on a disposé, à droite et à gauche, une plate-forme du haut de laquelle on peut suivre le mouvement du contenu du wagon pendant le basculement, et d'où l'on peut, en cas de nécessité, régler la chute du charbon au moyen de longues perches. Dans la plate-forme mobile on a logé la *plate-forme basculante* (fig. 59 et 60) assez large pour que des rails puissent être placés sur ses deux poutres principales. Du côté du bassin, elle repose sur des chaises (fig. 61 à 63) autour desquelles la plate-forme peut basculer. La poutre transversale d'arrière est prolongée, de façon que sa longueur soit égale à la largeur de la plate-forme mobile, et elle est munie, aux deux extrémités, de tourillons sur lesquels agissent les câbles du treuil de basculement. La plate-forme basculante, lorsqu'elle n'a pas été basculée, se pose sur les poutres transversales de la plate-forme mobile (fig. 59). Les rails, sur la plate-forme basculante, sont surélevés de 120 millimètres du côté du bassin. De la sorte, le wagon, lorsqu'il roule sur la plate-forme, est arrêté. Pendant qu'il dépasse un peu

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'entaille de sa position d'arrêt, les verrous *a* (fig. 64 et 65) sont poussés sur les rails et empêchent le wagon de rouler en arrière ; en même temps, et par un mouvement connexe les deux verrous *l* sont retirés, et la plate-forme est ainsi empêchée de se soulever lorsqu'elle est vide. Pour plus de sûreté, on fait passer par le crochet de raction d'arrière du wagon une forte chaîne amarrée sur la traverse arrière de la

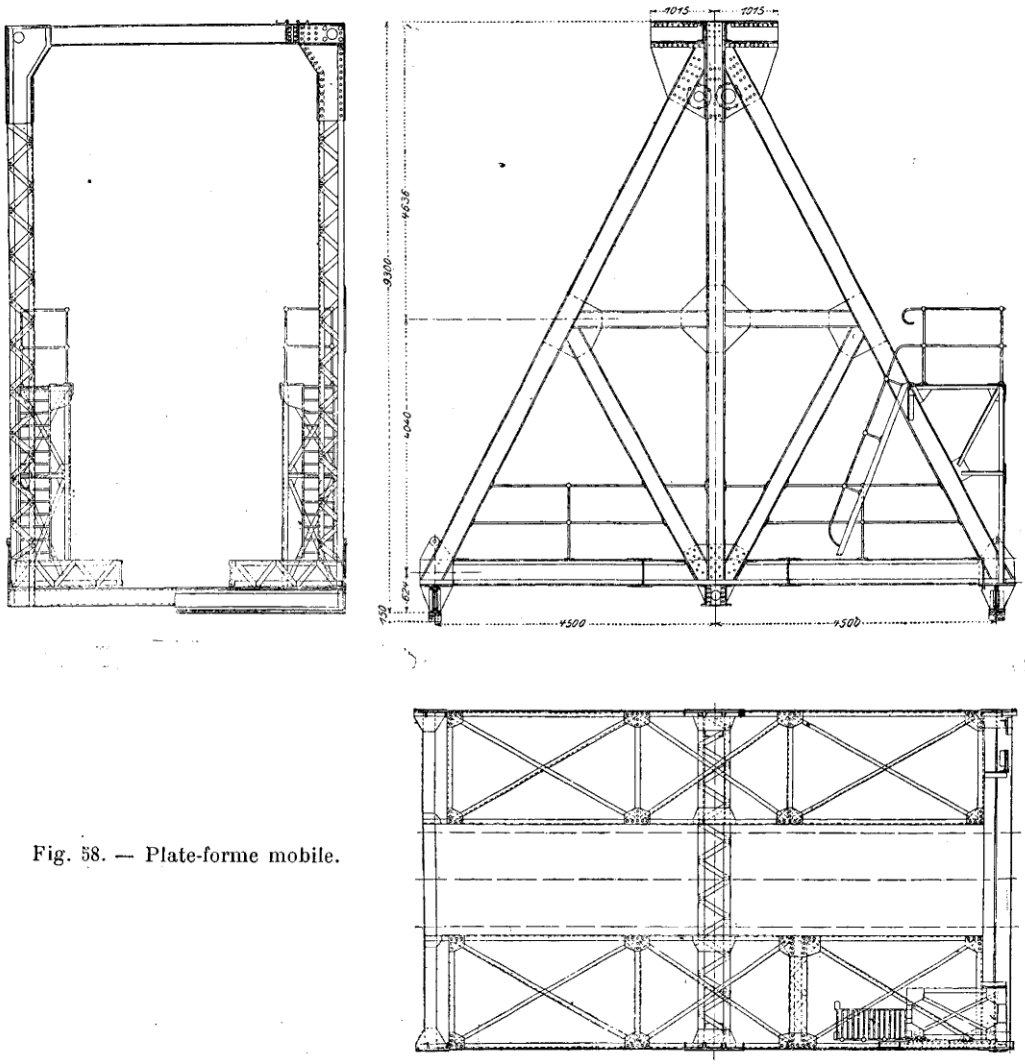


Fig. 58. — Plate-forme mobile.

plate-forme basculante ; cette chaîne permet au wagon de se déplacer jusqu'à sa position extrême vers l'avant, mais l'empêche de retourner en arrière. Lors du basculement, le wagon roule immédiatement vers l'avant et renverse par son poids deux crochets (fig. 66 et 67) qui maintiennent l'essieu d'avant.

Le poids de la plate-forme mobile est équilibré par des contrepoids qui se meuvent dans des puits du treillis métallique (figures 68 et 69). La plate-forme basculante est également équilibrée par des contrepoids.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En cas de rupture d'un câble, on a prévu un parachute (fig. 70 à 73) disposé de façon que la plate-forme mobile ne puisse pas occuper une position oblique et détériorer le treillis. A cet effet, cette plate-forme n'est pas suspendue à deux câbles séparés, mais à un seul brin de câble fermé (fig. 4 à 6). Sur les guidages des montants du treillis, on a fixé, de chaque côté de la plate-forme, des crémaillères lourdes A, en acier moulé, dans lesquelles engrènent des pignons Z, en fonte, placés dans la carcasse de la

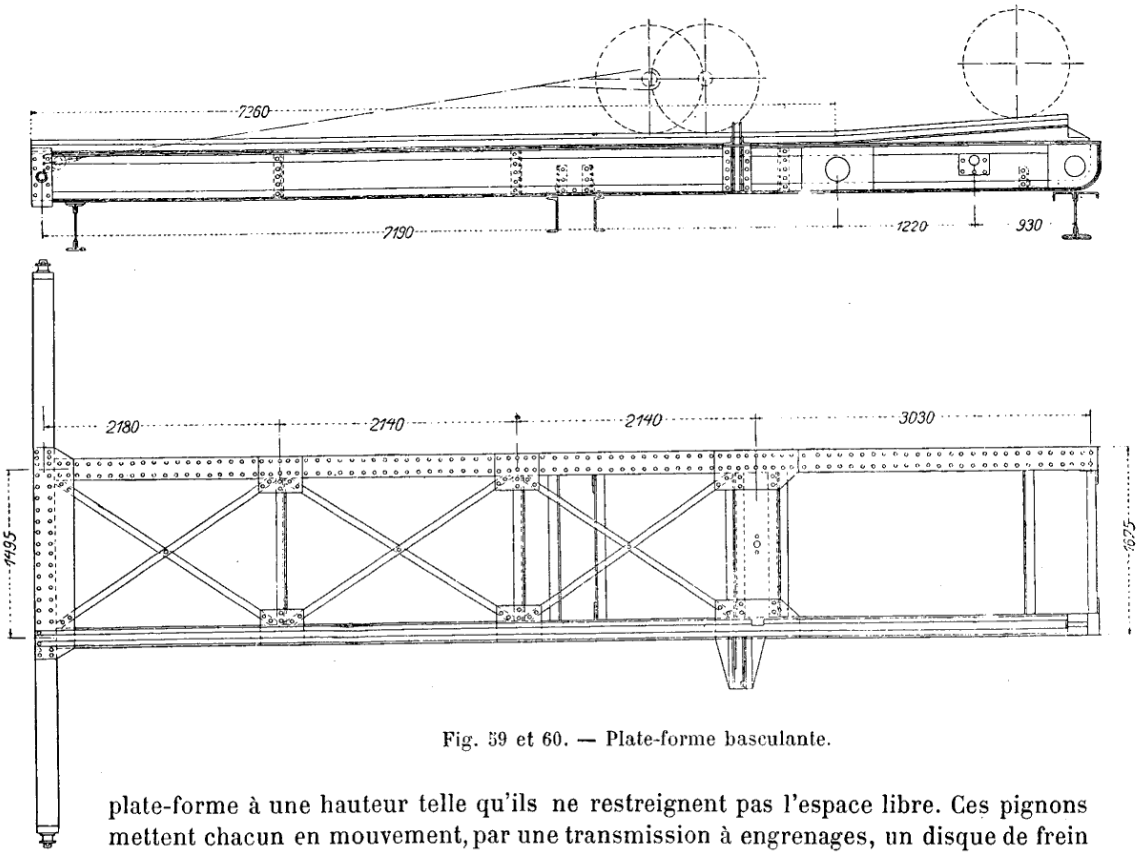


Fig. 59 et 60. — Plate-forme basculante.

plate-forme à une hauteur telle qu'ils ne restreignent pas l'espace libre. Ces pignons mettent chacun en mouvement, par une transmission à engrenages, un disque de frein *a*, de 1m,40 de diamètre. Par l'action des ressorts sur le levier du frein *b*, celui-ci est serré. Le brin de câble a, par contre, tendance à desserrer le frein; en effet, la poulie à gorge *c*, qui peut osciller autour du point fixe *i*, maintient le levier du frein dans la position où il est desserré, et agit par la tension du câble et les leviers *e g d*. Lorsqu'un câble se rompt, la tension du ressort agit et le ruban du frein est tendu. Le ruban détendu du frein est dégagé du disque par des contrepoids *h*.

La *gouttière* qui, du côté du bassin, bat le gravier jusqu'en son milieu (fig. 74 à 78) a une longueur de 7m,560, et sa largeur est, à l'extrémité supérieure, de 3m,605 et à l'extrémité inférieure de 1m,990. Au sommet, on a fixé une rallonge qui se déplace sur des galets le long des poutres inférieures de la gouttière et peut être rabattue ou relevée au moyen d'un volant à main et d'une vis et roue hélicoïdale. Cette rallonge sert, lorsque les navires sont très larges, à décharger du charbon dans les soutes qui se trouvent éloignées du mur de quai; les ouvertures des soutes sont alors surmontées

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de trémies. La gouttière est articulée à un armature portée par une poutre spéciale qui peut se déplacer sur le montant du treillis, et sur laquelle est fixé le brin de câble du treuil de la gouttière servant au soulèvement et à l'abaissement de celle-ci. Le cliquet destiné à décharger le treuil de la gouttière est indiqué sur la figure 77.

Quant à la manière dont l'installation est desservie, les figures 79 à 81 indiquent la répartition, sur les deux étages de la cabine du mécanicien, des leviers de manœuvre et autres dispositifs servant à régler les mouvements. Dans l'étage supérieur, on a placé les deux commutateurs des treuils de soulèvement et de basculement, ainsi que le commutateur du treuil de la gouttière. Les résistances appartenant aux deux pre-

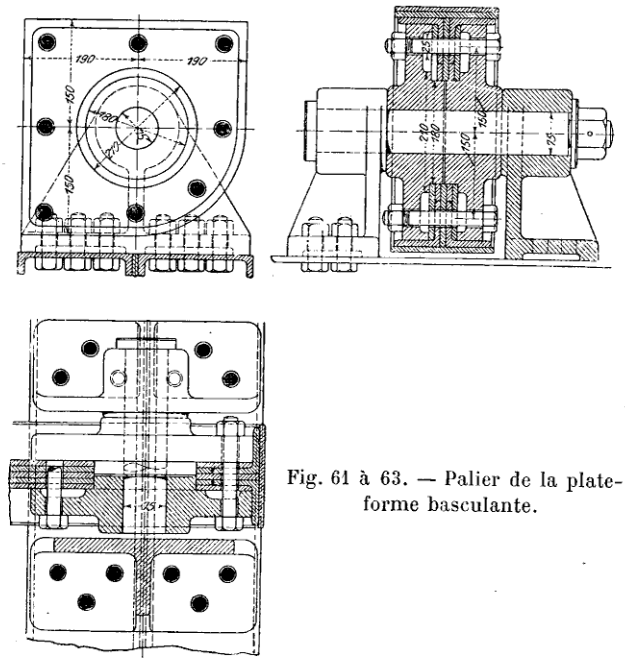


Fig. 61 à 63. — Palier de la plate-forme basculante.

miers commutateurs, ainsi que les commutateurs, rarement employés, de la grue auxiliaire, ont été logées dans l'étage inférieur ; dans un coin de l'étage supérieur, on a placé le moteur du treuil de pivotement de la grue. Les commutateurs des treuils de soulèvement et de basculement sont placés sur le plancher en arrière du mécanicien; ils sont manœuvrés chacun par un levier placé dans un support en fonte et relié par une tige avec la couronne dentée de démarrage de la boîte du commutateur. Le mécanicien se tient entre les deux leviers et dessert : avec la main droite, le treuil de soulèvement (levier *a*), avec la main gauche le treuil de basculement (levier *b*); lorsque le levier *a* est déplacé vers l'avant, le soulèvement est opéré, lorsqu'il est déplacé vers l'arrière la charge est abaissée. Le volant à main du commutateur qui dessert le treuil de la gouttière est placé à gauche, à une certaine distance du point où se tient le mécanicien. Les leviers de commande sont disposés de façon que chacun d'eux soit maintenu dans sa position moyenne dès que l'autre s'écarte de la sienne, de sorte que le soulèvement et le basculement ne puissent pas s'interposer.

Dans les deux étages de la cabine, on a placé des tableaux de distribution avec les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

appareils de mesure nécessaires pour chaque moteur ; un disjoncteur instantané

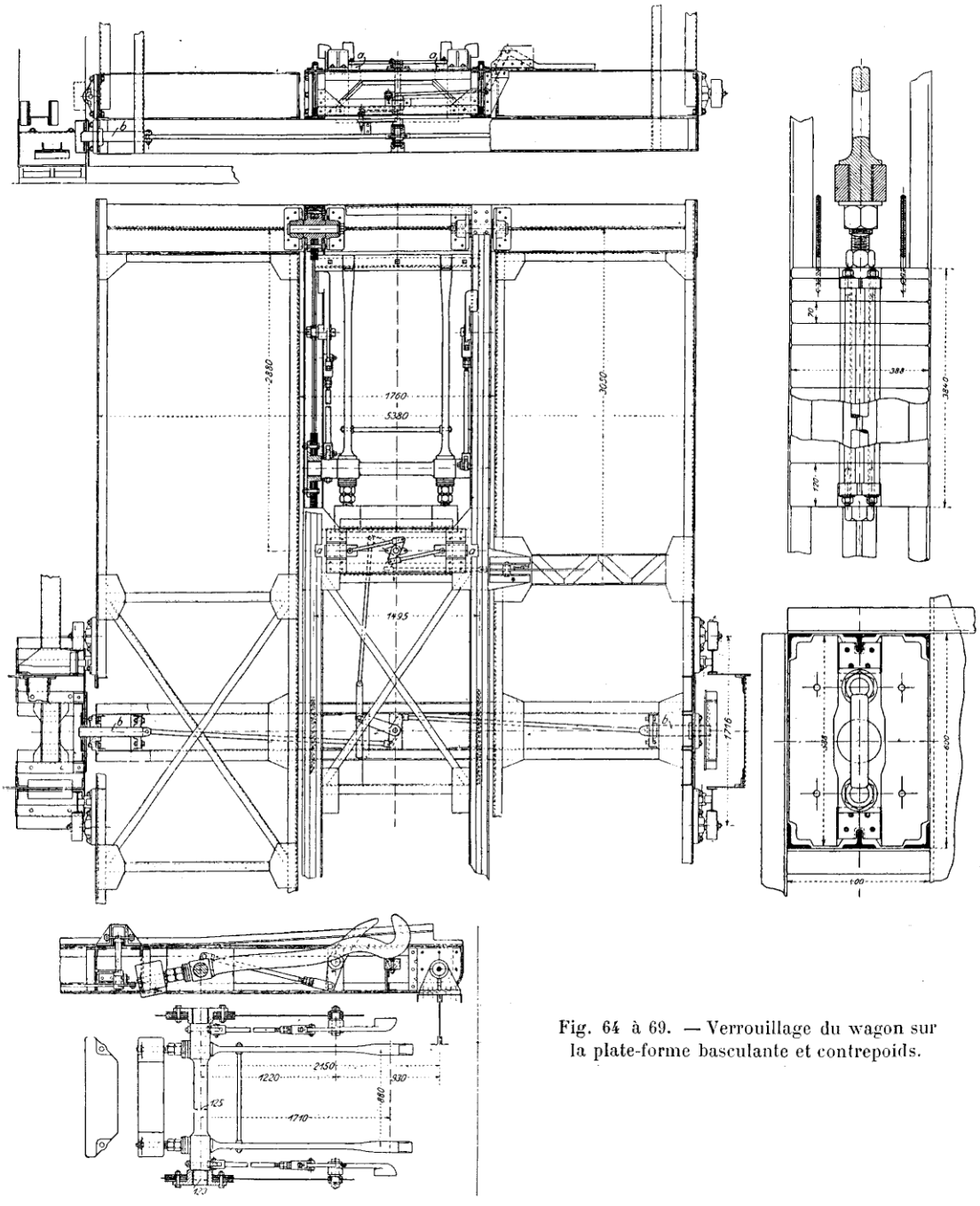


Fig. 64 à 69. — Verrouillage du wagon sur la plate-forme basculante et contrepoids.

bipolaire, placé dans l'étage supérieur, est destiné à servir de commutateur de détresse pour les deux grands moteurs De plus, on a prévu, dans le bâtiment des ma-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

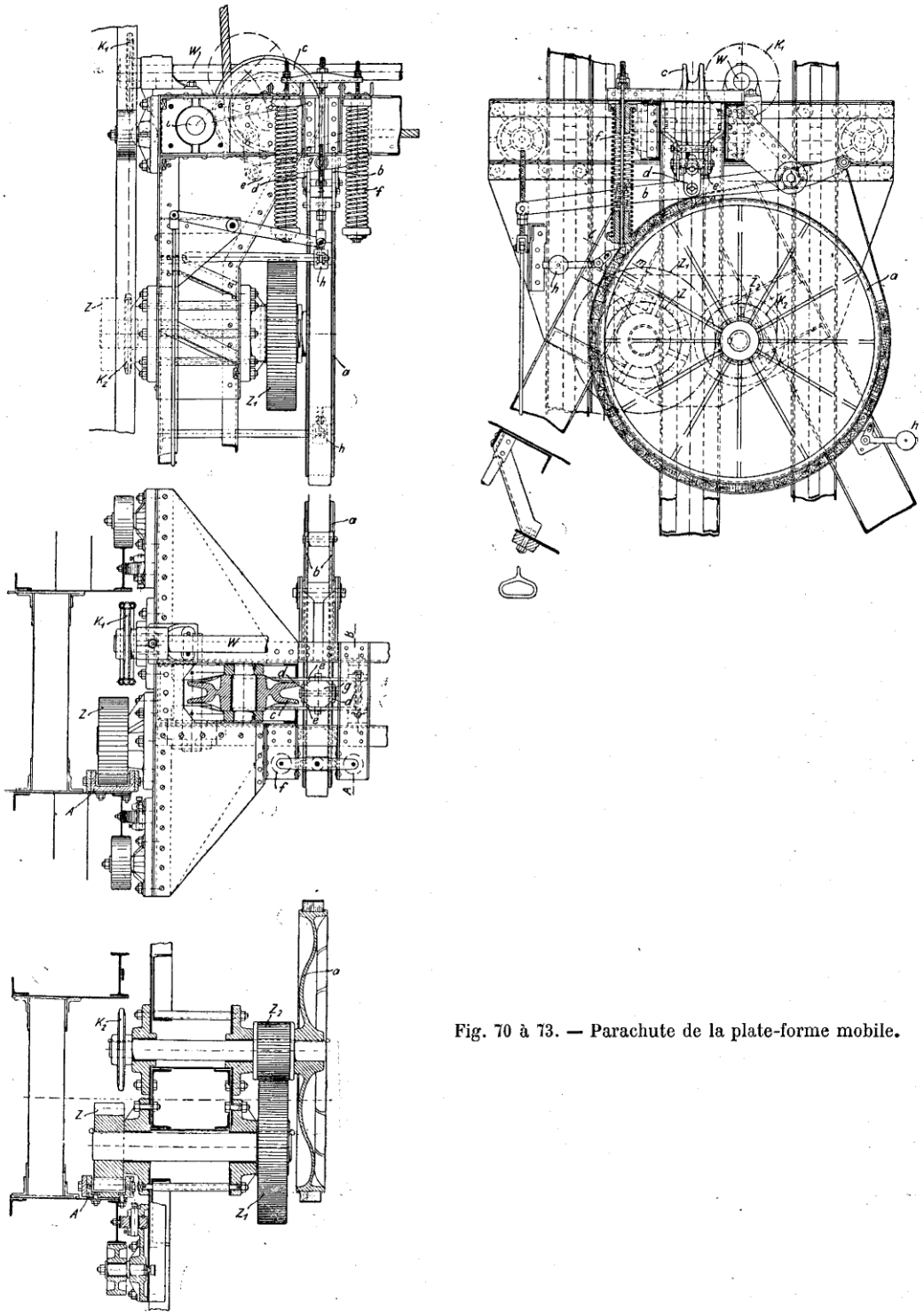
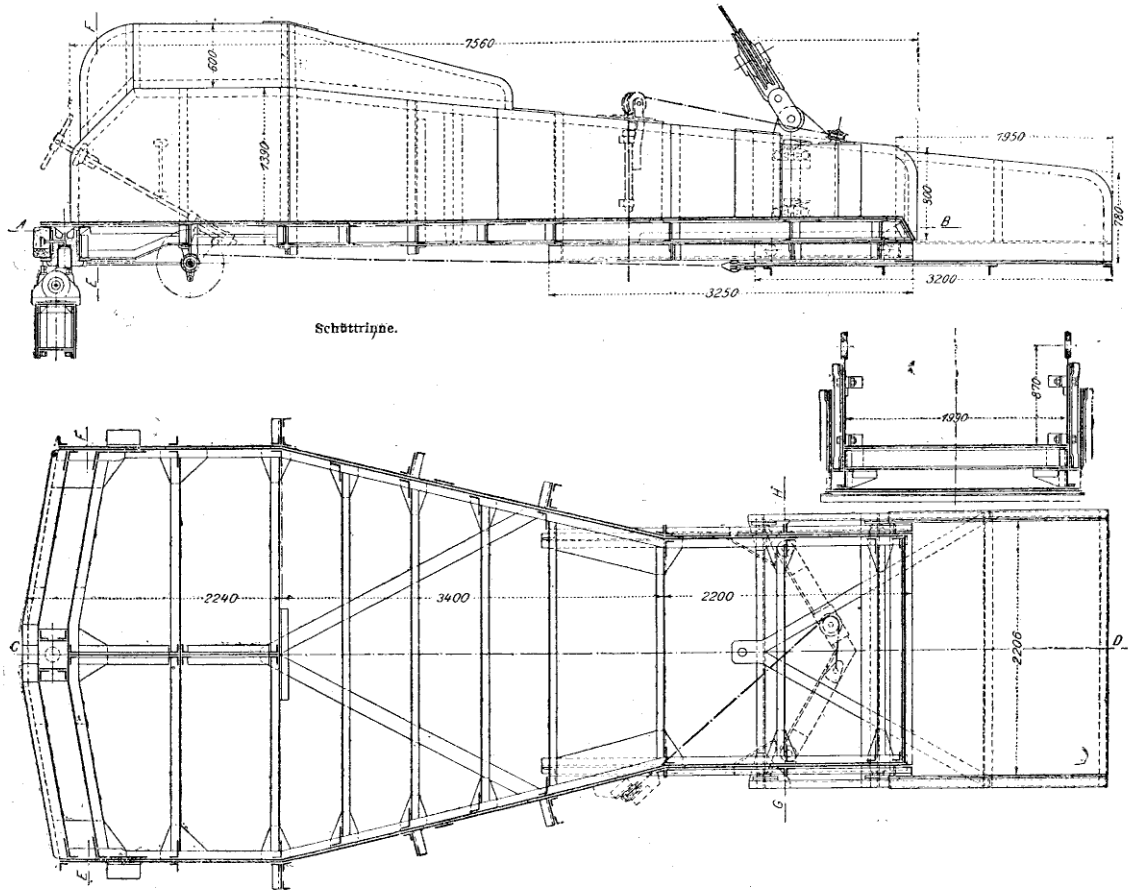


Fig. 70 à 73. — Parachute de la plate-forme mobile.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires



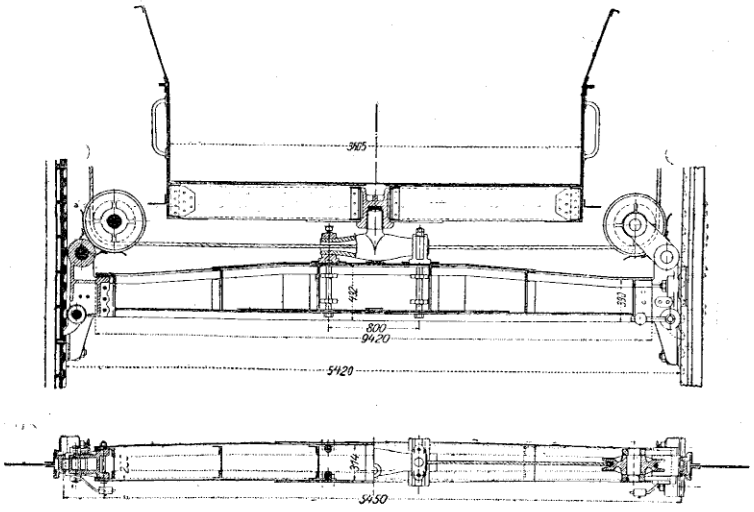


Fig. 74 à 78. — Gouttière.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

chines, un commutateur principal; on y a également placé les bouchons fusibles

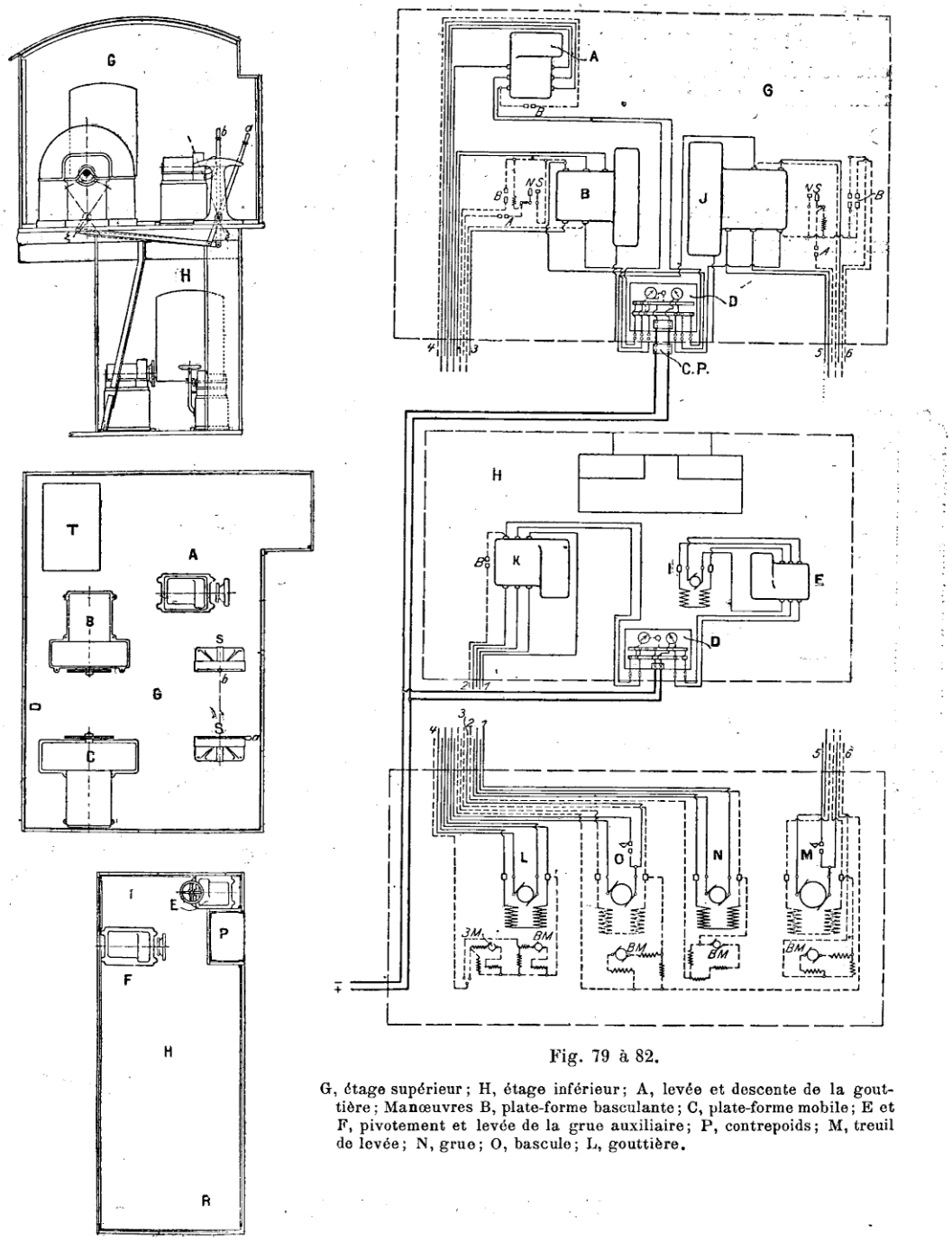


Fig. 79 à 82.

G, étage supérieur; H, étage inférieur; A, levée et descente de la gouttière; Manœuvres B, plate-forme basculante; C, plate-forme mobile; E et F, pivotement et levée de la grue auxiliaire; P, contrepoids; M, treuil de levée; N, grue; O, bascule; L, gouttière.

entre l'installation qui nous occupe et le réseau de distribution de la ville. Tous les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

conducteurs sont en câbles à revêtement de plomb asphalté et entourés de rubans de fer. La figure 82 donne le schéma du distributeur de toute l'installation.

Outre le mécanicien qui se tient dans la cabine supérieure, deux hommes sont encore nécessaires pour desservir l'installation : ils se placent aux plates-formes supérieures du côté du bassin.

Appareils accessoires.

1° *Cabestan.* — Pour amener les wagons, on se sert d'un cabestan électrique, placé en avant du treillis, et qui, à la vitesse de 1m,2 par seconde, développe un effort de

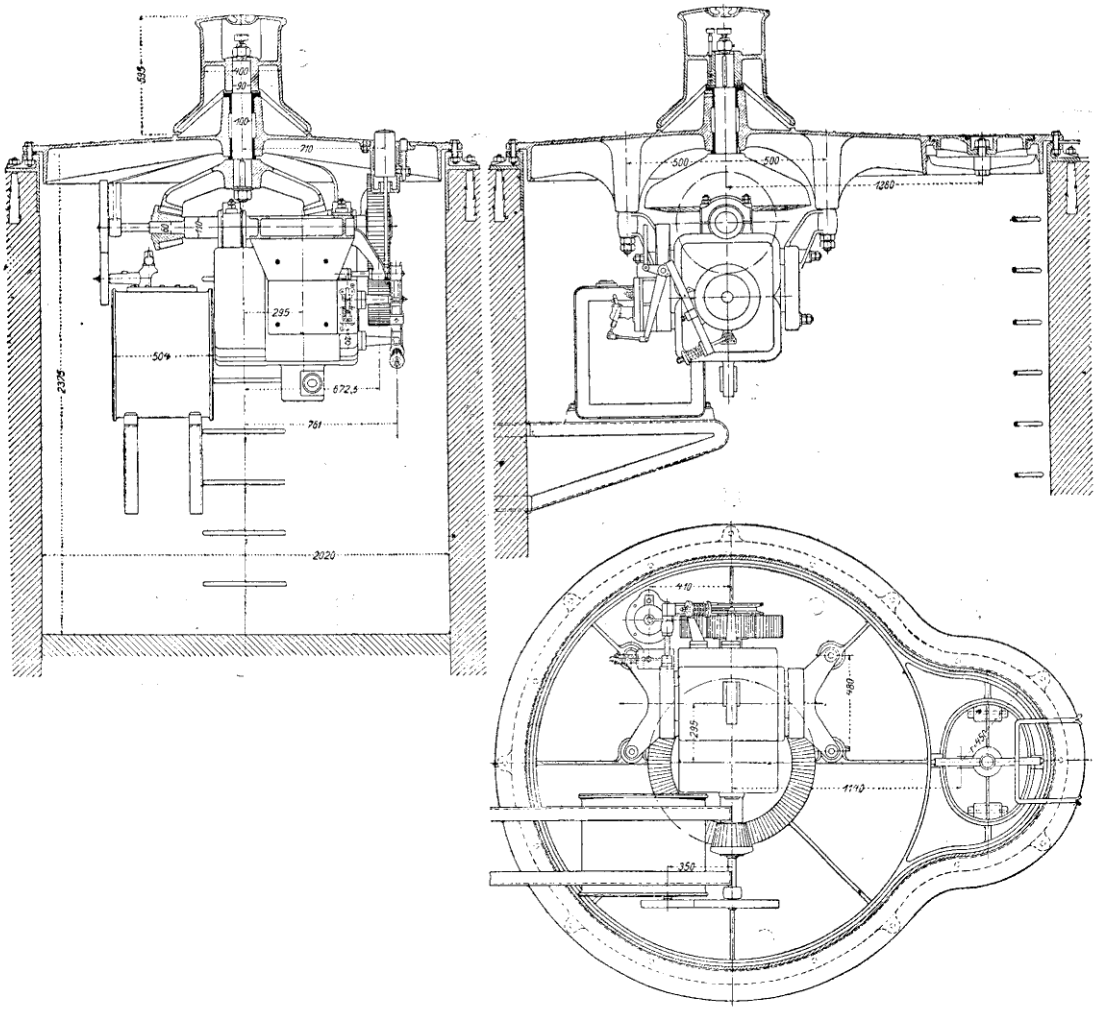


Fig. 83 à 85. — Cabestan électrique.

1,5 tonne (fig. 82 à 85). Ce cabestan est muni d'un frein puissant. Il est actionné par un moteur pour tramways excité en dérivation, de 30 chevaux, et fait 600 tours par

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

minute. On a pris des précautions pour que le moteur ne puisse jamais être surchargé. Pour faire démarrer le cabestan, on pousse la pédale qu'on voit à droite de la figure 83.

2° *Butées pour le navire.* — De chaque côté du treillis, on a disposé, à 1m,5 au-des-

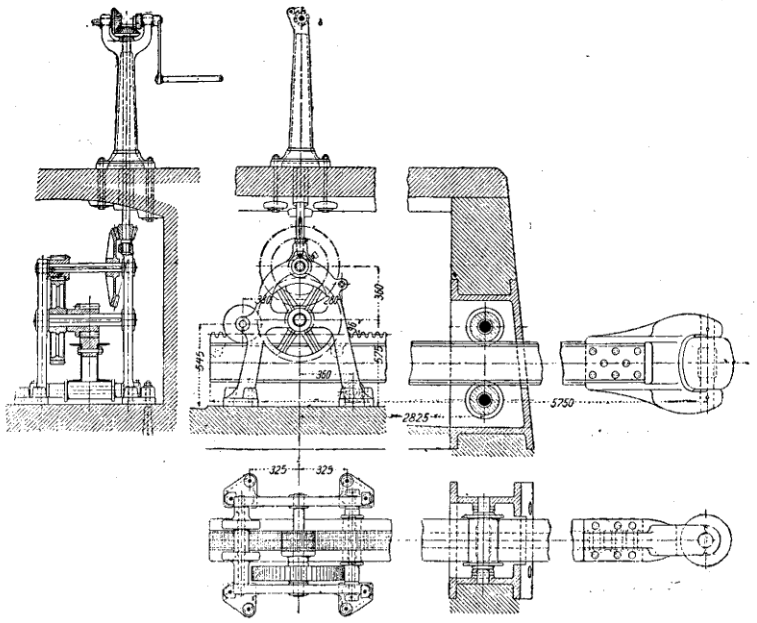


Fig. 86 à 88.

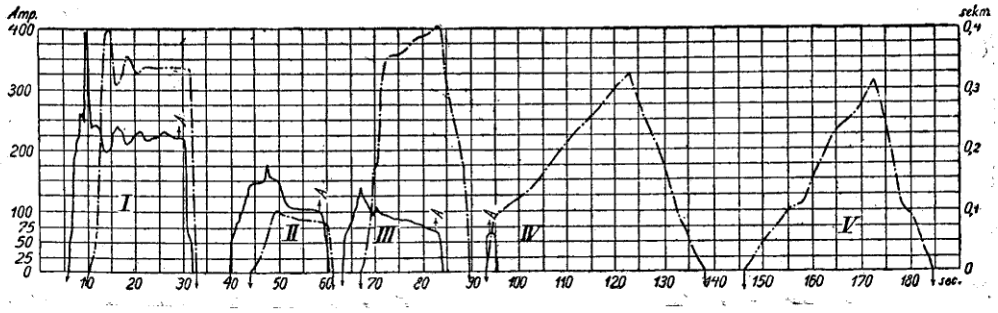


Fig. 89.

sous du plancher, des butées (fig. 86 à 88) qui se déplacent à angle droit par rapport aux murs de quai et qui portent à leurs extrémités des galets.

Vitesse des manœuvres et consommation du courant.

Le diagramme (fig. 89) indique les différentes manœuvres. Les aires I à V correspondent respectivement :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

I au soulèvement de la plate-forme mobile;

II au soulèvement de la plate-forme basculante jusqu'à ce que le wagon s'engage dans leur crochet d'arrêt;

III au basculement de la plate-forme basculante;

IV à l'abaissement de la plate-forme basculante;

V à l'abaissement de la plate-forme mobile.

Les traits pleins sont relatifs à la consommation du courant, les traits discontinus à la vitesse. Les manœuvres IV et V s'effectuent généralement sans dépense de courant du réseau urbain; pour IV, on a de temps à autre besoin d'un peu de courant pour aider le poids de la plate-forme basculante, ce poids ne suffisant pas toujours, avec le wagon vide, à vaincre la résistance au démarrage.

La partie électrique de l'installation a été construite par MM. Siemens et Halske, de Berlin.

SUR UN NOUVEAU JOINT A ANGLE VARIABLE, par **M. G. Kœnigs** (1).

Il y a quelque temps, le joint de Cardan a été, ici même, l'objet de plusieurs communications. Cela m'a porté à penser que l'Académie voudrait bien accorder quelque intérêt à un joint à angle variable que j'ai imaginé et dont j'ai l'honneur de placer sous ses yeux un exemplaire construit dans le Laboratoire de mécanique de la Faculté des sciences.

L'inconvénient du joint de Cardan, c'est l'irrégularité avec laquelle il transmet la rotation d'un arbre à l'autre. On a cherché des joints possédant la propriété de transmettre intégralement la rotation. Deux ont été proposés. L'un est le joint Clémens, qui figura à l'Exposition de Philadelphie, l'autre est le manchon Goubert. Ce qui distingue ce dernier joint, c'est le dispositif qui permet de faire varier l'angle formé par les deux arbres, sans que la transmission intégrale da la rotation cesse de se produire au cours même de cette variation continue.

Le joint que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie possède la même propriété caractéristique, en sorte qu'il ne faut pas voir dans cet appareil uniquement la possibilité de transmettre intégralement la rotation d'un arbre à l'autre, mais encore, et j'insiste sur ce point, la possibilité de faire varier continûment et indépendamment l'angle que ces arbres forment entre eux. Le dispositif est à deux paramètres.

Il est fondé sur le principe suivant :

Imaginons deux arbres, A et A′, dont les axes géométriques Ox et Ox, concourent en un point O. Les coussinets dans lesquels s'engage l'arbre A sont solidaires d'un bâti B, et les coussinets où s'engage A′ sont solidaires d'un bâti B′. Les bâtis B et B′ s'articulent suivant une charnière U, dont l'axe géométrique passe au point O et y coupe à l'angle droit les axes Ox et Ox'. Dans ces conditions, il suffira de faire jouer la charnière U pour faire varier l'angle que forment entre eux les axes Ox et Ox'.

Il s'agit maintenant de relier entre eux les arbres A et A′ par un dispositif qui les rende solidaires au point qu'ils tournent dans leurs coussinets avec la même vitesse angulaire, quel que soit l'angle des axes Ox et Ox'. En outre, ce dispositif devra permettre le jeu libre de la charnière U.

Pour cela, ouvrons la charnière U de manière que Ox et Ox' viennent dans le prolongement l'un de l'autre, position spéciale que j'appelle P^0. Concevons alors que deux corps C et C′ aient été calés sur les arbres A et A′ respectivement, puis, dans cette position particulière P_0, traversons l'ensemble des corps C et C′ par un cylindre de révolution qui forme verrou avec chacun de ces corps, et dont l'axe géométrique soit parallèle à la droite xox', mais sans

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 15 juillet 1901, p. 139.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

se confondre avec elle et même en étant éloignée à une distance convenable. Considérons le plan II normal en O à la droite xox' et appelons O_1 le point où il coupe l'axe du cylindre. Le plan II coupe en deux le cylindre : une première partie D s'engage dans le corps C, la seconde partie s'engage dans le corps C′ ; nous l'appelons D′. Articulons entre elles ces deux parties D et D′, au point O_1, au moyen d'une charnière W dont l'axe géométrique soit parallèle à celui de la charnière U. Dans ces conditions, il est clair que, si l'on essaie de faire jouer la charnière U, la charnière W jouera aussi, grâce au glissement des cylindres D et D′ dans les corps C et C′ respectivement. Nous pourrons ainsi placer les axes ox et ox' sous un angle relatif quelconque θ.

Concevons maintenant que l'on fasse tourner sur lui-même l'arbre A ; les axes géométriques des cylindres D et D′, à savoir O_1y et O_1y', restent respectivement parallèles aux axes ox et ox' des arbres A et A′ et s'élèvent ou s'abaissent ensemble de la même quantité que le point O_1 par rapport au plan xox'. Il en résulte, puisque les axes O_1y et O_1y' sont aux mêmes distances des axes ox et ox' respectivement, que les arbres A et A′ tournent ensemble de la même quantité.

Pour assurer la régularité du guidage, au lieu d'un seul couple de cylindres articulés D et D′, on peut en introduire plusieurs. Le modèle présenté à l'Académie met en jeu quatre cylindres symétriquement disposés.

Ce dispositif offre une particularité très singulière. La position P_0 constitue pour lui une position de *bifurcation*.

Alors en effet que, dans toute autre position, le mécanisme fonctionne à deux paramètres, dans la position P_0 certains déplacements deviennent possibles qui amènent le mécanisme à prendre une autre série de déformations très différentes des premières.

Pour en rendre compte, prenons le mécanisme dans la position P_0 et imprimons à un couple de cylindres D, D′, soit un glissement suivant son axe, soit une rotation autour de cet axe, soit les deux en même temps, de façon que le point O_1 sorte du plan de symétrie de l'appareil, ou que l'axe de la charnière W cesse d'être parallèle à l'axe de la charnière U. Alors, si l'on essaie de faire jouer la charnière U, on constate qu'elle est verrouillée et que l'angle appelé θ demeure égal à 180°. Les arbres A et A′ sont assemblés et n'en forment plus qu'un. En revanche, les deux cylindres D, D′, qui sont également assemblés, peuvent prendre un mouvement de verrou qui est, comme on sait, à deux paramètres. Si donc le nombre des couples de cylindres employés est égal à j, le nouveau mécanisme contient $(2j + 1)$ paramètres indépendants. Ce nouveau dispositif n'est plus propre évidemment au même objet que le précédent, mais on pourrait instituer sur son principe un verrouillage de sûreté à clefs multiples.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

LIVRES ET OUVRAGES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE

EN JUILLET 1901

De la Smithsonian Institution. **Annual Reports,** 1899, 2 vol. in-8, 600 p., et **Bureau of American Ethnology** *annual Reports,* 1895-1897, 2 vol. in-4, 500 p. Washington Government Printing office.

Les Carbures d'hydrogène. *Recherches expérimentales,* par M. Berthelot, 3 vol. in-8, 500 p. Paris, Gauthier-Villars.

Monographie de l'horticulture en Hongrie, par le Dr Ch. Schebersky, in-4, 64 p. 47 pl.

De la collection Scientia. **La série de Taylor et son prolongement analytique,** par M. Hadamard, et **Production et emploi des courants alternatifs,** par M. L. Barbillon. Paris, Naud.

Les télégraphes sans fil à travers les âges, par M. E. Piérard, brochure in-8, 31 p. Paris, Dunod.

Vereins. Deutscher Ingenieure. *Réunion de Kiel.* Album, in-8, 231 p.

Du ministère du Commerce. **Statistique des grèves en 1900. Législation ouvrière et sociale en Australie et Nouvelle-Zélande,** Mission B. Méton. **Répartition des forces motrices à vapeur et hydrauliques en 1899.** *Publication de l'Office du travail,* Imprimerie nationale.

De *l'Encyclopedie Léauté.* **Galvanoplastie et Galvanostégie,** par M. A. Minet. **Expertises et arbitrages,** par M. F. Rigaud.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

LITTÉRATURE

DES

PÉRIODIQUES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE DE LA SOCIÉTÉ

Du 15 Juin au 15 Juillet 1901

DÉSIGNATIONS ABRÉGÉES DES PUBLICATIONS CITÉES

Ag. . . . Journal de l'Agriculture.
Ac. . . . Annales de la Construction.
ACP. . . Annales de Chimie et de Physique.
AM. . . . Annales des Mines.
AMa . . . American Machinist.
Ap. . . . Journal d'Agriculture pratique.
APC. . . Annales des Ponts et Chaussées.
Bam. . . Bulletin technologique des anciens élèves des écoles des arts et métiers.
BMA . . . Bull. du ministère de l'Agriculture.
CN. . . . Chimical News (London).
Cs. . . . . Journal of the Society of Chemical Industry (London).
CR. . . . Comptes rendus de l'Académie des Sciences.
DoL. . . . Bulletin of the Department of Labor, des États-Unis.
Dp. . . . Dingler's Polytechnisches Journal.
E. . . . . Engineering.
E'. . . . . The Engineer.
Eam. . . . Engineering and Mining Journal.
EE. . . . . Eclairage électrique.
Elé. . . . L'Électricien.
Ef. . . . . Économiste français.
EM. . . . Engineering Magazine.
Es. . . . . Engineers and Shipbuilders in Scotland (Proceedings).
Fi . . . . Journal of the Franklin Institute (Philadelphie).
Gc. . . . . Génie civil.
Gm. . . . Revue du Génie militaire.
IC. . . . . Ingénieurs civils de France (Bull.).
Ie. . . . . Industrie électrique.
Im . . . . Industrie minérale de St-Étienne.
IME. . . . Institution of Mechanical Engineers (Proceedings).
IoB. . . . Institution of Brewing (Journal).
La . . . . La Locomotion automobile.
Ln . . . . La Nature.
Ms. . . . . Moniteur scientifique.
MC. . . . Revue générale des matières colorantes.
N. . . . . Nature (anglais).
Pc. . . . . Journal de Pharmacie et de Chimie.
Pm. . . . Portefeuille économ. des machines.
Rcp . . . Revue générale de chimie pure et appliquée.
Rgc. . . . Revue générale des chemins de fer et tramways.
Rgds. . . Revue générale des sciences.
Ri . . . . Revue industrielle.
RM. . . . Revue de mécanique.
Rmc. . . Revue maritime et coloniale.
Rs. . . . . Revue scientifique.
Rso. . . . Réforme sociale.
RSL. . . . RoyalSocietyLondon(Proceedings).
Rt. . . . . Revue technique.
Ru. . . . . Revue universelle des mines et de la métallurgie.
SA. . . . Society of Arts (Journal of the).
SAF . . . Société des Agriculteurs de France (Bulletin).
ScP. . . . Société chimique de Paris (Bull.).
Sie. . . . . Société internationale des Électriciens (Bulletin).
SiM. . . . Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse.
SiN. . . . Société industrielle du Nord de la France (Bulletin).
SL. . . . . Bull. de statistique et de législation.
SNA. . . Société nationale d'agriculture de France (Bulletin).
SuE. . . . Stahl und Eisen.
USR. . . . Consular Reports to the United States Government.
VDI. . . . Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure.
ZOI. . . . Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieure und Architekten-Vereins.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

AGRICULTURE

Betteraves (la) (Greswind). *RCp.* 30 *Juin*, 370; 14 *Juillet*, 385.
— Semis en paquets (Ringelmann). *Ap.* 27 *Juin*, 818.
Bétail. Caisses de prévoyance pour sa mortalité. *Ap.* 20 *Juin*, 790.
— (hygiène du). *Ap.* 4 *Juillet*, 19.
Blé (magasin à). *JNA. Mai*, 439.
Champ d'Expériences du parc des Princes. Culture de 1901 (Grandeau). *Ap.* 11 *Juillet*, 37.
Cheval de trait belge. Ap. 5 *Juillet*, 14.
Cidre (le). *SNA. Mai*, 426, 469.
Culture maraîchère aux environs de Paris. Bilan d'une exploitation (Grandeau). *Ap.* 4 *Juillet*, 10.
Engrais. Fumure verte. Culture des lupins. *Ap.* 20 *Juin*, 186.
— Débuts de la germination, évolution du soufre et du phosphore (André). *CR* 24 *Juin*, 1577.
Faucheuse automobile. Decring. *E.* 20 *Juin*, 800.
Gruyère (fabrication du). *Ap.* 4 *Juillet*, 12.
Grêle. Canons paragrêle. *Ag.* 13 *Juillet*, 56.
Huile d'olives. Fabrication à la ferme. *Ap.* 20 *Juin*, 791.
Insectes (*destruction des*). *Ag.* 22 *Juin*, 989.
Machines agricoles des concours de Posen. *VDI.* 13 *Juillet*, 993.
Pin Sylvestre (le). *SNA. Mai*, 411.
Poules (petites). *Ap.* 4 *Juillet*, 16.
Semoir à rayons Le Gaulois. *Ag.* 6 *Juillet*, 22.
Vigne. Champs d'expériences de la Société de viticulture de Meaux. *SNA. Mai*, 377.

CHEMINS DE FER

Accidents aux États-Unis. *Rgc. Juin*, 617.
Attelage Westinghouse. *RM. Juin*, 692.
— Geogeghan. *E.* 12 *Juillet*, 49.
Chemins de fer métropolitain de Vienne. *Rgc. Juin*, 569.
— métropolitain de New York. *VDI.* 22 *Juin*, 865, 907.
— Kharkow-Nikolaieff. Transport des blés *Rgc. Juin*, 600.
— Toul à Pont-Saint-Vincent. *Rgc. Juin*, 521.
Chemins de fer. Économiques belges. *Rgc. Juin*, 614.
— de l'Uganda. *EM. Juillet*, 548.
— *électriques* (les) (Carde). *SA.* 12 *Juillet*, 641; Monorail Langen. *EE.* 13 *Juillet*, 41.
— — Issy-Moulineaux. *Gc.* 6 *Juillet*, 149.
Chariot transbordeur électrique. *PLM. Rgc. Juin*, 555.
Fenêtre de wagons Ranscher. *Rt.* 25 *Juin*, 273.
Locomotives italiennes à l'Exposition. *Rgc. Juin*, 562.
— américaines en Angleterre. *E'.* 12 *Juillet*, 40.
— Compound Worsdell. *E.* 5 *Juillet*, 13.
— Express South-Eastern and Chatham. *E.* 20 *Juin*, 802.
— — du North-Eastern. *Rg. Gc.* 22 *Juin*, 121.
— — Chicago - Rock - Island - Delaware-Lakanawa. *RM. Juin*, 688.
— A 6 roues couplées Wisconsin Central. *Id.*, 691.
— A 6 roues couplées, Père Marquette. Rr. *RM. Juin*, 690.
— (combustion dans les). *E'.* 21 *Juin*, 647.
— Foyers Vanderbilt. *RM. Juin*, 692.

TRANSPORTS DIVERS

Automobiles *électriques.* Electricia Contal. *Ie.* 25 *Juin*, 271.
— *à pétrole* (le carburateur) (Lavergne). *La.* 20 *Juin*, 386.
— — Lorry pour transport des dépêches. *Ri.* 6 *Juillet*, 263.
— — tracteur Jouffret et Bony. *RM. Juin*, 693.
— — pétro-électriques (accumulateurs pour). *La.* 20 *Juin*, 394.
— *à alcool. Gc.* 29 *Juin*, 140.
Tramways *électriques* à Londres. *E.* 12 *Juillet*, 55; *E'.* 12 (*Id.*), 42; Frein de la British Electric. *E.* 12 *Juillet*, 61.
— *à câbles* d'Edimbourg. *E'.* 12 *Juillet*, 27.
— *à air comprimé.* Omnibus de Paris. *Gc.* 13 *Juillet*, 169.
Vélocipèdes. Frein Hitchcock. *RM. Juin*, 697.

CHIMIE ET PHYSIQUE

Acétylène. Derniers progrès. *Rt.* 25 *Juin*, 277; *Dp.* 13 *Juillet*, 450.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Acétylène. Radicaux acétylo-métalliques (Berthelot). *CR.* 24 *Juin*, 1525.

Acétals (recherches sur les). (Delépine). *ACP. Juillet*, 378.

Alcool (industrie de l') à l'Exposition (De la Goux). *Gc.* 22 *Juin*, 123.

Aluminate de magnésium (Dufan). *ScP.* 5 *Juillet*, 669.

Acides chlorhydrique et nitrique pur: préparation (Meade). *CN.* 28 *Juin*, 106.

— azotique. Fabrication (Volney). *Cs.* 29 *Juin*, 544.

Aldéhyde formique. Produit de la combustion incomplète des composés organiques. (Mulliken et French). *CN.* 12 *Juillet*, 15.

Brome. Extraction (Betts). *Eam.* 22 *Juin*, 783.

Benzols. Examen. *Cs.* 29 *Juin*, 567.

Brasserie. Divers. *Cs.* 29 *Juin*, 597.

— La zymase. *Id.*, 598.

— Bières arsénicales. *Id.*, 644.

Carbone. Action des hautes pressions (Majorna). *RCp.* 16 juin 340.

Carbure de calcium pouvoir réducteur. *Cs.* 29 *Juin*, 582.

— Application à la chimie industrielle. *Rcp.* 14 *Juillet*, 412.

Cellulose. Solutions sulfétiques résiduelles (Seidel). *Ms. Juillet*, 451.

— Développement de l'industrie du bois. *Id.*, 456.

Chrome électrolytique, azoture, oxyde. *CrO.* (Ferée). *JcP.* 20 *Juin*, 617-620.

Chlorure d'argent (action des radiations solaires sur le), en présence de l'hydrogène (Joumaux). *CR.* 24 *Juin*, 15-58.

Constantes capillaires des liquides organiques (Gruge et Baud). *CR.* 17 *Juin*, 1481.

Chaux et Ciments (essais des). *Cs.* 29 *Juin*, 539,

— — Divers. *Cs.* 29 *Juin*, 580.

Chlore (oxydes de). (Reychler). *ScP.* 5 *Juillet*, 659.

Diffusion (travaux récents sur la). *N.* 20 *Juin*, 193.

Eau oxygénée commerciale (Arth). *Ms. Juillet*, 435.

Eaux potables. Recherches et dosage des azotates (Cazeneuve et Défournil). *ScP.* 20 *Juin*, 639.

Égouts. Épurations des eaux (Rouchy). *Pc.* 15 *Juillet*, 62.

Équilibres chimiques. Réactions de deux bases mises simultanément en présence de l'acide phosphorique (Berthelot). *CR.* 24 *Juin*, 1517.

— Formation des phosphates insolubles par double décomposition, phosphate de soude bibasique et azotate d'argent (Berthelot). *CR.* 17 *Juin*, 1449; 1er *Juillet*, 5.

Essence divers. *Cs.* 29 *Juin*, 603.

— de bergamote. État actuel (Theulier). *Rcp.* 30 *Juin*, 361.

Explosifs. Nitrocelluloses (stabilité des). *Cs.* 29 *Juin*, 609.

Fermentation. Nouveau milieu pour anaérobies (Martelly). *Ms. Juillet*, 437.

Hydrogène liquide, point d'ébullition (Dewar). *AcP. Juillet*, 417.

Lithium (combinaison des sels haloïdes de) avec l'ammoniac et les amines. *ACP. Juillet*, 317.

Gaz d'éclairage. Becs incandescents. Fuersterheim. *Cs.* 29 *Juin*, 565.

Laboratoire. Divers. *Cs.* 20 *Juin*, 618.

— Aciéries (analyse dans les) (Bibliographie) (Brearley). Phosphore. *CN.* 21 *Juin*, 289.

— Acidimétrie de l'acide arsénique (Astruc et Tarbouriech), *CR.* 1er *Juillet*, 36.

— dosage du calcium dans le ferro-silicium. *Cs.* 29 *Juin*, 539.

— — du manganèse dans le ferro-manganèse et l'acier au nickel. (Norris). *Cs.* 29 *Juin*, 551.

— vanadium, détermination des traces en scories. *Cs.* 29 *Juin*, 620.

— Essais au chalumeau (Richards). *CN.* 12 *Juillet*, 13.

Mercure. Action de l'oxyde mercurique sur les solutions aqueuses des sels métalliques (Maithe). *CR.* 24 *Juin*, 1560.

— et sa production. *Cs.* 29 *Juin*, 584.

Niobium. Préparation de la fonte de (Moissan). *CR.* 1er *Juillet*, 20.

Or. Point de fusion (Holborn et Day). *CN.* 28 *Juin*, 304.

Oxycelluloses (les). *Cs.* 29 *Juin*, 575.

Papier. (Fabrication mécanique du). *Em. Juillet*, 518.

— A l'Exposition. *Vds*, 6 *Juillet* 956.

— Les piles (Haussner). *Dp.* 13 *Juillet*, 437.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Photographie, développement de l'image impressionnée par des rayons monochromatiques de longueurs d'onde différentes. (Abnez). *RSL.* 9 *Juillet*, 300.

Poids atomiques (les). Phipson. *CN.* 5 *Juillet*, 2.

Pétrole et Chimie des naphtènes. (Schell). *Ms. Juillet*, 440.

— Utilisation des déchets des industries des huiles minérales. (Ulzer). *Ms. Juillet*, 451.

Phosphore. Préparation de l'oxyde phosphoreux. (Besson). *CR.* 24 *Juin*, 1556.

Réactions chimiques dans les systèmes dissous ou gazeux; Tension de vapeur. Hypothèse d'Avogadro (Ponsot). *CR.* 24 *Juin*, 1551.

Sels basiques renfermant plusieurs oxydes métalliques (André). *CR.* 24 *Juin*, 1563.

Sténochimie (25 ans de) (Walden). *Ms. Juillet*, 421.

Soufre (Trioxyde de) *Cs.* 29 *Juin*, 518.

Sucrerie. Triple suturation au point de vue chimique. (Andrlick). *Ms. Juillet*, 457.

— Mélasses et résidus analogues, id. 466.

— Mesure du pouvoir rotatoire. Variation avec la température et la longueur d'onde. (Pellat). *AcP. Juillet*, 289.

Tannage. Cuirs pour reliures. Rapport du Comité. *SA.* 5 *Juillet*, 621. — Au chrome. *Cs.* 29 *Juin*, 595. Divers, — *Cs. Juin*, 593.

— Résines et vernis. Divers, *Cs. Juin*, 591.

Teinture. Réserves sous rouge de paranitranilines (Richard). *MC. Juillet*, 161.

— Industrie des matières colorantes. (Lemoult). *Rs.* 13 *Juillet*, 33.

— Couleurs organiques artificielles : progrès de leur chimie (Buntrak). *MC. Juillet*, 163.

— Indigo artificiel (Haller). *MC.* 1 *Juillet*, 165.

— Synthèse de l' (Matthews). *Cs.* 29 *Juin*, 551.

— Divers. *Cs.* 29 *Juin*, 568, 572.

— Action de la température sur les teintures (Browes). *Cs.* 29 *Juin*, 574.

Thallium. (Chlorobromures de) (Thomas). *CR.* 17 *Juin* 1487.

Thermomètre. (Évolution du) (Bolton). *Rs.* 22 *Juin*, 784.

Tungstène. Séparation des acides tungstique et silicique (Wells et Metzger). *CN.* 5 *Juillet*, 3.

Verre. (Constitution du) Jackson. *Cs.* 29 *Juin*, 555.

COMMERCE ET ÉCONOMIE POLITIQUE

Allemagne. Crise industrielle et financière. *Ef.* 6 *Juillet*, 5.

Accidents du travail. Réfection de la loi. *Ef.* 29 *Juin*, 920.

Chine. Vallée du Yang-Tsé-Kiang. *Ef.* 22 *Juin*, 877.

Grèves des mécaniciens aux États-Unis. *EM. Juillet*, 586.

Octrois. Suppression à Lyon. *Ef.* 22, 29 *Juin*, 873, 913.

Retraites ouvrières en Belgique. *Musée social. Juin*. (Discussions de la loi des) *Ef.* 6 *Juillet*, 1, 9.

CONSTRUCTION ET TRAVAUX PUBLICS

Bois. (Ininflammabilité des). *Ri.* 22 *Juin*, 248.

— Conservation Rutgers. *IC. Mai*, 689.

Carreaux d'asphalte comprimé. *Cim. Juin*, 519.

Ciment armé. (Ouvrages en.) (Resal). *Rt.* 10 *Juin*, 248. (*Le Ciment*). *Juin*, 86.

Centres mécaniques employés en Bavière. *Ac. Juillet*, 98.

Ponts de Manheim. (Concours des) *VDI.* 22 *Juin*, 883. En béton de las Segadas. *Le Ciment*, *Juin*, 81.

Tunnels. Emploi du bouclier. *Rt.* 25 *Juin*, 267.

ÉLECTRICITÉ

Accumulateurs au plomb (théorie des) (Dolezalek). *EE.* 29 *Juin*, 480.

— Skwirsky. Placet. Collins. Porter. Muhle. Hewitt. Bœse. Ricks. *EE. Juillet*, 30-35.

— Utilisation des anciennes plaques. *Eli.* 29 *Juin*, 403.

— à oxyde de nickel. *Ie.* 25 *Juin*, 277.

— Calcul d'une batterie pour un travail donné (Norden). *EE.* 6 *Juillet*, 36.

Clapets électrolytiques. *Ie.* 10 *Juillet*, 300. Norden. *Elé*, 13 *Juillet*, 17.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Distribution sur la Tyne. *E.* 22 *Juin*, 810.
— par triphasés. *EE.* 29 *Juin*, 486.
Dynamos de l'Electrotechnische Industrie. *EE. Juin*, 468.
— 1000 kw. Siemens et Halske. Exposition de 1900. *EE.* 6 *Juillet*, 1. Rieter, (id.), 14.
Alternateur Sauter-Harlé. *EE.* 22 *Juin*, 442.
— Oerlikon. *E. Juin*, 833.
— (Couplage des). Théorie graphique (Hanappe). *Ru. Mai*, 145.
Moteurs asynchrones. Théorie graphique (Blondel). *EE.* 22 *Juin*, 429. (Couplage des) Grob. S., 447.
— Triphasé Lahmayer pour pompes de mines. *E.* 5 *Juillet*, 10.
— Interruption dans les moteurs shunts sans étincelles (Krause). *EE. Juillet*, 72.
Éclairage. Lampe électrolyte. Rash. *EE. Juin*, 455.
— Machines à condensation dans les usines d'éclairage (Picois). *ie.* 25 *Juin*, 269.
— *Arcs* à courant continu. Recherche du laboratoire central (Janet). *SE. Juin*, 251.
— *Incandescence*. Lampe Raab. *EE. Juin*, 458. Hewitt, à vapeur de mercure. *Clé.* 13 *Juillet*, 27. Allumage pour lampe à corps de deuxième classe, *id.*, 456.
Électro-chimie. Divers. *Cs. Juin*, 589.
— Théories modernes (Minct). *Rap.* 14 *Juillet*, 597.
— Fabrication des électrodes (Strauss). *RCp.* 16 *Juin*, 343.
— Affinage du cuivre et de ses alliages. *Elé.* 22 *Juin*, 389.
— Séparation du cobalt et du nickel par voie électrolytique (Balachowsky). *CR.* 17 *Juin*, 1492.
— Procédé de graphitisation de l'Acheson Cº. *EE.* 29 *Juin*, 499.
— Câble Witzenham à couches alternativement conductrices et isolantes. *EE.* 29 *Juin*, 500.
— Chrome électrolytique (Férié). *ScP.* 20 *Juin*, 617.
— Préparation électrolytique de l'acide permanganique (Elbs). *EE.* 29 *Juin*, 500.
Magnétisme. Images magnétiques (Jaeger). *EE.* 22 *Juin*, 457.
Mesures magnétiques par la méthode balistique. *Elé.* 22 *Juin*, 387; 6 *Juillet*, 2.
— Transformateurs pour instruments de mesure Thomson-Houston. *Elé.* 22 *Juin*, 393.
— Voltmètre statique pour très hautes tensions (Benischke), *EE.* 22 *Juin*, 464.
— Compteurs à tarif variable (Goisot). *EE.* 6 *Juillet*, 27.
— Ondographe Hospitalier. *EE.* 12 *Juillet*, 64. *Ie.* 10 *Juillet*, 295.
— Redressement des ordonnées des enregistreurs. *Ie.* 10 *Juillet*, 299.
Pertes diélectriques dans les condensateurs et câbles. *Elé*, 6 *Juillet*, 11.
Résonance dans les circuits à courants continus (Armagnat). *EE.* 29 *Juin*, 465.
Stations centrales Hagneck. *VDI.* 6 *Juillet*, 937.
— (Pilotes et réglage de la tension dans les). *Ie.* 10 *Juillet*, 293.
Télégraphe. Mercadier, *E.* 28 *Juin*, 521.
— Rowland. *Elé.* 13 *Juillet*, 23.
— Multiple Baudot. *EE.* 12 *Juillet*, 75.

HYDRAULIQUE

Chutes d'eau pour la production de l'énergie électrique. (Utilisation) des. *Pm. Juillet*, 88.
Pompes express Riedler. *VDI.* 29 *Juin*, 923.
— Centrifuge d'Abbey Mills. *RM. Juin*, 699.
— à double effet. Wilcox. *E.* 2 *Juillet*, 4.
Puits artésiens en Australie. *E'.* 21 *Juin*, 635.
Robinet Draulletta. *Gc.* 22 *Juin*, 128 .
Turbines. Station électrique de Hagneck. *VDI.* 6 *Juillet*, 937.
Tuyauterie (Joints de) en Amérique. *E'.* 21 *Juin*, 637.

MARINE, NAVIGATION

Boussole. Nouvelle cause de déviation. *Rmc. Juin*, 1338.
Canal de Dortmund-Ems. VDI, 6 *Juillet*, 947.
Constructions navales. Résistance transversale des navires. *E.* 5 *Juillet*, 30.
Dock flottant de Port-Mahon. *E'*, 5 *Juillet*, 17.
Évaporateur condenseur. Blan et Baillie. *Ri.* 6 *Juillet*, 265.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Gouvernail Alley et Mac Lellan. *E'.* 21 *Juin*, 644.

— Boothman. *RM. Juin*, 707.

Machines marines du Cap Verde. *VDI.* 29 *Juin* 1901.

— Paquebot à turbines *King Edward*. *E.* 5 *Juillet*, 16.

Marines de guerre. Défense des stations de charbon. *E'.* 21 *Juin*, 633.

— Navires marchands auxiliaires (Brassey). *E.* 28 *Juin*, 853.

— Anglaise. *E.* 22 *Juin*, 807; 12 *Juillet*, 153. *E'.* 12 *Juillet*, 43; *Rmc. Juin*, 1257; 1344.

— — Canonnière Teal. *E.* 28 *Juin*, 847; *E.* 28 *Juin*. 676.

— — Croiseur Leviathan. *E'* 12 *Juillet*, 46.

— Allemande. *Rmc. Juin*, 1351.

— États-Unis. *Rmc. Juin*, 1353.

— Japon. *Rmc. Juin*, 1357.

— Torpilleur à pétrole Yarrow. *E.* 20 *Juin*. 803.

— Sous-marin. Type *Holland*. *Rmc. Juin*. 1323.

Monte-canots Welin. *E.* 22 *Juin*. 815.

Paquebot « Korea. » Ligne du Pacifique. *E'.* 5 *Juillet*, 12.

Pas de Calais. Ancienne navigation. *E'.* 28 *Juin*, 672.

Porte de cloison hydraulique Stone. *E.* 12 *Juillet*, 48.

Vitesse des navires. Limite économique (d'Eyncourt). *E.* 28 *Juin*, 854.

MÉCANIQUE GÉNÉRALE

Air comprimé. Compresseurs Mac Lellan et Alley. *E'.* 21 *Juin*, 642; Walker. *Id.*, 651; Pokorny et Wittekind. Stewart. *RM. Juin*, 714.

Balances automatiques Christensen et Dewing. *RM. Juin*, 668.

— Bascule Reisert. *RM. Juin*, 715.

Chaudières.

— *à tubes d'eau* Okes et Serve *E'.* 21 *Juin*, 651; Penham. *E.* 5 *Juillet*, 27; Thornycroft, Montupet. Stirling, Wortington, Durr. Leclerc et Schmitbuhl. *RM. Juin*. 675.

— — Babcox-Wilcox. *E.* 20 *Juin*, 798.

— — Théorie de la circulation (Jannin). *Bam. Juin*, 511.

Chaudières à la mer. *E'.* 20 *Juin*, 669; 12 *Juillet*, 41.

— Clapet d'arrêt Richter. *RM. Juin*, 680.

Pompe alimentaire Woodeson. *E.* 28 *Juin*, 827.

— Réchauffeur Barrett. *Ri.* 22 *Juin*, 242.

— Foyers Reboul, Houston. *RM. Juin*, 681; au pétrole Clarkson. *E'.* 12 *Juillet*, 47.

— Grilles Tibbits. Hoffmann. *RM. Juin*, 683.

— Surchauffeurs Leclerc et Schmitbuhl. *RM. Juin*, 679; Sinclair, Durr, Lowell. *Id.* 684.

— Soupapes de sûreté Lohbiller Stern. *RM. Juin*, 643.

Câbles métalliques. Fabrication à Wakefield. *E'.* 12 *Juillet*, 35.

Ensacheur Simon. *Ri.* 6 *Juillet*, 269.

Froid. Machines Doane. *Ri*, 22 *Juin*, 241.

— Essais de Cardiff. *E.* 28 *Juin*, 823.

Graisseur. Shaeffer Budenberg. *RM. Juin*, 709.

Imprimerie. La Monotype. *La.* 22 *Juin*, 56,

Indicateur de vitesse différentiel Kilboy. *E.* 5 *Juillet*, 27.

Levage. Manutention des charbons. *Ef.* 20 *Juin*, 875.

— Ascenseur Otis. *AMa.* 22 *Juin*, 625; 13 *Juillet*, 714. Samain. *RM. Juin*, 709.

— Pont roulant électrique Kolben. *EE.* 23 *Juin*, 452.

— (Appareils de) à l'Exposition. *VDI. Juin*, 874.

— Transbordeur Holsay. *Ru. Juin*, 712.

— Treuils Grisson. Norris. *RM. Juin*, 711.

Machines-outils. Ateliers Weir. *E.* 20 *Juin*, 795. William et Robinson. *Ama.* 22 *Juin*, 613. — de constructions navales (Outillage des). *EM. Juillet*, 525.

— Répartition des frais d'ateliers. *EM. Juillet*, 508.

— Exposition de Glasgow. *E'.* 28 *Juin*, 664. *E.* 12 *Juillet*, 46.

— Bordeuse Davis. *RM. Juin*, 671.

— Forgeage à l'étampe (Horner). *E.* 21 *Juin*, 791. 12 *Juillet*, 37.

— Billes : polisseuses Shultr. *RM. Juin*, 699.

— Boulons : machines à forger les Haskins. *RM. Juin*, 699.

Forgeuse Rice. *RM. Juin*, 701.

— *Fraiseuses* Reineker. *Dp.* 22 *Juin*, 395, 29 *Juin*, 411.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Machines-outils. Dubosc. *Ri.* 6 *Juillet*, 261.
— Coupe-tube Wathier. *RM. Juin*, 699.
— Meule. Brown et Sharpe. *AMa.* 29 *Juin*, 659.
— — Affûteuse Falkman. *E.* 12 *Juillet*, 45.
— Machines à faire les douilles de porte-plumes. Merlet. *In.* 6 *Juillet*, 93.
— Tour à revolver Herbert. *E.* 5 *Juillet*, 6.
Moteurs à vapeur (Équilibrage des) Mac Alpine. *E.* 12 *Juillet*, 63.
— à condensation dans les stations électriques (Picou). *EE.* 12 *Juillet*, 69.
— Verticales simple effet. Ally et Mac-Lellan. *E'.* 21 *Juin*, 642. Restler. *E.* 28 *Juin*, 826.
— — Dunlop. *RM. Juin*, 710. Ruston-Proctor. *E'.* 5 *Juillet*, 3. Clarke-Chapmann. *E'.* 12 *Juillet*, 31.
— Économiseur Taylor. *Gc.* 13 *Juillet*, 180.
— Condenseurs et pompes à air (Nadal). *RM. Juin*, 609.
— — Snyder. Thompson. *RM. Juin*, 720.
— Distribution à soupapes Robey. *E.* 28 *Juin*, 833.
— — Déclics Street et Robinson. *RM. Juin*, 666.
— — Iskolski Hudson. *RM. Juin*, 723.
— Régulateurs Davidson et Wilson. *RM. Juin*, 723. Conti, Frickard. *Id.* 724; volants (Stead). *VDI.* 13 *Juillet*, 981.
— — Stuffing-box Texier, Reynolds, Sexton. *RM. Juin*, 726.
— Turbine Hodgkinson. *RM. Juin*, 720.
— *à ammoniac* Windhausen. *RM. Juin*, 727.
— **à gaz** Rollason. Hamilton. *RM. Juin*, 730.
— — allumage Hamilton, Gaus, Porter. *RM.* 29 *Juin*, 731; magnéto Holzer-Cabot. *Élé.* 28 *Juin*, 401.
— — de hauts fourneaux *E'.* 5-12 *Juillet*, (Dutreux). *Gc.* 22 *Juin*, 117, 133, 6-13 *Juillet*, 158, 185; (Greiner). *RM. Mai*, 139.
— — Épuration des gaz (Deschamps). *RM. Juin*, 622.
— — Régulateur de circulation d'eau Pradel. *Bam. Juin*, 635.
— **à pétrole** à l'Exposition *RM.* 13 *Juillet*, 988. Concours de Cardiff. *E.* 22 *Juin*, 807, 829. Paragon. *Ri.* 29 *Juin*, 253. Mac-Mahon. Électric Vehicle C°, Comp. française. *RM. Juin*, 733, 735.
Moteurs *à alcool*. Expériences de Hohenheim. *Ap.* 27 *Juin*, 817.
Sécurité (Appareils de) à l'Exposition (Schmerber). *Gc.* 29 *Juin*, 138, 6-13 *Juillet*, 164, 177.
Ventilateur Sirocco. *E'.* 21 *Juin*, 650.

MÉTALLURGIE

Cuivre, progrès de sa métallurgie (Schnabelt). *Pm. Juillet*, 102.
Fer et acier. Aciéries du Cap-Breton. *EM. Juillet*, 871.
— Sidérurgie dans l'Oural méridional (Gouvy). *IC. Mai*, 714.
— Sous-produits de la fabrication du fer. *Eam.* 28 *Juin*, 782.
— Chariot électrique pour poche de coulée. *Gc.* 22 *Janvier*, 129.
— Haut fourneau à enveloppe d'eau Sahlin. *E.* 12 *Juin*, 66.
— Fonderie de tuyaux aux États-Unis. *E'.* 28 *Juin*, 659.
— Fours continus (les). *Dp.* 13 *Juillet*, 444.
— Laminage des rails, tôles (Pasquier). *Ru. Mai*, 121.
Or. (Métallurgie de l'). *Rt.* 10 *Juin*, 257.
Plomb. Progrès de la métallurgie (Schnabel). *Pm. Juillet*, 107.

MINES

Bitume. Dépôts de Cardenas (Cuba). *American Journal of sciences*, *Juillet*, 33.
Cables plats en aloès pour extraction à grandes profondeurs (Vertougen). *Ru. Mai*, 151.
Dépouilleuses Jeffrey. *Ri*, 29 *Juin*, 254.
Électricité. Transport d'énergie aux ardoisières de l'Anjou. *Éle.* 13 *Juillet*, 18.
— (Emploi de l') haveuses et perforatrices. Préparation mécanique des minerais et des charbons. *Im.* XV.
États-Unis. Production minérale en 1900. *Eam.* 29 *Juin*, 826.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Grisou et explosifs de sûreté (Chalon). *Rt.* 10 *Juin*, 259.

— Causes des explosions. *E'.* 5 *Juillet*, 13.

Manganèse. Dépôts de Quélin, États-Unis. *American Journal of sciences. Juillet*, 18.

Mercure. Mines de Brewster, Texas. *Eam.* 15 *Juin*, 749.

Or. Région de Golovine Bay, Alaska. *Eam.* 15 *Juin*, 751.

— Draguage à Nome. *Eam.* 22 *Juin*, 785; en Californie. *Id.* 29 *Juin*, 823.

Russie du Sud. Mines et usines métallurgiques en 1900 (Spilberg). *RM. Mai*, 206.

Sondeuse Calix. *RM. Juin*, 719.

Le Gérant : Gustave Richard.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

BULLETIN

DE

LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

ÉTAT FINANCIER DE LA SOCIÉTÉ

RAPPORT *fait par* **M. Daubrée**, *au nom de la Commission des fonds*, SUR LES COMPTES DE L'EXERCICE 1900

MESSIEURS,

Conformément à l'article 31 de nos Statuts, j'ai l'honneur de vous présenter, au nom de la Commission des fonds, le résumé des comptes de l'exercice 1900.

1re PARTIE

FONDS GÉNÉRAUX

AVOIR		DÉBIT	
1° Cotisations des membres de la Société (681 cotisations à 36 francs).	24 516 »	1° Prix, médailles et récompenses diverses.	13 052, 15
2° Dons divers.	4 987 »	2° *Bulletin :* frais de rédaction, d'impression et d'expédition.	37 208, 62
3° Abonnement au *Bulletin* de la Société.	3 852 »	3° Impressions diverses : *Annuaire, Comptes rendus.* .	4 402, 45
4° Produit de la vente au numéro du *Bulletin* de la Société.	1 109, 35	4° Bibliothèque : traitements des agents, acquisitions, abonnements, reliures, fiches.	8 208, 85
5° Locations diverses. .	11 454, 35	5° Agence et Économat : traitements des agents et employés, frais divers. . .	16 907, 96
6° Arrérages de rentes : 3 p. 100. . . . 59 976 » 3 1/2 p. 100. . . 1 351 »	61 327 »	6° Jetons de présence. .	4 170 »
7° Intérêts de fonds en dépôt.	0, 70		
A reporter. . .	107 246, 40	*A reporter.* . .	83 950, 03

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

AVOIR		DÉBIT	
Report.	107 246, 40	*Report*.	83 950, 03
		7° Hôtel de la Société :	
		A. Aménagement, entretien, réparations.. 1 989,01	
		B. Mobilier. . . 940,65	
		C. Chauffage, éclairage, eau, téléphone. . 5 101,61	11 206, 39
		D. Contributions, assurances et divers. . . 3 175,12	
		8° Frais d'expériences .	7 396, 50
		9° Allocation pour le Grand Prix.	1 500 »
		10° Pensions.	3 500 »
		11° Souscriptions et dons divers.	120 »
			107 672, 92
		Excédent de dépenses reporté de l'exercice 1899.	3 713, 89
			111 386, 81
		Les recettes s'élèvent à	107 246, 40
		Il ressort un excédent de dépenses sur les recettes de.	4 140, 41
	107 246, 40		

Comme en 1899, nos recettes sont restées stationnaires en 1900; le nombre des sociétaires est en légère diminution; de 689 à la fin de 1899, il n'est plus que de 681 en 1900.

Par contre, le chiffre de nos dépenses a subi un accroissement très faible, il est vrai, mais suffisant pour ramener une augmentation du déficit que nous avions commencé à réduire en 1899. Les dépenses qui s'élevaient en 1899 à 111 020 fr. 45 avec un excédent de dépenses de 3 713 fr. 89, se sont chiffrées en 1900 à 111 386 fr. 81 avec un déficit de 4 140 fr. 41.

Comme les années précédentes, ces dépenses ont profité dans une large mesure à l'industrie nationale; tout en continuant à doter sérieusement le fonds des recherches, des expériences et des conférences, il importe d'arriver, par la voie des économies, à faire complètement disparaître le déficit qui, depuis quelques années, figure dans nos comptes. Grâce à l'état de prospérité de notre Société, il suffira de continuer à faire montre de prudence et d'attention pour atteindre rapidement ce résultat.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

2e PARTIE

FONDATIONS, DONS ET COMPTES SPÉCIAUX

1° Grand Prix de la Société.

Ce prix, de 12000 francs, est destiné à récompenser tous les six ans une découverte ou un perfectionnement présentant un intérêt capital pour notre industrie nationale.

Il a été décerné en 1895; une somme de 1500 francs a été prélevée, en 1900, sur les fonds généraux pour augmenter la réserve en vue du prochain prix.

AVOIR		DÉBIT	
Solde de 1899 versé à la Caisse des Dépôts et Consignations.	7 918, 83	Versé à la Caisse des Dépôts et Consignations. . . .	1 616, 87
Subvention reçue des fonds généraux.	1 500 »		
Intérêts des sommes déposées.	116, 87		
	9 535, 70		

Le montant des sommes déposées à la Caisse des Dépôts et Consignations s'élève à 9535 fr. 70.

2° Fondation destinée à développer et à perpétuer l'œuvre créée par le comte et la comtesse Jollivet.

Les intérêts de cette fondation doivent être capitalisés jusqu'en 1933.
Capital au 31 décembre 1899 : 6 447 francs de rente 3 p. 100.

AVOIR		DÉBIT	
Solde de 1899.	554, 50	Achat de 177 francs de rente 3 p. 100	5 948, 15
Arrérages.	6 509, 75		
	7 064, 25		

Reste 1116 fr. 10 dans la caisse de la Société.
Le capital de cette fondation se trouve porté à 6 624 francs de rente 3 p. 100.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

3° Grand prix fondé par le marquis d'Argenteuil.

But: récompenser tous les six ans, par un prix de 12000 francs, l'auteur de la découverte la plus utile au perfectionnement de notre industrie nationale. Le prix a été décerné en 1898.

Legs primitif : 40 000 francs, représentés par un titre de rente 3 p 100 de 2 000 francs.

AVOIR		DÉBIT	
Solde de 1899 versé à la Caisse des Dépôts et Consignations	7 432, 23	Versé à la Caisse des Dépôts et Consignations . . .	2 108, 95
Arrérages	2 000 »		
Intérêts des sommes versées à la Caisse des Dépôts et Consignations.	108, 95		
	9 541, 18		

Les sommes disponibles au 31 décembre 1900 s'élèvent à 9541 fr. 18, versés à la Caisse des Dépôts et Consignations.

4° Legs Bapst.

Legs primitif: 2160 francs de rente 3 p. 100; a servi à établir deux fondations.

1re *Fondation.* — But: venir en aide aux inventeurs malheureux.

Capital: un titre de 1 565 fr. 20 de rente 3 p. 100.

AVOIR		DÉBIT	
Solde de 1899.	1 585, 80	Secours à 14 inventeurs. .	2 230 »
Arrérages.	1 565, 20		
	3 151 »		

Reste disponible dans la caisse de la Société, 921 fr.

2e *Fondation.* — But : aider les inventeurs dans leurs travaux et recherches.

Capital : 3 594 fr. 80 de rente 3 p. 100.

AVOIR		DÉBIT	
Arrérages.	3 594, 80	Solde en dépenses de 1899.	429, 65
		Allocations à des inventeurs.	1 880, 25
			2 309, 90

Reste en recette, pour cette année, 1 284 fr. 90 dans la caisse de la Société.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

5° **Fondation Christofle pour la délivrance des premières annuités de brevets.**

Capital : 1 036 francs de rente 3 p. 100.

AVOIR		DÉBIT	
Solde de 1899.	1 019, 65	Payé onze annuités de bre-	
Arrérages.	1 036 »	vet.	1 150 »
	2 055, 65		

Reste en recette dans la caisse de la Société : 905 fr. 65.

6° **Fondation de la princesse Galitzine.**

But : servir un prix à décerner sur la proposition du Comité des arts économiques.

Legs primitif: 2 000 francs.

Cette fondation n'ayant pas encore reçu d'application, les intérêts s'en sont capitalisés.

Capital au 31 décembre 1899 : 17 obligations 3 p. 100 de l'Est.

AVOIR		DÉBIT	
Solde de 1899.	743 »	Achat d'une obligation de	
Arrérages	244, 80	3 p. 100 de l'Est	461, 30
	987, 80		

Reste en recette dans la caisse de la Société : 526 fr. 50.

Capital au 31 décembre 1900 : 18 obligations 3 p. 100 de l'Est.

7° **Fondation Carré.**

But : analogue à celui de la fondation précédente.

Legs primitif : 1 000 francs.

Jusqu'ici les intérêts ont été capitalisés en attendant une destination spéciale.

Capital au 31 décembre 1899 : 7 obligations 3 p. 100 de l'Est.

AVOIR		DÉBIT
Solde de 1899.	223, 98	Néant.
Arrérages	100, 80	
	324, 78	

Reste en recette à la caisse de la Société : 324 fr. 78.

Capital au 31 décembre 1900 : 7 obligations 3 p. 100 de l'Est.

8° **Fondation Fauler (industrie des cuirs).**

But : venir en aide à des contremaîtres ou ouvriers malheureux de l'industrie des cuirs.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Capital au 31 décembre 1899 : 35 obligations 3 p. 100 de l'Est, 3 des Ardennes, 11 du Midi.

Aucun secours n'a été distribué en 1899.

AVOIR		DÉBIT	
Solde de 1899.	1 158, 77	Achat de 2 obligations 3 p. 100	
Arrérages	705, 60	de l'Est	922, 66
		Allocation de 2 secours . .	600 »
	1 864, 37		1 522, 66

Reste en recette dans la caisse de la Société : 341 fr. 71.

Capital au 31 décembre 1900 : 37 obligations 3 p. 100 de l'Est, 3 des Ardennes, 11 du Midi.

9° **Fondation Legrand** (industrie de la savonnerie).

Même but que la précédente, à part la différence des industries.

Capital au 31 décembre 1899 : 73 obligations 3 p. 100 de l'Est.

AVOIR		DÉBIT	
Solde de 1899	1 085, 41	Achat de 4 obligations	
Arrérages.	1 057, 93	3 p. 100 de l'Est. . . .	1 843, 16
Remboursement d'une obligation amortie.. . . .	491, 63	Allocation d'un secours.. .	250 »
	2 634, 97		2 093, 16

Reste en recette, dans la caisse de la Société : 541 fr. 81.

Capital au 31 décembre 1900 : 76 obligations 3 p. 100 de l'Est.

10° **Fondation Christofle et Bouilhet en faveur d'artistes industriels malheureux.**

Capital : 29 obligations 3 p. 100 de l'Est.

AVOIR		DÉBIT	
Solde de 1898.	580, 05	Achat d'une obligation	
Arrérages.	417, 60	3 p. 100 de l'Est. . . .	461, 31
		Allocation d'un secours . .	300 »
	997, 65		761, 31

Reste en recette dans la caisse de la Société : 236 fr. 34.

11° **Fondation de Milly** (industrie de la stéarine).

But : secourir des contremaîtres ou ouvriers de cette industrie qui sont malheureux ou ont contracté des infirmités dans l'exercice de leur profession.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Capital au 31 décembre 1899 : 46 obligations 3 p. 100 de l'Est.

AVOIR		DÉBIT	
Solde de 1899.	956, 66	Achat de 3 obligations 3p.100 de l'Est.	1 383, 96
Arrérages.	662, 40	Allocation d'un secours . .	300 »
	1 619, 06		1 683, 96

Excédent des dépenses sur les recettes : 64 fr. 90.

Le capital de la fondation se trouve porté à 49 obligations 3 p. 100 de l'Est.

12° **Fondation de Baccarat (industrie de la cristallerie).**

But : venir en aide aux contremaîtres ou ouvriers malheureux de cette industrie.

Capital au 31 décembre 1899 : 10 obligations 3 p. 100 de l'Est.

AVOIR		DÉBIT
Solde de 1899.	178, 85	Néant.
Arrérages.	144 »	
	322, 85	

Reste en recette, pour cette année, dans la caisse de la Société : 322 fr. 85.

Capital au 31 décembre 1900 : 10 obligations 3 p. 100 de l'Est.

13° **Prix de la classe 27 à l'Exposition universelle de 1867 (industrie cotonnière).**

But : décerner tous les six ans un prix à celui qui aura le plus contribué au progrès de l'industrie cotonnière en France.

Legs primitif : 13 169 fr. 85.

Capital au 31 décembre 1899 : 43 obligations 3 p. 100 de l'Est.

AVOIR		DÉBIT	
Solde de 1899, versé à la Caisse des Dépôts et Consignations.	5 052, 04	Une allocation.	1 000 »
Intérêts des sommes versées à la Caisse des Dépôts et Consignations	74, 97	Versé à la Caisse des Dépôts et Consignations. . . .	686, 17
Coupons des obligations de l'Est	619, 20		1 686, 17
	5 746, 21		

Les sommes déposées à la Caisse des Dépôts et Consignations s'élève à 5 738 fr. 21.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

14° Fondation Ménier (industrie des arts chimiques).

But : venir en aide à des contremaîtres ou à des ouvriers malheureux ou infirmes de cette industrie.

Capital au 31 décembre 1899 : 11 obligations 3 p. 100 et 2 obligations 5 p. 100 de l'Est.

AVOIR		DÉBIT	
Solde de 1899.	720, 67	Achat d'une obligat. 3 p. 100	
Arrérages.	206, 40	de l'Est.	461, 31
	927, 07		

Reste en recette dans la caisse de la Société : 465 fr. 76.

Capital au 31 décembre 1900 : 12 obligations 3 p. 100 et 2 obligations 5 p. 100 de l'Est.

15° Prix de la classe 65 à l'Exposition universelle de 1867 (génie civil et architecture).

But : décerner tous les cinq ans un prix de 500 francs à l'auteur d'un perfectionnement apporté au matériel ou aux procédés du génie civil ou de l'architecture.

Legs primitif : 2315 fr. 75.

Capital au 31 décembre 1899 : 15 obligations 3 p. 100 de l'Est.

AVOIR		DÉBIT
Solde de 1899.	412,60	Néant.
Arrérages.	216, 00	
	628, 60	

Reste en recette dans la caisse de la Société : 628 fr. 60.

Le capital est de 15 obligations 3 p. 100 de l'Est.

16° Prix de la classe 47 à l'Exposition universelle de 1878 et fondation Fourcade. (industrie des produits chimiques).

But : créer un prix annuel pour récompenser un ouvrier de l'industrie chimique, choisi de préférence parmi ceux des donateurs et parmi ceux qui comptent le plus grand nombre d'années consécutives de bons services dans le même établissement.

Capital : 1 titre de 1 000 francs de rente 3 p. 100.

AVOIR		DÉBIT	
Arrérages.	1 000 »	Prix décerné en 1900 . .	1 000 »

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

17° Fondation du général comte d'Aboville.

But : décerner 3 prix à des manufacturiers qui auront employé à leur service, pendant une assez longue période de temps, des ouvriers estropiés, amputés ou aveugles, et les auront ainsi soustraits à la mendicité.

Legs primitif : 1 000 francs.

5 prix ayant déjà été décernés, le capital est réduit à 1 obligation 3 p. 100 du chemin de fer de l'Est.

AVOIR		DÉBIT
Solde de 1899.	19, 50	Néant.
Arrérages.	14, 40	
	33, 90	

Reste en recette dans la caisse de la Société : 33 fr. 90.

18° Legs Giffard.

But : la moitié du revenu est destinée à créer un prix sexennal de 6 000 francs pour services signalés rendus à l'industrie française ; l'autre moitié, à distribuer des secours.

Legs primitif : 50 000 francs, représentés par un titre de rente 3 p. 100 de 1 949 francs.

Le prix a été décerné en 1896.

AVOIR		DÉBIT	
Solde de 1899.	847, 85	Versé à la Caisse des Dépôts et Consignations.	1 004, 74
En dépôt à la Caisse des Dépôts et Consignations. .	2 098, 97	Allocation d'un secours. .	400, 00
Arrérages	1 949, 00		1 404, 74
Intérêts des sommes versées à la Caisse des Dépôts et Consignations.	30, 24		
	4 926, 06		

Reste en recette à la caisse de la Société : 1 422 fr. 35.

En dépôt à la Caisse des Dépôts et Consignations : 3 103 fr. 71, comme réserve pour le prochain prix à décerner.

19° Fondation Meynot.

But : créer un prix destiné à récompenser les inventions, progrès et perfectionnements intéressant la moyenne ou la petite culture.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Legs primitif : 20000 francs, représentés par un titre de rente 3 p. 100 de 730 francs.

AVOIR		DÉBIT	
En dépôt à la Caisse des Dépôts et Consignations. . .	1 121, 89	Solde en dépense de 1899.	1 216, 25
Arrérages.	1 024, 72	Achat d'une obligation 3 p. 100 de l'Est	459, 20
Intérêts des sommes versées à la Caisse des Dépôts et Consignations	15, 88	Versé à la Caisse des Dépôts et Consignations. . . .	745, 88
Remboursement d'une obligation amortie.	491, 62		2 421, 33
	2 654, 11		

En dépôt à la Caisse des Dépôts et Consignations : 1 867 fr. 77.

Excédent des dépenses sur les recettes : 889 fr. 11.

Capital au 31 décembre 1900 : un titre de rente 3 p. 100 de 730 francs et 20 obligations 3 p. 100 de l'Est.

20° Fondation Melsens.

But: création d'un prix triennal de 500 francs pour récompenser l'auteur d'une application intéressante de la physique ou de la chimie à l'électricité, à la balistique ou à l'hygiène.

Legs primitif : 5000 francs, représentés par 13 obligations 3 p. 100 de l'Est.

Le prix a été décerné en 1899.

AVOIR		DÉBIT
Solde de 1899.	422, 40	Néant.
Arrérages.	187, 20	
	609, 60	

Reste dans la caisse de la Société : 609 fr. 60.

21° Fondation de la classe 50 à l'Exposition universelle de 1867 (matériel des industries alimentaires).

Don primitif : 6 326 fr. 14.

AVOIR		DÉBIT
Solde de 1899.	594, 90	Néant.
Arrérages.	316, 80	
	911, 70	

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Solde en recette à la caisse de la Société : 911 fr. 70.
Capital au 31 décembre 1900 : 22 obligations 3 p. 100 de l'Est.

22° Prix Parmentier fondé par les exposants de la classe 50 à l'Exposition universelle de 1889 (industries relatives à l'alimentation).

But : création d'un prix triennal de 1 000 francs, destiné à récompenser les recherches scientifiques ou techniques de nature à améliorer le matériel ou les procédés des usines agricoles et des industries alimentaires.

Don primitif : 9846 fr. 75, représentés par un titre de 335 francs de rente 3 p. 100.

Le prix a été décerné en 1896.

AVOIR		DÉBIT
Solde de 1899.	2 359, 90	Néant.
Arrérages	335 »	
	2 694, 90	

Reste en recette dans la caisse de la Société : 2 694 fr. 90.

23° Fondation des exposants de la classe 51 à l'Exposition universelle de 1889 (matériel des arts chimiques, de la pharmacie et de la tannerie).

But : création d'un prix.
Don primitif : 2 556 fr. 30.
Capital actuel : 7 obligations 3 p. 100 de l'Est.
La fondation est restée sans emploi en 1900.

AVOIR		DÉBIT
Solde de 1899	427, 33	Néant.
Arrérages	100, 80	
	528, 13	

Reste en recette dans la caisse de la Société : 528 fr. 13.

24° Don de la classe 21 à l'Exposition universelle de 1889 (industrie des tapis et tissus d'ameublement).

But : secourir des ouvriers malheureux appartenant à cette industrie.
Don primitif : 400 francs.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Capital au 31 décembre 1899 : 1 obligation 3 p. 100 de l'Est.

AVOIR		DÉBIT	
Solde de 1899.	108, 97	Néant.	
Arrérages	14, 40		
	123, 37		

Reste en recette dans la caisse de la Société : 123 fr. 37.

25° **Fondation des exposants de la classe 63 à l'Exposition universelle de 1889 (génie civil, travaux publics et architecture).**

But : création d'un prix.

Don primitif : 3869 fr. 85.

Capital au 31 décembre 1899 : 10 obligations 3 p. 100 de l'Est.

AVOIR		DÉBIT	
Solde de 1899.	476, 25	Achat d'une obligation	
Arrérages	144 »	3 p. 100 de l'Est	458, 98
	620, 25		

Reste en recette à la caisse de la Société : 161 fr. 27.

Capital au 31 décembre 1900 : 11 obligations 3 p. 100 de l'Est.

26° **Fondation des exposants de la classe 75 à l'Exposition universelle de 1889 (viticulture).**

But : prix à décerner à celui qui indiquera un moyen pratique de se débarrasser des insectes ennemis de la vigne : l'altise ou la cochylis.

Don : 1 000 francs.

AVOIR		DÉBIT	
En dépôt à la Caisse des Dépôts et Consignations. . .	1 015 »	Versé à la Caisse des Dépôts et Consignations. . . .	15, 21
Intérêts des sommes déposées	15, 21		
Solde de 1899.	12, 77		
	1 042, 98		

Reste en recette dans la caisse de la Société : 12 fr. 77; en dépôt à la Caisse des Dépôts et Consignations : 1 030 fr. 21.

27° **Fondation de Salverte.**

But : décerner chaque année, sur la proposition du Comité des beaux-arts, un prix consistant en une médaille d'argent et une somme de 25 francs

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à un ouvrier français, appartenant à la corporation du bâtiment, moral, habile, âgé de 60 ans au moins, père d'une famille nombreuse qu'il aurait bien élevée.

Don primitif : 1 000 francs, qui ont été employés à l'achat de 29 francs de rente 3 p. 100.

La fondation ne remonte qu'à 1896 et le prix n'a pas encore été décerné.

AVOIR		DÉBIT
Solde de 1899.	97, 35	Néant.
Arrérages.	29 »	
	126, 35	

Reste en recette à la caisse de la Société : 126 fr. 35.

28° Souscriptions perpétuelles et à vie.

AVOIR		DÉBIT	
Solde de 1899	641, 11	Achat de 78 francs de rente 3 p. 100.	2 630, 90
Souscriptions à vie : 2 versements.	1 000, 00		
Souscript. perpétuelles : 1 versement.	1 000, 00		
	2 641, 11		

Solde en caisse : 10 fr. 21.

Le capital constitué par les souscriptions perpétuelles et à vie comprend 2 627 francs de rente 3 p. 100.

29° Table décennale du Bulletin.

AVOIR		DÉBIT	
Solde de 1899 déposé à la Caisse des Dépôts et Consignations	1 219, 88	Versé à la Caisse des Dépôts et Consignations.	317, 92
Intérêts.	17, 92		
Annuité de 1899.	300, 00		
	1 537, 80		

Solde : 1 537,80 déposés à la Caisse des Dépôts et Consignations.

Le bilan de notre Société, arrêté au 31 décembre 1900, est annexé à notre rapport.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Votre Commission a constaté l'exactitude et la parfaite régularité des comptes que nous venons de vous présenter et vous propose de les approuver.

Elle vous demande aussi de vous associer à elle pour adresser un témoignage d'affectueuse reconnaissance à notre Trésorier, M. Goupil de Préfeln, qui, depuis de si longues années, gère avec tant de zèle et de dévouement les finances de notre Société et contribue dans une si large mesure à sa prospérité.

LUCIEN DAUBRÉE.

Lu et approuvé en séance, le 12 juillet 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1900

ACTIF

Immeuble de la Société	600.000 »	2.744.609,56
Portefeuille de la Société	2.144.609,56	
Portefeuille des fondations	605.612,87	829.866,81
Portefeuille du fonds d'accroissement	224.253,94	
CAISSE, BANQUIERS :		
Crédit Foncier	406,20	46.400,45
Caisse des Dépôts et Consignations	32.354,58	
Caisse du Siège social	985,94	
Caisse du Trésorier	12.653,73	
Fonds généraux : Solde débiteur	4.140,41	11.326,49
Débiteurs divers	4.736,28	
Solde débiteur du compte : Fondation de Milly, c^te^ c^t^.	64,90	
— — — Roy.	1.792,79	
— — — Meynot.	889,11	
TOTAL DE L'ACTIF		3.632.500,31

PASSIF

Valeurs mobilières et immobilières appartenant à la Société.		2.744.609,56
Valeurs des fondations		829.866,81
Sommes provenant des fondations, classes et comptes spéciaux versées dans la Caisse de la Société, qui en est débitrice.		
Jollivet	1.116,10	14 250,55
Bapst (A.)	921,00	
Bapst (J.)	1.284,90	
Christofle	905,65	
Galitzine	526,50	
Carré	324,78	
Fauler	341,71	
Legrand	541,81	
Christofle et Bouilhet	236,34	
Giffard	1.422,35	
Baccarat	322,85	
Menier	465,76	
Baude	628,60	
D'Aboville	33,90	
Melsens	609,60	
Savalle	911,70	
Parmentier	2.694,90	
Classe 51 (1889)	528,13	
— 21 (1889)	123,37	
— 63 (1889)	161,27	
— 75 (1889)	12,77	
Souscriptions perpétuelles et à vie	10,21	
De Salverte	126,35	
Réserves provenant des fondations, dons et comptes spéciaux, versées à la Caisse des Dépôts et Consignations.		
Grand prix de la Société	9.535,70	32.354,58
Prix d'Argenteuil	9.544,18	
Prix de la Classe 27 (1867)	5.738,21	
Prix Giffard	3.103,71	
Prix Meynot	1.867,77	
Classe 75 (1889)	1.030,21	
Table décennale du Bulletin	1.537,80	
Créanciers divers		11.418,81
TOTAL DU PASSIF		3.632.500,31

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

RAPPORT présenté par **M. Bordet**, au nom des censeurs, sur les comptes de l'année 1900.

MESSIEURS,

Le compte qui vous est présenté pour les fonds généraux fait voir que les dépenses de l'exercice 1900 ont dépassé les recettes de 426 fr. 52. Ce déficit, peu important par lui-même, n'appellerait aucune observation de la part de vos censeurs si deux circonstances ne venaient pas l'aggraver.

Tout d'abord, nous remarquons parmi les dons une somme de 2487 francs versée par M. Howe et qui constitue une recette exceptionnelle ; en réalité on a donc dépensé, en 1900, 2913 fr. 52 de plus que ne l'auraient permis les ressources normales de la Société et, cependant, il n'y a, dans les dépenses, aucune charge extraordinaire.

En outre, nous sommes obligés de constater que, depuis 1895, le compte des fonds généraux présente un déficit. A cette époque on a fait, dans l'hôtel de la Société, des travaux qu'on a voulu payer sur les ressources annuelles, et ces ressources ont été insuffisantes. Depuis lors, on n'est pas arrivé à éteindre l'arriéré : il a diminué en 1896, 1897 et 1899, mais il a augmenté par suite des excédents des dépenses de 1898 et de 1900.

Cette situation appelait naturellement l'attention du Conseil, et nous sommes heureux d'ajouter qu'en votant le budget de l'année courante, il a pris les mesures nécessaires pour la faire cesser.

En ce qui concerne les fondations, les comptes qui vous sont présentés montrent que les sommes, dont on n'a pu trouver un emploi conforme aux volontés des donateurs, ont été régulièrement capitalisées.

Nous avons constaté que notre comptabilité est tenue avec toute la régularité désirable ; aussi nous vous proposons d'approuver les comptes de l'exercice 1900.

Nous nous associons en même temps et de tout cœur aux remerciements si mérités que la Commission des fonds adresse à notre cher trésorier.

Signé : LUCIEN BORDET, *censeur.*

Lu et approuvé en séance, le 12 juillet 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ARTS CHIMIQUES

RAPPORT *sur un programme d'expériences relatives à l'étude de la Constitution chimique des argiles de France*, PAR **M. Vogt**, *directeur des Services techniques de la Manufacture de Sèvres.*

Longtemps on a appliqué le nom d'argile à toute matière qui avait la propriété de faire pâte avec l'eau, sans s'occuper de sa constitution chimique. Puis on crut pouvoir distinguer plusieurs variétés parmi les argiles et leur attribuer des formules dans lesquelles le rapport de la silice à l'alumine prenait les valeurs 1,5 — 2 — 2,5 — 3, en se basant sur les résultats d'analyses totales, dans lesquelles souvent le dosage des alcalis avait été négligé, faites sur des matières argileuses simplement séparées par lavage des sables qui les accompagnaient.

Aujourd'hui, il semble bien établi par de récentes études des argiles faites en suivant des méthodes plus rationnelles, que toutes les matières argileuses — en exceptant cependant les marnes et les ocres, — sont des mélanges de silicate d'alumine hydraté ($2Si^2\text{-}Al^2O^3\text{-}2H^2O$), la matière plastique par excellence, et de débris plus ou moins abondants de roches diverses.

Les méthodes analytiques qui ont permis d'arriver à cette conclusion, sur la constitution des argiles, sont celles plus ou moins modifiées que M. Ch. Gmelin avait le premier appliquées à l'étude des phonolithes; c'est d'après ces méthodes que je suis arrivé à reconnaître le mica blanc, l'allophane à côté de la kaolinite dans quelques argiles.

Bien qu'un grand nombre d'argiles de France aient été analysées, peu l'ont été par ces moyens d'investigation qui en font mieux connaître la constitution, et il y aurait, je pense, intérêt pour l'industrie céramique, ainsi que pour celle des ciments, à en entreprendre l'application à une nouvelle étude des argiles les plus importantes de notre sol.

Si, de plus, les échantillons soumis à l'analyse, au lieu d'être pris au hasard dans les carrières, étaient prélevés avec le discernement que pourrait y apporter un géologue, il est probable que les résultats obtenus rendraient service non seulement à l'industrie, mais encore à la science.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les gisements d'argiles sont trop nombreux en France pour songer à les étudier tous; de plus, le temps que nécessite une analyse complète d'une argile est trop long pour qu'on puisse en entreprendre un grand nombre. Si l'on veut des résultats dans un délai relativement court, il est donc présentement nécessaire de limiter les recherches aux plus importantes argiles à étudier. Si cette première étude donne les résultats intéressants qu'on est en droit d'en attendre, elle pourra être complétée plus tard par des travaux ultérieurs.

En laissant de côté les marnes et les argiles marneuses, ces premières études pouraient porter sur :

1° *Les Kaolins de :*

Saint-Yrieix (plusieurs carrières)	Haute-Vienne.
Beauvoir, près Lapeyrousse	Allier.
Collettes	—
Vaublanc, par Plemet	Côtes-du-Nord.
Marcus	Ariège.
Louhossoa	Basses-Pyrénées.
Eyzies	Dordogne.
Marchainville	Orne.
La Sauvetat	Lot-et-Garonne.

2° *Les Argiles réfractaires de :*

Montereau (Villeneuve-le-Roi, Pt-s.-Yonne et Sens (Yonne)	Seine-et-Marne.
Barsons	Hautes-Pyrénées.
Beleu	Ardennes.
Bollène	Vaucluse.
Gournay (Forges-les-Eaux)	Seine-Inférieure
Saint-Girons	Ariège.
Labouchade (creusets de Verreries)	Allier.
Mussidan et autres	Dordogne.
Savenas (creusets à acier)	Ardèche.
Turenne	Corrèze.

3° *Les Argiles à grès de :*

La Chapelle-aux-Pots (Ors-en-Bray)	Oise.
Noron, le Tronquet, près Bayeux	Calvados.
Ciry-le-Noble (terre à grès du Charolais)	Saône-et-Loire.
Banc de Saint-Amand-en-Puysaie	Nièvre.
s'étendant jusqu'à et au delà de Saint-Sauveur	Yonne.
Saveignies	Oise.
Montreuil (arrondissement de Saint-Lô)	Manche.
Rambervillers	Vosges.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

4° *Argiles à briques et tuiles de :*

Fresnes	Seine.
Salernes	Var.
Vanves, Issy, Arcueil, Gentilly, Vaugirard	Seine.
Provins et environs	Seine-et-Marne.
Boulogne	Pas-de-Calais.
Breteuil-sur-Iton et environs	Eure.
Foret-de-Lalonde (près Rouen)	Seine-Inférieure.

Ce travail demandera certainement plus d'une année, peut-être un an et demi, pour être exécuté avec soin, en admettant que le chimiste qui en sera chargé y consacre tout son temps.

M. Lavezard, élève de l'École de chimie et physique, qui travaille depuis trois ans au laboratoire de la manufacture de Sèvres, serait apte, je crois, à mener à bonne fin cette longue et délicate étude des argiles françaises.

DÉCISION PRISE EN COMITÉ SECRET DU 22 MAI 1901

Le Conseil de la Société d'Encouragement adopte, sur l'avis de son Comité des arts chimiques, les propositions de M. Vogt, et décide qu'une somme de 3000 francs sera mise à la disposition de M. Lavezard pour une étude chimique des argiles de France. La moitié de cette somme sera imputée sur le budget de l'exercice 1901 et l'autre moitié sur le budget de 1902.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ARTS MÉCANIQUES

Rapport fait par M. A. Brüll, au nom du *Comité des Arts mécaniques*, sur la noria système Lemaire.

M. Mahoudeau, publiciste, a présenté à la Société d'encouragement un système breveté de noria, connu sous le nom de « pompe *Lemaire* » et dû à M. H. Lemaire, fabricant de machines à cigarettes, à Paris, 152, rue de Rivoli.

La noria est connue depuis l'antiquité. On la trouve sous des formes très variées dans tous les pays, et elle est surtout employée à l'élévation de l'eau. La Société s'est occupée de ces appareils dès 1815, et, en 1820, elle en a encouragé l'application à l'aide d'un concours spécial.

La noria de M. Lemaire est (fig. 1 et 2) constituée par des godets très petits, d'une capacité d'un vingtième de litre seulement. Chaque godet est articulé, au-dessous du fond, sur un axe transversal rivé aux deux joues de la chaîne sans fin. A sa partie supérieure, cette chaîne passe sur une roue formée de deux tourteaux, calés sur un arbre et laissant entre eux un vide pour le passage des godets.

Ceux-ci, en arrivant sur la roue, s'inclinent et ils basculent dès que leur centre de gravité dépasse la verticale de l'axe d'articulation. Ils déversent leur contenu dans une auge disposée au-dessous de la roue et débordant celle-ci en largeur. Cette auge est percée d'un orifice inférieur sur lequel s'assemble le tuyau d'évacuation.

Ces dispositions ont pour objet principal de capter, sans pertes, l'eau emplissant les godets. Elles font de la pompe Lemaire un appareil plus soigné, mais probablement aussi d'un prix un peu plus élevé que la généralité des norias.

Nous avons vu, dans des cultures maraîchères de Montrouge, une pompe Lemaire installée sur un puits dans lequel l'eau se trouve à une vingtaine de mètres de profondeur. Cette noria, mue à la main, fonctionne bien. Il ne retombe dans le puits aucune partie de l'eau élevée.

Un grand nombre de ces norias ont été livrées tant à l'étranger qu'en France et aux colonies.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Comme on l'a dit, l'extrême petitesse des godets est une des caractéristiques de la pompe Lemaire. Cette propriété pourrait être utilisée pour le puisage dans des tubes de faible diamètre, comme par exemple ceux de sondages.

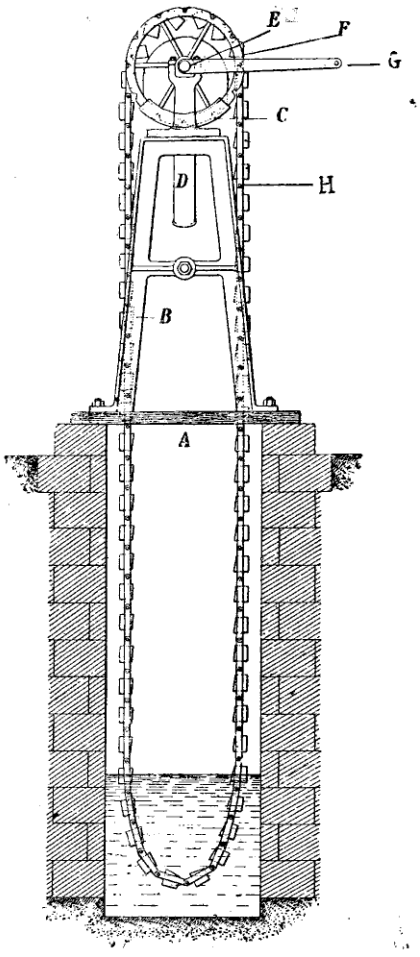


Fig. 1. — Noria Lemaire.

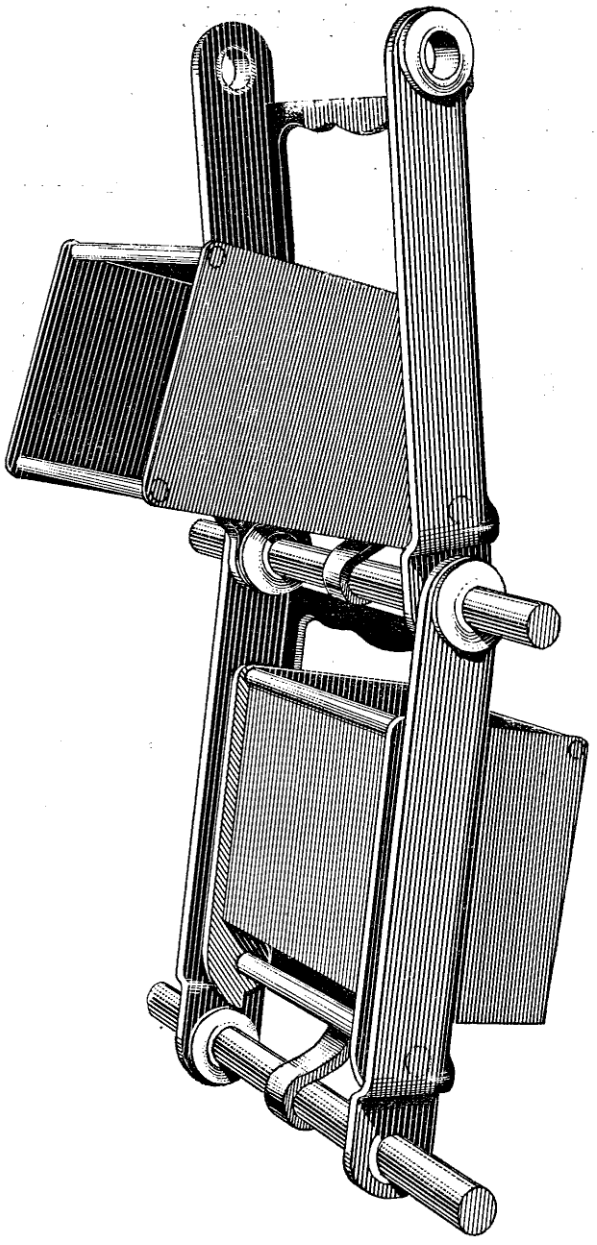


Fig. 2. — Détail des godets.

C'est ainsi, qu'en 1876, M. Hanriau employait une pompe à chapelet fonctionnant dans un sondage pour amener des eaux superficielles jusqu'à une couche absorbante et créer ainsi une force motrice. Notre ancien prési-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dent, M. Haton de la Goupillière, a présenté un rapport à la Société sur cette intéressante disposition (1).

Le Comité des arts mécaniques vous propose, Messieurs, de remercier M. Mahoudeau de sa communication et d'autoriser l'insertion du présent rapport au Bulletin avec les figures qui l'accompagnent.

(1) *Bulletin*, année 1876, p. 1.

Signé : BRULL, *Rapporteur.*

Lu et approuvé en séance, le 12 juillet 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ARTS MÉCANIQUES

EXPÉRIENCES SUR LE TRAVAIL DES MACHINES-OUTILS

Par **M. Codron**, *lauréat de la Société d'Encouragement* (Suite) (1).

CISAILLAGE AVEC LAMES CIRCULAIRES

Les lames (fig. 218 à 220) de forme cylindrique ou légèrement tronconiques, ont une ligne de coupe circulaire. Deux lames étant disposées de manière à se croiser (fig. 222), si on introduit une pièce d'épaisseur convenable, la rotation des deux outils en sens inverse, détermine l'entraînement de la pièce et sa coupe suivant le plan tranchant des lames.

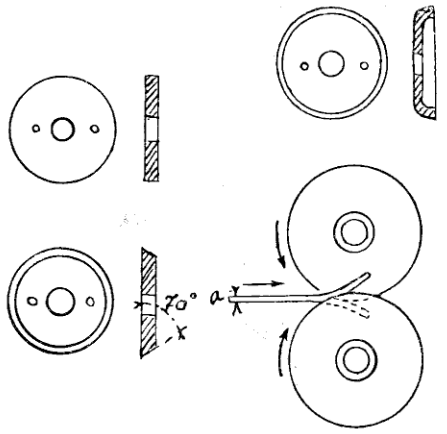


Fig. 218 à 222.

Diamètre minimum à donner aux lames pour une épaisseur a. — Le diamètre des lames circulaires n'est pas arbitraire si l'on s'impose que l'entraînement doit se produire sans poussée de la pièce.

Pour les métaux tels que le fer, le cuivre, l'angle de prise variant de 28° à 34°, il ne faut pas que l'angle α des tangentes (fig. 223), correspondant aux points de contact avec la pièce, soit supérieur à ces valeurs.

Pour une épaisseur donnée a, un croisement ε des lames de rayon ρ, on peut poser :

$$0\,B = \rho \cos \frac{\alpha}{2} = \rho - \frac{\varepsilon}{2} - \frac{a}{2} = \frac{2\rho}{2} - \frac{(\varepsilon + a)}{2},$$

soit :

$$\rho = \frac{\varepsilon + a}{2\left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right)}.$$

Pour $\varepsilon = 4$ millimètres, valeur suffisante pour assurer la bonne marche des lames, même après une certaine usure d'affûtage, pour $\frac{d}{2} = 16°$, valeur extrême, $\cos \frac{\alpha}{2} = 0{,}958$, il vient :

$$2\rho = \frac{4 + a}{(1 - 0{,}958)} = 100 + 25\,a.$$

(1) *Bulletin* de janvier, mars, avril, juillet, p. 40.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La bonne pratique adopte ordinairement pour le diamètre des lames $D = 30\,a$.

Cette relation montre qu'il convient de ne pas exagérer le croisement ε dont dépend aussi la flexion que subit la pièce, flexion prononcée lorsque la bande coupée est de faible largeur, flexion que l'on atténue en disposant un guide à proximité de la bande.

Réactions sur les lames. — La pièce d'épaisseur a saisie entre les deux disques (fig. 223), donne lieu au contact, à des efforts dont on ne saurait déter-

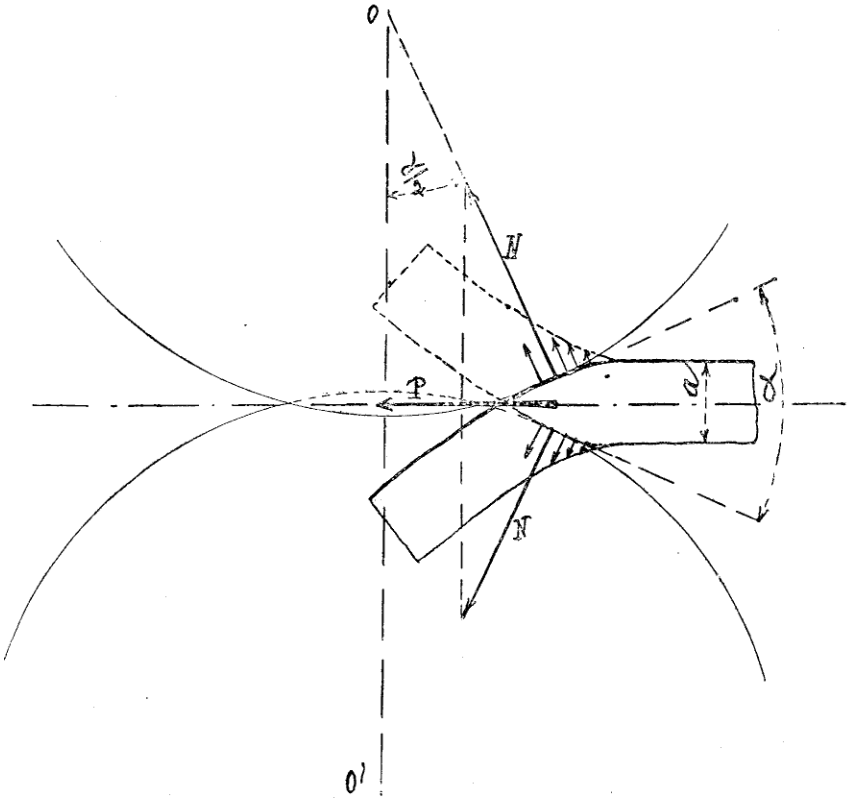


Fig. 223.

miner la répartition; mais, on peut admettre que chaque résultante N passe au tiers de l'arc de contact vers l'axe OO'.

Les deux forces N ont une résultante horizontale P qui est précisément l'effort de poussée qu'il faudrait développer pour faire avancer la pièce, faire tourner les lames, produire le cisaillage.

On pourra déduire, à très peu près, l'angle $\frac{\alpha}{2}$ de chaque force N avec OO' et poser :

$$2\,N \sin \frac{\alpha}{2} = P.$$

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La force P étant connue par des essais, on déduira N; et connaissant la vitesse v de coupe, l'énergie dépensée par seconde pour la coupe sera :

$$\tau = P\,v.$$

Notons que l'angle α est précisément l'angle des lames ou des tangentes aux contacts des points d'application des forces N; cet angle augmente avec l'épaisseur a, ce qui a pour effet, comme nous le verrons ci-après, de favoriser la réduction relative des forces N.

ESSAIS DE CISAILLAGE AVEC LAMES OBLIQUES

Influence de la largeur de la bande coupée. — Dans les essais de cisaillage avec lames obliques, il importe, tout d'abord, de se rendre compte de l'influence de la largeur de la lame coupée.

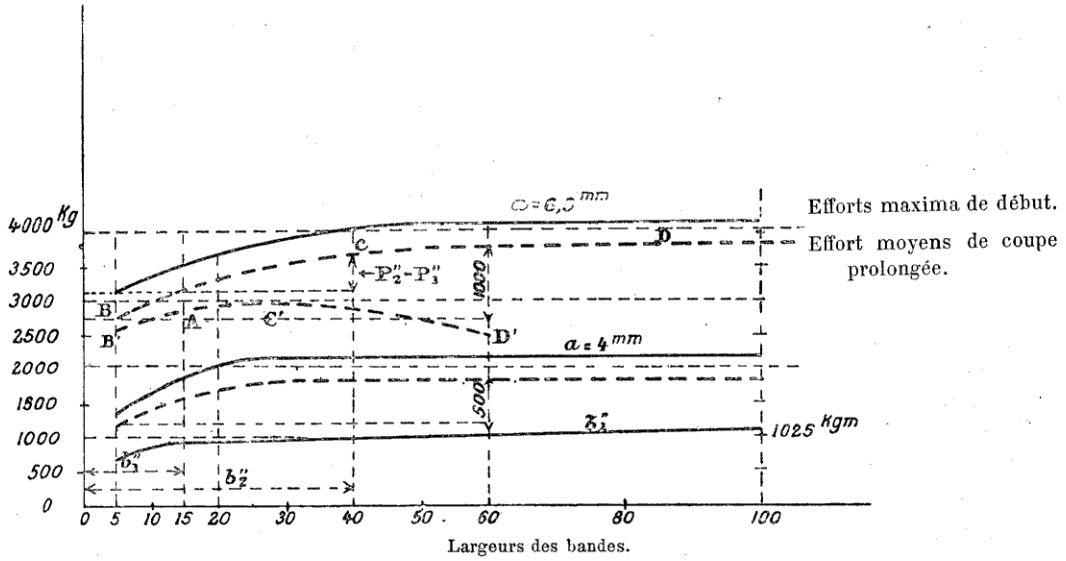


Fig. 224. — Cisaillage de fer avec lames obliques. $\alpha = 10°$, $\theta = 80°$. Influence de la largeur de la bande coupée.

A cet effet, nous avons opéré sur des éprouvettes de fer prises dans une même barre pour chaque série, en faisant varier les largeurs de bandes b'' depuis 5 millimètres jusqu'à 100 millimètres. Avec une largeur au-dessous de 5 millimètres, la coupe ne serait plus du cisaillage proprement dit pour les épaisseurs 4 millimètres et $6^{mm},5$ adoptées; elle se rapprocherait trop de la coupe sous forme de copeau. L'angle α des tranchants était de 10°, l'angle d'acuité était de 80°.

La figure 224 indique, en ordonnées, les efforts maxima qui se produisent au

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

début de l'opération, et les efforts moyens en coupe courante. Les abscisses sont les largeurs des bandes.

Pour les épaisseurs considérées, ces largeurs augmentent les efforts d'une façon importante entre 5 et 60 millimètres; la différence s'élève à 3 700 — 2 700 = 1 000 kilogrammes pour l'épaisseur $6^{mm},5$; à 1 600 — 1 100 = 500 pour l'épaisseur 4 millimètres. Au-dessus de 60 millimètres de largeur de bande, la déformation de flexion, pour ces épaisseurs, ne s'étend plus sur la largeur totale de la bande; les efforts restent à peu près constants.

Si, entre deux largeurs $b''_1 = 15^{mm}$ et $b''_2 = 40^{mm}$, on considère l'accroissement d'effort dû à l'accroissement de largeur $b''_2 - b''_1$, on peut estimer approximativement la valeur du coefficient de résistance de flexion de la bande dans le sens de la largeur et déduire ensuite les efforts de flexion pour des largeurs données.

On peut poser :

$$(P''_2 - P''_1)\frac{2\,b'}{3} = \frac{R_3\,a^2}{6}(b''_2 - b''_1).$$

Pour la bande de $6^{mm},5$, $b' = 12$ millimètres, P''_2-$P''_1 = 500$ kilogrammes.

On tire :

$$R_3 = \frac{500 \times 2 \times 12 \times 6}{3 \times 6{,}5^{-2} \times 25} = 22^{kg},7,$$

valeur acceptable pour du fer laminé fléchi dans le sens transversal aux fibres, la résistance de flexion dans ce sens étant très réduite pour les éprouvettes soumises aux essais.

Si, maintenant, nous recherchons la valeur de l'effort P_3 qui correspond à la flexion pour une largeur de bande de 15 millimètres, il suffit de poser :

$$P_3 = \frac{3\,R_3\,a^2\,b''_1}{2 \times 6\,b'} = \frac{3 \times 22{,}7 \times 6{,}5^{-2} \times 15}{2 \times 6 \times 12} = 300 \text{ kg}.$$

Déduisant cet effort sur l'ordonnée d'abscisse 15 millimètres, on obtiendrait un point de la courbe afférente aux efforts du cisaillage sans flexion :

On déterminerait de même d'autres points, et en admettant dans les limites d'abscisses 5 millimètres et 60 millimètres, que P_3 est proportionnel à la largeur b''; il viendrait pour $b'' = 30$ millimètres, $P_3 = 2 \times 300 = 600$ kilogrammes; pour $b'' = 60$, $P_3 = 1200$ kilogrammes. Ces valeurs sont portées sur les ordonnées de la courbe BCD, à partir de cette courbe, pour donner la courbe B'C'D'.

En appliquant la relation simple :

$$R = \frac{4 \sin \frac{\alpha}{2} P}{\cos \alpha\, n\, a^2}$$

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

aux largeurs de bandes 5, 20, 40, 50 et 100 millimètres et pour les efforts moyens de coupe prolongée relatifs à l'épaisseur $a = 6^{m},5$, il vient pour :

$$\sin\frac{\alpha}{2} = \sin 5^{\circ} = 0{,}087; \qquad \cos\alpha = \cos 10^{\circ} = 0{,}985 \qquad n = 0{,}35$$

$$a^2 = 6{,}5^{-2} = 42{,}25 : \qquad R = 0{,}024\ P.$$

Largeurs des bandes. . . .	5	20	40	60	100 millim.
P	2 700	3 300	3 700	3 750	3 780 kg.
R =	64,28	79,2	88,8	90	90,7

Les énergies par millimètre carré seraient en appliquant la relation $\tau''_1 = \frac{n\,a\,R}{2} = \frac{0{,}35 \times 6{,}5 \times R}{2} = 1{,}135\,R$ en kilogrammillimètres soit $0{,}001135\,R$ en kilogrammètres, soit :

$$\tau''_1 = 0{,}073 \qquad 0{,}09 \qquad 1 \qquad 1{,}02 \qquad 1^{kgm},025.$$

Ces valeurs montrent bien les grandes variations des cœfficients R et τ''_1, les difficultés de comparer entre eux les essais de cisaillage avec lames obliques, si on n'opère pas dans des conditions très peu différentes, sinon identiques.

Dans les séries d'essais qui suivent, nous avons adopté une largeur de bande commune de 30 millimètres, attendu que, dans la pratique, ce sont des chutes, qui ne s'écartent pas beaucoup de cette valeur, que l'on tranche le plus souvent. Pour des largeurs plus grandes, il faut augmenter la valeur des efforts de coupe. Dans des essais comparatifs au plus près, il conviendrait d'adopter des chutes semblables, c'est-à-dire des chutes ayant des largeurs proportionnelles aux épaisseurs.

Influence de l'angle α des tranchants. — Nous avons opéré avec des bandes de plomb, de cuivre, de fer de 10 millimètres d'épaisseur. Sur la figure 225 sont rapportés, en ordonnées, les efforts maxima et les efforts moyens de coupe prolongée ; les abscisses sont les angles α, que nous avons fait varier de 5° en 5° jusqu'à 30°, limite pour laquelle la pièce parfois glissait, ce qui obligeait à la maintenir par un effort assez faible.

Pour ces trois métaux, on ne saurait donc dépasser la valeur de 30° pour α.

Les courbes très régulières ont une allure hyperbolique qui correspond d'ailleurs avec la relation :

$$P_1 = \frac{na^2\,R}{4\sin\frac{\alpha}{2}} = \frac{C}{\sin\frac{\alpha}{2}}.$$

L'axe des ordonnées est une asymptote, puisque pour $\alpha = o$, cas des lames parallèles, P_1 serait infini ; la longueur de coupe le serait aussi théoriquement ; mais en pratique elle se limite à la largeur de la pièce. C'est pour prévenir un accroissement rapide de l'effort de coupe, que dans les lames à leviers articulés, on

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

donne à la lame mobile, un tranchant courbe qui peut satisfaire à la condition que l'angle α reste constant en tous les points de la coupe; ou bien, on s'impose que la coupe est proportionnelle à l'angle parcouru par la lame mobile, ce qui conduit à donner un profil en spirale (fig. 226.)

Efforts maxima dits de première rupture.
Efforts moyens de coupe prolongée.

Fig. 226.

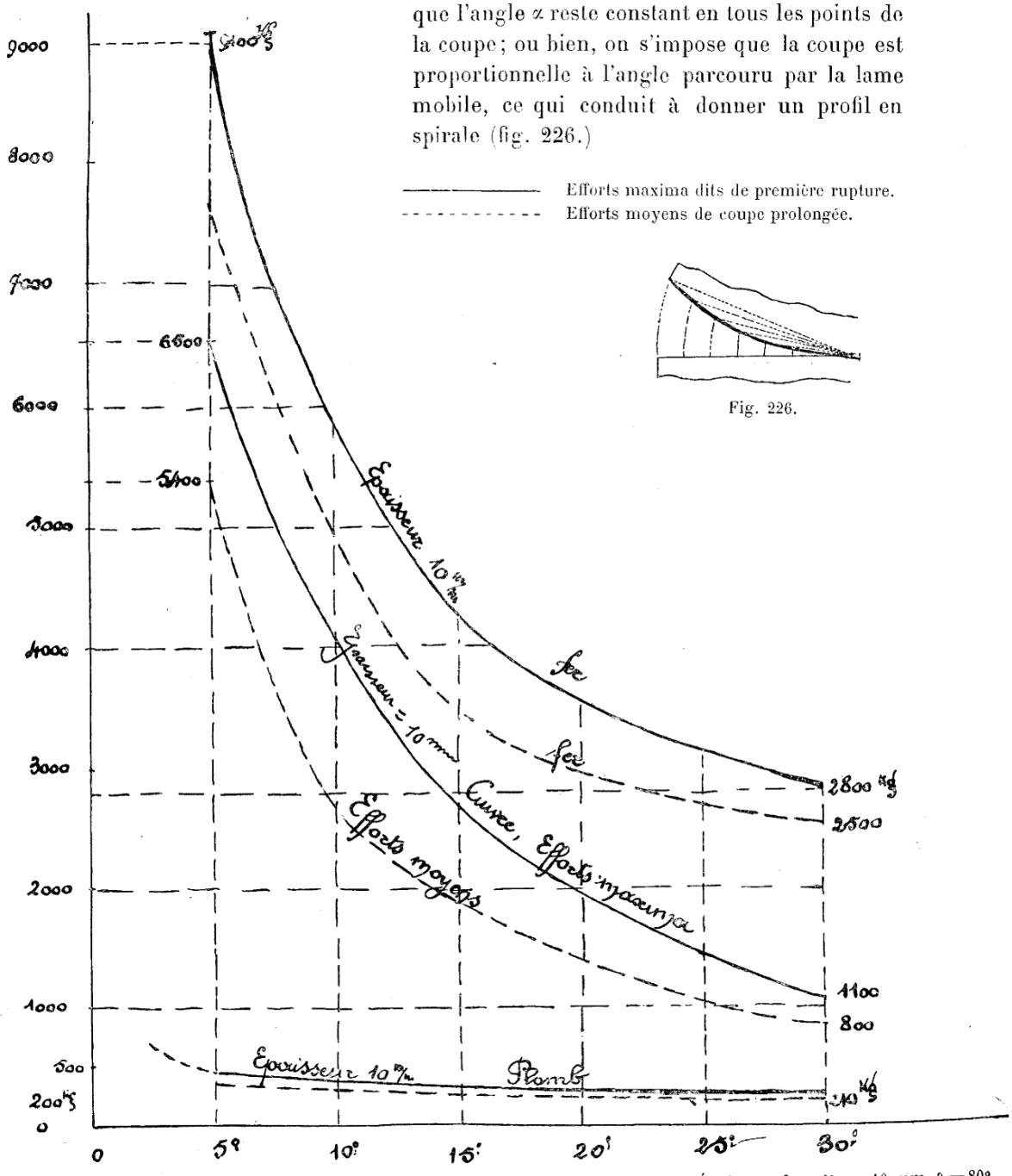


Fig. 225. — Cisaillage de plomb, cuivre et fer en faisant varier l'angle des lames. Épaisseur des pièces, 10 mm. $\theta = 80°$.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On voit que les efforts P_1 diminuent rapidement avec la valeur de α, et qu'il serait avantageux d'adopter des angles compris entre 15 et 20°. Les outils fatigueraient moins qu'avec l'angle de 10°, couramment admis.

Ainsi, pour la bande de fer de 10 millimètres d'épaisseur, avec l'angle de 10°, il faut un effort maximum de près de 6000 kilogrammes, tandis, qu'avec l'angle de 15°, cet effort se réduit à 4200 kilogrammes. L'angle étant de 5°, l'effort s'élève à 9100 kilogrammes.

En considérant les efforts moyens de coupe prolongée, ces efforts sont respectivement : pour

5°	10°	15°	20°	25°	30°
7800	4900	3450	2950	2650	2500 kg.

Pour le cuivre, les efforts varient dans des proportions analogues, tandis que, pour le plomb, métal à faible résistance, les variations sont petites.

Si, pour le fer, nous recherchons les résistances de cisaillage

$$R = \frac{4 \sin \frac{\alpha}{2} P}{n a^2 \cos \alpha},$$

en adoptant pour n la valeur moyenne 0,3,
soit :

$$R = \frac{4 \times \sin \frac{\alpha}{2} P}{0{,}3 \times 100 \cos \alpha} = 0{,}133\ P \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\cos \alpha},$$

il vient, pour

$\alpha =$	5°	10°	20°	30°
R =	45	57	72	99 kg.

On constate que, si les efforts totaux diminuent rapidement avec les angles α, la résistance réelle ou fictive R, au contraire, augmente de 45 à 99 kilogrammes en accusant le diagramme (fig. 226 *a*).

Quant aux énergies par millimètre carré de section cisaillée, elles prennent les valeurs :

$$\tau''_1 = \frac{n\,a\,R}{2} = \frac{0{,}3 \times 0{,}010\ R}{2} = 0{,}0015\ R$$

$$\tau''_1 = 0{,}0675 \qquad 0{,}085 \qquad 0{,}108 \qquad 0^{kgm},148$$

Nous avons trouvé, avec une éprouvette de la même barre de 10 millimètres d'épaisseur et des lames parallèles, une énergie $\tau''_1 = 0{,}092^{kgm} > 0{,}085$. Ces lames exigeraient donc plus d'énergie, et de plus grands efforts que les lames obliques.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Par exemple : une tôle de 2 mètres de largeur et de 10 millimètres d'épaisseur développerait sur des lames parallèles un effort :

$$P = R\,s = 25 \times 2\,000 \times 10 = 500\,000 \text{ kg.}$$

tandis qu'avec une coupe progressive au moyen de lames inclinées à 10° l'effort se réduirait à 4 900 kilogrammes.

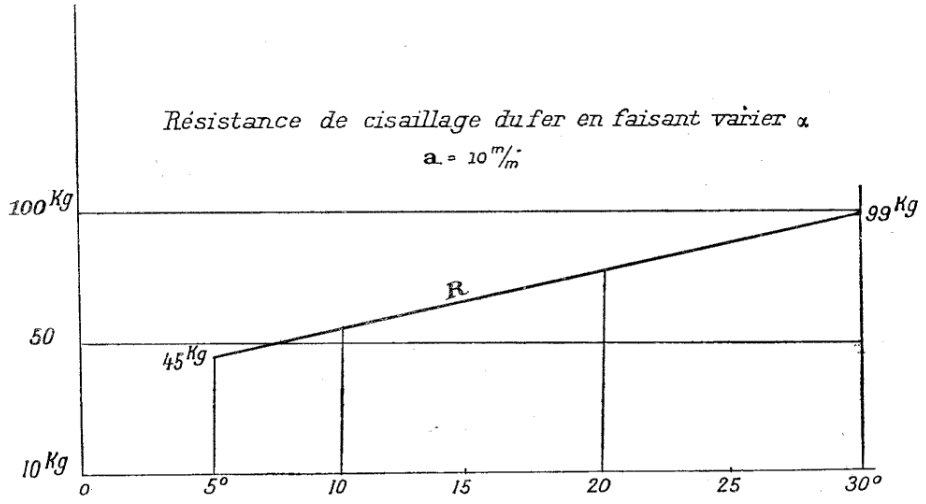


Fig. 226 *a*.

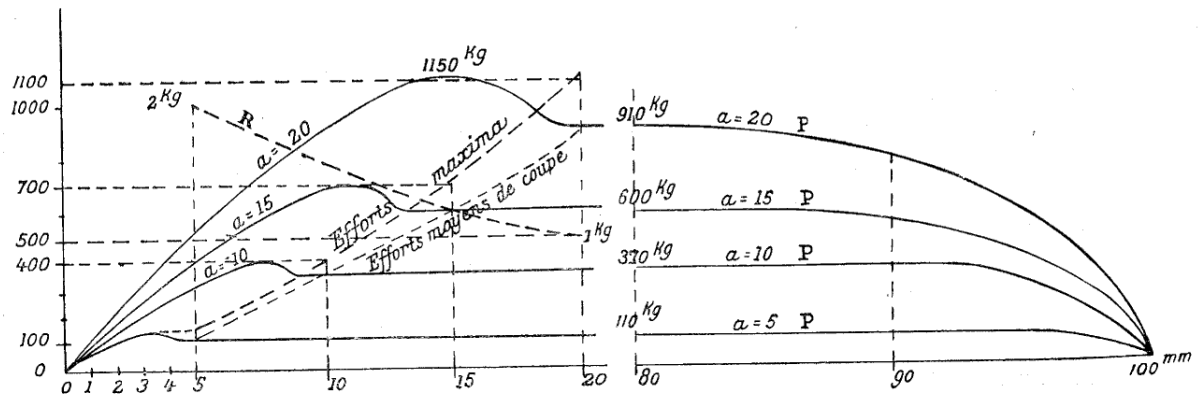


Fig. 227. — Cisaillage de plomb avec des lames obliques, $\alpha = 10$, $\theta = 80°$.
Épaisseurs variables.

Cisaillage de plomb avec lames obliques, $\alpha = 10°, \theta = 80°$; largeur de bande 30 millimètres. — Nous avons opéré sur des épaisseurs de 5, 10, 15 et 20 millimètres. Les diagrammes (fig. 227) accusent des courbes régulières pour les efforts de coupe P.

A cause de la grande ductilité du métal, l'effort maximum qui correspond au

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

début du déchirement, se produit à des pénétrations qui font ressortir un coefficient n compris entre 0,70 et 0,80 (fig. 228-229). Ensuite l'effort diminue pour

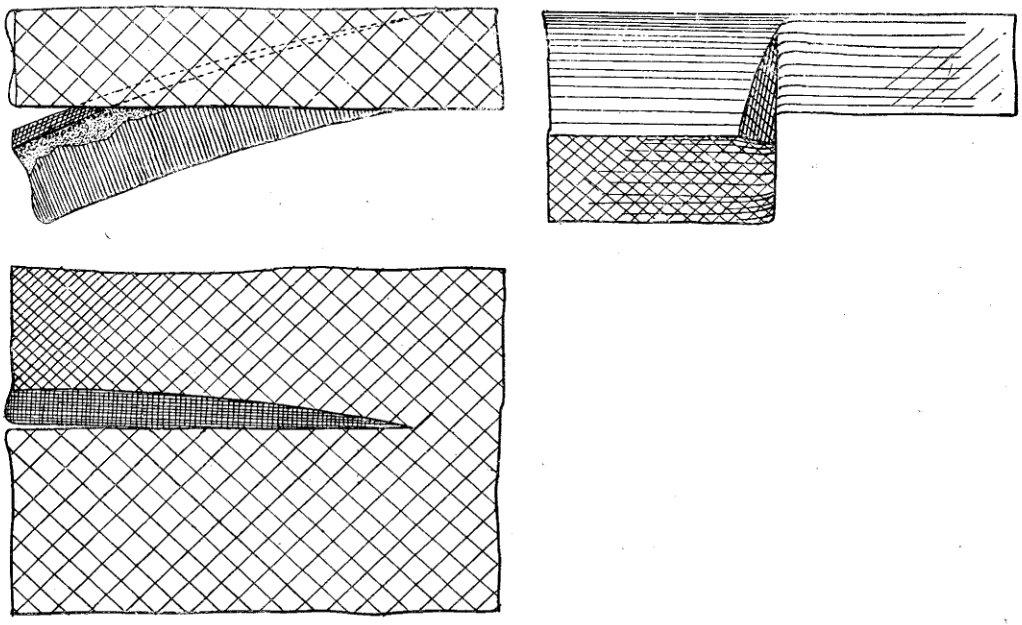


Fig. 228. — Cisaillage de plomb. $\alpha = 10°$, $\theta = 80°$. Épaisseur = 15 mm.

rester à très peu près constant pendant la coupe prolongée. En fin de coupe, la

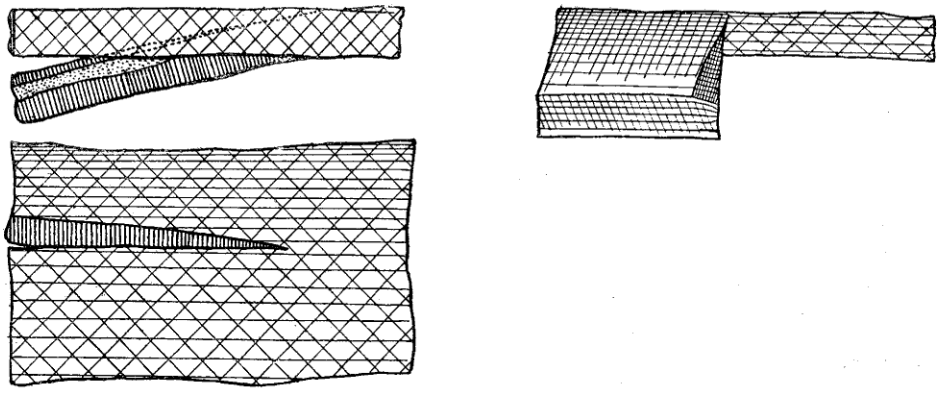


Fig. 229. — $\alpha = 10°$. Épaisseur, 7 mm.

résistance à la flexion diminue et l'effort de coupe s'abaisse plus ou moins rapidement selon l'épaisseur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Si nous appliquons la relation :

$$R = \frac{4 \sin \frac{\alpha}{2} P}{n a^2 \cos \alpha} = \frac{4 \times 0{,}087\ P}{0{,}80 \times 0{,}985\ a^2} = 0{,}45 \frac{P}{a^2},$$

il vient, en considérant seulement les efforts de coupe courante :
Pour :

$a =$	20	15	10	5 millim.
$P =$	910	600	370	110 kg.
$R =$	1,02	1,2	1,66	2 kg.

La valeur de R décroît avec l'épaisseur, ce qui concorde avec les résultats du cisaillage à lames parallèles.

Les énergies par millimètre carré de section, en appliquant la formule $\tau_1'' = \frac{naR}{2}$, sont pour :

$a =$	20	15	10	5
$\tau''_1 =$	0,008	0,0072	0,0065	$0^{kgm},004$

Les énergies de coupe diminuent avec l'épaisseur.

Cisaillage de cuivre sous épaisseurs différentes avec lames obliques $\alpha = 10°$, $\theta = 80°$.

Les épaisseurs cisaillées ont été de.	5	10	16 millim.
Exigeant des efforts maxima de.	1 700	4 100	8 300 kg.
Des efforts moyens de coupe prolongée de. . .	750	2 600	6 000 kg.

Les diagrammes sont représentés (fig. 230).

Dès que la déchirure commence, une chute d'effort se produit brusquement, puis l'effort se relève et varie quelque peu pendant la coupe courante.

La pénétration au début de la coupe est toujours plus grande qu'ultérieurement (fig. 231).

Le coefficient n relatif à la coupe courante est compris entre 0,32 et 0,4, de sorte que la relation du coefficient de résistance R devient :

$$R = \frac{4 \sin \frac{\alpha}{2}}{n \cos \alpha} \times \frac{P}{a^2} = \frac{4 \times 0{,}087}{0{,}985} \times \frac{P}{n a^2} = 0{,}353 \frac{P}{n a^2}$$

soit pour :

$a =$	5	10	16 millim.
$n =$	0,4	0,35	0,32
$R =$	26,4	26	$25^{kg},5$

On voit que les variations de R sont petites entre les épaisseurs 5 et 16 millimètres considérées.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cisaillage de cuivre avec lames obliques

$\alpha = 10°$ $\theta = 80°$

Efforts de rupture et efforts moyens de coupe prolongée

Epaisseurs α . 10 . 16 mm

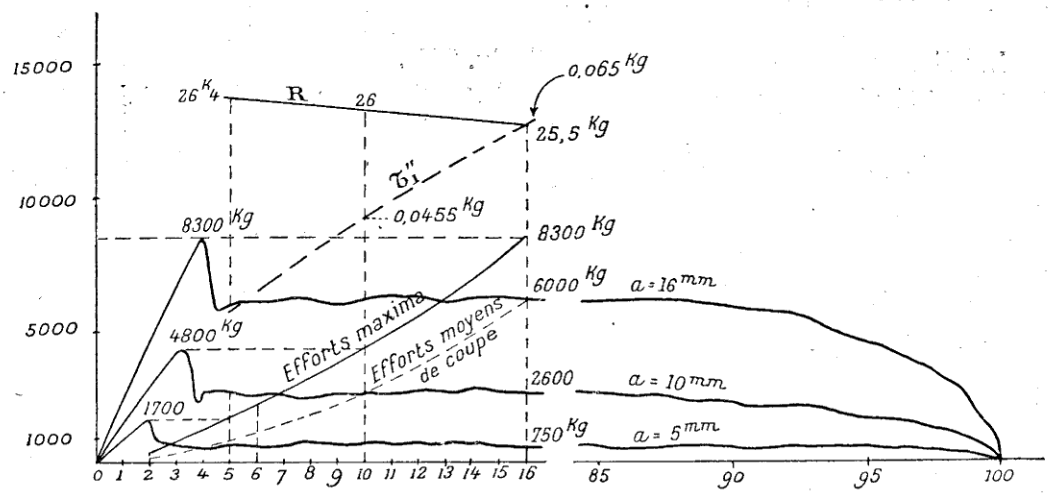


Fig. 230.

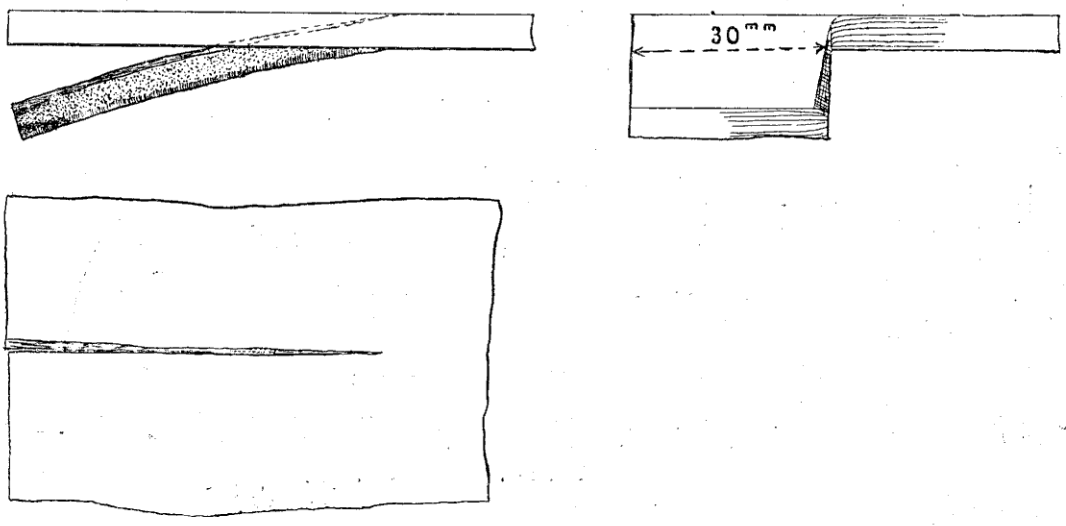


Fig. 231. — Cisaillage de cuivre avec lames obliques, $a = 10°$, $0 = 80°$.

Les énergies par millimètre carré ont les valeurs :

$$\tau''_1 = \frac{n\,a\,R_1}{2}$$

soit pour :	a =	5	10	16 millimètres
	τ''_1 =	0,0264	0,0455	$0^{kgm}.065$

valeurs croissant avec l'épaisseur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cisaillage de fer, $\alpha = 10°, \theta = 80°$. — Les éprouvettes, prises dans une même barre, ont accusé :

Épaisseurs. . . . . $a =$	5	10	15	20 millim.
Efforts maxima.	2150	5950	10500	14700 kg.
Efforts moyens de coupe courante. . .	1700	4600	8000	12100 kg.

Les diagrammes obtenus sont indiqués (fig. 232).

Le métal n'étant pas très ductile, les pénétrations (fig. 233-234) ont donné

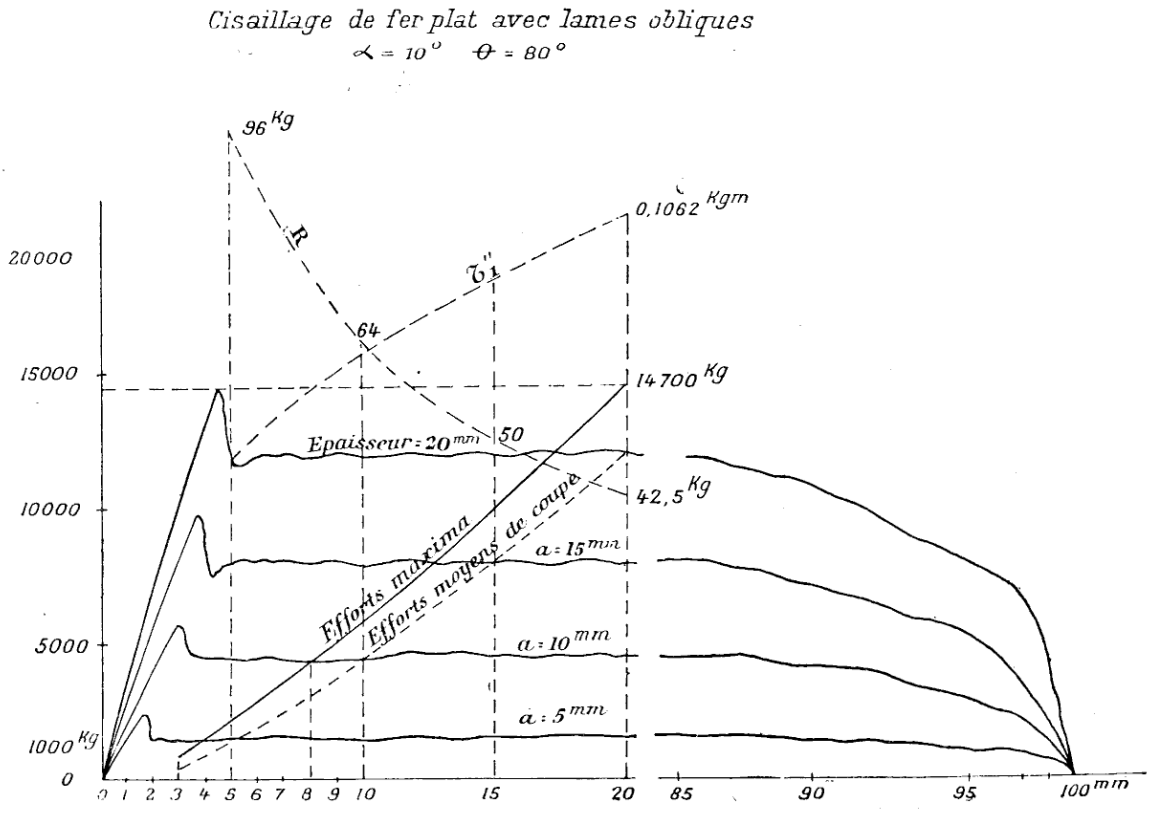


Fig. 232.

des valeurs de n s'écartant peu de 0,25. On peut adopter ce coefficient pour les diverses coupes et déduire les valeurs :

$$R = \frac{4 \sin \frac{\alpha}{2} P}{n \cos \alpha \, a^2} = \frac{4 \times 0{,}087}{0{,}25 \times 0{,}985} \times \frac{P}{a^2} = 1{,}41 \frac{P}{a^2},$$

soit pour :

$a =$	5	10	15	20 millim.
R =	96	64	50	$42^{kg},5$

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le coefficient de résistance diminue quand l'épaisseur augmente. Notons ici, que nous constaterons à la coupe par copeaux, des variations analogues.

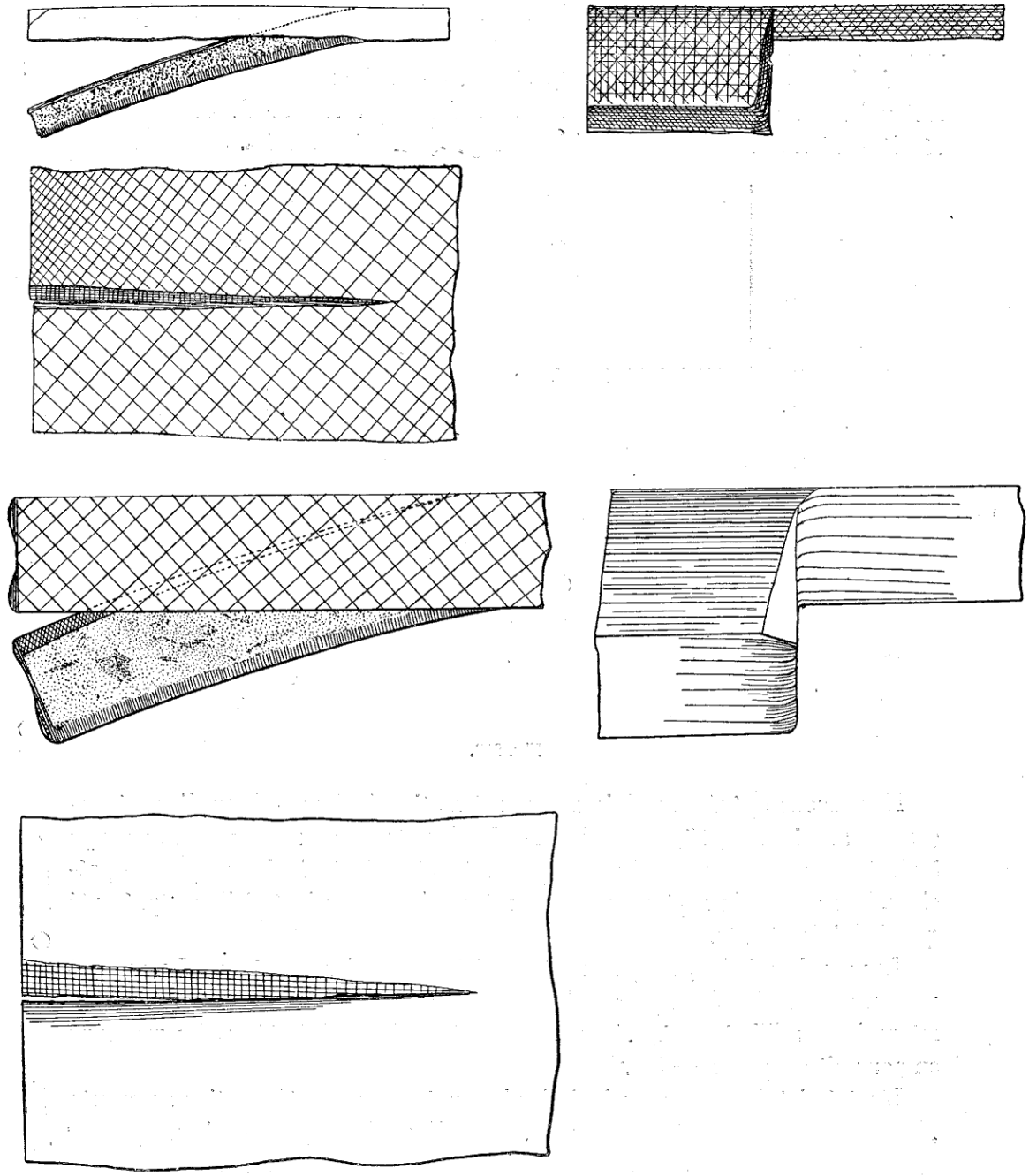


Fig. 233 et 234. — Cisaillage de fer avec lames obliques, $\alpha = 10°$, $\theta = 80°$.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les énergies τ''_1, ont respectivement pour valeurs :

$$\tau''_1 = \quad 0{,}06 \quad 0{,}08 \quad 0{,}0935 \quad 0^{kgm},1062$$

Les variations des énergies sont donc assez élevées. Les valeurs de τ''_1, augmentent avec l'épaisseur.

Cisaillage de fer rond, $\alpha = 10°, \theta = 80°$. — Le fer rond se prête bien à la recherche des variations des éléments de cisaillage. Les essais donnent des résultats bien concordants lorsqu'on les répète, ce qui est facile.

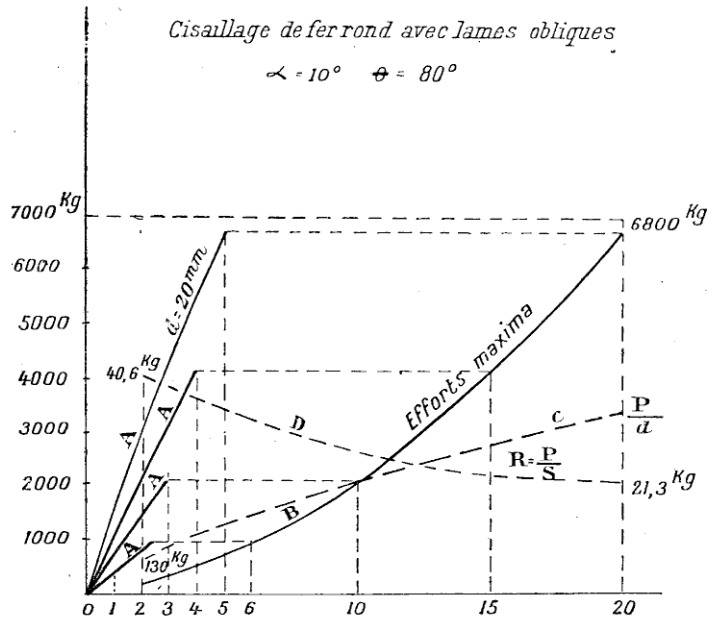


Fig. 235.

Nous avons opéré en réduisant une même tige de fer recuit en divers tronçons de : 2, 4, 6, 10, 15, 20 millimètres de diamètre et en renouvelant la coupe à plusieurs reprises pour chaque éprouvette afin d'obtenir des moyennes précises. Les efforts de rupture, pour un même diamètre, n'ont d'ailleurs présenté que de faibles écarts.

Les courbes A (fig. 235) se rapportent à chacun des diamètres. Le rapport n de la somme des deux pénétrations, au diamètre, a varié de 0,25 pour le diamètre de 20 millimètres à 0,4 pour le diamètre de 2 millimètres. En moyenne on pourrait adopter $n = 0{,}3$.

L'extrémité de chaque partie de la pièce présente une déformation accentuée (fig. 236-237) que l'on atténue (fig. 238) pour l'une d'elles, en la faisant appuyer dans une lunette ou trou cylindrique que présente la lame fixe, et qui répartit mieux la pression.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La variation des efforts maxima donne la courbe B, les abscisses étant les diamètres.

En rapportant ces efforts maxima aux diamètres, on déduit :

$$\frac{130}{4} = 65 \text{ kg.} \quad \frac{550}{4} = 127 \quad \frac{1\,000}{6} = 166{,}6 \quad \frac{2\,100}{10} = 210 \quad \frac{4\,200}{15} = 280 \quad \frac{6\,800}{20} = 340$$

Ces valeurs portées en ordonnées donnent la courbe C. Les coefficients de résistance par millimètre carré de section : $R = \frac{P}{S}$ donnent la courbe D. Les valeurs de R varient de $21^{kg},3$ pour le diamètre, 20 millimètres à $40^{kg},6$ pour le diamètre 2 millimètres.

Ces valeurs sont beaucoup plus faibles que celles respectives trouvées pour

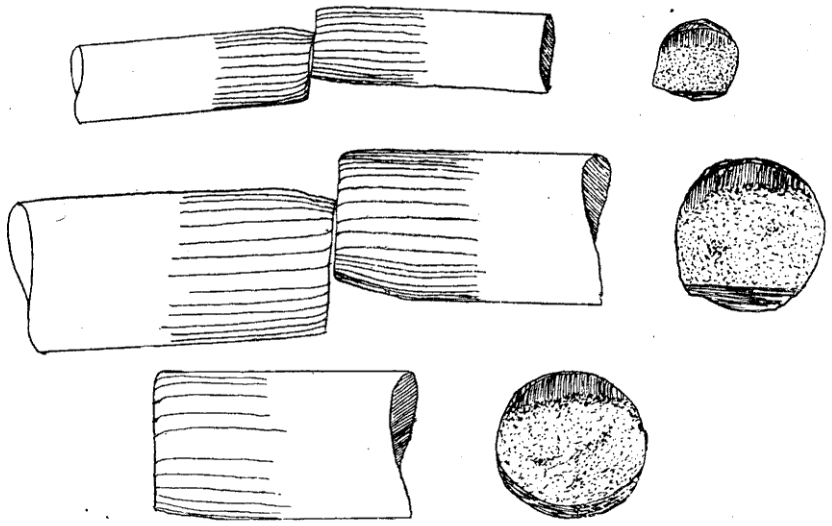


Fig. 236 à 238. — Cisaillage de fer rond avec lames obliques, $\alpha = 10°$, $\theta = 10°$.

le fer plat, ce qui montre bien l'influence de la flexion sur les bandes. Une éprouvette de traction de 10 millimètres de diamètre et de 100 millimètres de longueur a donné pour ce fer, une résistance rapportée à la section primitive $R_1 = 40^{kg},2$ et une résistance de rupture rapportée à la section sous charge ou de striction : $R_2 = 44^{kg},3$. L'allongement était de 14 p. 100.

La résistance de cisaillement pour le diamètre, 10 millimètres étant de $26^{kg},25$.

le rapport

$$\frac{R}{R_1} = \frac{26{,}25}{40{,}2} = 0{,}65,$$

tandis que le rapport

$$\frac{R}{R_2} = \frac{26{,}25}{44{,}3} = 0{,}59.$$

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Divers autres essais, nous ont montré que les tiges de fer de petit diamètre : 3 à 5 millimètres donnent des résistances de cisaillage qui varient de 40 à 50 kilogrammes par millimètre carré de section.

On constate, ce qui n'a rien d'étonnant, que selon la catégorie de fer, le coefficient de résistance varie dans des limites très étendues; que le diamètre ou l'épaisseur de la pièce a une influence marquée sur les résultats, ce qui a pour effet de modifier les lois simples admises de prime abord.

L'énergie τ''_1 s'est élevée :

Pour les diamètres.	20	15	10
A.	0,053	0,044	$0^{kgm},034$

Cette énergie décroît donc rapidement avec le diamètre dans ces limites, et ne saurait être prise comme élément de comparaison simple.

Chez MM. Paindavoine, constructeurs de charpentes en fer, à Lille, une cisailleuse poinçonneuse triple coupant jusqu'à 25 millimètres d'épaisseur et poinçonnant 25 millimètres de diamètre, sur 20 millimètres d'épaisseur, a deux volants de 0,90 de diamètre, une poulie de 0,60 qui tourne à 240 tours par minute. Cette machine exige dans la marche à vide un effort tangentiel au volant qui varie de 7 à 12 kilogrammes, soit en moyenne $9^{kg},5$ (dans la mesure de l'effort, on a eu soin de faire tourner le volant commandé en sens inverse de la poulie folle qui est restée chaussée de sa courroie de 150×8 millimètres).

La vitesse tangentielle au volant étant de :

$$\frac{3,14 \times 0,90 \times 240}{60} = 11^{m},30.$$

La puissance dépensée à vide est d'environ $11,30 \times 9,5 = 107$ kilogrammètres, soit un poncelet. La vitesse de la courroie ressort à $7^{m},50$, vitesse assez élevée, afin que les volants de petit diamètre possèdent une puissance vive suffisante.

Les lames ayant un angle α de 10°, si l'on fait des coupes de fer de 25 millimètres d'épaisseur, avec chutes de 30 millimètres de largeur, le coefficient de résistance peut être pris égal à 45 kilogrammes, en considérant les valeurs indiquées ci-devant pour le fer, et en tenant compte de ce que les lames sont usagées.

L'effort vertical sur la lame mobile serait :

$$P = \frac{a^2 R}{1,41} = \frac{25^{-2} \times 45}{1,41} = 20\,000 \text{ kg}.$$

Il faudrait augmenter cet effort si la largeur de la chute est supérieure à 30 millimètres et si les lames sont très émoussées. Si la longueur de coupe est de 200 millimètres en admettant une énergie nette par millimètre carré égale à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

$0^{kgm},125$, la section exigera une énergie totale de $0,125 \times 200 \times 25 = 625$ kilogrammètres. A raison de 12 coups de cisaille par minute, l'énergie de cisaillage rapportée à la seconde, serait :

$$\frac{12 \times 625}{60} = 125 \text{ kgm.}$$

Si le rendement du mécanisme est de 70 p. 100, la coupe exigerait :

$$\frac{125}{0,70} = 178 \text{ kgm.}$$

L'énergie à vide étant de 107 kilogrammètres.

Le rapport de l'énergie nette ou utile à l'énergie totale ne s'éloignerait guère de :

$$\frac{178}{285} = 0,62.$$

L'effort moyen à la courroie serait :

$$\frac{285}{7,5} = 38 \text{ kg.}$$

La section de courroie 150×8, est adoptée pour parer aux coups de force vive qu'elle subit surtout quand on poinçonne.

Dans ce cas, l'effort sur l'outil peut atteindre, pour un diamètre de 25 millimètres dans une tôle de 20 millimètres d'épaisseur en supposant un coefficient $R = 30$ kilogrammes, une valeur :

$$\pi d a R = 3,14 \times 25 \times 20 \times 30 = 45\,000 \text{ kg.}$$

En comparant ce nombre avec celui 20000 kilogrammes relatif au cisaillage, on voit que la machine fatigue davantage en poinçonnant qu'en cisaillant sur plat.

Mais, lorsqu'on cisaille, par exemple, une cornière de $\frac{100 \times 100,}{15}$ soit une section d'environ 2775 millimètres carrés, et si on admet une résistance $R = 25$ kilogrammes, l'effort s'élèverait à :

$$2\,775 \times 25 = 69\,375 \text{ kg.}$$

De tels efforts à développer momentanément imposent l'emploi de volants, sinon la courroie glisserait et tomberait.

Souvent, on poinçonne et on cisaille en même temps: les efforts se combinent donc entre des valeurs assez grandes, et la puissance développée peut varier dans une telle machine triple, depuis 1 poncelet à vide, jusqu'à 4 poncelets dans les fortes coupes, mais d'une façon périodique.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

A l'usine de Fives-Lille, une cisaille pour tôles de 35 millimètres d'épaisseur, à lames inclinées de 10°, course de 80 millimètres, pouvant couper 450 millimètres de largeur, exige à vide, un effort tangentiel de 18 kilogrammes au volant de 3 mètres de diamètre tournant à 100 tours par minute, soit une vitesse de $15^{m},70$.

L'énergie à vide est :

$$14,70 \times 18 = 282 \text{ kgm.}$$

Effort de coupe :

$$P = \frac{a^2 R}{1,41} = \frac{35 \times 35 \times 40}{1,41} = 35\,000 \text{ kg.}$$

Avec une largeur de coupe de 400, en admettant une énergie nette par millimètre carré de $0^{kgm},150$, la section exigera une énergie totale de $0^{kgm},150 \times 300 \times 35 = 2100$ kilogrammètres, à raison de 10 coups par minute, l'énergie de cisaillage rapportée à la seconde serait :

$$\frac{2\,100 \times 10}{60} = 350 \text{ kgm.}$$

Le rendement étant de 60 p. 100, la coupe exigerait :

$$\frac{350}{0,60} = 583 \text{ kgm.}$$

L'énergie totale $= 583 + 282 = 865$ kilogrammètres, soit près de 9 poncelets au moment de la coupe.

L'effort tangentiel moyen à la courroie possédant une vitesse de 7,85, sans tenir compte de l'action du volant, serait :

$$\frac{865}{7,85} = 110 \text{ kg.}$$

La poulie a un diamètre de $1^{m},500$ et une largeur de $0^{m},200$; elle tourne à 100 tours par minute.

La courroie double a une largeur de 180 millimètres.

Considérons une cisailleuse de forge découpant des tôles d'acier extra-doux de 30 millimètres d'épaisseur avec des lames de 2 mètres de longueur inclinées à 10°. Le coefficient R étant pris égal à 40 kilogrammes. l'effort sur les lames serait d'environ :

$$P = \frac{a^2 R}{1,4} = \frac{30 \times 30 \times 40}{1,4} = 25\,700 \text{ kg.}$$

L'énergie pour la coupe de 2 mètres, en prenant $\tau_1 = 0^{kgm},125$, est :

$$2\,000 \times 30 \times 0,125 = 7\,500 \text{ kgm.}$$

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à raison d'une coupe complète en 15 secondes, la puissance exigée par la coupe serait :

$$\frac{7\,500}{15} = 500 \text{ kgm.},$$

soit 5 poncelets.

Tablant sur un rendement de $0^m,50$, le moteur qui actionnerait directement une telle cisailleuse devrait avoir une puissance effective de 10 poncelets à arbre d'attaque.

Supposons qu'il s'agisse de plaques d'acier doux de 60 millimètres d'épaisseur, coupées à froid sur 2 mètres de longueur, chute de 30 millimètres de largeur; l'effort de coupe pourrait être estimé, en faisant R = 30 kilogrammes, à cause de la forte épaisseur, à environ :

$$P = \frac{a^2 R}{1,4} = \frac{60 \times 60 \times 30}{1,4} = 77\,000 \text{ kg.}$$

L'énergie totale dépensée pour la coupe, serait d'environ :

$$S \times 0,125 = 2\,000 \times 60 \times 0,125 = 120\,000 \times 0,125 = 15\,000 \text{ kgm.}$$

La coupe totale étant faite en 20 secondes, la puissance développée serait :

$$\frac{15\,000}{20} = 750 \text{ kgm.}$$

La lame mobile étant actionnée par pression hydraulique, et le compresseur étant mû directement par un piston-vapeur, comme dans la cisailleuse de MM. Brever et Schumacher, le rendement peut être évalué à 0,40. La puissance totale à fournir pendant la coupe s'élèverait à :

$$\frac{750}{0,40} = 1\,875 \text{ kgm.},$$

soit de 18 à 20 poncelets.

Ne perdons pas de vue que si la coupe se fait en pleine tôle, les efforts et les énergies peuvent être augmentés de moitié. Lorsque la coupe est faite à chaud au rouge sombre, ces éléments peuvent être réduits de moitié.

De plus, il faut tenir compte de l'état des lames, de la vitesse, des chocs, et prévoir des efforts au moins doubles pour le calcul des organes.

C'est ainsi que dans une cisailleuse pour tôles d'acier de 40 millimètres d'épaisseur et $3^m,500$ de longueur, MM. Delattre et C^{ie}, C^{ie} de Ferrière-la-Grande, ont tablé sur un effort de coupe de 450000 kilogrammes, alors que l'application de la formule relative à des lames en bon état, sans chocs, à faible vitesse

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

donne pour l'inclinaison adoptée de $8° = \alpha$ et en admettant pour de l'acier demi-dur à froid une valeur $R = 60$ kilogrammes et un rapport $n = 0,3$;

$$P = \frac{n\,a^2\,R\cos\frac{\alpha}{2}}{4\sin\frac{\alpha}{2}} = \frac{0,3 \times 40^{-2} \times 60 \times 0,990}{4 \times 0,07} = 100\,000 \text{ kg.}$$

L'énergie par millim. carré $\tau''_1 \times \frac{n\,a\,R}{2} = \frac{0,3 \times 0,040 \times 60}{2} = 0^{kgm},36.$

L'énergie totale $= 3\,500 \times 40 \times 0,36 = 50\,400$ kgm.

A raison de 4 coups de cisaille par minute, le coupe de $3^m,500$ se fait en $7''$.

L'énergie nette de cisaillage rapportée à la seconde est :

$$\frac{50\,400}{7} = 7\,200 \text{ kgm.}$$

L'énergie moyenne de cisaillage rapportée à la seconde ressort à :

$$\frac{4 \times 50\,400}{60} = 3\,360 \text{ kgm.}$$

En tablant sur un rendement de 0,50, le moteur devrait fournir pendant la coupe une puissance de :

$$\frac{7\,200}{0,50} = 14\,400 \text{ kgm.}$$

soit 144 poncelets ; mais en moyenne, le volant agissant comme régulateur, il produirait :

$$\frac{3\,360}{0,50} = 6\,720 \text{ kgm.,}$$

soit 67 poncelets.

Le constructeur a adopté un moteur de 90 poncelets, ce qui permet de parer aux diverses éventualités de la marche.

Essais de cisaillage avec lames circulaires. — Le cisaillage à lames circulaires étant plus continu que celui avec lames obliques, se prête bien à faire des essais. Nous avons opéré sur du cuivre avec une cisailleuse ordinaire de force moyenne, installée chez MM. Wauquier, constructeurs à Lille, et dont les éléments sont :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Diamètre des lames					0,160
Croisement des lames					2 millim.
Angle d'acuité $\theta =$					80°
Nombre de tours par minute					5,5
Vitesse de pourtour V =					0m,046
Diamètre de la poulie					0,800
Nombre de tours de la poulie par minute					20
Vitesse circonférentielle à la poulie V' =					0,837
Module ou rapport entre la vitesse à la poulie et celle au pourtour des lames $= \frac{0,837}{0,046} =$					18,2 (1)
Effort à la poule, à vide					3 kg.
Largeur des chutes					30 millim.
Épaisseurs	1,5	2	3,5	5	6
Effort moyen à la poulie P' =	5,5	7	15	33	48 kg.
Effort net à la poulie	2,5	4	12	30	45 kg.
Effort tangentiel aux lames : P =	46	73	220	546	820 kg.
Angle 2 de la résultante des réactions $\frac{\alpha}{2} =$	12°	12°,30'	13°,30'	15°	17°
$\sin \frac{\alpha}{2} =$	0,208	0,216	0,233	0,259	0,292
Résultante des réactions $N = \frac{P}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} =$	110	168	470	1 040	1 375 kg.
Travail net de cisaillage par seconde $\tau = P\,v$	1,05	1,675	5,5	12,5	18kg,08
Id. par millimètre carré de section $\tau''_1 =$	0,0152	0,0182	0,031	0,054	0,068
$R = \frac{2\,\tau''_1}{n\,a} = \frac{\tau''_1}{0,2\,a} =$	50 kg.	45kg,5	45 kg.	54 kg.	57 kg.

La figure 239 indique les variations de τ'' et de P', les épaisseurs étant les abscisses.

Les valeurs de $\frac{\alpha}{2}$ ont été déduites de l'épure, figure 240.

La valeur de τ''_1 et, par suite, celle fictive ou relative de R, pour l'épaisseur

(1) On sait que pour déduire le module d'une telle machine, il suffit de poser successivement les relations du travail entre les diverses chaînes cinématiques qui constituent le mécanisme de transmission de l'énergie : 1° L'égalité de l'énergie développée à la courroie et celui tangentiel au pignon d'engrenage où il se développe un effort P'' avec vitesse γ'', soit $P'\gamma' = P''\gamma''$; 2° L'égalité de l'énergie à la roue sollicitée aussi par P'' et à la roue sollicitée par un effort P''' possédant une vitesse γ''', soit : $P''\gamma'' = P'''\gamma'''$; 3° L'égalité de l'énergie $P'''\gamma'''$, transmise par l'arbre commun à l'une des lames sollicitée par un effort P à la vitesse γ, soit $P'''\gamma''' = P\gamma$.

Multipliant ces égalités, il vient :

$$P'\gamma' = P\gamma \text{ soit } \frac{P}{P'} = \frac{\gamma'}{\gamma} = \frac{0,837}{0,046} = 18,2 \text{ et } P = 18,2\,P'.$$

Dans ces relations on néglige les frottements, mais on en tient compte par un coefficient de rendement général qui ressort des essais mêmes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

$a = 5$ millimètres, sont notablement plus élevées que celles obtenues par lames parallèles ($\alpha = 10^{o}$), à la machine à essayer avec laquelle nous avons trouvé :

$$\tau''_1 = 0{,}0264 \quad \text{et} \quad R = 26^{kg},4,$$

soit environ deux fois moins qu'avec la cisailleuse, de sorte que le rendement du mécanisme serait seulement de 50 p. 100.

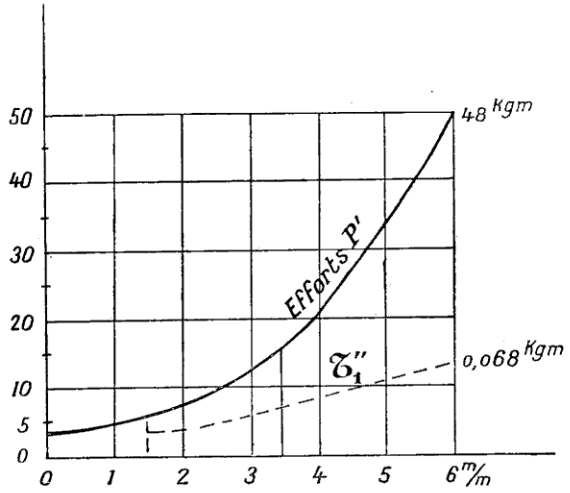


Fig. 239. — Essais de cisaillage avec lames circulaires.

Ce rapport se réduit encore si on tient compte du travail à vide qui s'élève pour l'épaisseur 5 millimètres au $\frac{3}{30} = \frac{1}{10}$ du travail de cisaillage, soit alors :

$$\tau''_1 = 0{,}054 + 0{,}0054 = 0{,}0594.$$

Le rendement général serait : $\frac{0{,}0264}{0{,}0594} = 0{,}44$, valeur faible pour une machine dont le mécanisme comporte simplement une commande par courroie et trois arbres reliés par deux couples de roues d'engrenages cylindriques.

Nous constaterons plus loin des rendements analogues.

La cisailleuse considérée n'exigerait pendant la coupe maximum de 6 millimètres, qu'une puissance de 40 kilogrammètres. Sa poulie était chaussée d'une courroie de 80×5.

Essai fait avec une cisailleuse à engrenages et poulie de commande par courroie. — En enroulant sur une corde sur la poulie et mesurant les efforts par un dynamomètre, on a relevé la variation des efforts tangentiels P′ (fig. 241), pendant la coupe d'une bande de fer de 7 millimètres d'épaisseur et de 90 millimètres de largeur. Les efforts P′ ont été pour chaque position correspondante de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'axe de l'excentrique en les reportant au-delà du cercle de rayon $r' = 360$ millimètres qui est celui de la roue d'engrenage commandée par le pignon de

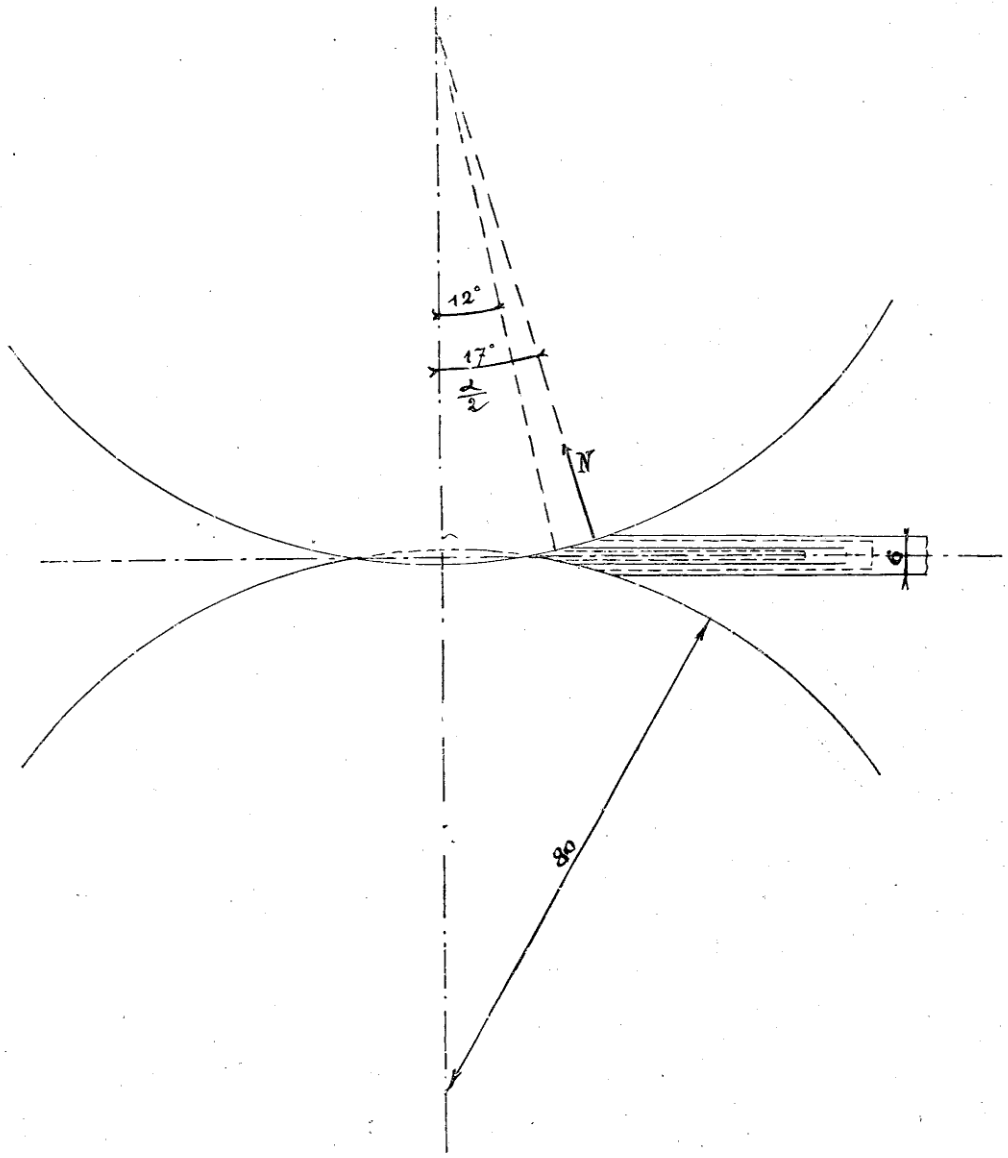


Fig. 240.

rayon $r'' = 40$ millimètres. Il importe, dans les relations d'équilibre, de tenir compte des frottements sur les tourillons en admettant un coefficient $f = 0,1$.

Le rayon r_1 des tourillons de l'arbre de la poulie $= 20$ millimètres; celui de l'arbre de l'excentrique $r'_1 = 35$ millimètres; celui du tourillon de manivelle

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

$r''_1 = 25$ millimètres; le rayon de manivelle $r' = 10$ millimètres. Si on considère l'effort $P' = 30$ kilogrammes qui se rapporte à la position horizontale de

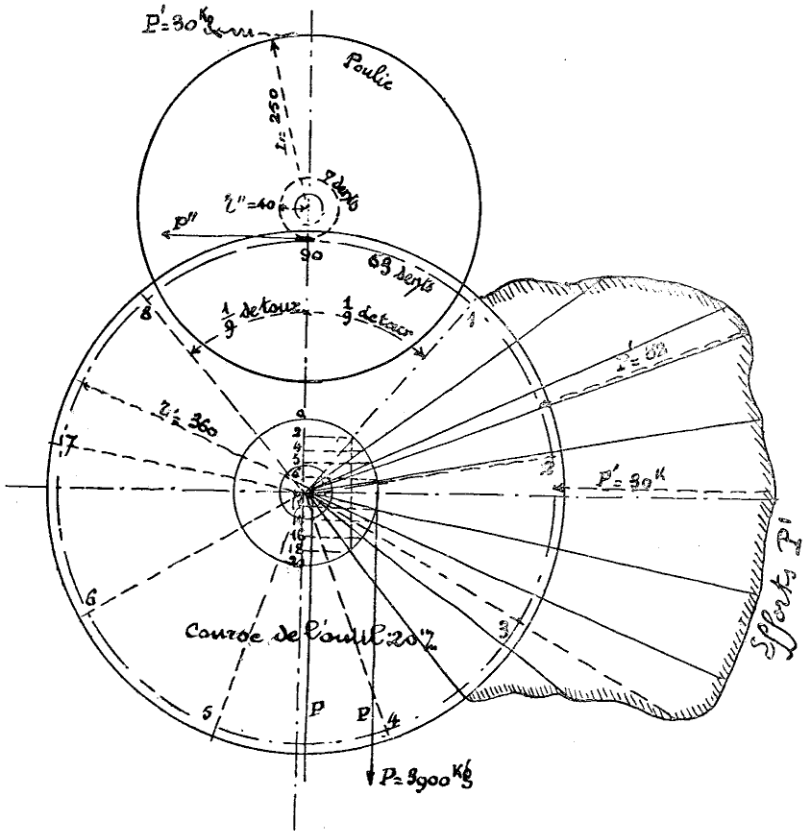


Fig. 241.

l'axe de l'excentrique, on peut déduire l'effort P'' sur les dents d'engrenages par la relation :

$$P'L = P'' r'' + (P'' + P') f r_1,$$

soit :

$$P'' = \frac{P' (L - f r_1)}{r'' + f r_1} = \frac{30 (250 - 0{,}1 \times 20)}{40 + 0{,}1 \times 20} = 177 \text{ kg}.$$

L'effort P sur la lame se déduit de la relation :

$$P'' r' = P r + (P'' + P) f r'_1 + P f r''_1,$$

soit :

$$P = \frac{P'' (r' + f r'_1)}{r + f r'_1 + f r''_1} = \frac{177 (360 - 0{,}1 \times 35)}{10 + 0{,}1 \times 35 + 0{,}1 \times 25} = 3\,940 \text{ kg}.$$

Ce nombre concorde bien avec ceux des essais sur le fer signalés précédemment dans les coupes directes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En admettant un effort moyen $P' = 30$ kilogrammes pendant la durée de la coupe qui correspond à 2,5 tours de la poulie, l'énergie dépensée serait :

$$\tau = 2{,}5 \times 30 \times 2 \times 3{,}14 \times 0{,}0250 = 117^{kgm},7.$$

L'énergie par millimètre carré de section serait :

$$\tau''_1 = \frac{117{,}7}{7 \times 90} = 0^{kgm},184.$$

L'effort moyen de coupe P étant estimé 3 900 kilogrammes, et le chemin total de la coupe étant de $\frac{90}{6} = 15$ millimètres $\left(\text{l'inclinaison des lames} = \frac{1}{6}\right)$, l'énergie utile est :

$$\tau_v = 3\,900 \times 0{,}015 = 58^{kgm},5,$$

soit un rapport :

$$\frac{\tau_v}{\tau} = \frac{117{,}7}{58{,}5} = 0{,}50.$$

La marche à vide nécessitait un effort tangentiel moyen $P' = 2$ kilogrammes.

Si on suppose 10 coups de cisaille par minute, il faut 90 tours de la poulie et

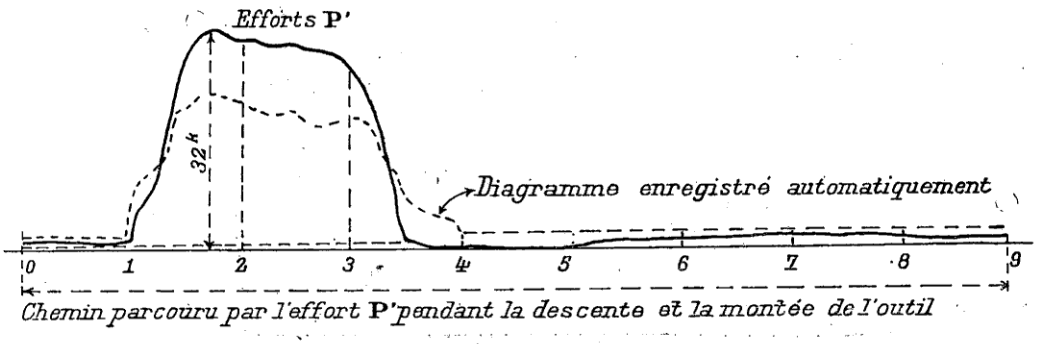


Fig. 242.

le travail total serait : $(90 \times 2 \times 3{,}14 \times 0{,}250 \times 2) + 10 \times 117{,}7) = 1\,459{,}6$ kgm., soit une puissance par seconde de :

$$\frac{1\,459{,}6}{60} = 24^{kgm},3,$$

soit environ 1/4 de poncelet.

Dans cette application, l'énergie à vide est environ le 1/4 de l'énergie dépensée par l'outil.

La figure 242 montre deux diagrammes des efforts développés tangentiellement à la poulie de commande de la cisailleuse. Celui en trait continu a été rapporté d'après les mesures directes, le deuxième, en traits interrompus, a été

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

relevé par un dynamomètre enregistreur. L'allure d'un tel diagramme est très variable avec l'épaisseur de la tôle, la vitesse du volant de la machine dont la

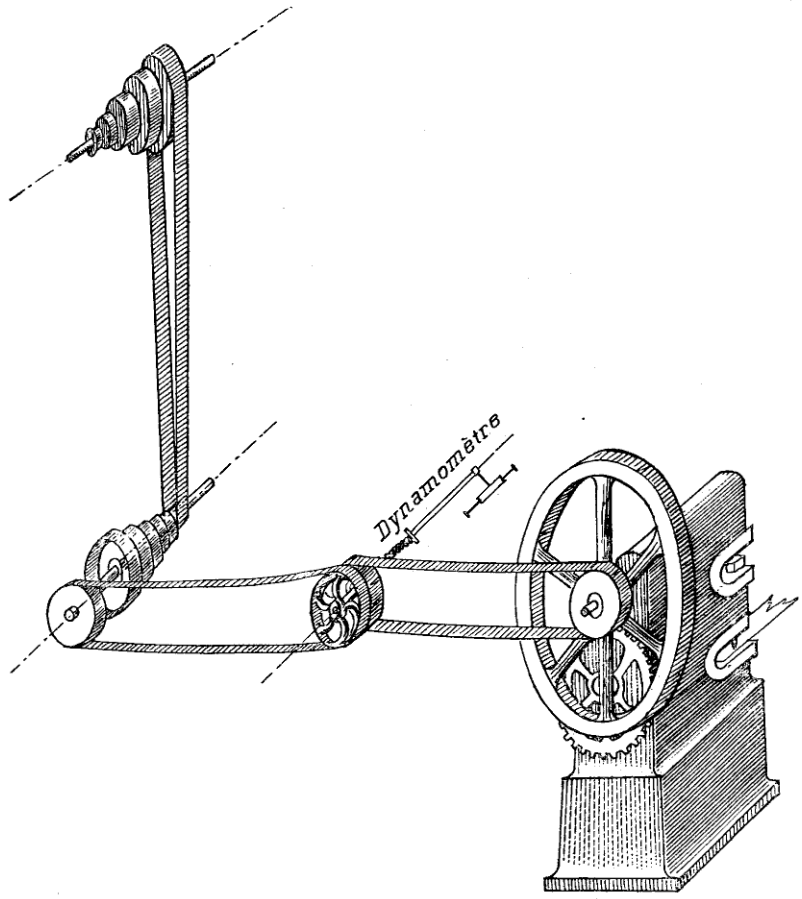


Fig. 243. — Tarage du dynamomètre.

Diamètre de poulie de la cisaille = 0,509; développement : 3,14 × 0,509 = 1,60; pour montée et descente, il faut 9 tours = 14,40; le travail = 14,40 × (effort tangentiel); 9 tours de poulie correspondent à x tours du dynamomètre, soit :

$$x = \frac{14,40}{3,14 \times 0,360} = 12,5 \text{ tours.}$$

Or 1 tour de poulie du dynamomètre corespond à 12,4 du tambour et 152 mm. de développement compris entre deux hauts de course consécutifs correspondent à 9 tours de la poulie de la cisailleuse, soit à un chemin de 14,40. Une demi-course correspond à 76 mm. de développement du tambour, soit à un chemin = 7,20 parcouru par les efforts tangentiels que les ordonnées y mesurent. Le travail est donc : 7,20 × (y, ordonnée moyenne).

puissance vive entre en jeu, les variations de la vitesse que subit la lame pendant la coupe. C'est ce que montrent les essais à vitesse variable qui suivent.

Essais de cisaillage à vitesse variable. — Dans ces essais à vitesse variable, nous avons recherché l'influence de la puissance vive du volant de la cisailleuse, et la variation des énergies dépensées.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Nous avons opéré d'abord à vide, puis sur divers échantillons de bandes de fer de largeur et d'épaisseur constantes pour une même série d'opérations.

La cisailleuse était commandée (fig. 243) par le dynamomètre enregistreur, et celui-ci par le plateau d'un tour à 8 vitesses dont nous en avons utilisé 6, ce qui nous a donné :

Vitesses.	nos 1	2	3	4	5	6
Nombre de coups par minute. . .	1,33	2,44	4,33	7,55	12	21

Nous avons relevé plusieurs diagrammes pour chaque essai et nous avons choisi les plus réguliers d'entre eux. D'ailleurs, les différences n'étaient pas très

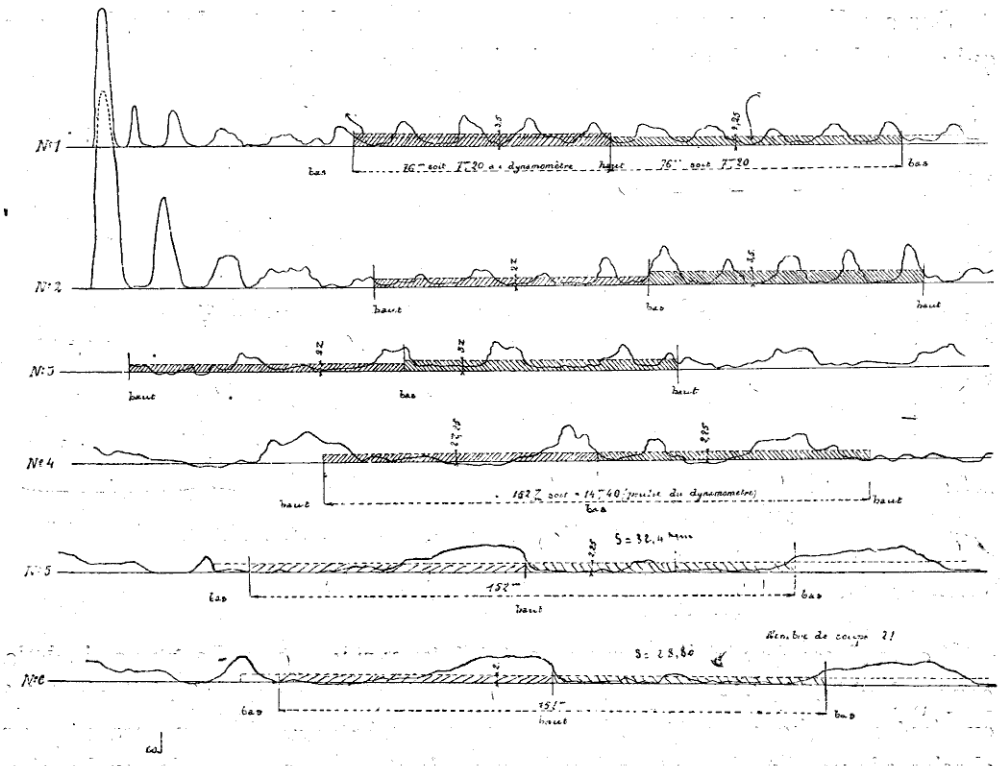


Fig. 244. — Cisailleuse à vide.

grandes, attendu que la bande de fer était coupée alors que la machine possédait à chaque fois sa vitesse normale.

On conçoit que, si on pratiquait des coupes répétées sans interruption, il se produirait des ralentissements trop prononcés et les essais ne seraient plus comparables.

Cependant, les diagrammes se rapportent à deux coups de cisaille donnés successivement, parce que le tambour du dynamomètre, à la vitesse de développement adopté, permettait de les relever ainsi sans ambiguïté.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Dans les plus fortes épaisseurs coupées, l'allure des courbes était sensiblement la même, car pendant la course à vide, le volant reprenait sa vitesse normale, de sorte que dans l'estimation de l'énergie, on pouvait prendre à volonté la longueur du développement au tambour, à partir d'un point plus ou moins rapproché de ceux qui correspondaient au haut et au bas de course.

Marche à vide (fig. 244). — Les 6 diagrammes de la marche à vide montrent, par leur simple aspect, qu'à mesure que la vitesse augmente, les variations des efforts sont moins répétées. Le volant régularise la marche tout en n'évitant pas les périodes d'accélération et de retardation dues au mouvement du coulisseau porte-outil.

Sur ces diagrammes, sont repérées les positions de haut et de bas de course qui concordent avec les variations principales des efforts.

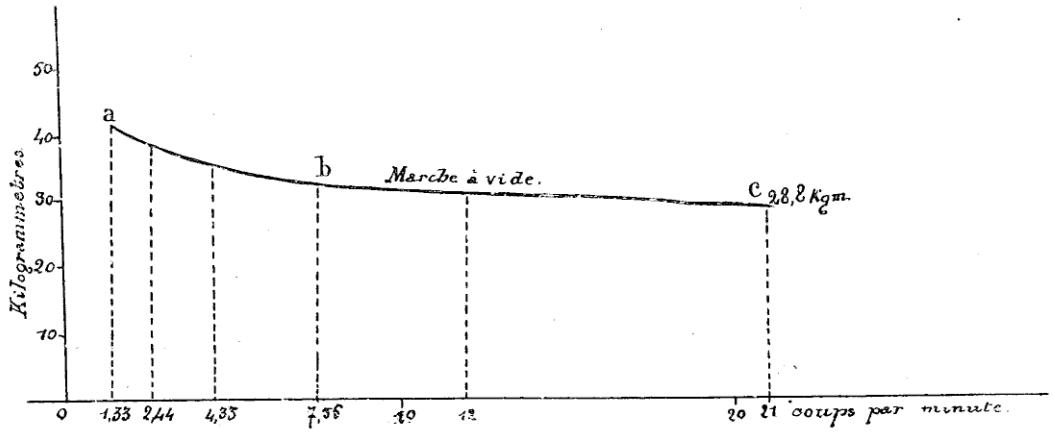


Fig. 245. — Marche à vide.

Les surfaces de ces diagrammes ont été rapportées pour chaque partie de la course double, c'est-à-dire pour la montée, puis pour la descente. Elles ont été exprimées en kilogrammètres. Portées en ordonnées (fig. 245), en prenant pour abscisses le nombre de courses doubles par minute, elles accusent la courbe *abc*. *Cette courbe montre que pour la marche à vide, la dépense d'énergie diminue quand la vitesse augmente.*

Rappelons que, pour la meule de grès, outil bien équilibré, nous avons trouvé qu'en travail la dépense d'énergie augmentait avec la vitesse.

On voit qu'il importe, pour chaque espèce de machine, de faire des essais particuliers en se gardant de généraliser.

La figure 246 est un diagramme de mise en marche à vitesse de régime à raison de 21 coups par minute.

On y constate des chutes d'efforts prononcés que l'on ne peut guère expliquer

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

que par des glissements de courroies entre le dynamomètre et la transmission principale, glissements qui se caractérisent par le bruit qui leur est spécial, glissements que l'on constatait, en effet, aux mises en route brusques, sur la poulie de l'arbre de couche dont la courroie n'était pas assez tendue.

Marche avec coupes de 90×7 (fig. 247). — La plus grande vitesse : à 21 coups par minute, donne de faibles variations dans le diagramme correspondant.

L'action du volant pesant 150 kilogrammes est très prépondérante.

Avec la vitesse à 12 coups, les chutes d'efforts dans la période de non-coupe s'accusent. A la fin de la coupe, le volant ayant ralenti, il emmagasine de l'énergie, puis, quand il repossède sa vitesse normale, la courbe a ses ordonnées très réduites.

Avec la vitesse à 7,55 coups, les ordonnées du travail augmentent fortement, et pendant la période de non-travail, elles se réduisent vers celles de l'allure à vide.

Enfin, à la vitesse de 4,33 coups, la progression des ordonnées du travail s'accuse encore davantage.

Les surfaces comparées des énergies montrent d'une façon très nette que les grandes vitesses exigent moins d'énergie que les petites.

Ainsi à la vitesse de 21 coups, on trouve 141,84 kilogrammètres; à la vitesse de 4,33 coups, on a 232,56 kilogrammètres, soit un rapport :

$$\frac{141,84}{232,56} = 0,61.$$

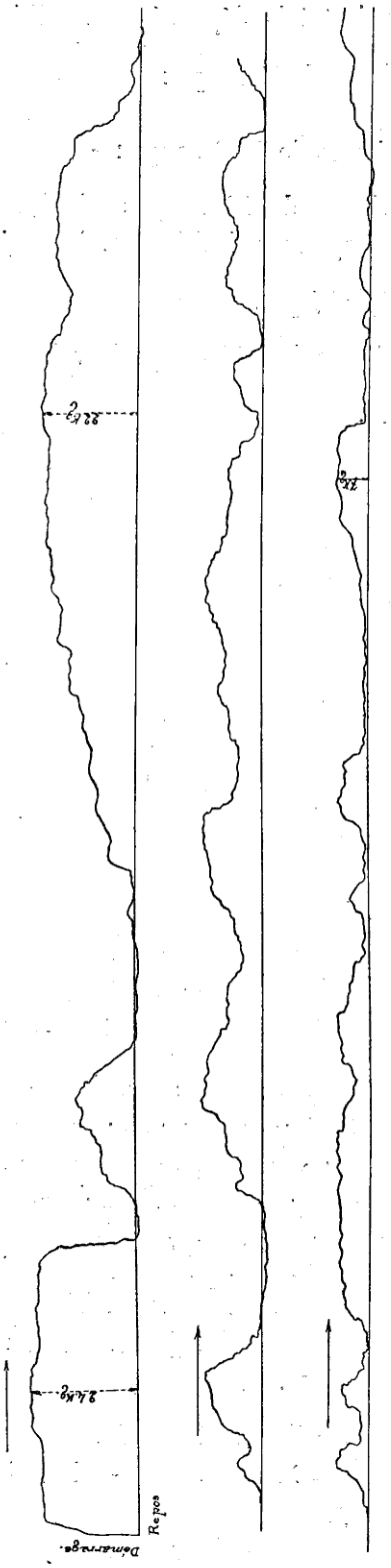


Fig. 246. — Diagramme de mise en marche depuis le repos jusqu'à la vitesse de 21 coups par minute.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'énergie totale dépensée par millimètre carré de section cisaillée serait :

A la vitesse de 21 coups : $\frac{141,84}{630} = 0,225$ kgm.

A la vitesse de 4,33 coups : $\frac{232,56}{630} = 0,37$ kgm.

A la vitesse de 12 coups ordinairement adoptée par la pratique pour les petites et moyennes cisailleuses, l'énergie dépensée par millimètre carré serait : $\frac{163,8}{630} = 0,260$ kgm.

A la vitesse de 2,44 coups, le volant n'avait pas assez de puissance vive pour

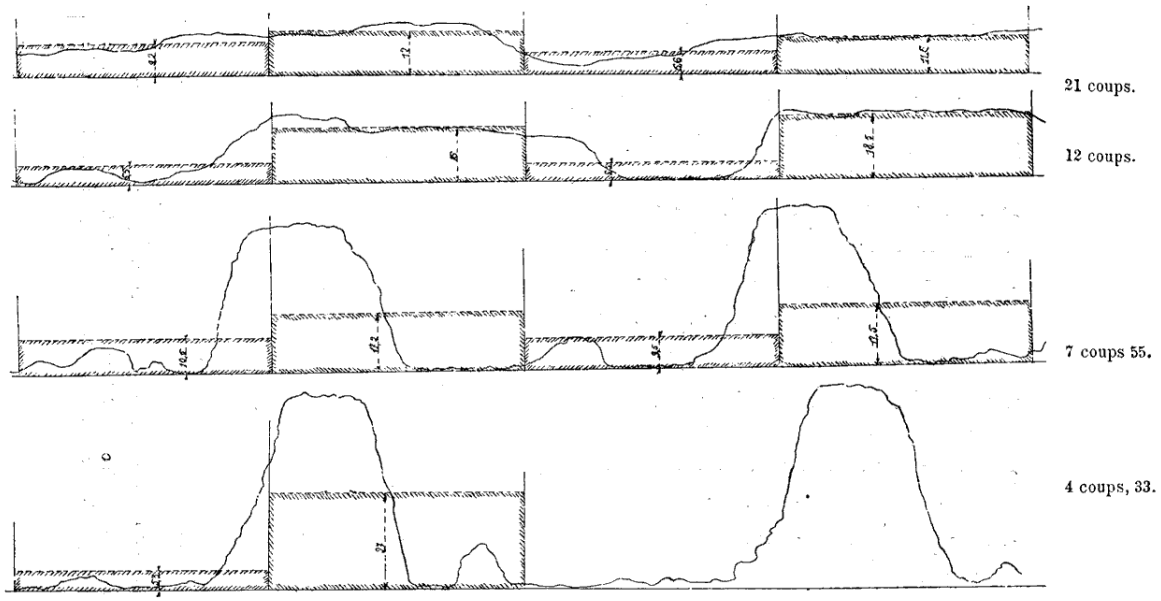


Fig. 247. — Cisaillage du fer.

obtenir une coupe sans ralentissement prononcé et glissement de la courroie, ce qui ne permettrait plus d'obtenir des diagrammes comparables.

C'est aussi à l'action régulatrice du volant qu'il faut attribuer la moindre dépense d'énergie à mesure que la vitesse s'accentue, à mesure que les perturbations vives s'atténuent. C'est donc avec raison que les constructeurs munissent les cisailleuses de volants qui tournent à grande vitesse.

Retenons que les énergies ci-dessus sont environ quatre fois plus élevées que celles déduites pour la coupe directe à la machine à essayer. Sans doute, parce que les lames étaient usagées et parce que les résistances passives avaient une importance relativement grande.

Bande de 71 × 7 (fig. 248). — Les diagrammes relatifs à la bande 71 × 7 sont

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

très analogues à ceux de la bande 90×7. Les surfaces de travail sont un peu moins étendues, ce qui se conçoit, puisque la largeur est réduite.

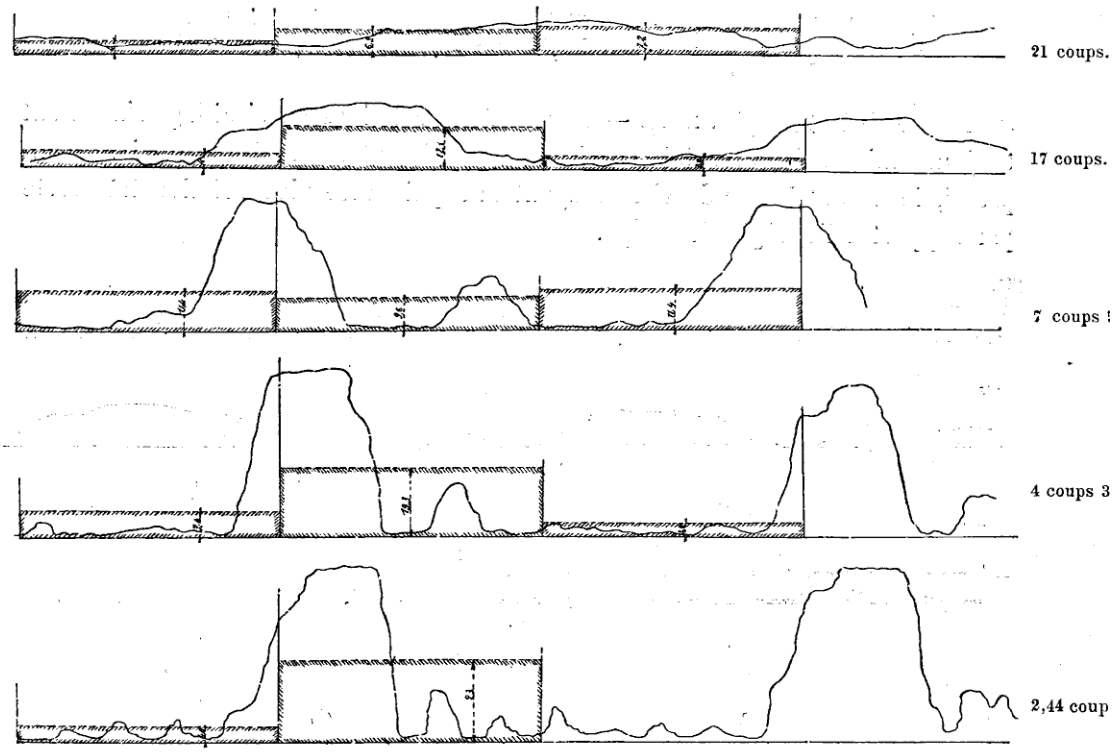


Fig. 248. — Cisaillage du fer (71×7).

L'énergie totale dépensée par millimètre carré de section cisaillée ressort :

Vitesse à 21 coups	12 coups	2,44 coups
$\tau''_1 = \frac{90}{497} = 0^{kgm},181$	$\frac{115,2}{497} = 0^{kgm},231$	$\frac{198,72}{497} = 0^{kgm},4$

Bande de $70 \times 5,5$ (fig. 249). — La comparaison des diagrammes, qui se rapportent à 6 vitesses, montre moins de variations dans les énergies. Celles des efforts sont prononcées jusqu'à 7,55 coups par minute. A 12 coups et à 21, les différences sont assez faibles.

L'énergie dépensée par millimètre carré de section cisaillée est :

Vitesse :

21 coups	12 coups	1,33 coups
$\tau''_1 = \frac{82,80}{70 \times 55} = \frac{82,80}{385} = 0,215$	$\frac{92,16}{385} = 0,239$	$\frac{117,36}{385} = 0^{kgm},305$

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Bande de 45×6 (fig. 250). — Mêmes observations que pour la bande qui précède. Énergies dépensées :

$$\tau''_1 = \frac{76,32}{270} = 0,284 \qquad \frac{77,76}{270} = 0,288 \qquad \frac{102,24}{270} = 0^{kgm},380$$

Bande de 40×4 (fig. 251). — Les surfaces relatives au cisaillage s'accusent toujours mieux dans les faibles vitesses que dans les grandes, ce qui se comprend, le volant à grande vitesse ayant une puissance vive relative très forte par rapport à l'énergie de coupe.

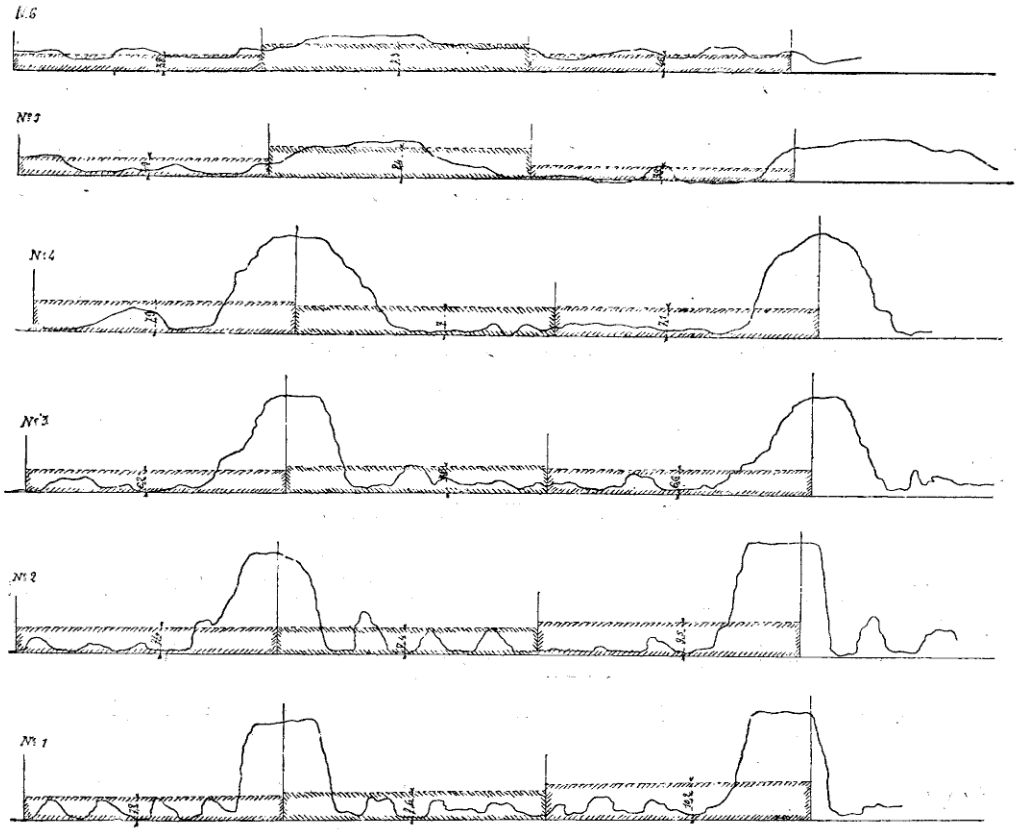


Fig. 249. — Cisaillage du fer ($70 \times 5,5$).

Faisons encore ressortir les valeurs de l'énergie par millimètre carré de section aux trois vitesses principales, 21, 12 et 1,33 coups, soit :

$$\tau''_1 = \frac{46,08}{160} = 0,289 \qquad \frac{44,28}{160} = 0,270 \qquad \frac{57,6}{160} = 0^{kgm},360$$

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

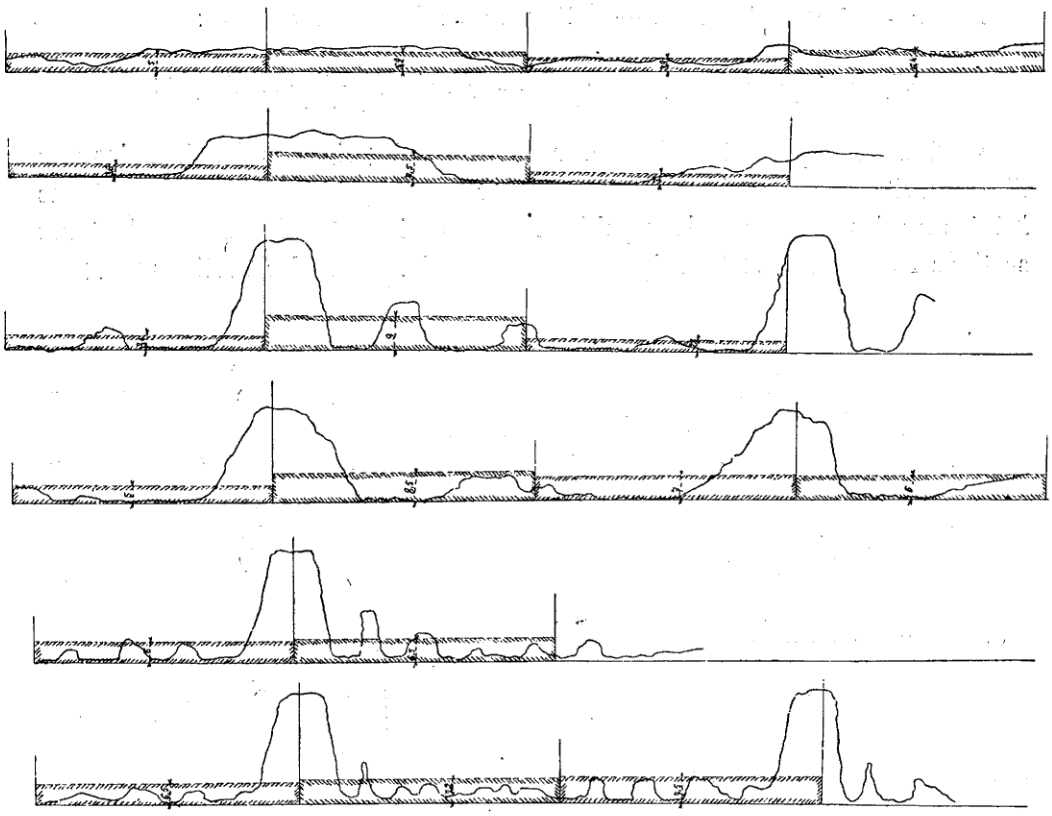


Fig. 250. — Cisaillage du fer (45 × 6).

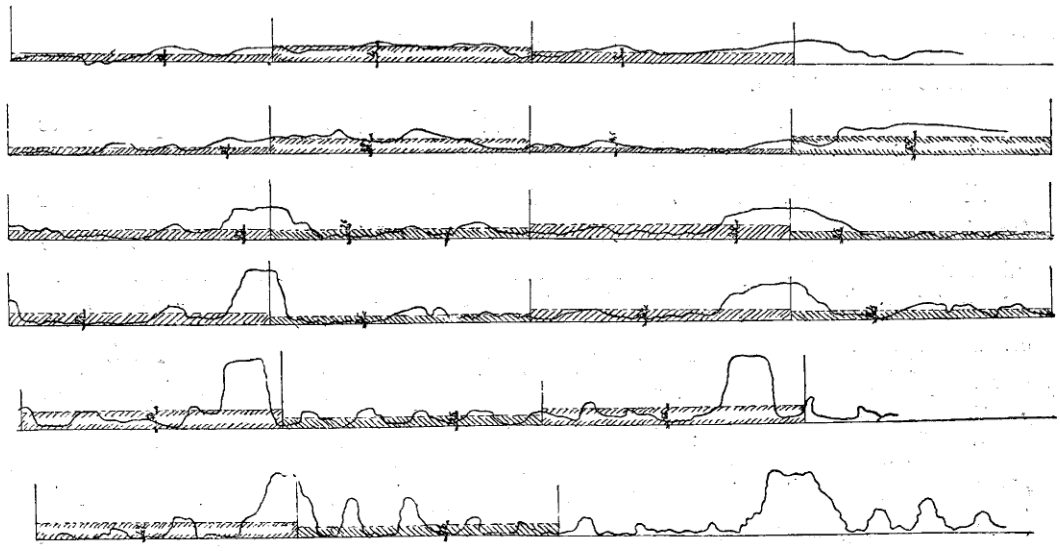


Fig. 251. — Cisaillage du fer (40 × 4).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Bande de 31 × 4 (fig. 252). — Cette bande a donné les valeurs :

$$\tau''_1 = \frac{42,48}{124} = 0,343 \qquad \frac{30,96}{124} = 0,249 \qquad \frac{43,92}{124} = 0^{kgm},355$$

La figure 253 permet de comparer les diverses variations des énergies aux diverses vitesses pour chacune des sections. On constate que l'allure des lignes brisées ou des courbes fictives qui les remplaceraient et qui correspondent aux sections 90 × 7 et 71 × 7 ont beaucoup d'analogie. Celles des sections 70 × 5,5

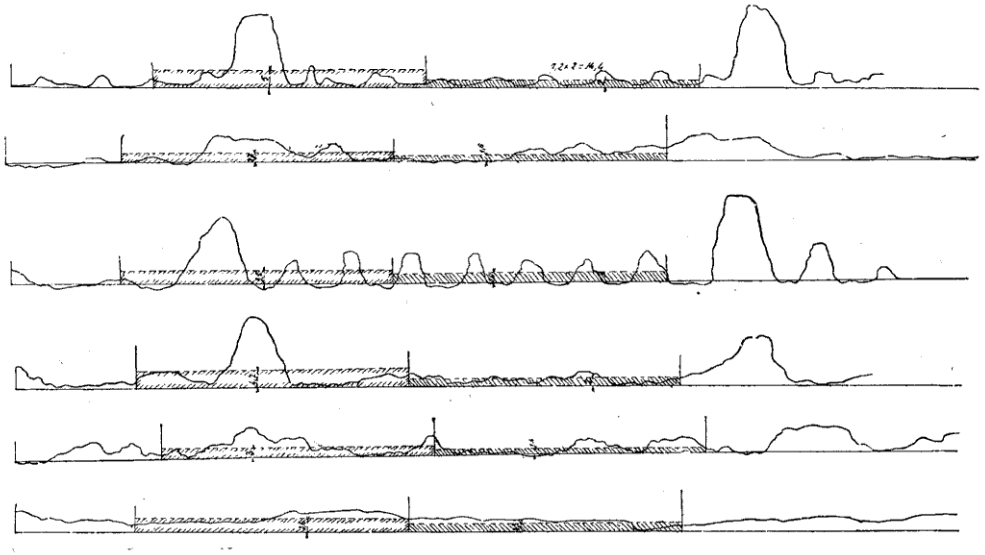


Fig. 252. — Cisaillage du fer de 31 × 4.

et 45 × 6 accusent moins de variations aux grandes vitesses, les courbes tendent vers l'horizontale.

Il en est de même pour les sections 40 × 4 et 31 × 4. Cependant, pour cette dernière, l'énergie s'accroît avec la vitesse maximum.

Si nous considérons la vitesse de 12 coups par minute, les énergies pour les différentes bandes accusent les valeurs : 0,260, 0,231, 0,239, 0,288, 0,270, 0,249 kilogrammètres par millimètre carré de section, et l'on voit qu'elles sont très voisines d'une valeur moyenne 0,257 kilogrammètres, résultat très probant en faveur de la bonne pratique qui s'est arrêtée à la vitesse de 12 coups, guidée par l'expérience de l'usage prolongé qui est la routine judicieuse du praticien, routine qui a devancé l'étude comparative.

Cette valeur moyenne de l'énergie dépensée par unité de section de surface cisaillée permet d'obtenir approximativement la puissance dépensée à la courroie de commande, par une cisaille ordinaire coupant une section S, en admettant une épaisseur inférieure à 10 millimètres. A chaque coup de cisaille, l'énergie

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

serait : 0,257 S. A raison de 12 coups par minute, on aurait : $12 \times 0{,}257$ S, et par seconde, la puissance serait $\frac{12 \times 0{,}257\,S}{60} = 0{,}0514$ S. kgm.

Par exemple, une barre plate d^{e} $100 \times 10 = 1\,000$ millimètres carrés exigerait

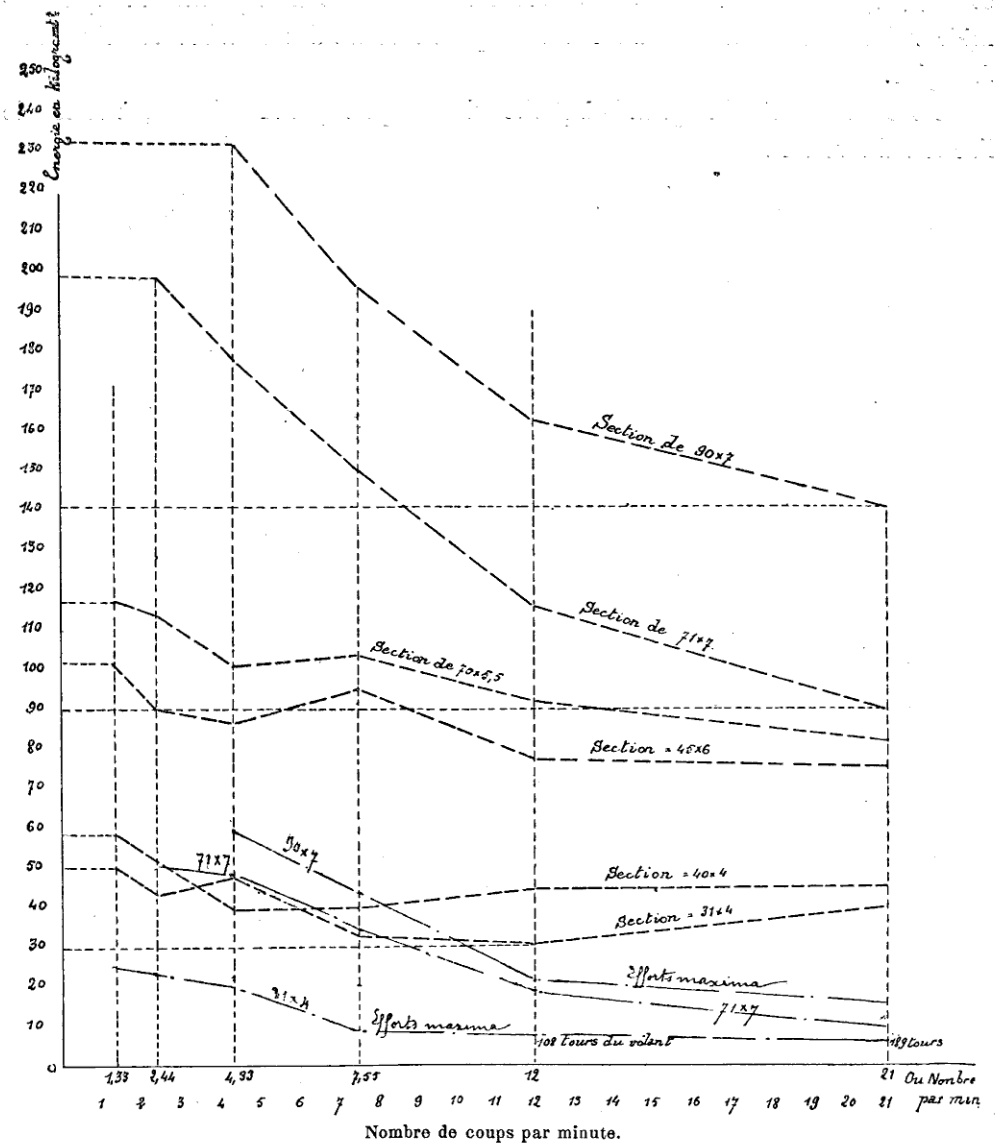


Fig. 253. — Courbes xprimées par les surfaces des diagrammes enregistrés au dynomomètre. Énergie absorbée par le cisaillage sous différentes vitesses. Cisaillage du fer.

pour des coupes répétées, une puissance de $0{,}0514 \times 1\,000 = 51{,}4$ kilogrammètres, soit environ 0,5 de poncelet.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Quand il faut vérifier, à chaque coup, la position de la pièce, on perd ordinairement un coup sur deux, de sorte que le travail utile se réduit, et le travail total aussi, dans des proportions variables avec la section de la pièce.

Sur la figure 253, nous avons aussi indiqué, pour les sections 90×7, 71×7 et 31×4, la variation des efforts maxima tangentiels à la poulie du dynamomètre. Ces courbes ont des allures analogues à celles des courbes relatives aux énergies.

Les efforts sont plus grands à petite vitesse qu'à grande vitesse, à cause de l'action du volant.

(*A suivre.*)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MÉTROLOGIE

LA CONVENTION DU MÈTRE ET LE BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

PAR **Ch. Éd. Guillaume.**

Le système métrique est né, pour ainsi dire, avec le siècle qui vient de finir; pendant ces cent années d'existence, il n'a cessé de se développer, refoulant devant lui les anciens systèmes des poids et mesures, compliqués pour la plupart, et dont aucun n'avait réussi à s'étendre sur plusieurs pays à la fois. Les peuples qui, les premiers, bénéficièrent de son idéale simplicité et de son admirable ordonnance ont oublié les systèmes d'autrefois, et il est bien peu d'hommes de notre génération qui, en France par exemple, connaissent d'autres poids et d'autres mesures que ceux du système métrique. Privés d'un point de comparaison, ignorants des complications des autres systèmes, nous sommes devenus insensibles à son progrès, et ses anniversaires passent inaperçus. Mais il n'en est pas ainsi partout. Il est des pays où le centenaire récent du système métrique a été signalé par des fêtes publiques; et lorsque, l'an dernier, les lointains échos de ces fêtes arrivèrent à son berceau, on apprit, non sans un peu d'étonnement que, dans d'immenses contrées, ce système est considéré comme une merveille et son adoption prochaine comme un grand bienfait.

Mais un texte de loi ne suffit pas pour qu'un système de mesures soit réellement employé; il est nécessaire, en outre, que les unités sur lesquelles il repose soient représentées par des étalons précis, et, pour l'unification internationale, il faut que les étalons prototypes qui, dans les divers pays, représentent les unités de longueur et de masse, soient identiques les uns aux autres. C'est le Bureau international des Poids et Mesures qui a créé cette identité pour le système métrique, en mettant en œuvre des méthodes que nous examinerons plus loin en détail.

Les procédés de mesure, dont le Bureau a fait une constante étude, y ont subi d'importants perfectionnements; mais au moment même de sa création, la métrologie était arrivée déjà à un état relativement avancé, à la suite de recherches nombreuses, exécutées dans les principaux pays de l'Europe, et dont le but immédiat avait été l'établissement et la comparaison des étalons au degré de perfection exigé par la science de chaque époque; une rapide es-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

quisse de ces recherches est nécessaire pour comprendre les considérations qui guidèrent les premiers travaux de la Commission internationale du Mètre; c'est à ce résumé historique que sera consacrée la première partie de ce travail.

LES ÉTALONS DES ARCHIVES DE FRANCE

A diverses reprises, dans les deux derniers siècles, la géodésie précéda la métrologie proprement dite, ou du moins dicta ses progrès. La mesure de la Terre, avec la précision nécessaire à la détermination de sa forme et de ses dimensions, exigeait plus que les expériences faites alors dans les laboratoires, et surtout que les mesures commerciales. Les classiques déterminations géodésiques, entreprises par l'initiative de l'Académie des Sciences de Paris, contribuèrent ainsi puissamment au progrès de la métrologie, et leur histoire nous renseigne assez exactement sur la précision qu'à diverses époques on se flattait d'atteindre (1).

Au milieu du XVIII^e^ siècle, on ne cherchait pas à dépasser le dixième de millimètre. Les longueurs étaient ajustées dans des gabarits, et des comparaisons ultérieures, faites soit à l'aide d'un compas à verge, soit en vérifiant la continuité de leurs surfaces terminales à la loupe ou au toucher, démontraient leur suffisante égalité.

Un très grand progrès fut accompli à la fin du XVIII^e^ siècle à l'occasion des travaux entrepris en vue de fixer les prototypes du système métrique. Les étalons n'étaient plus ajustés dans des gabarits invariables, mais, au contraire, comparés entre eux sur une règle portant, à une de ses extrémités, un talon saillant, et, à l'autre, un curseur muni d'une division et d'un vernier. Un butoir, amené au contact de la règle, était repéré sur le vernier, et ainsi, comme le déclare Delambre, on atteignit des résultats « ne s'écartant pas de la rigoureuse précision d'un deux-centième de ligne, ce qui est insensible. » En un demi-siècle, la précision des mesures avait donc sensiblement décuplé.

Les étalons employés par Borda dans les mesures des bases géodésiques étaient constitués par des bandes de platine que l'on pouvait placer dans le même alignement, et que l'on prolongeait par des languettes glissant dans des coulisses, de manière à les amener au contact, tout en mesurant exactement la quantité dont il avait été nécessaire de les allonger. En même temps, la règle de platine était comparée à une bande de laiton qu'elle recouvrait dans toute sa

(1) Pour l'histoire du développement de la métrologie, depuis l'année 1750 environ jusqu'à l'époque actuelle, on consultera avec intérêt le beau mémoire de M. J.-René Benoît, inséré au tome I^er^ des *Rapports présentés au Congrès international de Physique* de 1900; et, pour l'histoire du système métrique, l'ouvrage très documenté de M. G. Bigourdan : *Le Système métrique des Poids et Mesures* (Paris, Gauthier-Villars, 1901).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

longueur, et à laquelle elle était solidement fixée par une extrémité. De la différence de longueur des deux règles, on déduisait leur température dans les mesures sur le terrain, après l'avoir déterminée dans des expériences préliminaires faites au laboratoire.

Les quatre étalons employés par Borda étaient longs de deux toises. L'un d'eux fut considéré comme étalon principal, et reçut le nom de *Module*. Les longueurs des bases, et, par conséquent, celle de l'arc de méridien mesuré par Delambre et Méchain, furent exprimées par rapport au module, et ce fut encore en fonction de cet étalon que fut donnée la longueur du Mètre, qui fut déclaré égal à la fraction 0,256 537 du module.

Tous les étalons employés jusqu'alors étaient des règles à bouts; il était donc naturel de rattacher le mètre au même système.

Le passage de la toise au mètre, qui n'en est pas une partie aliquote, nécessita une opération compliquée, dans laquelle on assembla, bout à bout, un certain nombre de règles, qui furent ensuite comparées entre elles. Cependant, grâce à la grande habileté des opérateurs et au soin extrême de leurs mesures, grâce aussi certainement à une part d'heureuse chance, le mètre se trouva réalisé, conformément à sa définition numérique, avec une précision que l'on ne dépasserait aujourd'hui qu'en faisant usage des appareils les plus perfectionnés (1). Mais il ne faut pas oublier que l'on ne prétendait pas, à cette époque, dépasser sensiblement la précision du centième de millimètre, et que les étalons étaient construits seulement de manière à satisfaire sûrement à cette exigence. Il n'est pas inutile d'ajouter dès maintenant, afin d'éviter une exagération trop fréquente dans l'appréciation de l'exactitude réellement atteinte dans ces mesures, que les différences trouvées récemment entre les règles de Borda s'écartent des anciennes équations relatives d'une quantité supérieure à l'erreur commise dans l'opération, beaucoup plus difficile, du passage du module au mètre.

Le Mètre des Archives de France, qui devint le prototype du système métrique, et ses deux témoins : le Mètre du Conservatoire et le Mètre de l'Observatoire, furent construits d'une manière identique, par agglomération de la mousse de platine obtenue par précipitation d'un sel dissous. Ces règles ont 25 millimètres de largeur, le Mètre des Archives a 4 millimètres d'épaisseur, et les autres 3,5 millimètres. Par définition, le mètre devint égal à la distance des centres des faces terminales de l'étalon des Archives à la température de la glace fon-

(1) Dans des comparaisons faites il y a quelques années et sur lesquelles je reviendrai à l'occasion des étalons géodésiques, nous avons trouvé en effet, M. Benoît et moi, pour le module en fonction du mètre, une longueur différant de la valeur de définition de 5μ seulement, c'est-à-dire d'un peu plus de 1μ par mètre, grandeur négligeable si l'on tient compte du mode de construction des étalons.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dante, sans aucun recours à la relation numérique avec module et par là même avec le méridien terrestre.

La réalisation de l'étalon du kilogramme fut confiée à Lefèvre-Gineau qui, aidé pour une partie du travail par Fabbroni, fit construire, par Lenoir, un cylindre creux de laiton dont les dimensions étaient de 243,5 millimètres dans les deux sens, dont le volume était un peu supérieur à 11 décimètres cubes, enfin dont le poids dans l'eau était de 200 grammes. Les dimensions de ce cylindre furent rapportées, au moyen du comparateur à levier, à la longueur d'une règle égale à la seizième partie du module, et qui avait été comparée aux quinze règles, sensiblement égales, formant, avec elle, cette longueur totale. Les diamètres furent mesurés en huit sections droites et les hauteurs en douze points de trois cercles tracés sur les bases. Les pesées hydrostatiques furent faites à la température de la glace fondante. On trouva que la définition théorique du kilogramme lui assignait une valeur égale à 18 827,15 grains, et on construisit, sur cette donnée, l'étalon en platine pur des Archives.

Pour nous rendre compte du degré d'exactitude auquel pouvait prétendre le résultat de Lefèvre-Gineau et Fabbroni, supposons que l'erreur possible des mesures, estimée par les contemporains à $0^{mm},01$, ait été vraiment atteinte, et que les dimensions adoptées pour le cylindre aient été systématiquement faussées de cette quantité. Il en résultera, sur chaque dimension, une erreur relative de 1/24 350, trois fois plus forte sur le volume, c'est-à-dire une erreur de 123 milligrammes sur le kilogramme.

Les divers observateurs qui, depuis cette époque, ont répété la détermination de la masse du décimètre cube d'eau, ont trouvé des écarts généralement plus considérables; mais ces écarts étaient tantôt positifs, tantôt négatifs, à tel point que le sens même de l'erreur qu'avaient pu commettre Lefèvre-Gineau et Fabbroni resta incertain jusqu'à ces dernières années.

J'anticiperai sur des résultats que nous trouverons ultérieurement, en disant qu'en réalité, le kilogramme est un peu plus lourd que la valeur correspondant à sa définition, mais probablement de 30 à 50 milligrammes seulement, quantité si petite qu'en soumettant l'eau à une pression comprise entre une atmosphère et demie et deux atmosphères, la masse du décimètre cube à 4° serait égale au kilogramme. L'erreur commise dans la réalisation du kilogramme est probablement comprise entre le quart et la moitié de celle qui résulterait de l'erreur systématique que nous avons supposée possible dans les mesures de Lefèvre-Gineau et Fabbroni; les mesures des dimensions du cylindre auraient donc été, en moyenne, exactes à trois microns près environ. Mais on peut aller plus loin; la réduction des observations originales à l'aide de constantes mieux connues aujourd'hui fait apparaître, en effet, le kilogramme comme un peu trop lourd, à tel point que si ces expériences avaient été réduites d'emblée avec des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

coefficients parfaitement exacts, on serait probablement encore, malgré les mesures les plus parfaites de ces dernières années, dans le doute au sujet du signe de l'erreur du kilogramme.

Ce résultat, comme aussi l'étude détaillée des procédés employés par Lefèvre-Gineau et Fabbroni, nous montre combien leur détermination réunit une entente parfaite des procédés de la métrologie avec un soin extrême dans l'exécution et un grand bon sens dans la discussion des résultats. Ces mesures furent beaucoup plus parfaites que la plupart de celles qui furent instituées ultérieurement pour les contrôler (1).

Il ne faudrait pas cependant, comme on l'a fait à plus d'une occasion, passer d'un extrême à l'autre, et, après avoir émis des doutes insuffisamment motivés sur l'exactitude de cette détermination fondamentale, prétendre qu'on ne puisse faire mieux aujourd'hui. On ne saurait trop répéter, qu'à l'époque de la création du système métrique, on ne prétendait pas réduire l'erreur des mesures de longueur notablement au-dessous du centième de millimètre, et que, lorsque les résultats arrivèrent à un plus haut degré de perfection, le hasard vint en aide aux observateurs très entendus, habiles et soigneux, auxquels fut dévolu l'honneur de donner au monde les étalons du nouveau système.

Si, aujourd'hui, nous pouvons, à bon droit, prétendre que les premiers étalons du système métrique sont devenus insuffisants, il ne saurait en résulter aucune critique pour ceux qui les construisirent. Ces étalons correspondaient parfaitement à leur but, et, à une époque où la limite de précision des mesures de longueur était le centième de millimètre, ils permettaient d'obtenir mieux; ils devançaient donc leur temps, et devaient suffire pour une longue période. Mais, à son tour, la métrologie les devança, et les rendit impropres à servir de base fondamentale aux unités métriques; c'est alors que la nécessité d'établir le système des poids et mesures sur des bases scientifiques plus précises, en

(1) Voici, en effet, les nombres résultant, après discussion, des mesures faites pendant le XIX^e^ siècle au sujet de la masse du décimètre cube d'eau à 4° :

Dates.	Observateurs.	Masse du décimètre cube d'eau.
1798-1821	Shuckburgh et Kater.	1kg,000 457
1821	Stampfer.	0,999 750
1825	Berzelius, Svanberg et Akerman.	1,000 296
1841	Kuffper.	0,999 931
1890	Chaney.	0,999 823

Nous donnerons plus loin le résultat des mesures les plus récentes, avec la valeur actuellement la plus probable de la masse du décimètre cube d'eau. Il suffit de noter ici que l'écart maximum entre les valeurs déterminées au cours du siècle dépasse 700 milligrammes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

même temps que sur une plus large organisation, devint une condition absolue de son expansion.

Nous analyserons les circonstances qui rendirent cette organisation nécessaire, et qui furent une conséquence naturelle des progrès de la métrologie au cours du XIX^e^ siècle.

LES PROGRÈS DE LA MÉTROLOGIE DEPUIS LA CRÉATION DU SYSTÈME MÉTRIQUE JUSQU'A L'ORGANISATION INTERNATIONALE

Après l'effort très grand fait par les illustres fondateurs du système métrique, on put observer ce phénomène, fréquent dans l'histoire scientifique, d'un retour en arrière dans les lieux mêmes qui avaient vu le plus grand progrès. Douze ans après la promulgation du système métrique, la législation française admit un système mitigé, qui n'était plus celui de la toise, du pied de Roy et de la livre poids de marc, mais qui rétablissait le pied, la toise et la livre en fonction du mètre et du kilogramme. Au point de vue scientifique, le recul ne fut pas moindre, car c'est à peine si, dans la première moitié du XIX^e^ siècle, on trouve la mention d'une mesure faite avec des soins comparables à ceux que les créateurs du système avaient apportés à leurs déterminations.

En revanche, on voit, en divers pays, les mesures progresser, et des idées nouvelles se faire jour en métrologie.

En Angleterre, les relevés topographiques conduisent à faire des comparaisons étendues, et la construction des étalons procède d'idées différentes de celles qui avaient eu cours jusqu'alors. Dès 1798, sir Georges Shuckburgh déterminait des étalons à traits, c'est-à-dire des étalons définissant une longueur par la distance des axes de deux traits tracés à la surface d'une barre de métal; et, en 1802, son comparateur à microscopes fut apporté en France pour une comparaison des étalons anglais avec les étalons métriques, comparaison qui, répétée ultérieurement par Kater, servit jusqu'à ces derniers temps de base aux équivalents légaux, bien que l'erreur sur le chiffre admis fût de l'ordre de 1/40 000.

Kater semble, dans ses comparaisons, avoir tenu moins grand compte que la commission française des erreurs dues aux températures; en revanche, il indiqua le premier, en 1826, que la distance de deux traits marqués sur la surface d'une règle dépend de son mode de support, et imaginait, pour atténuer cette erreur, de faire supporter une règle très mince par une barre très rigide. C'était une solution hybride et incomplète du problème de la flexion, qui fut résolu plus tard, en Angleterre, par la commission nommée pour restaurer les étalons des poids et mesures détruits dans l'incendie du Parlement en 1834. Cette commission, dont Airy présenta, en 1857, le rapport la à Société royale et dont le travail peut, à bon droit, servir de modèle, construisit des étalons de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

forte section, ayant un pouce au côté, et munis, près des extrémités, de puits mettant à découvert le plan des fibres neutres (fig. 1). Au fond de chaque puits était enchâssée une petite cheville d'or bien polie, et portant un des traits définissant l'une des extrémités du yard. Les comparaisons furent faites à l'aide de microscopes micrométriques, à objectifs achromatiques de fort grossissement.

Par l'ensemble des procédés employés et par le soin apporté à ce travail, les mesures de la Commission anglaise se rapprochent beaucoup de ce qu'on pratique encore aujourd'hui. Cependant, ainsi que le dit M. Benoît dans le rapport déjà cité : « Ses résultats ont malheureusement perdu une certaine partie de leur valeur absolue, par suite de deux circonstances. En premier lieu, la résolution de fixer la température *normale* de l'étalon à 62° F. (16° 2/3 C.), résolution inspirée sans doute par le désir de ne rien changer à de vieilles traditions, et par des considérations de commodité pratique qui n'ont plus pour nous aucune importance; cette résolution, dis-je, devait inévitablement, en liant la définition même de l'unité à une mesure thermométrique, introduire dans cette définition un certain degré de vague et d'imprécision. On ignorait alors que la définition d'une échelle thermométrique « par la dilatation du mercure dans le verre » n'est point suffisante et conduit à autant d'échelles différentes qu'il existe de sortes de verre; on ignorait également les lois des variations des thermomètres et les méthodes propres à en tenir compte et à en éliminer les effets. En deuxième lieu, il paraît certain que, malgré l'extrême souci qui hanta constamment la Commission de construire ses règles d'une matière stable et exempte de toute variabilité avec le temps, malgré les efforts qu'elle fit pour tâcher de leur garantir cette qualité, elle n'y put réussir qu'imparfaitement. Si l'on met en regard avec les comparaisons de Sheepshanks celles qui ont été faites depuis en Angleterre, aux États-Unis et en France, sur un certain nombre de ces étalons, il est difficile d'échapper à la conviction qu'ils ont changé, depuis l'origine, de quantités sensibles. Pour cette double raison, il nous serait impossible de garantir que la relation qui a été déterminée récemment, au Bureau international des Poids et Mesures, entre le Mètre et l'Imperial Standard Yard dans son état actuel, corresponde à la valeur primitive de l'unité du système britannique, jusqu'au degré d'approximation avec lequel la Commission anglaise s'était proposé et s'était flattée de fixer cette unité. »

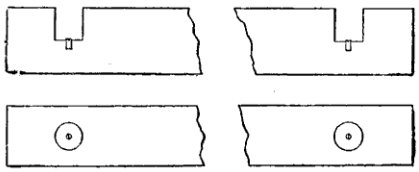


Fig. 1. — Yard étalon, coupe longitudinale et plan.

Kupffer qui, en Russie, fit, à lui seul, un travail métrologique extrêmement considérable, en établissant la *sagène normale* légalement définie par la longueur de 7 pieds anglais, et en lui comparant la plupart des étalons européens, utilisa

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

aussi les règles à traits. Ses recherches, dont les principales s'étendirent de 1833 à 1841, sont postérieures à celles de Shuckburgh et Kater, mais antérieures à celles de la seconde commission anglaise. Il eut, d'ailleurs, avec les métrologistes anglais des rapports fréquents, put leur emprunter certains perfectionnements et leur en communiquer d'autres. C'est lui qui semble avoir substitué à la croisée de fils des micromètres d'autrefois deux fils parallèles entre lesquels le trait est encadré pour les mesures, qui sont devenues dès lors beaucoup plus précises.

« Cependant, dit M. Benoît, l'étalon à bouts n'était pas abandonné. En 1823, Bessel avait fait construire par Fortin une copie de la Toise du Pérou qui était une simple règle plate de fer terminée par des surfaces sensiblement planes et perpendiculaires à sa longueur. Bessel, semble-t-il, nourrissait, à l'égard des règles à traits, quelques préventions, qui lui avaient été inspirées par les observations de Kater sur l'influence des courbures et sur l'influence de l'équation personnelle de chaque observateur, double influence qu'il est aisé de faire disparaître dans des étalons convenablement construits. La toise à bouts s'adaptait mieux, d'ailleurs, aux expériences que Bessel avait en vue, et dont l'objet devait être la détermination de la longueur du pendule battant la seconde à Kœnigsberg. Cette même règle lui servit, en 1835, à ajuster un nouvel étalon pour le royaume de Prusse, étalon qui était encore une règle à bouts, en acier, mais dont les extrémités étaient formées par des pièces de saphir incrustées dans le métal.

« La toise de Kœnigsberg devait prendre plus tard une importance particulière dans l'histoire de la géodésie, parce qu'elle devait devenir, d'une façon plus ou moins directe, la base adoptée comme point de départ pour une grande partie des triangulations européennes faites pendant le XIX^e^ siècle ».

En France, le service des poids et mesures était centralisé au Conservatoire des Arts et Métiers, qui, peu à peu, perfectionna son outillage, et fit construire, en particulier, par Gambey, un comparateur à déplacement longitudinal permettant de comparer des mètres à bouts ou à traits, ou même d'exécuter des tracés. C'est à ce programme complexe qu'on cherche encore à satisfaire dans des comparateurs construits récemment dans un but mi-scientifique, mi-industriel.

La plupart des opérations faites au Conservatoire avant la période de rénovation du système métrique poursuivaient un but plutôt industriel que scientifique; cependant, il faut en excepter quelques déterminations comme celles que firent, en 1859 et 1863, Regnault, Le Verrier, Morin et Brix, sur les étalons métriques que l'État prussien possédait depuis 1827, et qui devaient servir, à partir de 1868, d'étalons provisoires du système métrique dans la Confédération de l'Allemagne du Nord. On peut citer aussi les comparaisons faites par Tresca et Perrier pour déterminer les étalons géodésiques de 3 mètres de longueur construits antérieurement sur les indications de Porro.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Dans les divers travaux qui viennent d'être rapidement esquissés, la métrologie s'était peu à peu transformée. Des idées nouvelles s'étaient substituées à celles qui prévalaient au moment de la création du système métrique. En même temps, l'Europe se couvrait de vastes réseaux de triangles destinés à fixer la position exacte d'un grand nombre de points, tant pour la confection des cartes que pour la détermination de la forme et des dimensions de la Terre. Puis des comparaisons partielles de certains groupes d'étalons étaient faites en divers lieux, notamment à Southampton, où Clarke réunissait, en 1864 et 1865, un grand nombre d'étalons originaux, dont il déterminait les rapports. Et, de la synthèse de tous ces résultats, se dégageait de plus en plus nettement cette idée : que de nouveaux progrès étaient subordonnés à la reprise, sur des bases internationales, de travaux semblables à ceux de la Commission du mètre ou de la Commission anglaise, et dans lesquels on profitât des perfectionnements imaginés pendant une période s'étendant déjà sur plus de soixante années. C'est de cette idée qu'est né le Bureau international des Poids et Mesures.

LA CONVENTION DU MÈTRE

La Conférence geodésique de 1867 et l'action des Académies de Paris et de Saint-Pétersbourg.

Au cours de la Conférence géodésique pour la mesure du degré dans l'Europe centrale réunie à Berlin en 1867, la nécessité d'une réforme de la métrologie pour les besoins de la géodésie fut longuement discutée, et la Conférence adopta un projet dont les articles principaux sont les suivants :

Article 7. — Afin de définir l'unité commune de mesure pour tous les pays de l'Europe, et pour tous les temps aussi exactement et aussi invariablement que possible, la Conférence recommande la construction d'un nouveau mètre prototype européen. La longueur de ce mètre européen devrait différer aussi peu que possible de celle du mètre des Archives de France, à Paris, et il doit, en tout cas, lui être comparé avec la plus grande exactitude. Dans la construction du nouvel étalon prototype, il faut avoir surtout en vue la facilité et l'exactitude des comparaisons nécessaires.

Art. 8. — La construction du nouveau prototype, ainsi que la confection et la comparaison de ses copies destinées aux différents pays, devrait être confiée à un comité international, dans lequel les États intéressés seraient représentés.

On le voit, le projet élaboré par l'Association géodésique était limité à l'étalon de longueur, et ne faisait aucune mention de l'étalon de masse, qui ne présentait pour elle aucun intérêt. Mais le projet de l'Association géodésique devait être bientôt complété et puissamment appuyé par l'intervention de l'Académie des Sciences de Saint-Pétersbourg qui, en 1869, proposa à l'Académie des Sciences de Paris une action commune pour l'établissement du système métrique international des poids et mesures.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences* nous ont conservé, de cette période, le souvenir de discussions qui dégénérèrent parfois en débats assez vifs. D'éminents académiciens, insuffisamment métrologistes, entraient difficilement dans l'esprit du projet. Ainsi, le vénérable Chevreul disait, le 8 octobre 1869, en des termes empreints d'une certaine violence : « Si la Conférence géodésique de Berlin projette de remplacer le mètre de l'an VIII, c'est qu'elle le trouve défectueux. Eh bien ! le trouvant tel, je ne comprends pas la phrase... Ce mètre européen devra différer aussi peu que possible du mètre de l'an VIII (1).

Il convenait de citer cette opinion, assez répandue à l'époque de ces discussions, et suivant laquelle la création d'un nouveau prototype du mètre était ou superflue ou nuisible. Mais nous avons vu quels progrès avaient été réalisés depuis le commencement du siècle, dans la construction et la comparaison des étalons. On avait substitué au Mètre des Archives, barre flexible aux extrémités de laquelle il fallait appliquer des palpeurs, de robustes règles à traits, tracées sur le plan des fibres neutres, et que l'on observait avec des microscopes à fort grossissement. On évitait ainsi les déformations générales ou locales de la règle, les chances de détérioration par des contacts maladroits, le danger des poussières s'interposant entre la règle et les palpeurs; bref, on substituait à un étalon et à des procédés créés pour une époque où le centième de millimètre était la limite de la précision cherchée, des méthodes susceptibles de donner très simplement une précision beaucoup plus grande. A ces considérations, qui n'échappaient pas aux auteurs du projet de l'Association géodésique, s'ajoutait le fait qu'une règle à traits est immédiatement comparable avec sa subdivision, tandis qu'une règle à bouts constitue un étalon d'une seule longueur; que, en dehors de cas particuliers, la science fait usage de toute longueur sans que l'unité fondamentale soit privilégiée, et que le véritable étalon des laboratoires est une règle divisée qui, si elle porte tous les millimètres, fournira 1000 étalons progressant de 1 millimètre jusqu'à 1 mètre, tandis que le même avantage n'est donné, dans le système à bouts, que par une collection de 1000 étalons différents.

Ce n'est pas à dire que l'étalon à traits soit toujours préférable à l'étalon à bouts; nous rencontrerons des cas où il en est autrement; mais, pour l'étalon fondamental du Système métrique, le problème n'admettait plus qu'une solution, restée actuelle encore aujourd'hui, celle de la création d'un étalon à traits, robuste, inaltérable et tracé sur le plan des fibres neutres.

Par la décision de comparer le mieux possible le nouvel étalon à celui des Archives de France, on assurait la continuité entre les travaux anciens et les

(1) Voir Annexe I. L'opinion de Chevreul se modifia après la lecture du rapport de J.-B. Dumas, reproduit dans cette annexe.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

recherches futures, et on donnait aux déterminations ultérieures une certitude et une facilité bien plus grandes dans les comparaisons.

Les Travaux de la Commission internationale du Mètre (1).

Les premières réunions de la Commission internationale du Mètre eurent lieu à Paris en août 1870. Bientôt interrompues, elles furent reprises en septembre 1872. C'est surtout dans ces réunions que l'adjonction de l'étude du kilogramme au programme des travaux devint définitive; en même temps, ce programme fut étendu aux questions de métrologie générale.

Dès la première séance, il fut donné lecture des propositions élaborées par la Commission dans ses premières réunions, ou par le Comité des recherches pré-

(1) La Commission internationale était constituée comme suit :

Allemagne	Dr Foerster.
Angleterre	Sir G.-Biddell Airy, W.-H. Miller, Chisholm.
République Argentine	Mariano de Balcarce.
Autriche	Dr J. Herr, Dr von Lang.
Hongrie	E. de Krusper, C. de Szily.
Bavière	De Jolly.
Belgique	H. Maus, Stas, Heusschen.
Chili	C. Gay.
Colombie	Torrès el Caïcedo.
Danemark	Holten.
Espagne	Général Ibañez.
États-Unis d'Amérique	J. Henry, J.-E. Hilgard.
Rép. de l'Équateur	Aguirre y Montufar.
France	L. Mathieu, Général Morin, Le Verrier, Faye, Fizeau, H. Sainte-Claire Deville, Général Jarras, E. Becquerel, Eug. Peligot, H. Tresca.
Grèce	Soutzo.
Haïti	(Non représenté).
Italie	Marquis J. Ricci, G. Govi.
Nicaragua	Michel Chevalier.
Pays-Bas	Stamkart, Bosscha.
Pérou	Don Pedro Galvez, Dr E. Bonifaz.
Portugal	Général Morin.
Russie	De Jacobi, Otto Struve, H. Wild.
Saint-Siège	Le R. P. Secchi.
San-Salvador	Torrès el Caïcedo.
Suède	Général baron Wrede.
Norvège	Dr Broch.
Suisse	Dr Ad. Hirsch.
Turquie	H. Husny Bey.
Uruguay	Don Mathéo Margarinos Cervantès.
Venezuela	Dr Eliseo Acosta.
Wurtemberg	Dr Steinbeis.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

paratoires. Voici le texte du programme complexe qui fut, dès ce jour, proposé aux délibérations de la Commission :

« 1. Pour l'exécution du mètre international, on prend comme point de départ le mètre des Archives, dans l'état où il se trouve.

2. Jusqu'à l'époque des comparaisons définitives, le mètre des Archives ne devra servir à aucune comparaison.

3. Les comparaisons définitives devront être faites, en premier lieu, avec des touches cylindriques à génératrices verticales, et semblables à celles du comparateur original de Lenoir, puis avec des touches semblables à celles des comparateurs employés plus récemment, sous réserve d'employer ensuite tout autre moyen que les circonstances pourraient suggérer.

4. Avant ces comparaisons, les détails des surfaces terminales devront être examinés par des moyens optiques convenablement appropriés; mais aucun appareil à contact ne pourra être employé dans le même but qu'après les vérifications mentionnées dans l'article 3.

5. D'après les résultats de toutes ces recherches, la Commission définira la longueur à donner au mètre international.

6. Le mètre international doit-il être un mètre à traits ou un mètre à bouts?

7. Quelle est la matière en laquelle le mètre international devra être construit?

8. Quelle forme convient-il de donner au mètre international?

9. Le mètre international doit-il être accompagné de thermomètres qui lui seraient spécialement affectés?

10. Quel mode de support convient-il d'employer pour que le mètre international soit constamment maintenu dans une condition autant que possible invariable?

11. A quelle température doit-il avoir la longueur du mètre des Archives?

12. Dilatation.

13. Comparateur.

14. La Commission émet le vœu que, dans l'intérêt de la science géodésique, le Gouvernement français fasse mesurer à nouveau, en temps opportun, une des anciennes bases françaises.

15. Utilité de la création, avant la fin des opérations de la Commission, d'un bureau international des poids et mesures à Paris, entretenu aux frais communs des États intéressés, sous la direction d'un Comité permanent et la haute surveillance de la Commission internationale dans ses réunions périodiques.

16. Le kilogramme international doit-il être déduit directement du kilogramme des Archives, dans son état actuel, ou être construit à nouveau en partant d'une définition théorique?

17. En tout cas, il est nécessaire de déterminer, par les moyens les plus précis, le poids du décimètre cube d'eau distillée.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

18. Quelle est la matière en laquelle le kilogramme international doit être construit?

19. Quelle forme convient-il de donner au kilogramme international?

20. Le kilogramme international doit-il être rapporté à la pesée dans le vide ou au poids dans l'air, dans des conditions déterminées?

21. Étudier l'influence des milieux, en ce qui concerne l'invariabilité du poids.

22. Poids spécifique et dilatation.

23. Balance et instruments accessoires. »

Ce programme contient une partie en quelque sorte administrative et une partie technique. En ce qui concerne la première, la Commission avait pleins pouvoirs pour prendre des décisions ; la seconde, au contraire, exigeait des études que se répartirent ses membres les plus compétents.

Pour les étalons de longueur, le développement de la métrologie conduisait aux mesures à traits ; mais deux questions fort importantes restaient à résoudre : Quelle devait être la forme du mètre prototype, et quelle devait en être la matière? Henri Tresca s'occupa de la première de ces questions, H. Sainte-Claire Deville de la seconde, à l'étude de laquelle l'avaient particulièrement préparé ses grands travaux sur les métaux de la mine de platine. Le platine pur étant trop mou, il proposa, après de nombreux essais, de s'en tenir à un alliage de platine avec 10 p. 100 d'iridium, et la commission se rallia à ce projet.

Les progrès de la technique et des arts de précision n'ont point encore démenti la justesse des vues de Sainte-Claire Deville, car le platine iridié est resté, depuis cette époque, le type de l'alliage le plus parfait que l'on puisse réaliser, tant pour sa dureté que pour son inaltérabilité et ses propriétés élastiques. On a souvent dépassé, depuis cette époque, la teneur de 10 p. 100 d'iridium, dans le but d'obtenir des alliages de plus en plus durs ; mais la dureté de l'alliage de Sainte-Claire Deville est, d'une part, absolument suffisante pour permettre les plus beaux polis et des tracés de la plus grande perfection, et d'autre part le prix très élevé de l'iridium prescrivait de ne pas abuser de ce métal.

Tresca, qui avait beaucoup manipulé la règle de platine du Conservatoire, avait bientôt reconnu son insuffisante rigidité, et était gagné d'avance à des étalons peu déformables. L'importance du plan des fibres neutres comme support des tracés ne faisait aucun doute pour lui ; cependant la considération du prix prohibitif des étalons, s'ils étaient construits en platine iridié dans la forme des étalons anglais, tout comme la crainte de déformations irrégulières dans des barres de section non uniformes, l'engagea à étudier certaines sections de règles réalisant à la fois la condition de la mise à découvert du plan des fibres neutres dans toute leur longueur et un allégement maximum des profils.

Voici les données numériques relatives à diverses sections qu'il étudia :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Tableau des données mécaniques des différents profils (voir fig. 2).

DÉSIGNATION DES PROFILS.	AIRE DU PROFIL S en mm².	MOMENT D'INERTIE I en mm⁴.	COEFFICIENT DE RAIDEUR. I : S	RAPPORTS entre les MOMENTS d'inertie.	RAPPORTS entre les COEFFICIENTS de raideur.
Profils rectangulaires.					
1. Étalon des Archives. . .	100	133	1,33	1,000	1,00
2. Étalon du Conservatoire.	87,5	089	1,02	0,670	0,77
3. Mètres de Gambey (en laiton).	210	857	4,08	6,431	3,05
Profils carrés.					
4. Côté de 10 millimètres. .	100	833	8,33	6,250	6,25
5. — 15 — . .	225	4 219	18,75	31,641	14,06
6. — 20 — . .	400	13 333	33,33	100,000	25,00
7. Côté de 25 millimètres (yards anglais).	625	32 552	52,08	244,140	39,06
Profil rectangulaire à bords creux.					
8. Règle provisoire en platine iridié.	271,46	5 226	19,25	39,19	14,44
Profils en H (nervures de 3 millimètres).					
9. Profil simple de 16 millim.	117,82	1 873	15,90	14,00	11,93
10. Profil de 16 millim. avec talons.	125,45	2 424	19,32	18,18	14,49
11. Profil simple de 20 millim.	152,31	3 677	24,14	27,58	18,11
12. Profil de 20 millim. avec talons.	167,08	5 522	33,05	41,41	24,79
Profils en X (nervures de 3 millimètres).					
13. Profil simple de 16 millim.	106,87	1 954	18,28	14,65	13,71
14. Profil de 16 millim. avec talons.	122,65	2 642	21,72	19,82	16,29
15. Profil simple de 20 millim.	132,35	3 864	29,19	28,98	21,90
16. Profil de 20 millim. avec talons.	150,92	5 213	34,53	39,10	25,90

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Parmi les profils étudiés, celui qui possède le plus grand coefficient de raideur pour des dimensions données est le profil en X, avec talons, dont les constantes sont calculées sous les chiffres 12 et 16. Mais, pour avoir le vrai coefficient de mérite, en tenant compte du prix du métal, il faut diviser les nombres de la dernière colonne par ceux de la première, de manière à établir ainsi la

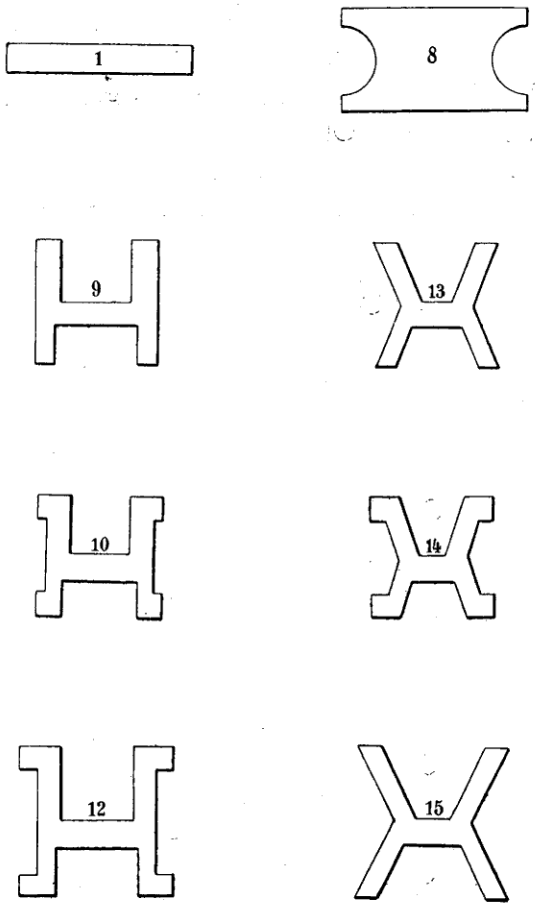


Fig. 2. — Profils de règles, étalons étudiés par H. Tresca.

petitesse des flexions que l'on peut obtenir pour un prix donné. Dans ces conditions, l'excellence de la section en X devient encore plus évidente.

La réalisation de cette section est, il est vrai, d'une assez grande difficulté, mais l'augmentation du prix de façon qui en résulte est largement compensée par l'économie du métal. En revanche, lorsqu'il s'agira d'appliquer les mêmes principes à un métal peu coûteux, on attribuera une moins grande importance à la matière réellement employée dans la section, et on tiendra un plus grand

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

compte des difficultés du travail. Lorsque le déchet sera sans valeur aucune, on cherchera les formes les plus simples mettant à découvert le plan des fibres neutres, et on augmentera la raideur par un grandissement des cotes, à moins cependant qu'une limite de poids ne soit imposée aux étalons, comme le cas se présente en géodésie.

A l'issue des réunions de 1872, la Commission condensa ses discussions dans quarante résolutions (1), qui se résument dans la conservation des valeurs représentées par les étalons des Archives et leur remplacement par les étalons internationaux, la création du Bureau international des Poids et Mesures et le programme de travail de cet établissement.

La Convention du Mètre, qui consacra la création du Bureau international des Poids et Mesures, fut signée à Paris le 20 mai 1875. En voici le texte:

ARTICLE PREMIER. — Les Hautes Parties contractantes s'engagent à fonder et entretenir, à frais communs, un *Bureau international des Poids et Mesures*, scientifique et permanent, dont le siège est à Paris.

ART. 2. — Le Gouvernement français prendra les dispositions nécessaires pour faciliter l'acquisition ou, s'il y a lieu, la construction d'un bâtiment affecté à cette destination, dans les conditions déterminées par le Règlement à la présente Convention.

ART. 3. — Le Bureau international fonctionnera sous la direction et la surveillance exclusives d'un *Comité international des Poids et Mesures* (2), placé lui-même sous l'autorité d'une *Conférence générale des Poids et Mesures*, formée de délégués de tous les gouvernements contractants.

ART. 4. — La présidence de la Conférence générale des Poids et Mesures est attribuée au président en exercice de l'Académie des Sciences de Paris.

ART. 5. — L'organisation du Bureau, ainsi que la composition et les attributions du Comité international et de la Conférence générale des Poids et Mesures, sont déterminées par le règlement annexé à la présente Convention.

ART. 6. — Le Bureau international des Poids et Mesures est chargé :

1° De toutes les comparaisons et vérifications des nouveaux prototypes du mètre et du kilogramme;

2° De la conservation des prototypes internationaux;

3° Des comparaisons périodiques des étalons nationaux avec les prototypes internationaux et avec leurs témoins, ainsi que de celles des thermomètres étalons;

4° De la comparaison des nouveaux prototypes avec les étalons fondamentaux des poids et mesures non métriques employés dans les différents pays et dans les sciences;

5° De l'étalonnage et de la comparaison des règles géodésiques

(1) Le Comité international se compose de 14 membres élus par la Conférence, et du directeur du Bureau, qui en fait partie de droit. Voici la liste complète des membres du Comité, avec la date de leur élection. Les noms en italiques sont ceux des membres actuels du Comité.

MM. Broch, *Foerster*, Govi, Herr, Hilgard, Hirsch, Husny-Bey, Ibañez, Morin, Stas, de Wrede, Wild (1875); Gould, de Krusper (1879), J.-B. Dumas (1880), J. Bertrand (1884), Aguiar, Christie, von Oppolzer, Thalèn (1885), *von Lang* (1887), *de Macedo* (1887), *Arndsten*, Brioschi, *Chaney* (1891), *de Arrillaga*, de *Bodola*, *Hepitès* (1894), Ferraris, *Mendeleef* (1895), *Blaserna*, *Michelson* (1897), *Cornu*, *Hasselberg* (1900). Directeurs MM. Govi (1875), Broch (1883), Benoît (1889).

(2) Voir annexe II.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

6° De la comparaison des étalons et échelles de précision dont la vérification serait demandée, soit par des Gouvernements, soit par des sociétés savantes, soit même par des artistes ou des savants.

ART. 7. — Le personnel du Bureau se composera d'un directeur, de deux adjoints et du nombre d'employés nécessaire.

A partir de l'époque où les comparaisons des nouveaux prototypes auront été effectuées et où ces prototypes auront été répartis entre les divers États, le personnel du Bureau sera réduit dans la proportion jugée convenable.

Les nominations du personnel du Bureau seront notifiées par le Comité international aux Gouvernements des Hautes Parties contractantes.

ART. 8. — Les prototypes internationaux du mètre et du kilogramme, ainsi que leurs témoins, demeureront déposés dans le Bureau ; l'accès du dépôt sera uniquement réservé au Comité international.

ART. 9. — Tous les frais d'établissement et d'installation du Bureau international des Poids et Mesures, ainsi que les dépenses annuelles d'entretien et celles du Comité, seront couverts par des contributions des États contractants, établies d'après une échelle basée sur leur population actuelle.

ART. 10. — Les sommes représentant la part contributive de chacun des États contractants seront versées, au commencement de chaque année, par l'intermédiaire du Ministère des Affaires étrangères de France, à la Caisse des dépôts et consignations à Paris, d'où elles seront retirées au fur et à mesure des besoins, sur mandats du Directeur du Bureau.

ART. 11. — Les Gouvernements qui useraient de la faculté, réservée à tout État, d'accéder à la présente Convention, seront tenus d'acquitter une contribution dont le montant sera déterminé par le Comité sur les bases établies à l'article 9, et qui sera affectée à l'amélioration du matériel scientifique du Bureau.

ART. 12. — Les Hautes Parties contractantes se réservent la faculté d'apporter d'un commun accord à la présente Convention toutes les modifications dont l'expérience démontrerait l'utilité.

ART. 13. — A l'expiration d'un terme de douze années, la présente Convention pourra être dénoncée par l'une ou l'autre des Hautes Parties contractantes.

Le Gouvernement qui userait de la faculté d'en faire cesser les effets en ce qui le concerne sera tenu de notifier son intention une année d'avance, et renoncera, par ce fait, à tous droits de copropriété sur les prototypes internationaux et sur le Bureau.

ART. 14. — La présente Convention sera ratifiée suivant les lois constitutionnelles particulières à chaque Etat; les ratifications en seront échangées à Paris dans le délai de six mois ou plus tôt si faire se peut. Elle sera mise à exécution à partir du 1er janvier 1876.

En foi de quoi, les plénipotentiaires respectifs l'ont signée et y ont apposé le cachet de leurs armes.

Signé : HOHENLOHE, APPONYI, BEYENS, Vicomte D'ITAJUBA, M. BALCARCE, L. MOLTKE-HWITFELDT, Marquis DE MOLINS, CARLOS IBANEZ, E.-B. WASHBURNE, DECAZES, C. DE MEAUX, DUMAS, NIGRA, P. GALVEZ, FRANCISCO DE RIVEIRO, JOSE DE SILVA MENDES LEAL, OKOUNEFF, ADELSWARD, KERN, HUSNY, E. ACOSTA.

Fait à Paris, le 20 mai 1875.

Cette Convention mit fin à l'existence active de la Commission internationale du Mètre, qui abandonna l'exécution de ses décisions à la Section française, chargée de la confection des étalons métriques, et au Comité internatio-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nal des poids et mesures, qui eut dès cette époque la haute surveillance du Bureau.

J'anticiperai sur l'histoire de cet établissement en disant que la première partie de son programme put être considérée comme accomplie lorsque, en 1889, les étalons furent distribués à tous les États qui en avaient fait la commande en temps utile. Mais, depuis que les travaux avaient été prescrits par les quarante décisions de la Commission, les recherches du Bureau lui-même avaient montré que certaines exigences de ce programme pouvaient passer à bon droit comme exagérées, et le Comité international en simplifia certaines parties; en revanche, il fut complété et sensiblement augmenté sur d'autres points, et il en résulta un accroissement considérable dans les travaux du Bureau.

D'une manière générale, on peut dire que les attributions du Bureau international n'ont cessé de croître, grâce au succès de ses recherches et par le fait même du développement scientifique dans le dernier quart de siècle.

Nous allons maintenant, sans égard pour l'ordre chronologique chercher à embrasser les diverses branches de l'activité du Bureau dans les vingt-cinq années écoulées, et donner une image de son organisation actuelle.

Le Bureau international des Poids et Mesures (1).

Aussitôt après la signature de la Convention du mètre, le Gouvernement français mit à la disposition du Comité international le domaine national du

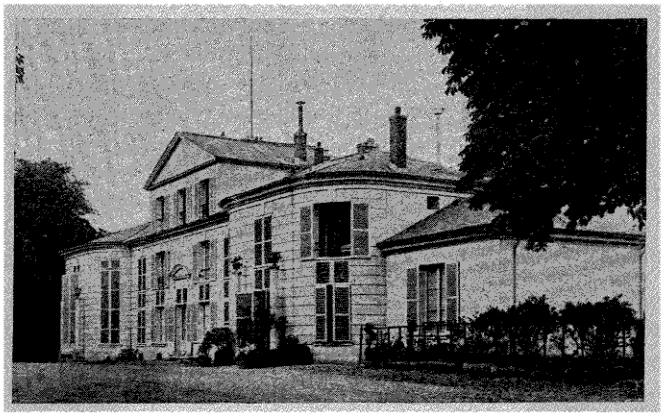


Fig. 3. — Le Pavillon de Breteuil, Bureaux et habitations, côté ouest.

Pavillon de Breteuil (fig. 3 et 4), situé à mi-côte du parc de Saint-Cloud, en un endroit isolé et bien protégé contre les trépidations, condition nécessaire à la

(1) Les pages qui suivent sont un très court résumé des publications du Comité et du Bureau international, qui comprennent actuellement 22 volumes de *Procès-verbaux* (in-8) et 11 volumes de *Travaux et Mémoires* (in-4); le tome XII est sous presse.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

bonne marche des travaux prévus. Le Comité fit alors réédifier les bâtiments d'habitation et fit construire les laboratoires spécialement aménagés pour des mesures de haute précision.

Dans la construction des locaux destinés aux observations, on eut surtout en vue la solidité de l'ensemble et une protection aussi parfaite que possible contre les variations de la température extérieure. Le bâtiment, dont les figures 5 et 6 donnent le plan et une coupe, se compose d'un gros massif protégé d'un côté par un avant-corps et de l'autre, par la colline qui s'en trouve à une petite dis-



Fig. 4. — Le Pavillon de Breteuil, côté est.

tance. Le rectangle comprenant les salles 11, 12, et 13 est de construction toute récente ainsi que le couloir souterrain.

Les salles d'observation, construites sur un modèle uniforme, sont extrêmement spacieuses. Elles sont entourées de murs épais, constitués par deux enveloppes que sépare une substance mauvaise conductrice de la chaleur. Un couloir entoure le massif formé par les grandes salles, qui reçoivent leur lumière par des lanternes élevées, isolant pour chacune d'elles une sorte d'entonnoir pris dans un grenier de 3 mètres de hauteur. Ces lanternes sont fermées par un vitrage supérieur et par une ou deux glaces à la partie inférieure. Les rayons directs du soleil ne pénètrent jamais dans la salle elle-même; ils frappent les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

parois de la lanterne au-dessus des glaces inférieures, et ne peuvent influencer que bien peu la température des salles. La protection est si efficace que, dans les jours les plus chauds de l'été, alors que l'écart entre la température extérieure et celle de l'intérieur atteint une dizaine de degrés, les variations diurnes dans les salles dont on a soin de tenir les portes fermées dépassent rarement un dixième de degré, et un enregistreur peut fonctionner souvent plus d'une

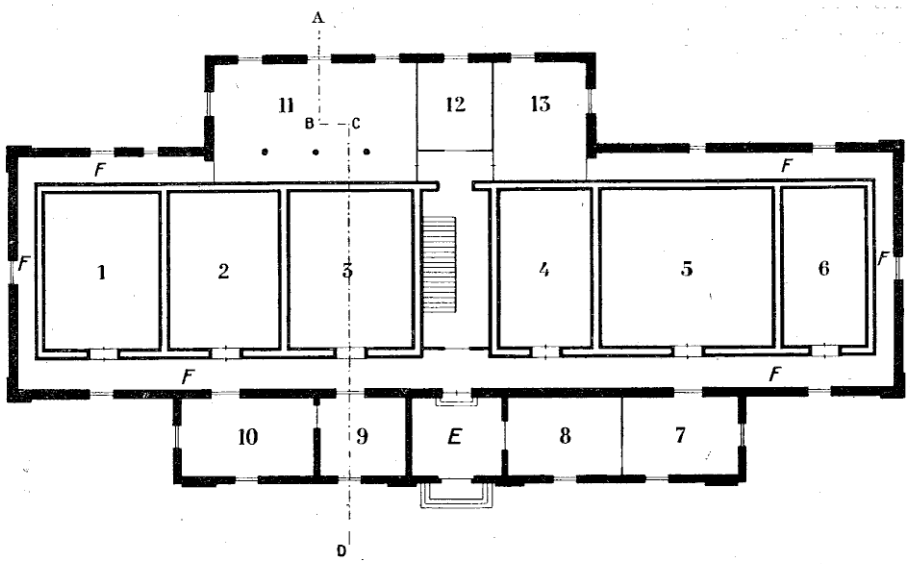


Fig. 5. — Plan de l'Observatoire du Bureau international, situé à l'ouest du Pavillon (fig. 3).

Salles. 1, Comparateur géodésique. — 2, Comparateur universel. — 3, Comparateur à dilatation, appareil Fizeau, petit baromètre. — 4, comparateurs Brunner et Hartmann. — 5, Balances, grand baromètre, machine à diviser. — 6, Appareil Michelson, balance hydrostatique. — 7 et 8, Thermomètres à gaz. — 9 et 10, Étude du thermomètre à mercure et de l'élasticité des métaux. — 11, Mesures électriques et expériences d'optique. — 12. Batterie d'accumulateurs. — 13, Manipulations chimiques. — E, Vestibule d'entrée. F, Couloir entourant les principales salles d'observation. La base géodésique est située au-dessous du couloir antérieur FF. — ABCD, coupe brisée de la figure 6.

semaine sans que son indication s'écarte sensiblement d'une ligne horizontale.

Dans des conditions d'isolement aussi parfaites, la plus grosse perturbation est due souvent à l'observateur, dont la chaleur propre, dans une salle où il se tiendrait pendant une journée entière, pourrait élever la température de plusieurs dixièmes de degré.

Mais on peut, si on le juge nécessaire, atténuer encore ces variations, en remplaçant, pendant l'absence de l'observateur, la chaleur qu'il engendre par celle d'une petite flamme de gaz brûlant dans un poêle, dont les produits de combustion sont enlevés par un tuyau très long, régnant sur trois parois de la salle et répartissant le mieux possible sa chaleur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En hiver, pour éviter la trop grande humidité, il est bon de maintenir la température des salles un peu au-dessus de la température moyenne de la saison. On y parvient dans de très bonnes conditions, en munissant les poêles à gaz d'un thermo-régulateur, imaginé par M. Benoît, et représenté dans la figure 7.

Le gaz passe en permanence par un petit robinet que l'on met en veilleuse, mais l'alimentation principale est faite par une branche de la canalisation. Un tube de verre, qui porte une fente près de son extrémité, plonge dans le mer-

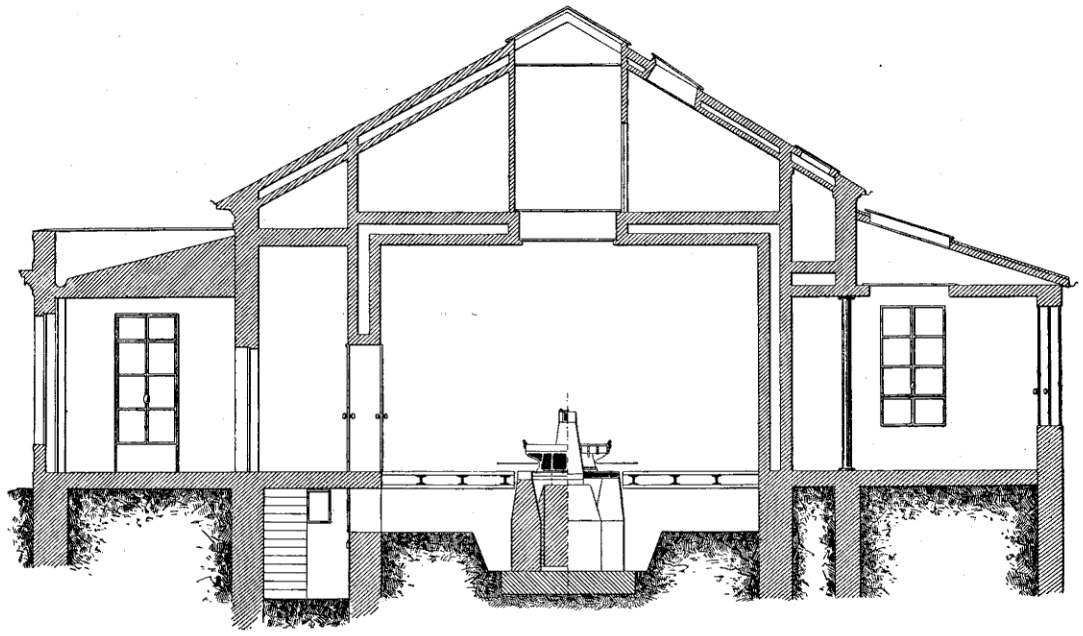


Fig. 6. — Observatoire du Bureau international; coupe brisée suivant A B C D de la figure 5.
La coupe montre le comparateur à dilatation avec ses piliers et sa fondation.

cure fermant un gros thermomètre à essence de pétrole. Ce régulateur, dont le fonctionnement est évident, maintient la température d'une salle à un dixième de degré près, aussi longtemps que la température extérieure reste inférieure à celle pour laquelle il est réglé.

Toutes les expériences très délicates sont faites dans des salles ainsi aménagées. Les salles de l'avant-corps (salles 7 à 10), et les salles récemment construites (11, 12 et 13) sont destinées à des recherches exigeant une constance moins parfaite de la température.

Les parquets des salles d'observation sont suspendus sur des poutrelles appuyées sur les murs. Les instruments, en revanche, sont portés par des piliers

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

reposant directement sur le sol, et qui traversent les planchers auxquels ils ne sont reliés que par des toiles empêchant les poussières ou les courants d'air de remonter du sous-sol; mais la liaison entre les piliers et le parquet est trop souple pour que les trépidations puissent passer de l'un à l'autre.

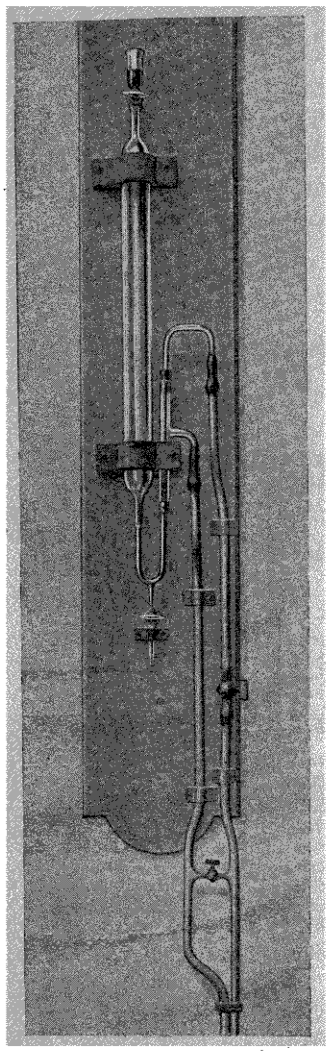


Fig. 7. — Thermo-régulateur de salle, gouvernant le courant de gaz alimentant le poêle.

Outre les salles dont il vient d'être question, il a été créé récemment, en vue des mesures géodésiques, un couloir enterré se confondant, dans le plan, avec le passage antérieur. Ce couloir, dont la longueur utilisable est d'environ 40 mètres, comporte une installation servant à l'étalonnage des appareils que l'on emploie dans la mesure rapide des bases.

La légende accompagnant le plan donne une indication sommaire de l'affectation des diverses salles, que nous reprendrons plus tard en détail.

Les travaux du Bureau international se répartissent tout naturellement sur deux sections, chargées respectivement des mesures de longueur et des pesées. Mais toute mesure de longueur est affectée par la température, le résultat de toute pesée dépend de la densité de l'air, indiquée elle-même par sa température et la pression à laquelle il est soumis. Le thermomètre et le baromètre sont donc les auxiliaires obligés des déterminations de longueur et de masse, et le progrès de ces dernières est lié à celui des mesures accessoires; l'étude du thermomètre et du baromètre ont donc préoccupé le Bureau international. Ces instruments donnent la valeur des variables dont les résultats cherchés sont les fonctions; il est donc naturel de commencer par indiquer les progrès réalisés dans leur instruction et les perfectionnements auxquels a conduit l'étude minutieuse qui en a été faite.

(*A suivre.*)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHIMIE

FOUR ROTATIF *Lessing* ET *Rheinfeld.*

L'usage des fours rotatifs se répand de plus en plus dans un grand nombre d'industries chimiques, principalement, comme le savent nos lecteurs, dans l'industrie des ciments. Les perfectionnements récemment apportés à ces appareils par MM. Lessing et Rheinfeld sont intéressants, parce qu'ils paraissent de nature à en améliorer le fonc-

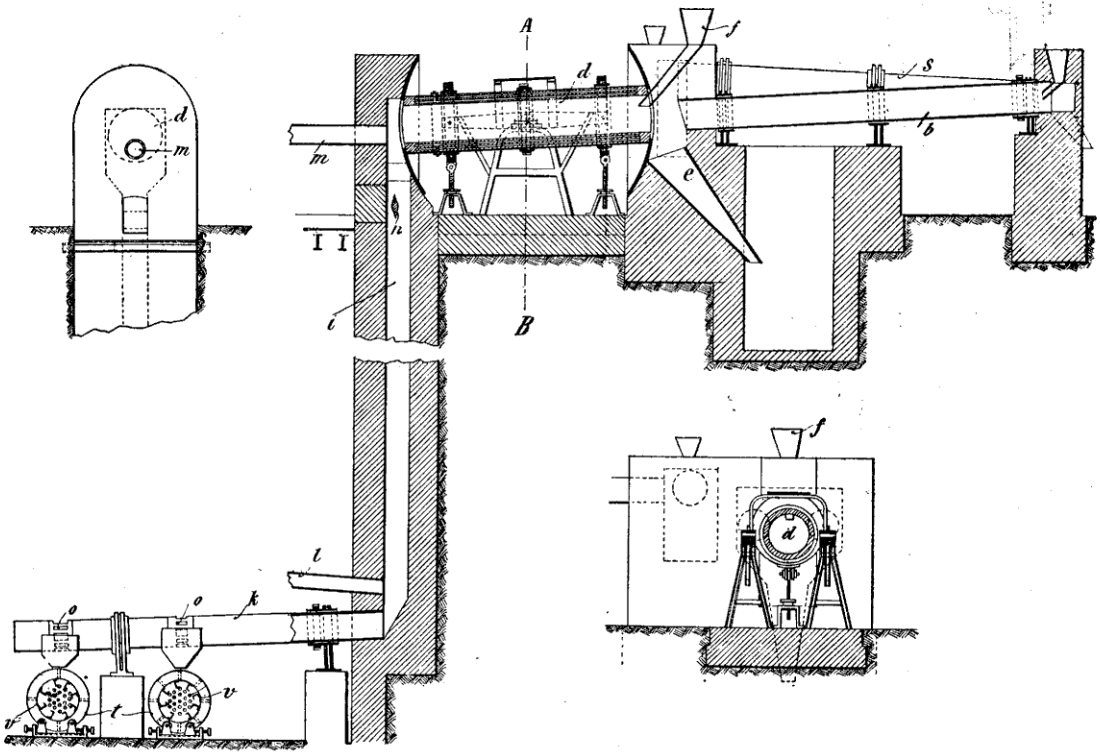


Fig. 1, 2 et 3. — Four tournant *Lessing* et *Rheinfeld.* Ensemble de l'installation.

tionnement et le rendement, notamment par une meilleure récupération des chaleurs perdues.

Dans leur procédé, la matière à calciner est introduite, à l'état convenablement concassé, par *a* (fig. 1 et 4) dans les sécheurs tournants *b* et *c*, armés (fig. 5) de cannelures longitudinales qui ramassent cette matière et la laissent retomber pendant qu'elle descend dans ces tubes, en sens inverse du courant des gaz chauds qui sortent du four tournant *d*. De là, la matière, suffisamment chauffée, passe en *e*, d'où un élévateur l'apporte aux broyeurs pulvérisateurs; et, de ces broyeurs, elle passe, par *f*, au four tournant *d*, puis, de ce four, au four vertical *i*, avec cône *n*, l'empêchant de s'y tasser. Ce four vertical reçoit en *l* du gaz combustible chaud et en *k* de l'air également chaud, et qui se mêle au gaz pour former une colonne verticale de flammes traversant *i*, *d*, *c*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

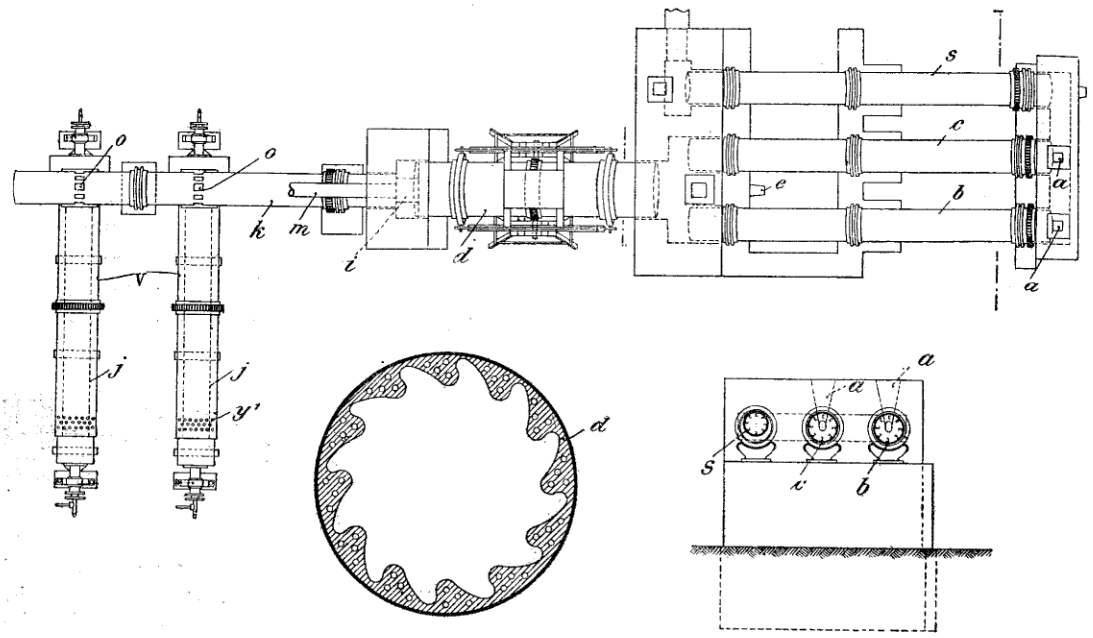


Fig. 4 à 6. — Four tournant *Lessing* et *Rheinfeld*. Plan de l'ensemble et coupe transversale du four *d*.

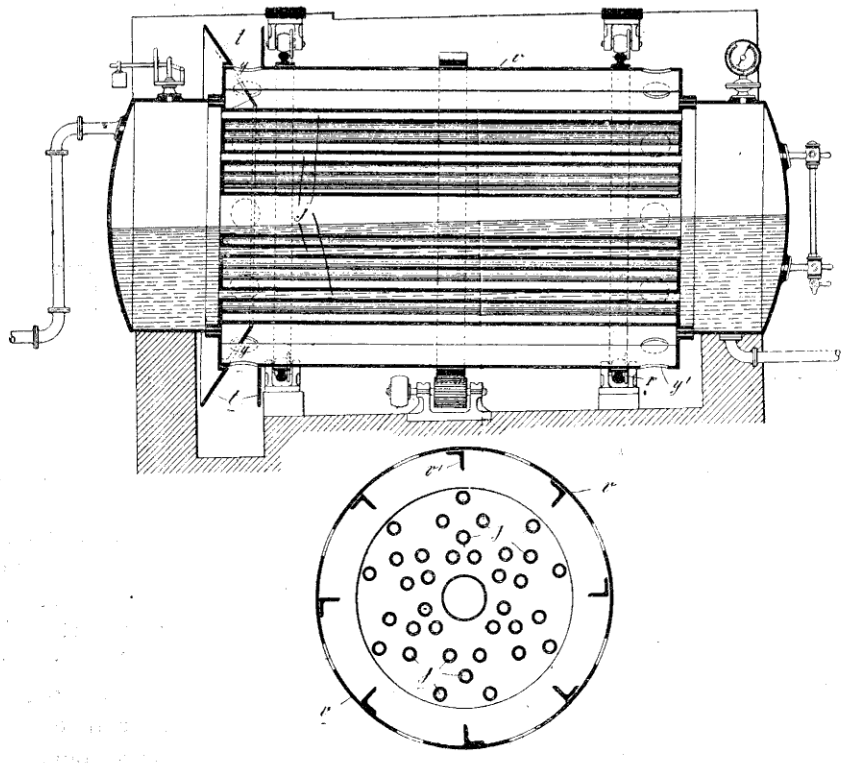


Fig. 7 et 8. — Récupérateur de chaleur *Lessing* et *Rheinfeld*.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et b, aidée, s'il le faut, d'une flamme supplémentaire introduite directement en d par m. La chaleur intense de cette flamme en i, agissant sur la poussière qui tombe dans ce four, la grille à fond, à la température de l'incandescence, sans danger de la voir s'agglomérer.

Le cylindre k, garni, comme b et c, de rainures, est très long; la matière, qui y arrive à sa température la plus élevée, est intimement mélangée aux courants d'air frais qui entrent par les ouvertures o, par où elle tombe en u et dans les cylindres w.

Chacun de ces tambours v, qui tourne sur les galets r, reçoit la matière en y, par

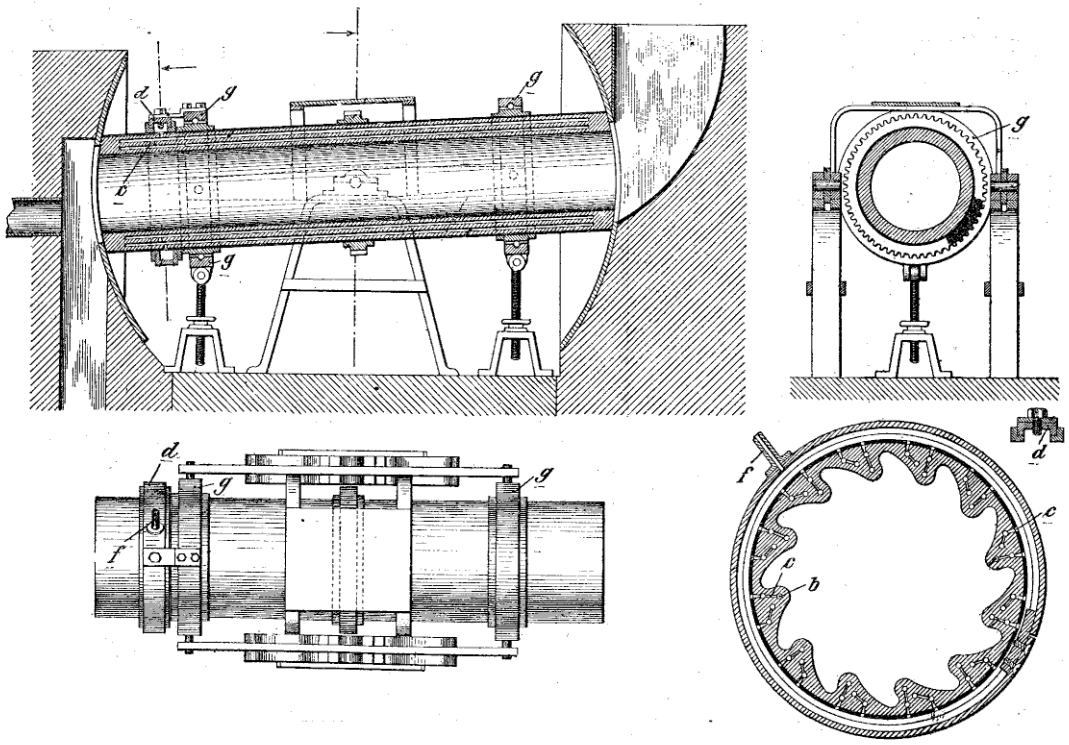


Fig. 9 à 12. — Four tournant. *Lessing* et *Rheinfeld*. Détail du four.

la trémie circulaire t, et entoure une chaudière tubulaire j (fig. 7) sur les tubes de laquelle la matière est distribuée par les palettes x', pour s'évacuer, complètement refroidie, par y'.

Le four tournant d est représenté en détail par les figures 9 à 12; il repose sur des paliers à billes qui permettent d'en faire varier l'inclinaison, et sa garniture cannelée est parcourue de canaux b, qui reçoivent, de f et de l'anneau fixe et étanche d, de l'air comprimé; cet air, filtrant au travers des pores du garnissage, en empêcherait l'encrassement et la dégradation.

On voit que, dans ce procédé, la matière à calciner marche constamment en sens contraire des gaz qui la chauffent, et dont la chaleur est ainsi méthodiquement utilisée, puis récupérée en grande partie par la chaudière, que la matière même chauffe après sa calcination; cette utilisation peut être rendue plus complète encore en faisant passer les gaz, au sortir de c, au travers d'un troisième sécheur s (fig. 1), pour des marnes, argiles, etc.

G. R.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MÉTALLURGIE

LE CUIVRE ET L'OXYGÈNE, D'APRÈS **E. Heyn,** *Ingénieur à Charlottenbourg.*

M. Heyn a étudié la solubilité de l'oxyde de cuivre dans le cuivre métallique. Tous les métaux ont plus ou moins la propriété de dissoudre à l'état fondu une partie de leur oxyde inférieur. Le cuivre présente cette particularité à un très haut degré. Après la solidification, l'oxyde reste emprisonné dans la masse solide, en y créant le plus souvent des zones de moindre résistance. C'est pour cela que la plupart des métaux fondus au contact de l'air deviennent très cassants, et il faut, pour conserver leur malléabilité faire avant la coulée une addition d'un corps avide d'oxygène, tels que Al, Mg, Si, Mu.

Ces faits sont bien connus au point de vue qualitatif; M. Heyn s'est proposé de

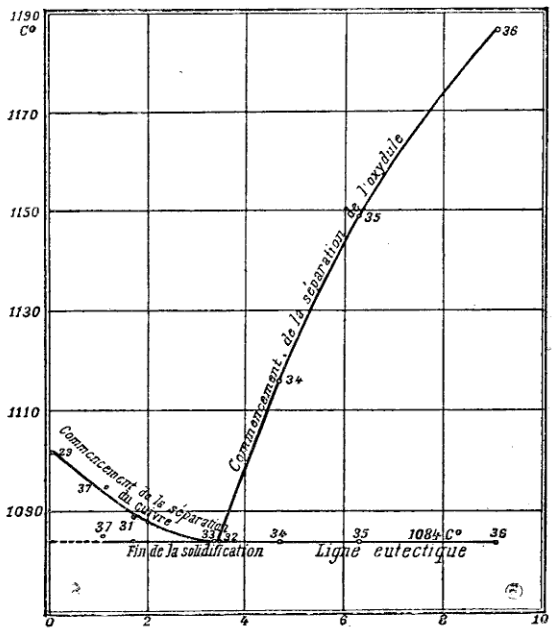


Fig. 1.

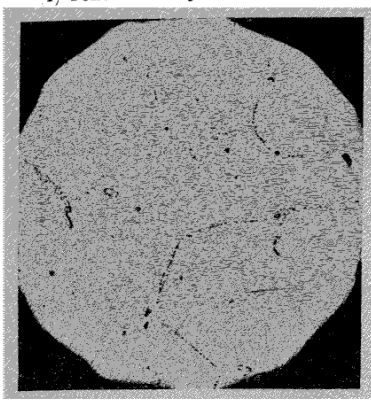
préciser par des mesures exactes les conditions de la dissolution de l'oxydule Cu^2O dans le cuivre métallique.

En premier lieu, il a déterminé la fusibilité des différents mélanges Cu et Cu^2O. Le tableau ci-dessous et la courbe figure 1 donnent les points de solidification commençante de ces alliages.

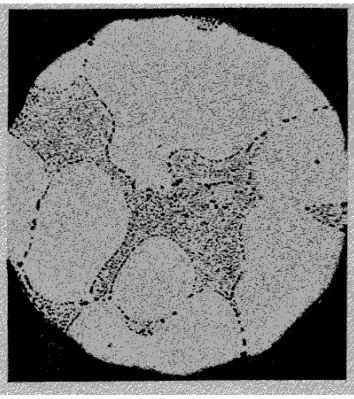
Cu^2O p. 100	0,08	1,16	1,75	3,4	3,5	4,7	6,3	9
Point de solidification.	1102	1095	1089	1084	1084	1116	1149	1186

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

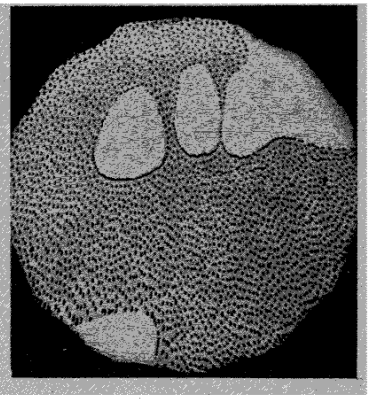
(1) Teneur en oxyde de 0,8 p. 100.



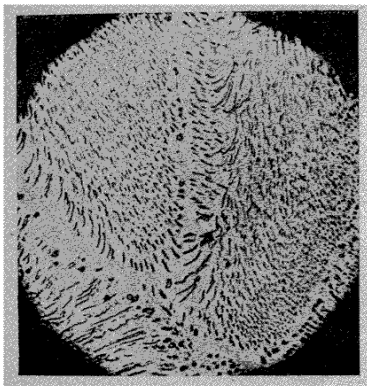
(2) 1,16 p. 100.



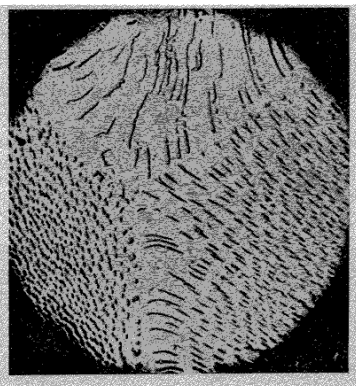
(3) 1,75 p. 100.



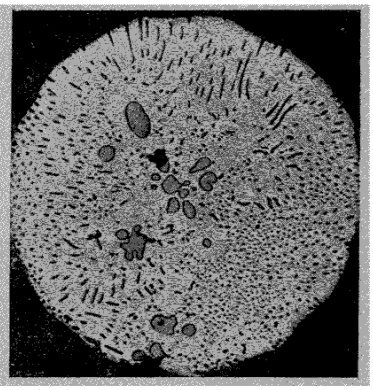
(4) 3,4 p. 100.



(5) 3,5 p. 100.



(6) 4,7 p. 100.



(7) 9 p. 100.

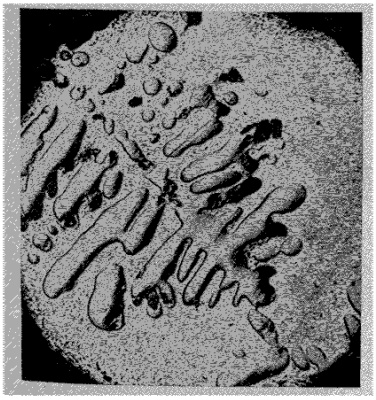


Fig. 2 (nos 1 à 7). — Échantillons de cuivre oxydé. Grossissement en diamètre 123 après simple polissage, sans aucune attaque.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cette courbe présente un point minimum correspondant à la teneur en Cu^2O de 3,45 p. 100 et à la température de 1084°. C'est le mélange eutectique.

M. Heyn a fait la métallographie des mêmes échantillons de cuivre oxydé. Les figures ci-dessous (fig. 2, n° 1 à 7) représentent la structure des mélanges dont les points de fusion ont été donnés plus haut. Les photographies ont été prises après simple polissage sans aucune attaque, en utilisant simplement la différence des pouvoirs réfléchissants du cuivre et de l'oxydule.

Les numéros croissants des figures correspondent aux teneurs croissant en oxydule. La photographie du mélange à 6 p. 100 d'oxydule manque, de sorte que le n° 7 est le mélange à 9 p. 100.

Les photographies 6 et 7 montrent l'oxydule de cuivre comme élément de première consolidation, et les photographies 1, 2, 3 montrent le cuivre dans les mêmes conditions. Les photographies 4 et 5 ont bien la structure caractéristique des mélanges eutectiques. H. L. C.

SUR LA TREMPE DU BRONZE, D'APRÈS **C. T. Heycock** ET **F. H. Neuville** (1).

L'influence de la trempe sur les propriétés mécaniques des bronzes sont depuis longtemps connues. M. Stamfield, dans l'étude de la fusibilité de ces alliages, a observé des temps d'arrêt pendant leur refroidissement, semblant indiquer des transformations successives du métal solide, comme on en observe dans l'acier. L'effet de la trempe serait facilement explicable si elle pouvait empêcher quelques-unes de ces transformations de se produire.

Les expériences ont porté sur l'alliage de composition pondérale et atomique.

Cu. . . .	69,36	Cu_{81} Sn_{19}.
Sn. . . .	30,44	

La figure ci-dessous donne la courbe de refroidissement de cet alliage.

Le temps d'arrêt principal M N O correspond à la solidification de l'alliage; les

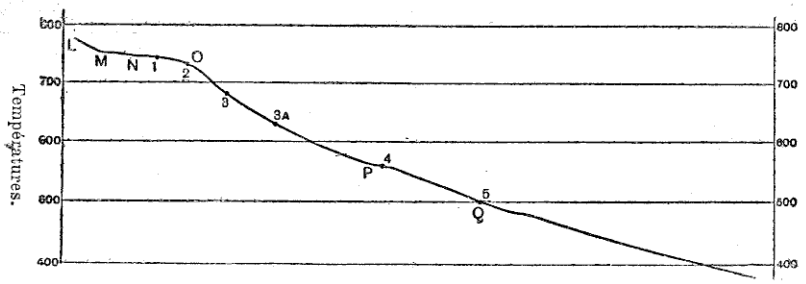


Fig. 3. — Courbe de refroidissement de l'alliage $Cu_{81}Sn_{19}$: en poids 69,56 Cu et 30,44 Sn.

temps d'arrêt secondaires P et A à des transformations ultérieures dans le métal solide. Pour préciser la nature de ces transformations, on a trempé des échantillons de cet alliage à différentes températures correspondant aux points 1, 2, 3, 4, 5 de la figure.

(1) *Royal Society*, London, 28 février 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ces échantillons furent polis puis attaqués par l'ammoniaque concentrée.

L'alliage trempé au point 1, au cours de la solidification, a présenté des dendrites

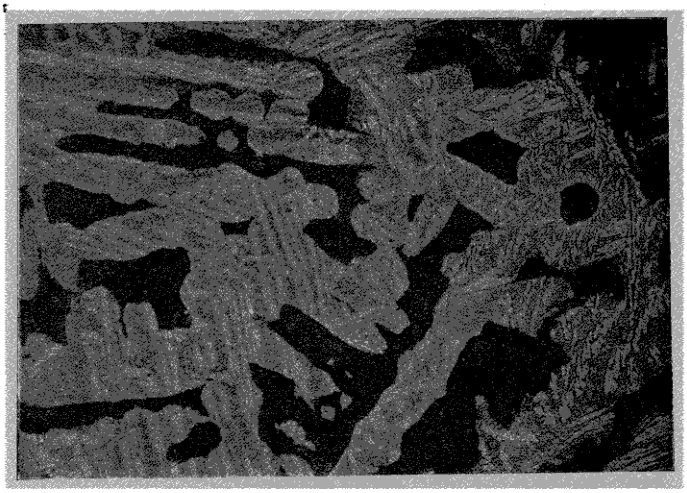


Fig. 4. — $Cu_{86}Sn_{14}$: 76.7 Cu. 23.03 Sn. Grossissement 50 diamètre.

plus riches en cuivre, tout à fait semblables à celles que l'on observe dans le bronze ordinaire à 10 p. 100 de Cn (fig. 4).

Trempé au point 3 ou 3A, mais avant le point de transformation P, l'alliage est absolument homogène (fig. 5).

Enfin trempé au-dessous du point P, on obtient les mêmes apparences que sur le

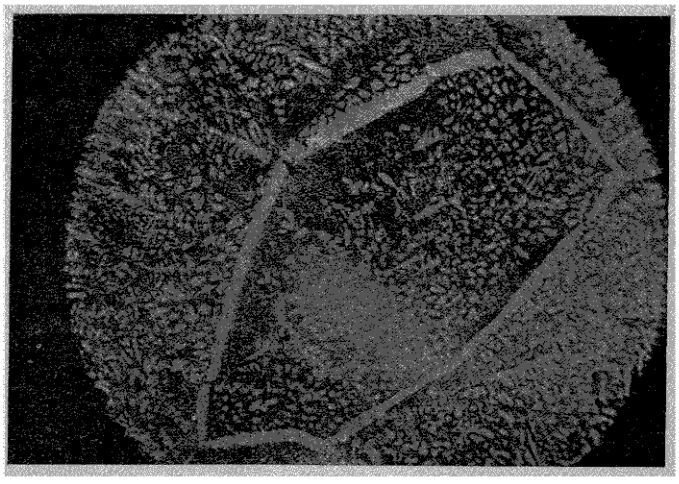


Fig. 5. — $Cu_{83.3}$ $Sn_{16.7}$: 72,8. Cu. 27.2 Sn. Grossissement 300.

métal refroidi lentement (fig. 6). La surface est divisée en larges polygones séparés par une bande de matière un peu moins dure.

Au-dessous du point Q, la structure générale reste la même, il s'est cependant pro-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

duit une nouvelle transformation qui est accusée par une coloration plus intense du fond uniforme sous l'action des réactifs.

On peut expliquer ces faits de la façon suivante. Au moment de la solidification, il se sépare des cristaux une solution solide plus riche en cuivre que le mélange fondu. Au fur et à mesure du refroidissement, les nouveaux cristaux déposés sont moins riches en cuivre et, en même temps, les cristaux précédemment déposés abandonnent par diffusion une partie de leur cuivre pour revenir à la composition correspondant à



Fig. 6. — Cu_{81}. Sn_{19}. : 69.6 en 30,4 Sn. Grossissement 50.

à l'état actuel d'équilibre, de telle sorte que la composition de toute la matière solide est à chaque instant uniforme, jusqu'au moment de la solidification finale, où cette composition est identique à celle du mélange fondu initial. Par refroidissement ultérieur, en arrivant au point P, cette solution solide se trouve saturée d'un composé nouveau qui commence à cristalliser et continue à la faire progressivement jusqu'au point Q. Celui-ci doit correspondre au dédoublement final de la solution finale en son eutectique.

Ce serait tout à fait le même phénomène que celui qui se passe dans les aciers à 0,2 p. 100 de C. Séparation de martensite d'une composition finale uniforme et identique à celle du métal fondu; plus bas, vers 800°, cristallisation de ferrite au sein de cette martensite, et continuation de cette cristallisation jusqu'au point de récalescence correspondant au dédoublement final de la martensite en son eutectique.

H. L. C.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

NOTES DE MÉCANIQUE

L'INTERFÉROMÈTRE *Michelson* (1)

Cet appareil, qui permet de mesurer des longueurs et des épaisseurs au millième de millimètre, est fondé, comme son nom l'indique, sur le principe des franges d'interférences, telles qu'elles se produisent dans le phénomène bien connu des anneaux de Newton. D'après ce principe, on sait que, si un faisceau lumineux frappe une plaque de verre AB (fig. 1) derrière laquelle se trouve inclinée une seconde lame CD, les points tels que *c g i k*, où la distance de AB à CD est égale à un nombre entier de demi-longueurs d'onde (1/2 l.) sont obscurs par suite de l'interférence des ondes arrivant sur AB et réfléchies sur CD, tandis que les points *f h* et *j*, distants d'un nombre fractionnaire de demi-longueurs d'onde, restent brillants, de sorte que les franges développées en *c g i k*, donnent les distances des lames en ces points en demi-longueurs d'onde; si l'on approche ou éloigne les lames d'une demi-longueur d'onde, les différentes franges s'éloignent ou se rapprochent du point de rencontre des deux lames d'une longueur égale à *c g*; comme la longueur d'onde de la flamme du sodium est d'environ 1/2000 de millimètre, et que l'écartement des franges peut être mesuré au micromètre à 1/20 près, on voit que l'on peut ainsi apprécier l'écartement des lames à 1/80000 de millimètre près, ou à un millionième de pouce.

Voici comment ce principe est appliqué dans l'interféromètre de Michelson, récemment perfectionné par M. Stretton, professeur, comme lui, à l'université de Chicago. Les rayons d'une source lumineuse S (fig. 2) rendus parallèles par un collimateur L, frappent à 45° la plaque de verre A, recouverte d'une couche demi-transparente d'argent, qui laisse une partie de ces rayons traverser A vers B et D, et réfléchit l'autre sur le miroir C; les rayons ainsi envoyés sur les miroirs normaux C et D sont réfléchis par eux sur A, qui laisse passer le rayon de C au télescope T, et réfléchit celui de D. Les rayons venus de L en C doivent donc traverser A trois fois avant de passer en T, et la plaque de verre compensatrice B, de même épaisseur que A, et coupée dans le même verre, est insérée entre A et D de manière que les rayons de D doivent traverser deux fois B et une fois A avant d'arriver en T. Les rayons envoyés à T de C et de D traversent donc la même épaisseur du même verre, de sorte que les effets d'interférence dus aux épaisseurs de ces plaques sont compensés. Si les miroirs C et D sont à égale distance de A, et perpendiculaires aux rayons incidents, l'image D' de D coïncidera avec C; si D s'incline, il en sera de même de D', et il se produira des franges en D' et C comme entre les lames de la figure 1, le centre ou point de départ de ces franges se trouvant à l'intersection de C et de D'. Cette intersection virtuelle sera donc marquée par une bande noire, de chaque côté de laquelle se développeront des franges symétriques, et ces franges se déplaceront, comme celles de la figure 1,

(1) *American Machinist*, 27 juillet et 3 août.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

quand on rapprochera ou éloignera C de A, de sorte que ces déplacements pourront se mesurer avec une précision extrême.

Quand les distances AD et DC sont presque égales, les miroirs sont disposés de manière que les franges apparaissent sous la forme de bandes horizontales ou verticales, dont la distance se compte à partir du réticule de T; si ces distances diffèrent notablement, on dispose les miroirs de manière que C et D′ soient parallèles, et les

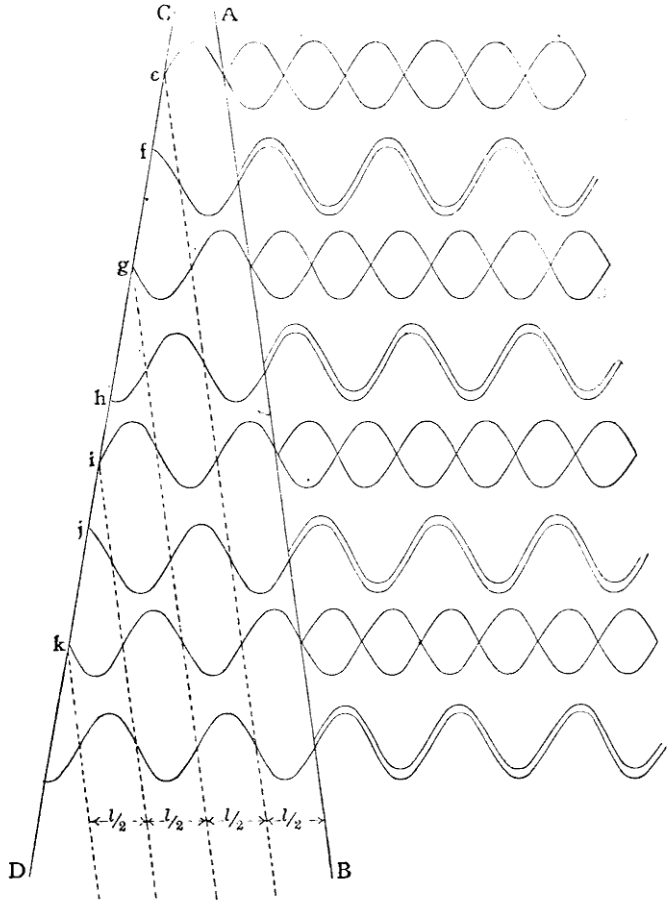


Fig. 1.

franges apparaissent alors, comme dans les anneaux de Newton, en cercles concentriques, qui s'étendent à mesure que D′ s'éloigne de C.

Comme les longueurs d'onde sont, dans le verre, environ les 2/3 de ce qu'elles sont dans l'air, on voit que, si l'on fait tourner légèrement le compensateur B, de manière à augmenter ainsi l'épaisseur de verre qu'il interpose entre D et A, on augmentera aussi le nombre des ondes entre A et D, ce qui produira un déplacement des franges, comme si l'on avait reculé le miroir D. De là la faculté de remplacer les franges par B sans toucher à C ou D.

On reconnaîtra facilement sur la figure 3, en exécution, les miroirs et plaques de la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

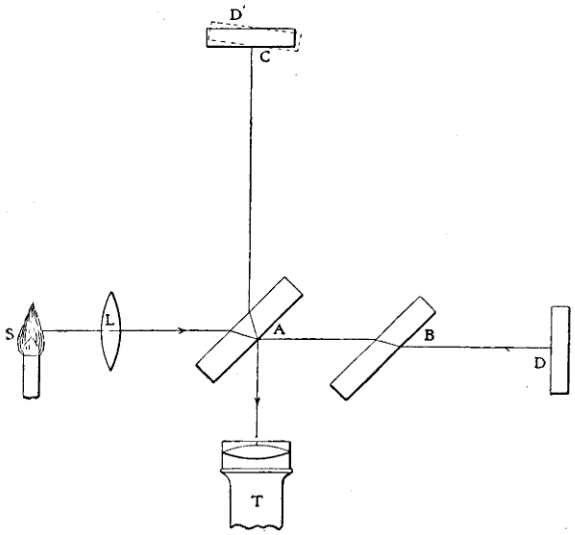


Fig. 2. — Principe de l'interféromètre *Michelson*.

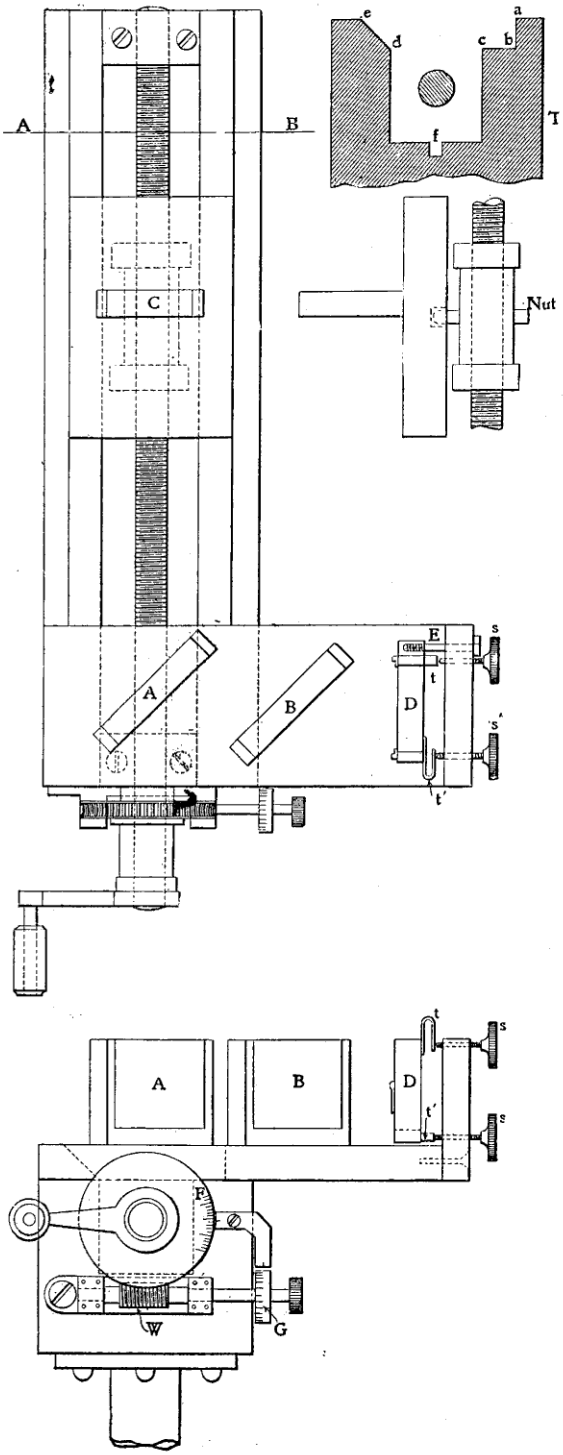


Fig. 3. — Interféromètre *Michelson*. Plan et élévation.

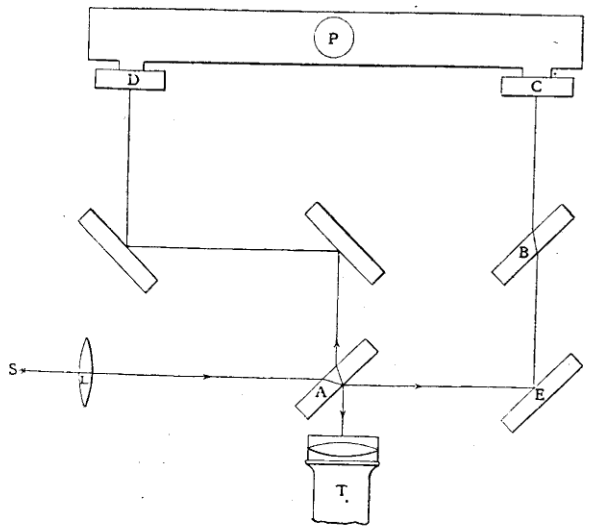


Fig. 4. — Interféromètre *Michelson*. Mesure des angles.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

figure 2, qui doivent être, bien entendu, montés avec la plus grande précision, notamment en ce qui concerne le chariot de C, sur ses glissières *abc* et *ed*, cette dernière à 45° de *cb*, et rigoureusement parallèle à *b*. Ce chariot est commandé par une vis d'un pas de 1/2 millimètre, rodée, aussi uniforme et exacte que possible, et dont l'écrou est empêché de tourner par le talon *f*. Les miroirs A et B sont fixés sur une plaque de bronze, dans des châssis en bronze, au moyen de vis qui les appuient sur le cadre de ces châssis; on commence le réglage de l'appareil au moyen de ces vis, et on le termine en ajustant le miroir D par les vis *s* et *s'* , à ressorts *t* et *t'*, très fines, et d'une grande précision; le châssis de D est fixé à son bâti par une tige d'acier E, qui se courbe sous la pression des vis *t* et *t'*, de sorte que cet ajustage se fait sans jeux dans les deux sens.

La vis du chariot porte un vernier F, divisé en 100 degrés, commandé par une vis

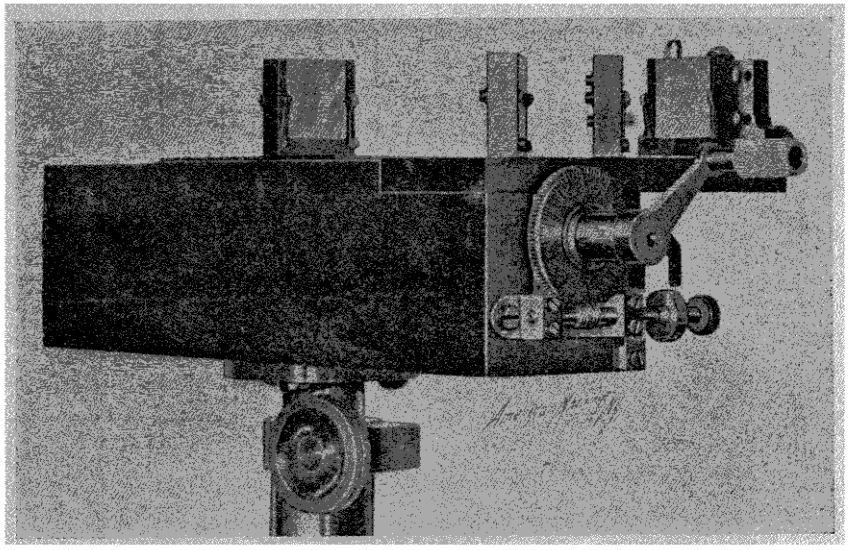


Fig. 5. — Interféromètre *Michelson* disposé pour la vérification des vis.

W, débrayable quand on veut marcher vite, avec tête G, divisée en 1/25 de tour, de sorte que chacune de ces divisions correspond à un déplacement du chariot de 1/5000 de millimètre, et qu'il faut tourner W de 1,5 de ces divisions pour déplacer le chariot d'une demi-longueur d'onde du sodium, ou produire le déplacement d'une frange; il est donc très facile de suivre les mouvements de ces franges et de les compter au passage.

Pour vérifier l'exactitude de la vis, qui ne doit nulle part varier de plus d'un millième, on tourne le compensateur B (fig. 2) de manière que l'une des franges noires d'une lumière monochromatique soit juste sur le point de disparaître au centre du réticule, puis on tourne W (fig. 4) d'un quart de tour, ce qui correspond, avec de la flamme de sodium, au passage de, par exemple, 424,26 franges; on ne compte pas ces franges, mais on mesure exactement la fraction 0,26 au moyen du compensateur B, en notant, sur son vernier, l'angle dont il faut le tourner pour amener la dernière frange au réticule; on refait la même opération après un nouveau quart de tour de la vis, et ainsi de suite; si la vis est exacte, les fractions de franges ainsi relevées ne doivent pas s'écar-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ter notablement, et elles donnent très exactement la valeur des irrégularités de la vis.

Pour la mesure des petits angles, on emploie la disposition figures 5 et 6, avec les miroirs C et D montés sur une règle pivotée en P sur une colonne d'acier de 50 millimètres de diamètre. Si l'on fait tourner cette règle à droite, C se rapproche et D s'éloigne de A; si ces déplacements sont d'un quart de longueur d'onde, l'effet sera le même que si l'un de ces miroirs s'était reculé d'une demi-longueur, et il se produira le déplacement

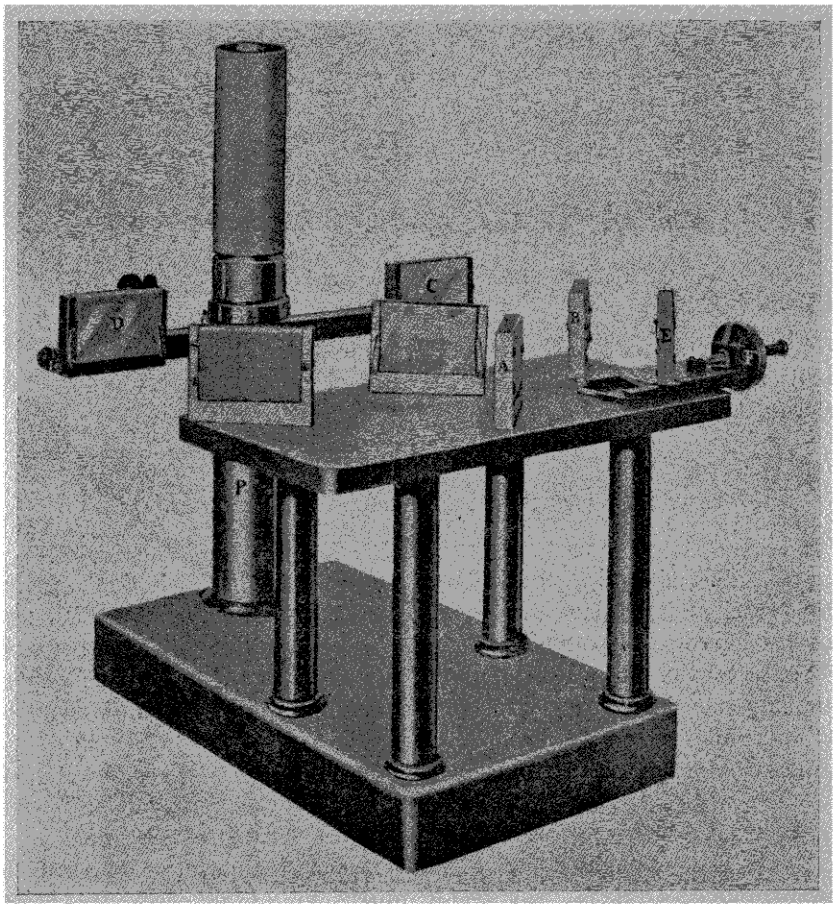


Fig. 6. — Interféromètre *Michelson* disposé pour la mesure des angles.

d'une frange. La longueur de la règle est de 250 millimètres; pour déplacer C d'un quart de longueur d'onde, il faut tourner la règle de 0,2 secondes, et comme on peut lire le 1/20 du passage d'une frange, on voit que l'on peut ainsi apprécier le centième de seconde.

Pour vérifier, au moyen de l'interféromètre disposé comme en figure 5, l'exactitude d'une règle ou d'une glissière N (fig. 7), on monte les miroirs C et D sur le chariot N de cette glissière, et l'on amène, en déplaçant le miroir E par son vernier F (fig. 6), la frange centrale du système au centre du réticule, puis on note le déplacement des franges correspondant à chacun des déplacements du chariot, et aussi le sens de ces déplace-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ments, qui donne les hauts et les bas successifs de la glissière, ce qui permet de les localiser et de les corriger. Ces retouches doivent être exécutées avec le plus grand

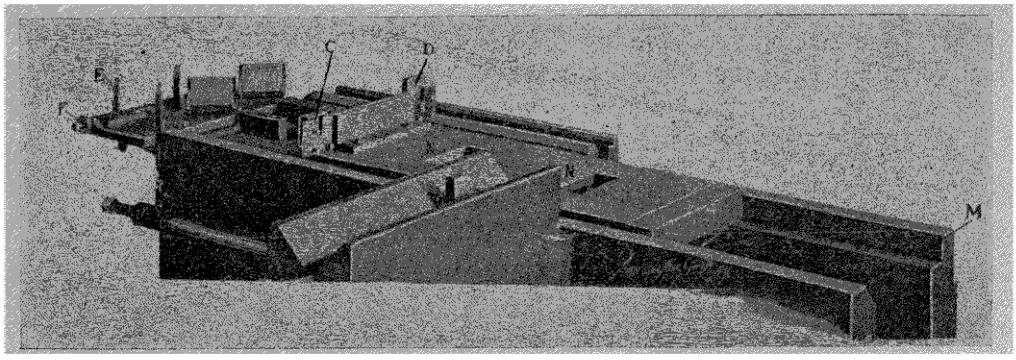


Fig. 7. — Interféromètre *Michelson* disposé pour la vérification des droites.

soin, et vérifiées seulement après le complet refroidissement de la pièce. Les règles les mieux dressées par les procédés ordinaires ne le sont qu'au 1/400 de millimètre, et l'interféromètre en permet la rectification au 1/100000.

CANAUX EN BOIS POUR IRRIGATIONS AUX ÉTATS-UNIS (1)

Nous avons déjà signalé à nos lecteurs les conduites en bois dont on fait, aux États-Unis, principalement dans les États de l'Est, un si fréquent et important usage (2). Nous sommes heureux de pouvoir aujourd'hui compléter ces notions par quelques données sur les canaux en bois employés, comme ces tuyaux, pour les irrigations et aussi pour l'amenée des eaux aux turbines et autres moteurs hydrauliques. Ces données sont empruntées à un remarquable travail de M. *Samuel Fortier*, publié dans la collection des *Water Supply and Irrigation Papers*, *Geological Survey*, de Washington, collection des plus précieuses, peu connue chez nous, et qui devrait se trouver aux mains de tous ceux qui s'occupent d'irrigation et d'hydraulique agricole.

L'emploi des canaux en bois pour l'irrigation a été inauguré, aux États-Unis, il y a une cinquantaine d'années, par les pionniers de l'Utah, dans les Montagnes Rocheuses; depuis, leur usage s'est considérablement répandu, bien qu'ils soient peu durables et difficilement étanches. Leur bon marché et la facilité de leur construction, quand on dispose du bois nécessaire et sur place, les font, malgré ce grave défaut, préférer aux canaux plus durables mais plus chers, en ciment par exemple, de même que l'on a longtemps préféré, dans les districts éloignés des centres industriels, aux États-Unis, les ponts en bois, pour chemins de fer, aux viaducs en fer et en acier qu'ils ont partout supplantés dès que les ressources de l'entreprise l'ont permis. Ces canaux ne doivent être considérés que comme des ouvrages temporaires, mais, néan-

(1) *Conveyence of Water Irrigation : Canals. Flumes*, etc., par M. S. Fortier U. S. *Geological Surney*, Wasington.

(2) *Bulletin* d'août 1896, p. 1092, et de février 1899, p. 319.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

moins, fort utiles dans certains cas, qui doivent se rencontrer fréquemment dans nos colonies.

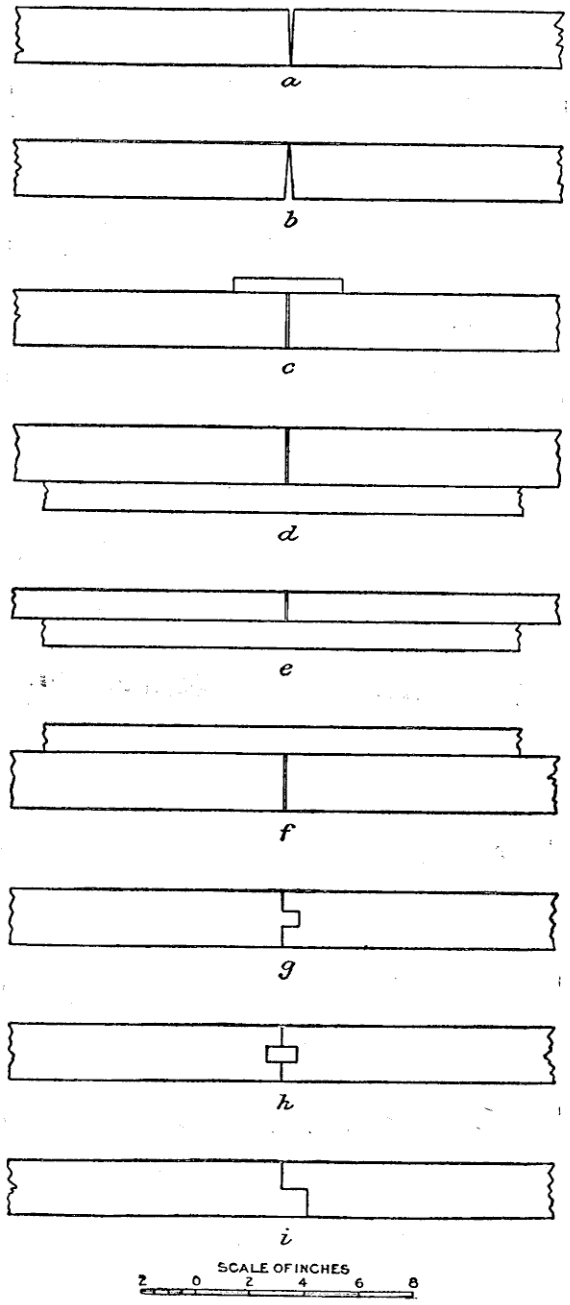


Fig. 1.

Les premiers canaux en bois furent établis très grossièrement, en simples planches de 50 millimètres d'épaisseur, posées bout à bout, en mauvais bois, ce qui donnait

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

lieu à des fuites considérables, que l'on pouvait à peine boucher quand la fente entre les planches se présentait tournée vers le haut, comme en *a* (fig. n° *a* à *c*), mais impossible à réduire quand elle se présentait comme en figure *b*. Les figures *c d e f* représentent quelques-unes des solutions qui furent tout d'abord appliquées avec plus ou moins de succès pour éviter ces fuites; les couvre-joints devaient d'après l'auteur, être placés à l'extérieur et non pas dans l'eau, comme en c, car les joints verticaux entre les planches se remplissent alors de sédiment qui les bouche, et le soleil ne les fait pas voiler. Le type *d* n'a pas réussi; il double presque la dépense, et les boues qui s'accumulent entre les planches supérieures de 50 millimètres et les extérieures, de 25 millimètres se gèlent en hiver, de manière à en disloquer l'assemblage et à rou-

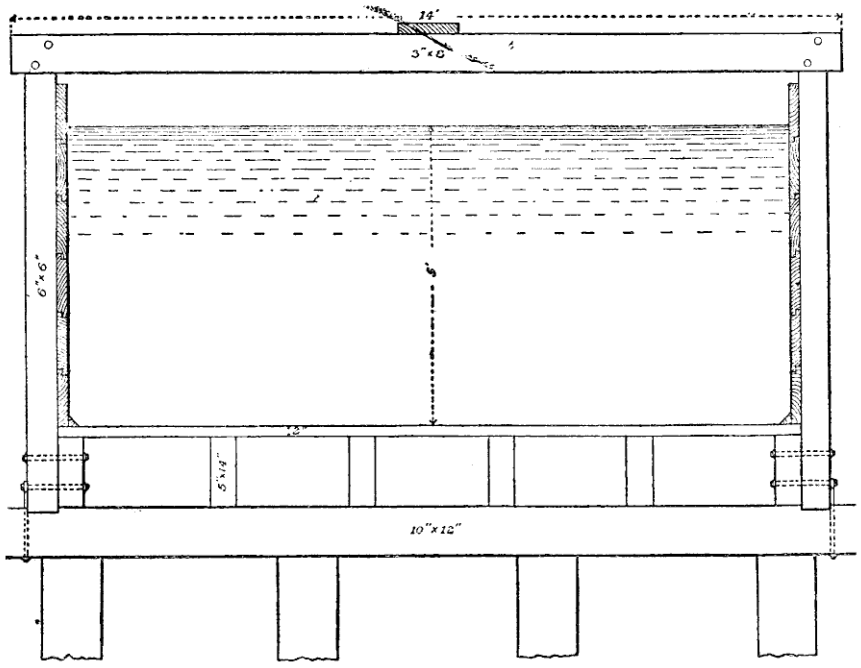


Fig. 2. — Canal sur pieux.

vrir les fuites. Il en a été de même du joint à rainure et languette *g*, d'une exécution coûteuse et ne résistant pas au voilement des planches.

L'auteur recommande, avec des bois bien travaillés et séchés un temps suffisant à l'air, la disposition *i*, qui convient pour des épaisseurs de 40 à 45 millimètres, avec les bords de l'assemblage peints à la céruse pour les petits canaux et garnis d'asphalte chaud pour les grands; il est facile de calfater les fuites de ce joint quand il s'en produit par le retrait.

Le joint *h*, avec languette de 16×22 millimètres, exige des planches plus épaisses : de 65 millimètres par exemple; on achève de rendre ce joint étanche en insérant des coins dans sa fente verticale supérieure.

Supports. — Les supports de ces canaux sont, le plus souvent, des pieux en bois (fig. 2); après avoir enfoncé ces pieux à fond, on les arrase au niveau voulu et on y

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

boulonne les poutres transversales, de 250 × 610 millimètres dans l'exemple (fig. 2) sur lesquelles on cloue les poutres longitudinales, au nombre de cinq de

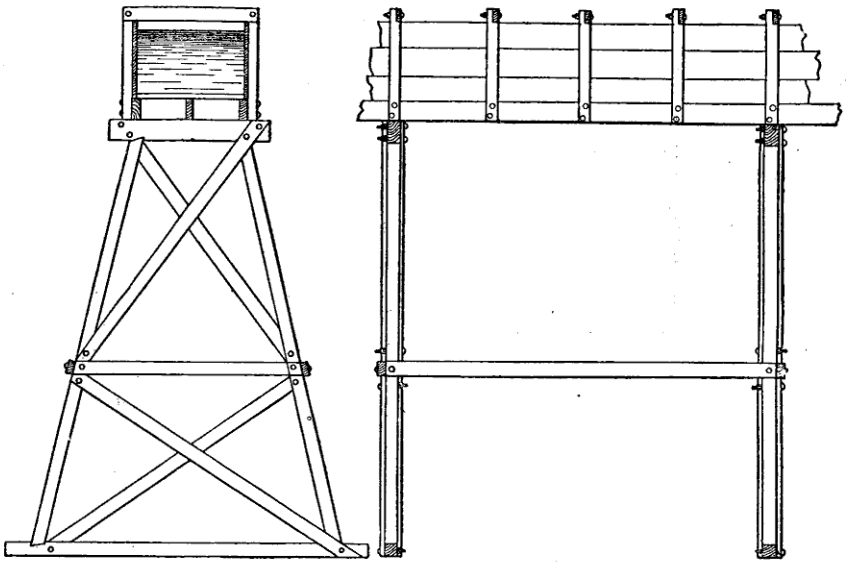


Fig. 3. — Chevalet pour petit canal.

125 × 355 millimètres au cas figuré. Les pieux se pourrissent rapidement au ras de terre; ils sont gâtés au bout de 7 ans dans toute la partie à 0m,60 sous terre; la meilleure manière de les réparer est d'enlever cette partie perdue, repiquer en terre le

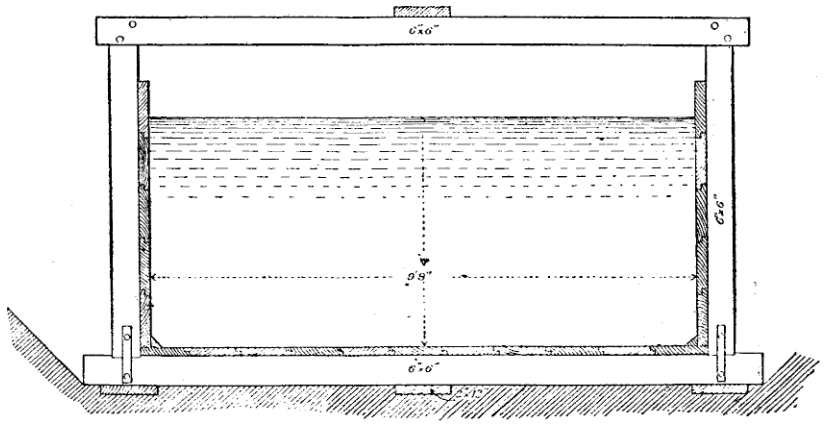


Fig. 4. — Canal à flanc de coteau.

bout sain du bois et intercaler entre le pieu ainsi réparé et le canal un treillis de la hauteur voulue.

Lorsqu'on prend pour supports des chevalets, les plus fréquemment adoptés sont, pour les petits canaux, ceux du type figure 3; on en multiplie les montants si l'importance du canal l'exige; mais, dans tous les cas, il serait, d'après l'auteur, désaventa-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

geux de dépasser, pour ces chevalets, une hauteur de trois mètres; il faudrait alors remplacer le canal en bois par autre chose : un siphon renversé, par exemple.

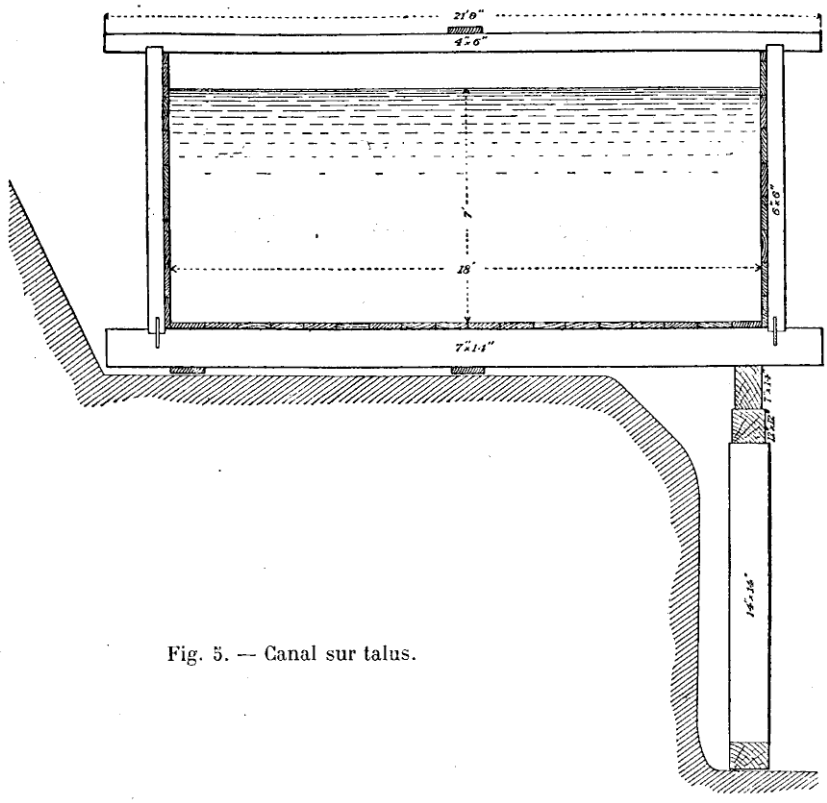


Fig. 5. — Canal sur talus.

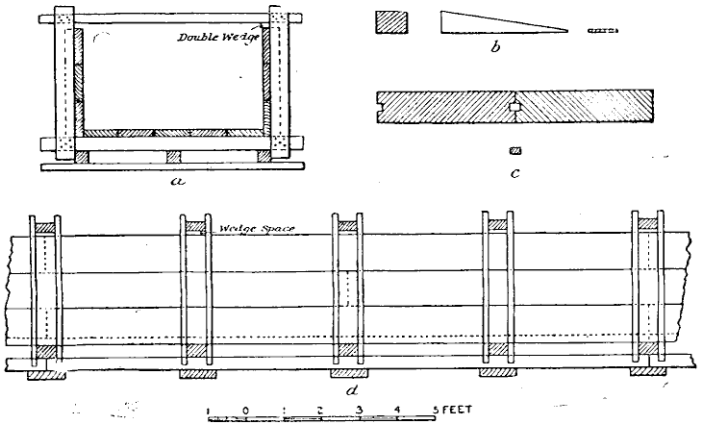


Fig. 6. — Canal de *Bitterroot*.

Les figures 4 et 5, qui s'expliquent d'elles-mêmes, représentent l'installation de canaux en bois à flanc de coteaux, en remplacement d'un canal en terre devenu dangereux, ou sur roc taillé en gradin.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les poteaux verticaux de ces canaux sont reliés entre eux soit par des jambes de force clouées au sol du canal, soit (fig. 2) par des traverses horizontales, et ce dernier procédé est le plus économique pour des canaux ayant jusqu'à 6 mètres de large. Ces poteaux ne sont que rarement assemblés à tenon et mortaise avec les planches,

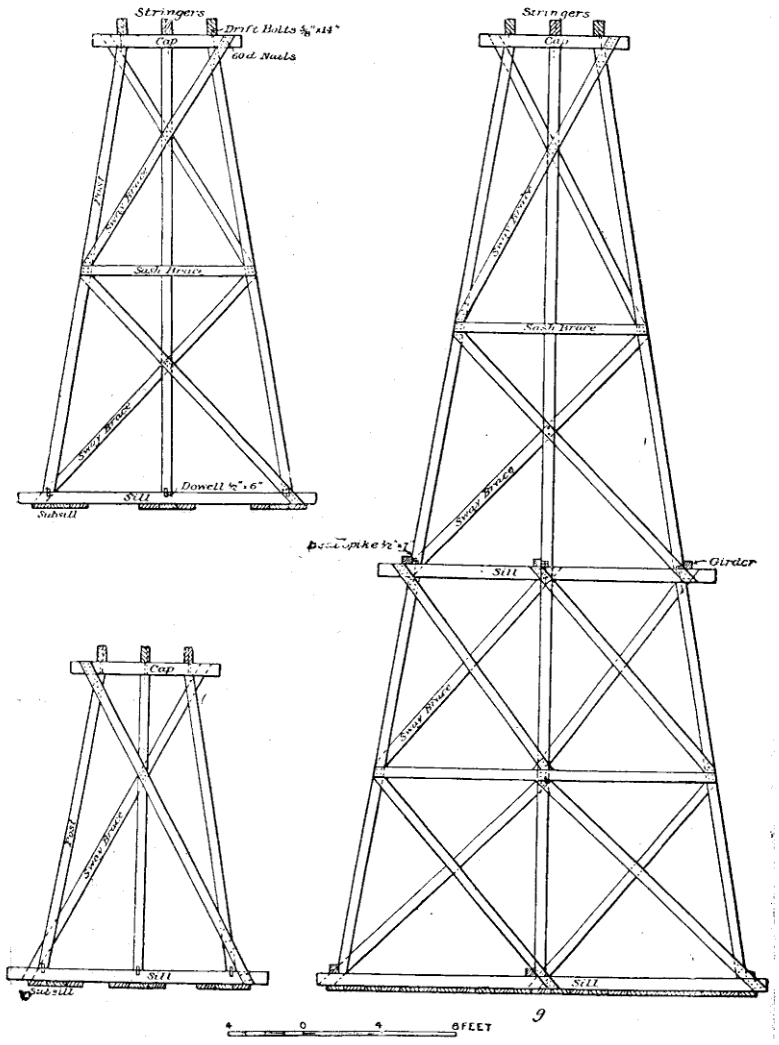


Fig. 7. — Chevalets du canal de *Bitterroot*.

assemblage difficile et qui ne tient pas; on les pose simplement (fig. 2 et 4) sur entaille carrée, avec, s'il y a lieu, renforcement par des ferrures (fig. 6).

On peut citer, comme très remarquable, le canal de la ferme de Bitterroot, près de Hamilton, Montana, d'une longueur totale de 8 kilomètres. Les poteaux, espacés de $1^{m},20$, sont en deux pièces de 50×150 millimètres, cloués sur des traverses inférieures et supérieures de 100×150; les planches, assemblées comme en figure 6, ont

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

63 millimètres d'épaisseur; les fuites sont tout à fait insignifiantes : environ 3 litres par seconde et par kilomètre.

Les figures 9 et 10 représentent : la première un type courant de petits canaux, et la seconde un type de l'auteur, remarquable par ses assemblages étanches.

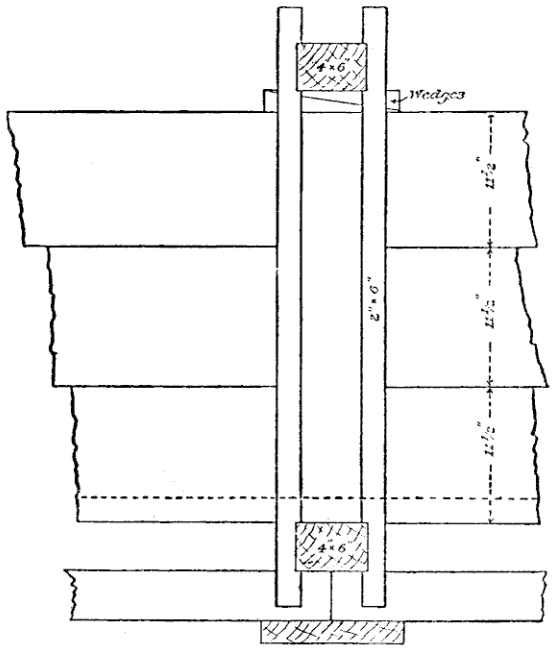


Fig. 8.

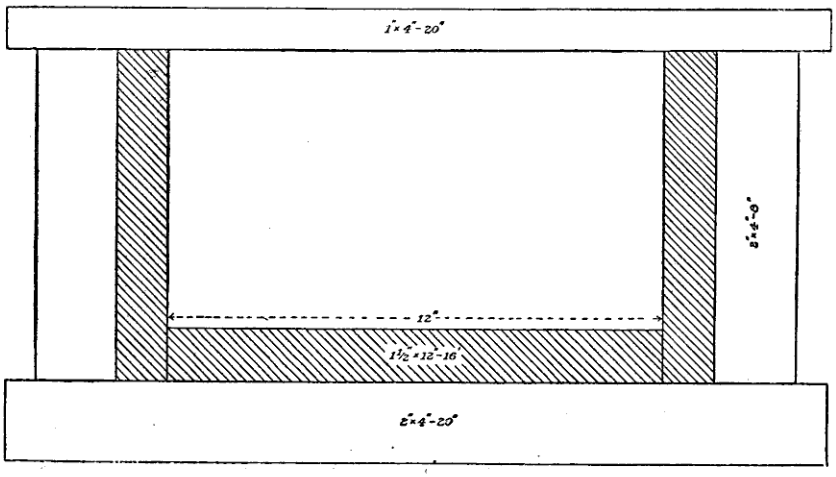


Fig. 9.

Protection des extrémités. — Les raccordements des canaux en bois avec les canaux en terre ou les tuyaux en bois doivent être exécutés avec le plus grand soin, car ils donnent lieu, sans cela, à de graves inconvénients; quand ils franchissent des ravins,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

il faut toujours les prolonger un peu au delà du ravin dans lequel ils débouchent, car de petites fuites négligées en ces points pourraient occasionner des désastres.

Le raccordement du canal se fait souvent au moyen de becs ou éperons, de préférence inclinés comme en figures 11, avec, si possible, des blocailles en pierre disposées comme en figures 12, pour éviter les tourbillons à l'entrée du raccordement.

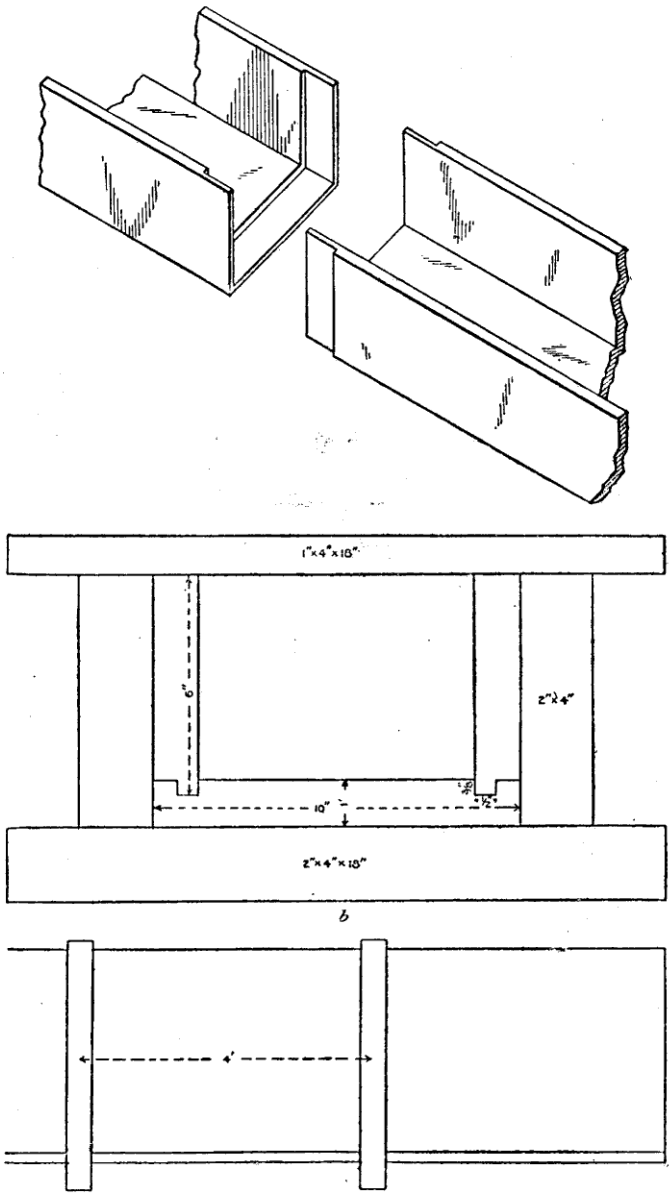


Fig. 10.

Les sections et pentes de ces canaux doivent toujours être calculées très largement

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

en raison de la rugosité du bois et de la résistance des boues et dépôts qui se forment dans ces canaux, dont les eaux sont souvent très chargées.

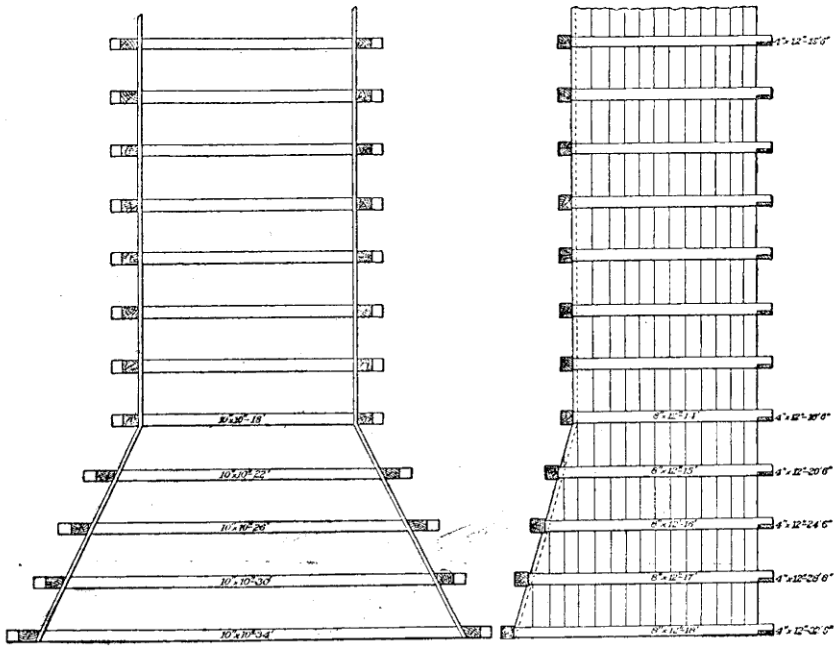


Fig. 11. — Plan et élévation d'un raccord.

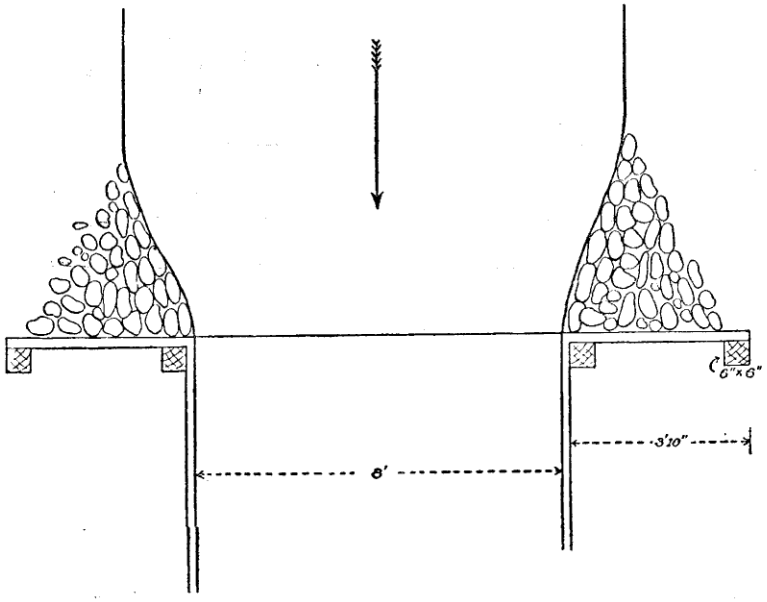


Fig. 12.

Canaux demi-cylindriques. — Ces canaux, dus à M. Guy Sterling, datent de 1893; on

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

peut les considérer comme une sorte de compromis entre les canaux que nous venons de décrire et les tuyaux en bois proprement dits (1); ils ont été depuis perfectionnés par M. Hall. L'un des plus importants est celui de Santa Anna, Redlands, Californie, qui a 3 400 mètres de long et une section de $1^{m2},60$. Ses douves, de $2^{m},45$ de long, sont assemblées et cerclées comme celles des tuyaux. Le canal de Telluride, pour une transmission de force, a (fig. 13) 2 500 mètres de long et une section de $2^{m2},60$; les douves assemblées par lames en fer à mi-bois sont à joints étagés ou rompus

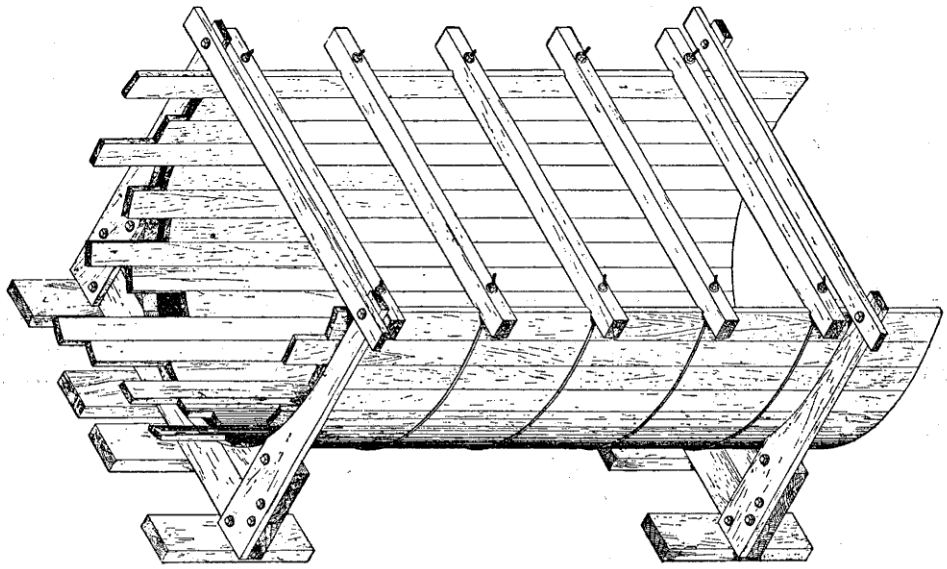


Fig. 13. — Canal demi-cylindrique *Hall*.

et reposent sur des cadres en bois espacés de 3 mètres à $3^{m},60$; leurs cercles en tiges d'acier de 13 millimètres sont espacés de $0^{m},80$.

Ces canaux demi-circulaires franchissent plus facilement les courbes, et leurs fuites peuvent se réparer en partie par le serrage de leurs boulons; ils ne sont pas en contact avec le sol, ce qui en prévient la pourriture; il n'y entre pas de clous; si les douves fléchissent, il est facile d'y remédier en ajoutant un support au point faible.

ESSAI COMPARATIF DU TIRAGE NATUREL ET DU TIRAGE PAR VENTILATEUR (2)

Cet essai a été exécuté en avril 1900, sur des chaudières de la station électrique de Nuremberg, sur une batterie de 12 chaudières tubulaires disposées comme l'indique la figure 1, avec un ventilateur Sturtevent installé en V, près de la chaudière n° 12 et relié (fig. 2) au carneau D par un raccord de 750 millimètres de diamètre. Les chaudières n° 1 à 10 avaient chacune 90^{m2} de chauffe, et les deux chaudières Duplex 11 et 12 chacune 250^{m2}; leurs gaz se rendent ordinairement par un carneau commun R dans une cheminée de 50 mètres de haut et de $2^{m},20$ de diamètre intérieur au sommet.

(1) *Bulletin* de juillet 1899, p. 920.
(2) *Power*, juillet 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On pouvait marcher à volonté au ventilateur ou avec la cheminée, en fermant ou en ouvrant le registre S, et l'on pouvait, en outre, isoler la chaudière 12 au moyen du registre D et la faire marcher seule au ventilateur.

Le ventilateur était commandé par un moteur à vapeur à cylindre de 101,6 millimètres × 76,2 de course, vitesse maxima 650 tours.

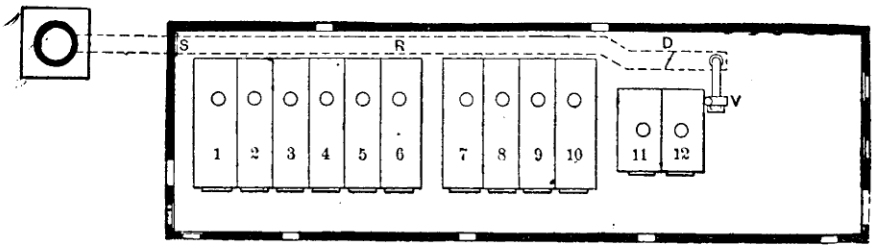


Fig. 1.

Les essais ont porté sur les chaudières 11 et 12 seulement, parce qu'elles suffisaient à la dépense pendant le jour. La composition des gaz du foyer était donnée par un appareil d'Orsat, leur température était relevée jusqu'à 500° par un thermo-

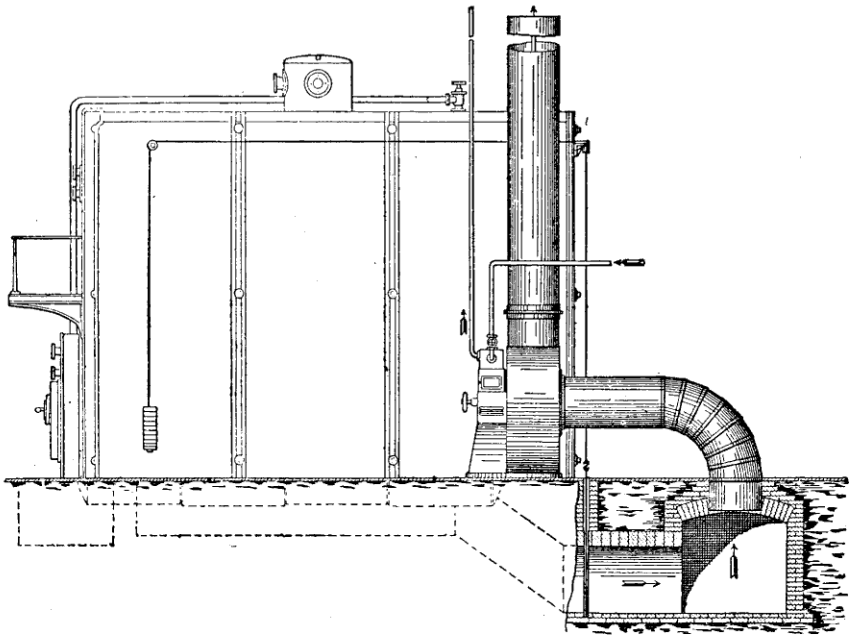


Fig. 2.

mètre à mercure et au delà par un pyromètre Le Chatelier; on employa, pour l'évaluation de la fumée, les cartons de Ringelmann, gradués de 1 à 5, on mesura séparément, par condensation, la vapeur dépensée par la machine du ventilateur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les principaux résultats de ces essais sont donnés dans les tableaux et au diagramme figure 3, qui donne la marche du ventilateur.

Avec la houille de la mine de Shamrock, la dépense de charbon nécessaire pour vaporiser 1 000 kilos d'eau a augmenté de 4,7 p. 100 avec le ventilateur. L'emploi de ce ventilateur a permis de maintenir la vaporisation au taux voulu avec des houilles sales et inférieures de la mine Richardt, mais avec une dépense en argent supérieure de 17 p. 100 environ à celle qu'entraîne l'emploi du charbon de Shamrock avec le

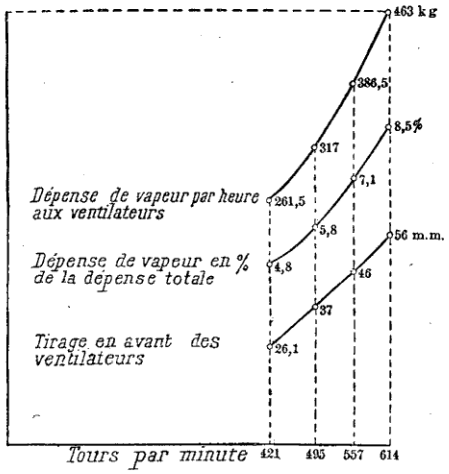


Fig. 3.

tirage naturel; en outre, l'emploi du ventilateur n'a pas amélioré l'allure de la fumée.

Les résultats de ces essais sont donc plutôt défavorables au ventilateur, mais on aurait pu les améliorer par l'emploi d'un moteur moins rudimentaire et l'utilisation de sa vapeur d'échappement au réchauffage de l'eau d'alimentation.

Vapeur dépensée au ventilateur.

	Nombre de tours du ventilateur par minute.	Tirage moyen en avant du ventilateur	Température des gaz en avant du ventilateur.	Vapeur dépensée par heure-kilogr.
		23 AVRIL		
Moyennes.	421	26,1	240	261,5
		24 AVRIL		
Moyennes.	614	56	237	463
Moyennes.	495	37	233	317
		25 AVRIL		
Moyennes.	557	46	224	386,5

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Surface de chauffe S. 2×250 = 500 m² Surface de grille G. . 2×4 = 8 m² Rapport $\frac{G}{S}$. . . . . 1 : 62,5	CHEMINÉE.			VENTILATEUR.			
	1900		MOYENNES	1900		MOYENNES	1900
	20 avril.	21 avril.		23 avril.	24 avril.		25 avril.
Durée des essais. . . . . H.	8 08	8 00	16 08	8 00	8 00	16 0	7 22
Nature du charbon.	Shamrock	Noisettes	....	Shamrock	Noisettes	....	Mine Richardt non lavé.
Dépense totale. . . . . kg.	4926,0	4930,0	9858,0	5206,0	5406,0	10612,0	5626,0
— par heure. . . . . kg.	609,7	616,3	613,0	651,0	675,8	663,4	779,2
— par heure et mètre carré de grille . . . . kg.	76,2	77,0	76,6	81,4	84,5	82,9	97,4
— de chauffe . . . . kg.	1,22	1,23	1,23	1,30	1,35	1,33	1,56
Vaporisation par heure et par mètre carré de chauffe. . kg.	10,40	10,3	10,17	10,86	11,39	11,12	10,67
Tirage en mm. d'eau avant les carneaux.	5,3	5,5	....	5,9	7,1	....	12,4
Tirage en mm. d'eau en avant du registre.	10,3	10,0	....	11,2	13,4	....	19,5
Tirage en mm. d'eau en avant du ventilateur.	....	....	....	25,8	41,6	....	45,8
Vaporisation par kg. de charbon.	8,23	8,38	8,30	8,35	8,42	8,39	6,85
— ramenée à 100°. kg.	8,42	8,57	8,49	8,54	8,61	8,58	7,00
Prix du charbon par 100 kg. M.	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36	2,10
— des 1000 kil. de vapeur. M.	2,86	2,81	2,84	2,82	2,80	2,81	3,07
— des 1000 kil. de vapeur. M.	2,80	2,75	2,78	2,76	2,74	2,75	3,01

ÉTUDE CRITIQUE SUR LA THÉORIE GÉNÉRALE DES MÉCANISMES. Note de **M. G. Kœnigs** (1).

Le nombre sans cesse croissant des combinaisons mécaniques, la complication toujours plus grande des dispositifs que l'industrie met en jeu rendent aujourd'hui indispensables la coordination des résultats déjà acquis en la matière, ainsi que l'institution d'une doctrine générale, susceptible de guider le chercheur et de lui frayer, au moins dans une certaine mesure, la voie de l'invention. Si l'on se rapporte à l'état de l'enseignement en France sur ce point de nos connaissances, on constate que l'on en est encore à la vieille classification de Monge, plus ou moins corrigée par les idées de Willis.

La définition de Monge, d'après laquelle un mécanisme est un dispositif propre à transformer un mouvement dans un autre, est encore tout à fait courante. D'après cela, tout mécanisme donne lieu à la considération de deux mouvements : celui qui est donné et celui que le mécanisme sert à produire.

On sait comment, en partant de ces deux mouvements, Monge et les savants de son école ont établi une classification célèbre, la première d'ailleurs qui ait été produite en la matière, car auparavant les traités consacrés aux machines n'étaient que de simples nomenclatures ou énumérations descriptives, sans aucun souci de comparaison ni de coordination.

Willis a très justement critiqué la classification de Monge. Il lui reproche de n'avoir égard qu'à un certain effet produit, et de se désintéresser tout à fait du procédé employé,

(1) *Académie des sciences*, 5 août 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

en laissant de côté l'étude de la constitution intime du mécanisme. Aussi, le savant anglais, tout en reprenant, avec de judicieuses modifications, le point de vue de Monge, a-t-il bien soin d'introduire en même temps un autre ordre d'idées, dans lequel on voit intervenir la nature des liaisons mises en jeu. Par là, Willis s'est montré vraiment novateur. Mais il n'est pas lui-même à l'abri de la critique.

C'est, en effet, surtout sur la nature du contact établi entre les couples de profils qui sont en prise que se porte son attention. Si ce contact comporte, par exemple, un roulement sans glissement, Willis placera le mécanisme dans une certaine catégorie; dans une autre catégorie, au contraire, si le contact comporte un glissement. Malheureusement, tout mécanisme présente plusieurs couples de profils en contact : le caractère de chacun de ces contacts peut n'être pas le même, en sorte qu'un mécanisme se trouve appartenir à une catégorie ou bien à une autre, suivant que l'on s'arrête à la considération d'un contact ou à celle d'un autre. Ainsi la roue de la voiture forme galet avec le rail ou avec le sol, tandis qu'elle forme glissière circulaire avec l'essieu. Willis a donc, si l'on veut, classé les divers genres de contact que peuvent présenter les profils en prise, mais il semble difficile de faire reposer sur cette considération une classification générale.

L'ouvrage de Laboulaye a accentué encore les idées de Monge, en prétendant leur donner une base dogmatique et une justification *a priori*. Une tentative de ce genre a un intérêt historique réel; par son principe même, elle marque un pas en avant, puisqu'elle a pour objet de faire pénétrer la doctrine dans le domaine déductif. Il est à regretter que Laboulaye n'ait eu à appliquer son idée qu'à une doctrine aussi peu défendable.

Bélanger a essayé de concilier Monge et Willis. M. Haton, dans son beau *Traité des mécanismes*, s'est franchement placé en dehors des idées de Monge et a adopté un point de vue analogue à celui de Willis.

Deux idées préconçues ont pesé d'un poids très lourd sur l'œuvre des premiers cinématiciens. La première, c'est que la théorie des mécanismes devait revêtir la forme d'une classification. La seconde, c'est l'erreur qui, depuis Monge, consiste à ne voir dans un mécanisme qu'un moyen de transformer le mouvement.

Classer de prime abord des êtres aussi complexes que le sont et peuvent le devenir les mécanismes, eût dû, semble-t-il, apparaître comme chimérique *a priori*. C'est plutôt dans les idées générales qui président à leur constitution qu'il conviendrait de mettre de l'ordre et d'apporter l'esprit de coordination.

Telle, en effet, a été l'idée de Reuleaux.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

LITTÉRATURE

DES

PÉRIODIQUES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE DE LA SOCIÉTÉ

Du 15 Août au 15 Septembre 1901

DÉSIGNATIONS ABRÉGÉES DES PUBLICATIONS CITÉES

Ag. . . . Journal de l'Agriculture.
Ac. . . . Annales de la Construction.
ACP. . . . Annales de Chimie et de Physique.
AM. . . . Annales des Mines.
AMa . . . American Machinist.
Ap. . . . Journal d'Agriculture pratique.
APC. . . . Annales des Ponts et Chaussées.
Bam. . . . Bulletin technologique des anciens élèves des écoles des arts et métiers.
BMA . . . Bull. du ministère de l'Agriculture.
CN. . . . Chimical News (London).
Cs. . . . . Journal of the Society of Chemical Industry (London).
CR. . . . Comptes rendus de l'Académie des Sciences.
DoL. . . . Bulletin of the Department of Labor, des États-Unis.
Dp. . . . Dingler's Polytechnisches Journal.
E. . . . . Engineering.
E'. . . . . The Engineer.
Eam. . . . Engineering and Mining Journal.
EE. . . . . Eclairage électrique.
Elé. . . . L'Électricien.
Ef. . . . Économiste français.
EM. . . . Engineering Magazine.
Es. . . . . Engineers and Shipbuilders in Scotland (Proceedings).
Fi . . . . Journal of the Franklin Institute (Philadelphie).
Gc. . . . Génie civil.
Gm. . . . Revue du Génie militaire.
IC. . . . . Ingénieurs civils de France (Bull.).
Ie. . . . . Industrie électrique.
Im . . . . Industrie minérale de St-Étienne.
IME. . . . Institution of Mechanical Engineers (Proceedings).
IoB. . . . Institution of Brewing (Journal).
La . . . . La Locomotion automobile.
Ln . . . . La Nature.
Ms. . . . . Moniteur scientifique.
MC. . . . Revue générale des matières colorantes.
N. . . . . Nature (anglais).
Pc. . . . . Journal de Pharmacie et de Chimie.
Pm. . . . Portefeuille économ. des machines.
Rcp . . . Revue générale de chimie pure et appliquée.
Rgc. . . . Revue générale des chemins de fer et tramways.
Rgds. . . . Revue générale des sciences.
Ri . . . . Revue industrielle.
RM. . . . Revue de mécanique.
Rmc. . . . Revue maritime et coloniale.
Rs. . . . . Revue scientifique.
Rso. . . . Réforme sociale.
RSL. . . . Royal Society London (Proceedings)
Rt. . . . . Revue technique.
Ru. . . . . Revue universelle des mines et de la métallurgie.
SA. . . . Society of Arts (Journal of the).
SAF . . . Société des Agriculteurs de France (Bulletin).
ScP. . . . Société chimique de Paris (Bull.).
Sie. . . . . Société internationale des Électriciens (Bulletin).
SiM. . . . Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse.
SiN. . . . Société industrielle du Nord de la France (Bulletin).
SL. . . . . Bull. de statistique et de législation.
SNA. . . . Société nationale d'agriculture de France (Bulletin).
SuE. . . . Stahl und Eisen.
USR. . . . Consular Reports to the United States Government.
VDI. . . . Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure.
ZOI. . . . Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieure und Architekten-Vereins.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

AGRICULTURE

Agriculture *coloniale* (L') (Sagnier). *Ag.* 27 *Juillet*, 143.

— *maraîchère*. Production des environs de Paris. *Ap.* 25 *Juillet*, 101.

Bétail. Huile de foie de morue et élevage des veaux. *Ap.* 25 *Juillet*, 108.

— Race porcine normande. *Ap.* 1er *Août*, 144.

Betterave à sucre. Expériences de Capelle. *Ag.* 3 *Août*, 183.

Charbon de céréales combattu par le formol. *Ap.* 18 *Juillet*, 70.

Champignons des maisons. *Ap.* 8-15 *Août*, 165, 201.

Charrues. Essais du Plessis (Ringelmann). *Ap.* 1er *Août*, 139.

Criquets (Lutte contre les) en Charente. *Ag.* 3 *Août*, 177.

Engrais. Phosphate scorifié (Grandeau). *Ap.* 18 *Juillet*, 69.

— (Rapidité de nitrification des) (Welhers et Fraps). *CN.* 26 *Juillet*, 45.

— Utilisation des vinasses et vins perdus par maladie (Garrigon). *CR.* 22 *Juillet*, 252.

— Répression des fraudes. *Ap.* 1er *Août*, 134.

— Le compte des fumiers. *Ag.* 3 *Août*, 173.

Lait. Écrémage spontané. *Ap.* 9 *Août*, 175.

Farines. Rendements en pain (Balland). *CR.* 23 *Juillet*, 251.

Forêts. Météorologie forestière. Observations à l'École forestière (1867, 1899) (de Bonvelle). *BMA. Juin*, 240.

Greniers mobiles (Les). *Ap.* 25 *Juillet*, 112. Silos à grains. *Ap.* 15 *Août*, 210.

Gruyère. Fabrication. *Ap.* 18-25 *Juillet*, 71, 105; 1er *Août*, 142.

Herbe fraîche. Conservation par enmeulage. *Ap.* 1er *Août*, 135.

Irrigateurs. Captage des sources (Gandot). *Ag.* 27 *Juillet*, 141.

Silos à grains. *Ap.* 8 *Août*, 170.

Moissonneuses-lieuses. Expériences de Chalon. *Ag.* 27 *Juillet*, 150.

Plantes médicinales. Culture dans le Nord de la France. *Ap.* 25 *Juillet*, 102.

Pommiers. Maladie nouvelle par le Diplodia. *Ap.* 1er *Août*, 138.

Vigne. Phylloxera. Destruction par le carbure de calcium (Vassilieri). *BMA. Juin*, 222. Bouillies cupriques, moyen d'éviter la fraude. *Ap.* 15 *Août*, 207.

— Expériences de la Station œnologique du Gard en 1900 (Kayser et Barba). *BMA. Juin*, 229.

— *Vins*. Recherche de l'acide salicilique (da Silva). *ScP. Juillet*, 726.

— — (Distillation des) dans le Midi. *Ag.* 3 *Août*, 284.

— — Indicateur d'acidité (Runyan). *CN.* 9 *Août*, 65.

CHEMINS DE FER

Chauffage des voitures. Cie du Nord. *Ru. Juillet*, 121.

Chemins de fer français en 1900. Causes de l'augmentation des dépenses. *Ef.* 3 *Août*, 157.

— *électriques* (Les) (Cardew). *SA.* 19-26 *Juillet*, 653, 665 et à vapeur. Comparaison (Cserhati). *EE.* 27 *Juillet*, 130.

— — Métropolitain de Paris. Programme d'exploitation. *Gc.* 20 *Juillet*, 195.

— — Bex. Gryon Villars. *Gc.* 10 *Août*, 233.

— — (Les). *Rgc. Juillet*, 88.

— — Train. Sprague. *Ln.* 10 *Août*, 170.

— *Toul à Paul-Saint-Vincent* (Ligne de). *Rgc. Juillet*, 3.

Gare d'Orsay. Manutention des bagages. *Rgc. Juillet*, 34.

Locomotives américaines en Angleterre. *E'.* 26 *Juillet*, 89, 100; 10 *Août*, 139.

— autrichiennes à l'Exposition de 1900. *Rgc. Juillet*, 59.

— express. London Chatham. *E'.* 19 *Juillet*, 71. État français. *Pm. Août*, 117.

— — 6. Couplées du North-Eastern. *E'.* 26 *Juillet*, 82.

— — 4. Couplées. Great Western. *E'.* 2 *Août*, 115. Érié. *Rr.* (*Id.*), 79.

— — — État hongrois. *E'.* 10 *Août*, 144.

— — 3 couplées. Intercolonial canadien. *RM. Juillet*, 76.

— Échappement. Player. *RM. Juillet*, 83.

— Explosion de Knottingley. *E'.* 10 *Août*, 149, 155.

— Entretoises Nixon et Thomson. *RM. Juillet*, 85.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Locomotives. Réchauffeur d'alimentation. *RM. Juillet*, 83.
— Grille Kincaid. *RM. Juillet*, 85.
Matériel roulant. Chemins de la Rhodésia. *E.* 10 *Août*, 181.
— — à l'Exposition de 1900. *VDi.* 10 *Août*, 117.
Signaux. Répétiteur Cousin Rochatte et Soubrier. *Ri.* 27 *Juillet*, 295.
— pneumatiques. *E.* 2 *Août*, 157; *E'.* 10 *Août*, 151.
Tarif réduit pour marchandises en Allemagne. Résultats. *Rgc. Juillet*, 82.
Voie. Éclisse Ward. *Gc.* 3 *Août*, 229.

TRANSPORTS DIVERS

Automobiles *à pétrole* légers. *E'.* 19-26 *Juillet*, 58, 81; 2 *Août*, 111.
— — 6 chevaux Diedrich. *La.* 1er *Août*, 486.
— *électriques.* Dépense d'exploitation. *La.* 25 *Juillet*, 475.
— *à vapeur.* Serpollet. *Ru. Juillet*, 141.
— — Camions Thornycroft. Coulthard. *RM. Juillet*, 86.
— Transmission Eudelin. Dyer. *RM. Juillet*, 89.
Tramways *électriques* Barbillon et Griffisch par distributeur à échappement (Reynal). *EE.* 20 *Juillet*, 98.
— — London United. *E'.* 19 *Juillet*, 62.
— — et l'électrolyse. *Elé.* 3 *Août*, 70.
— — Contacts Kingsland. *Ri.* 20 *Juillet*, 281. Tosi-Parboni. *EE.* 10 *Août*, 213. Barbillon. Griffisch. *Gc.* 27 *Juillet*, 212.
— *à câbles* d'Édimbourg. *E'.* 19 *Juillet*, 57.

CHIMIE ET PHYSIQUE

Acides *bromhydrique.* Réaction sur l'argent (Jouniaux). *CR.* 22 *Juillet*, 228.
— *carbonique.* Fabrication. *Ms. Août*, 498.
— *azotique.* Nouveautés dans sa fabrication. *Ms. Août*, 504.
— *sulfurique.* Procédé au contact. *Ms. Août*, 506. Garniture des tours de Gay-Lussac. *Id.*, 507.
Acétals (Recherches sur les) (Delépine). *ACP. Août*, 482.
Air atmosphérique. Séparation des gaz le moins volatils et leurs spectres (Lweing et Dewar). *CN.* 26 *Juillet*, 37; 2 *Août*, 51; *RsL.* 30 *Juillet*, 389.
Barγum. Fabrication de l'oxyde. *Ms. Août*, 508.
Bois. (Conservation des) (Besson). *RCp.* 28 *Juillet*, 432.
Brasserie. Préparation des levures basses fermentant à haute température (Jacquemin). *ScP. Juillet*, 734.
Calorimétrie. Corrections des pertes de chaleur (Richards). *Fi. Août*, 81.
— Divers. *Cs. Juillet*, 734.
Céramique. Modification des propriétés physiques de l'argile par sa dessiccation. *Ms. Août*, 513.
— Analyse rationnelle de l'argile. *Ms Août*, 517.
Cérium. Production de l'oxyde pur (Sterba). *CR.* 22-29 *Juillet*, 221, 294.
Cellulose. Éthers mixtes et acides nitragents (Cross et Bevan). *CR.* 9 *Août*, 61.
Chaux et ciments. Chaux cristallisée (Jouve). *ScP. Juillet*, 710.
— Industrie du Portland en Californie. *Eam.* 20 *Juillet*, 71.
— Les mortiers hydrauliques (Chouliatchenko). Le Ciment. *Juillet*, 110.
Cæsium (Étude du) (Chabrié). *CR.* 27 *Juillet*, 336. 295.
Cristallisation des Solutions salines. N. 1er *Août.*
Cuivre. Action de l'hydrate cuivrique sur les dissolutions de sels métallifères (Mailhe). *CR.* 22 *Juillet*, 226.
Eaux. Épuration par le fer. Usine de Choisy-le-Roi. *Rt.* 25 *Juillet*, 319.
Égouts. Eaux d'épuration bactériologique (Rouchy). *Pc.* 1er *Août*, 103.
Essences et parfums. Divers. *Cs. Juillet*, 742.
Fermentation (Théories géométriques de la chimie de) (Pope). *SA.* 2-9 *Août*, 677, 690.
— (Levure. Nutrition azotée de la) (Thomas). *CR.* 29 *Juillet*, 312.
Gaz (Séparation mécanique des) (Marra). *Gc.* 20 *Juillet*, 197.
Hydrogène (Liquéfaction de). *N.* 25 *Juillet*, 317 (Dewar). *RsL.* 30 *Juillet*, 360.
Laboratoire. Divers. *Cs. Juillet*, 747. Acide salycilique. Dosage dans les vins et matières alimentaires (Pellet). *Ms. Août*, 494.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Laboratoire. Analyse des gaz par l'électricité (Berthelot). *ACP. Août*, 433.
— — par la spectroscopie (Berthelot). *Id.*, 447.
Influence du sélenium sur certains essais. *Cs. Juillet*, 751.
Abréviation des calculs de chimie (Richards). *Fi. Août*, 109.
Molybdène. Oxydes, sulfures et iodures (Guichard). *AcP. Août*, 498.
— (Alliages d'aluminium et de) (Cusillet). *CR.* 27 *Juillet*, 291.
Nitrocellulose (Contribution à la science de la) (Lunge et Deber). *CN.* 19-26 *Juillet*, 30, 41; 2 *Août*, 55.
Optique. Mesure des longueurs d'onde dans le spectre solaire (Perot et Habry) *CR.* 15 *Juillet*, 153.
— L'interféromètre. *AMa.* 27 *Juillet*, 772.
— Réseaux obtenus par la photographie de franges achromatiques (Merlin). *CR.* 22 *Juillet*, 215.
— Théorie nouvelle de la dispersion (Quesneville). *Ms. Août*, 525.
— Continuité des spectres dus aux solides et aux liquides incandescents (Décombe). *CR.* 29 *Juillet*, 282.
Oxygène industriel (l') Pictet. *CC. Juin*, 878.
Ozone. Densité et poids moléculaire. *CN.* 19 *Juillet*, 33.
Papier. Les piles. *Dp.* 27 *Juillet*, 474. 3-10 *Août* 490.
— Divers. *Cs. Juillet*, 739.
Pétrole roumains. Bases azotées dans le (Griffiths et Bluman). *ScP. Juillet*, 725. Revue du *Ms. Août*, 481. Au Texas. *Cs. Juillet*, 690.
Photographie. Plaques sensibles à l'ultra-violet (Schumann). *CN.* 26 *Juillet*, 40; 2 *Août*, 51.
— Procédés) d'impression à l'aide de la) (Carlioz). *Cc.* 3 *Août* 223.
Potasse. Hydrates de solides. Études thermiques (de Forcrand). *CR.* 15 *Juillet*, 157.
Radium. Radio-activité des sels de (Curie et Debierne). *CR.* 29 *Juillet*, 276. (Heen). *Rs.* 10 *Août*, 161.
Résines et vernis. Divers. *Cs. Juillet*, 728.
Solubilité des mélanges de sulfates de cuivre et de soude. (Massol et Maldes). *CR.* 29 *Juillet*, 287.
Soude. Hydrates solides. Étude thermique des (de Forcrand). *CR.* 22 *Juillet*, 223.
Soufre. Industrie en Sicile. *Ms. Août*, 510.
Sulfate de cuivre. (Cristallisation du) (Hopkins). *CN.* 26 *Juillet*, 42.
— *de magnésium.* Fabrication. *Ms. Août*, 500.
Sucrerie. Développement dans l'Inde. *E'.* 2 *Août*, 110.
Tannage. Divers. *Cs. Juillet*, 729.
Teinture. Divers. *Cs. Juillet*, 733-754. De laine en noire par le nitrosulfure de fer (Prud'homme). *SiM. Mai*, 177.
Aniline. Nouvelle préparation (Sabatier et Sandereur). *CR.* 5 *Août*, 321.
— Enlevage par réduction au moyen de la soude caustique et de la dextrine (Wilhelm). *SiM. Mai*, 180.
— Noir d'acétylène (Depierre). *SiM. Mai*, 189.
— Matières colorantes à base d'anthraquinone (Buntrock). *MC.* 1er *Août*, 193.
— Impression des tissus. Progrès récents. *MC.* 1er *Août*, 198.
— Divers. *MC.* 1er *Août*, 205. *Cs. Juillet*, 700, 709, 710.
— Revue de (Reverdin). *Ms. Août*, 486.
— Matières colorantes chromées dérivées de la phénilhydrazine (Caseneuve). *ScP. Août*, 758.
Tension de vapeur des solutions (Ponsot). *CR.* 5 *Août*, 341.
Thiosulfate de soude. Action sur les solutions métalliques à hautes températures et pressions (Norton). *American journal of Science. Août*, 115.
Thermomètres (Verres des) aux températures élevées (Mac Lettan.) *F. Juillet*, 63.
Uranium (Observations sur l'.) A trois basses températures (Becquerel). *CR.* 22 *Juillet*, 199.
Vinaigre. Différentiation biochimique des principaux ferments (Bertrand et Sarcrac). *ScP., Juillet*, 731.

COMMERCE ET ÉCONOMIE POLITIQUE

Angleterre. Recensement de 1901 et mouvement de la population. *Ef.* 20 *Juillet*, 85.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Brevets. Nouvelle procédure (Hardingham). *E.* 19 *Juillet*, 100.

Enseignement industriel en Hongrie. *Ef.* 10 *Août*, 201.

Famille. Organisation dans le nouveau Code Allemand (Crétinon). *Rso.* 1er *Août*, 154.

Grèves. Des Dockers de Marseille. *Musée Social. Juillet.* Aux États-Unis, *E.* 2 *Août*, 156. *E'.* 19 *Juillet* ; 68, des Chemins de fer corses. *Ef.* 27 *Juillet*, 117.

Impôts. Les moins values et leurs conséquences. *Ef.* 20 *Juillet*, 81.

Indo-Chine en 1900. *Ef.* 3 *Août*, 167.

Liége Industrie (du) (Raboum). *Rs.* 10 *Août*, 177.

Marines marchandes et navigation commerciale, *Ef.* 10 *Août*, 195.

Métaux; prix et consommations dans les 10 dernières années. Cuivre et plomb. *Ef.* 10 *Août*, 199.

Repos du Dimanche en France. *Rso.* 1er *Août*, 230.

Secours mutuels. Situation des Sociétés de la France. *Ef.* 27 *Juillet*, 120.

Sociétés par actions en France. Ef. 10 *Août*, 193.

Sucres et boissons, en 1889-1900. *BMA. Juin*, 271. 291.

Tarifs maxima et minima. Extension du système. Ef. 3 *Août*, 157.

Travail de la femme à Lyon. Syndicats de femmes. *Rso.* 1er *Août*, 182.

— *(Conseil supérieur du). Ef.* 3 *Août* 163.

CONSTRUCTION ET TRAVAUX PUBLICS

Barrages en maçonnerie. (Résistance des) (Ruffieux). *APc.* 1901, 5.

Ciment. Rapport de la commission des voûtes (Le Ciment). *Juillet*, 97.

Travaux publics de l'Allemagne (Dartein). *APc.* 1901, 1.

Ponts (Rivière des) dans l'Inde. *E'* 9 *Août*, 135.

— Viaduc de Mussy. *APc.* 1901 (6).

— De Manheim sur le Neckar. *Vrds.* 27 *Juillet*, 1033 ; 10 *Août*, 1129 ; de Tal-Y. Cafn sur la Conway. *E.* 2 *Août*, 145.

Ponts. Démontable chute par gauchissement (Périssé). *IC. Juin*, 823.

— Articulé en béton de las Sagadas. *Le Ciment. Juillet*, 103.

— Tournant de Carnavon, *E'.* 2 *Août*, 127.

Tunnel du Simplon. État d'avancement. *Rgc. Juillet*, 84. Métropolitain de Paris. *Ac. Août*, 120.

ÉLECTRICITÉ

Accumulateurs Croller. Hanscom. Hebner. Crent. *EE.* 20 *Juillet*, 105. Edison. *EE.* 27 *Juillet* 124. *Dp.* (*Id.*) 469. Machine Tufenthal à estamper les plaques. *EE.* 20 *Juillet*, 107.

— Max. *Ie. Juillet*, 318.

Chauffage électrique. Appareils de la Gold Car Heating Co. *Elé.* 27 *Juillet*, 49.

Dynamos. Oerlekon, à l'Exposition. *EE.* 20 *Juillet*, 77. Kririg (*Id.*). 3 *Août*, 137. Bréguet, 165.

— Balais tournants Rougé et Feget. *EE.* 3 *Août*, 186.

— Conduites directement par les moteurs. Réglage (Larche). *VDI.* 20 *Juillet*, 1017.

— Alternateurs de 180 K.w. de la Société d'Éclairage électrique. *EE.* 10 *Août*, 193.

— Système Siemens et Halske pour faire varier l'excitation du champ. *EE.* 3 *Août*, 185.

— Construction systématique des alternateurs (Larche). *E.* 10 *Août*, 173.

— Moteurs Lamme. *EE.* 27 *Juillet*, 140.

— — à vitesses variables par pôles mobiles Couffinhal et Wagner. *EE.* 3 *Août.* 187.

— — Alternateur Dery. *E'.* 10 *Août* 152.

Éclairage arc Lampe. Bardou. *Élé.* 19 *Août*, 81.

Électro-Chimie. L'industrie de l'. *Cs. Juillet*, 673 (Swan). L'action électro-chimique (Redd). *Fi. Juillet*, 46.

— Phénomènes périodiques de l'électrolyse (Kœlegen). *EE.* 27 *Juillet*, 143.

— Formation des perchlorates (Winteler). *EE.* 26 *Juillet*, 146. Des alcalis. *Cs. Juillet*, 715.

— Les diaphragmes (Le Blanc). *EE.* 27 *Juillet*, 152.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Électro-chimie. Chrome électrolytique (Neumann). *EE.* 27 *Juillet*, 154.
— Réciprocité de l'influence des solubilités (Welmore). *EE.* 27 *Juillet*, 155.
— Divers. *Cs. Juillet*, 725.
Hystérésis. Décollage produit par l'*Ie.* 23 *Juillet*, 326.
Mesures des hautes résistances (Rood).
American Journal of Science. Août, 91. Magnétiques par la méthode balistique (Montpellier et Alliamet). *Élé.* 20, 27 *Juillet*, 31, 56.
— Oscillographes (les). (Blondel) *Rgds.* 15, 30 *Juillet*, 612, 659.
— Ondographe Hospitalier. Courbes de phénomènes périodiques obtenus. *Ie.* 25 *Juillet*, 323.
— Phasemètre Frank Holden. *EE.* 3 *Août*, 183.
Pertes d'énergie par les diélectriques. *Ic.* 25 *Juillet*, 317.
Piles étalon. (Étude des). Élément Werton. *CC.* 3 *Août*, 191.
Redresseur électrolytiques. Pollak. *EE.* 27 *Juillet*, 117.
Télégraphie sans fil. Expériences de Marconi entre Antibes et la Corse. *EE.* 20 *Juillet*, 93. *Cm. Juillet*, 35.
— (Progrès de la) (Slaby). *VDI.* 27 *Juillet*, 1047. Application des résonateurs de Hertz (Johnson). *EE.* 3 *Août*, 178. Transmission des ondes hertziennes dans les liquides conducteurs (Nordman). *CR.* 5 *Août*, 339.
— Bedell. *Élé.* 3 *Août*, 65.
— Protection de fils contre les courants industriels. Règlements. *Élé.* 10 *Août*, 90.
— Dragage des câbles sous-marins (Larose). *EE.* 10 *Août*, 197.
Téléphonie. Annonciateurs téléphoniques sans fil pour postes secondaires. *Ic.* 25 *Juillet*, 321.
— A grande distance Pupin, *EE.* 3 *Août*, 168.
Transformateur rotatifs. Théorie (Colles). *Fi. Juillet*, 12.
Transports d'énergie, à 33 000 volts. *Elé.* 10 *Août*, 93.

HYDRAULIQUE

Pompes centrifuges pour les docks Tangye. *E'.* 26 *Juillet*, 84.
— à grande vitesse. Fafeur. *Ri.*
— Odesse. *RM. Juillet*, 91.
— Merryweather (*Id.*), 92.
— des eaux de Hampton. *E'.* 2 *Août*, 123.
— de Nashua. *RM. Juillet*, 89.
— à gaz Gobbe. *Ru. Juillet*, 125.
— à air Morris. *E'.* 2 *Août*, 119.
Usines de la vallée de l'Areuse (Baling). *APC.* 1901 (3).
Turbines 3000 chevaux. Niagara. *VDI.* 8 *Août*, 1095.

MARINE, NAVIGATION

Canal Dortmund-Ems. *VDI.* 20 *Juillet*, 1009.
Dock flottant. Marine espagnole. *E.* 19 *Juillet*, 95.
Échouage du paquebot l' « *Iraouaddy* ». *Rmc. Juillet*, 1425.
Machines marines de canots. Striikland. *E'.* 10 *Août*, 137.
— Progrès depuis dix ans (Mac Kehnie). *E'.* 10 *Août*, 157.
Marines de guerre. Cuirassés modernes (Wilmot). *E'.* 2 *Août*, 111.
— Cuirasses actuelles, leur résistance pendant le combat. *Rmc. Juillet*, 1541.
— Artillerie navale (Dawson). *E.* 9 *Août*, 199.
— — allemande. *Rmc. Juillet*, 1558.
— — anglaise. Croiseurs « Hyacinth » et « Minerva ». *E'.* 19 *Juillet*, 63. *Rmc. Juillet*, 1566. *E.* 9 *Août*, 189.
— — — Développement pendant le dernier cinquantenaire. *Rmc. Juillet*, 1460.
— États-Unis. Transport Summa. *E.* 19 *Juillet*, 79. *Rmc. Juillet*, 1572.
— — Croiseur Charleston. *E'.* 26 *Juillet*, 87.
— — Italie. *Rmc. Juillet*, 1574.
— — Russie. *Rmc. Juillet*, 1576.
— — Turquie. *Id.*, 1577.
Propulsion des navires. Théorie (Mansel). E'. 10 *Août*, 143. Calcul des propulseurs hélicoïdaux (Chaigneau). *Bam. Juillet*, 648.
Pas-de-Calais (Histoire de la navigation du). *E'.* 2 *Août*, 114.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pêche allemande dans le Nord. *Rmc. Juillet*, 1625.

Port de Brême. Rmc. Juillet, 1594.

Régularisation des rivières de l'Allemagne du Nord (Robert). *APC.* 1901 (2).

MÉCANIQUE GÉNÉRALE

Câbles (Fabrique de) à Wakefield. *E'.* 29 *Juillet*, 98.

Chaînes sans soudure par laminage annulaire. *Rc.* 25 *Juillet*, 328.

Changement de marche Ball. *RM. Juillet*, 114.

Compresseur d'air Boréas. *Ri.* 13 *Juillet*, 273.

— Hallander. *RM. Juillet*, 115.

— Stumpf, Taylor, d'Auria (*Id.*), 116.

— de la Compagnie des Omnibus. Usine de Billancourt. *Gc.* 20 *Juillet*, 185.

— hydraulique Ferraris. *Eam.* 13 *Juillet*, 35.

Drague à pétrole pour dragages d'entretien. (Wender). *APc.* 1901 (7).

Chaudières (Évaluation de la puissance des). *EM. Juillet*, 684.

— *à tubes d'eau* à la mer. *E'.* 26 *Juillet*, 95. *E.* (*Id.*), 121, 124.

— — Durr. *E.* 19-26 *Juillet.* 80, 129. *E. Août*, 164.

— — Stralendorf. Société d'automobiles. Société industrielle. *RM. Juillet*, 63.

— Appareils de sécurité (Sinigaglia). *RM. Juillet*, 18.

— Cheminée en ciment armé. *Gc.* 3 *Août*, 229.

— Circulateur Makin. *E'.* 26 *Juillet*, 88.

— Détendeur D'Esté. *Ri.* 13 *Juillet*, 275.

— Eaux pour chaudières. *E'.* 19 *Juillet*, 67. Chimie des dépôts (Ridenour). *Fi. Août*, 113. Filtre Duplex. *RM. Juillet*, 67.

— Grattoir pour tubes. Lantac. *E.* 26 *Juillet*, 136.

— Grilles American Stocker C°. *RM. Juillet*, 73. Lutz (*Id.*), 76.

— Injecteur Sticker. *RM. Juillet*, 68.

— Joint tubulaire Borrowman. *Ri.* 10 *Août*, 316.

— Niveau d'eau. Winn. *E'.* 20 *Août*, 117. Hopkinson. *RM. Juillet*, 75.

Chaudières. Réchauffeur d'alimentation Jonsson. *RM. Juillet*, 74. Stewell (*Id.*), 75.

— Soupapes de sécurité Hopkinson, Fernold. *RM. Juillet*, 73.

Essoreuse pour séparation mécanique des gaz. Marza. *Ri.* 10 *Août*, 313.

Horlogerie. Horloge électrique Barr. *E.* 26 *Juillet*, 117.

Joint à angle variable Kœnigs. *CR.* 15 *Juillet*, 139. Joints d'obturation (Buard). *Bam. Juillet*, 739.

Levage (Appareils de) à l'Exposition de 1900. *VDI.* 20 *Juillet*, 1027.

— Manutentions aux docks de Pennarth. *E'.* 26 *Juillet*, 91.

— des minerais aux Grands Lacs. *EM. Août*, 657.

— Basculeurs des docks de Penarth. *E'.* 2 *Août*, 118.

— Crochet à air comprimé Rutherford. *RM. Juillet*, 92.

— Freins pour grues (Ernst). *VDI.* 3-10 *Août*, 1081, 1123.

— Grue électrique à plateau de 1 500 kilogrammes. *Ri.* 3 *Août*, 301. Flottante de 80 tonnes. Port de Santos. *E.* 9 *Août*, 182.

— Manutention des bagages au quai d'Orsay. *Ri.* 10 *Août*, 314.

Machines-outils. Ateliers aux États-Unis. *EM. Juillet*, 677. Stanley à Newark. *E.* 19 *Juillet*, 71. Ransome (*Id.*), 71. Vickers. *E.* 26 *Juillet*, 110. De construction navale (Disposition des). (Dunn). *E.* 2-9 *Août*, 169, 183.

— — L'interchangeabilité (*Id.*), 741.

— Alésoir Hulse et Bates. *RM. Juillet*, 94.

— Clé à vérous Lacore. *Bam. Juillet*, 730.

— Fraiseuse Cincinnati. *AMa.* 27 *Juillet*, 582.

— — Richards. *RM. Juillet*, 56.

— — Automatic M. C° *RM. Juillet*, 96.

— Forge à l'étampe (Horner). *E.* 26 *Juillet*, 105.

— Limeuse Cochrane. *AMa.* 27 *Juillet*, 780.

— Marteau Massey. *Ri.* 13 *Juillet.* 275. Tannett Walker. *RM. Juillet*, 97.

— Meules Reinecker. *Dp.* 27 *Juillet*, 477.

— Perceuse pour brides de tuyaux. Addy. *E.* 2 *Août*, 139.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Machines-outils. Perceuse Burwell. *RM. Juillet*, 101.
— Tours à commande électrique. Schumacher. *AMa.* 3 *Août*, 809. A lunettes Dreyer et Cabish. *RM. Juillet*, 102. à revolver. Polter et Johnson (*Id.*), 106. Avanceur Von-Pitler (*Id.*), 109. Porte-outil Hartness (*Id.*), 110.
— Chuck, Kummel et Goodrich. *RM. Juillet*, 113.
— Raboteuses latérales Richards. *RM. Juillet*, 60. Boneberg. *RM. Juillet*, 101.
— Scies à rubans, réglage de la poulie folle. *Ri.* 20 *Juillet*, 284.
— Machine à vis Tanney. *RM. Juillet*, 111. Hakewessel (*Id.*), 112.

Moteurs à vapeur 8000 chevaux. Allis. *RM. Juillet*, 45.
— Analyse du diagramme (Brauer). *Dp. Août*, 501.
— Demi-fixes Wolf. *VDI.* 27 *Juillet*, 1066. *Pm. Août*, 114.
— Bielles Hunt. *RM. Juillet*, 120.
— Détente et compression Duchhauvers et Duchesne. *RM. Juillet*, 6.
— Distributions Marshall et Wigram, Davey Paxman, Wilson, Konig, Robey. *RM. Juillet*, 121.
— (Équilibrage des machines). *E.* 19 *Juillet*, 92. (Mac Alpine) (*Id.*), 97.
— Condenseurs Worthington, Wheeler. *RM. Juillet*, 123.
— Enveloppe (Rôle de l'). (Duchesne). *Ru. Juillet*, 212.
— Piston Wheelock. *AMa.* 27 *Juin*, 790.
— Stuffing box metallique Ward. *E.* 2 *Août*, 163.
— Soupapes de Cylindres, Pignet, Schreidt. *RM. Juillet*, 124.
— Régulateur Shanks. *E'.* 10 *Août*, 137.
— Turbines Parsons. Essai. *RM. Juillet*, 49. Ashton, Viale (*Id.*), 124.
— **à gaz** à l'Exposition (Freytag). *VDI.* 27 *Juillet*, 1063.
— — Westinghouse. *RM. Juillet*, 126.
— — de 1000 chevaux Raymond. *RM. Juillet*, 53.
— — de hauts fourneaux (Deschamps). *RM. Juillet*, 27. Souflerie Stumpf. *RM. Juillet*, 55. Nettoyeur Korting. *Gc.* 10 *Août*, 244.

Moteurs à Gaz. Régulateurs Bouer, Gardner. *RM. Juillet*, 127.
— — Mise en train Bellamy (*Id.*), 128.
— **à pétrole** Bravo, Diesel. *RM. Juillet*, 129.
— — Essais de Cardiff. (*Id.*), 131.

Résistance des matériaux. Essais à la flexion par choc de barreaux entaillés (Charpy). *IC. Juin*, 848.
— Résistance des plaques encastrées (Barrett). *AMa.* 10 *Août*, 828.

Sécurité (Appareils de) à l'Exposition de 1900 (Schmerber). *Gc.* 20-27 *Juillet*, 193, 207; 3 *Août*, 225.

MÉTALLURGIE

Alumino-thermie (L') (R. Austen). *N.* 8 *Août*, 364.

Fer et acier. Ancienne sidérurgie au Japon. *SuE.* 15 *Août*, 841. Porosité des lingots. *SuE.* 15 *Août*, 857. Presse à lingots de 1000 tonnes. *Gc.* 10 *Août*, 240.

Fonderie; moulage mécanique des engrenages. O Neil. *Ri.* 13 *Juillet*, 274. Machine à couler Roheisen. *SuE.* 15 *Août*, 850.

Minerais complexes. Métallurgie des (Gin). *Bam. Juillet*, 689.

Or. Essais des minerais (Smit). *CN.* 9 *Août*, 62.

Plomb. Progrès de sa métallurgie (Gautier). *Pm. Août*, 122.

MINES

Asphaltes du Keutucky. *Eam.* 10 *Août*, 165.

Bassin de l'Est. Industries minières et métallurgiques. *Ru. Juin*, 292.
— Lorrain-Luxembourgeois. *Ru. Juillet*, 108.

Boccard portatif. Hathorn. *E'.* 10 *Août*, 152.

Colonies françaises. Richesses minérales (Pelatan). *Ru. Juin*, 225; *Juillet*, 1.

Câbles plats en aloès pour extractions à grandes profondeurs (Étude des). (Vertongen). *Ru. Juin*, 264.

Chine. Étude géologique du Nord de la (Leprince Ringuet). *AM. Avril*, 346.

District de Verde Arizona. *Eam.* 10 *Août*, 169.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Épuisement. Pompe différentielle Davey. *E'*. 10 *Août*, 141.

Électricité. Emploi aux ardoisières de l'Anjou. *Elé.* 27 *Juillet*, 50; 3-10 *Août*, 73, 82.

— — aux mines du grand-duché du Luxembourg. *Ru. Juillet*, 116. Au Comstock, extraction. *Eam.* 3 *Août*, 140.

Fer. Gisements de Briey. *Ru. Juillet*, 43.

Fonçages et installation d'un puits de 1000 mètres à Ronchamp (Poussigne). *Im. Mai*, 159.

Fonçages en Australie. *E'*. 10 *Août*, 135.

Or. Dragage en Californie. *Eam.* 13 *Juillet*, 41.

— Côte de l'Afrique ouest. *Eam.* 20 *Juillet*, 67.

— Mine Reynolds, Georgie. *Eam.* 20 *Juillet*, 68.

Parachutes (Théorie des) (Henry). *Ru. Juillet*, 158.

Le Gérant : GUSTAVE RICHARD.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

100e ANNÉE. SEPTEMBRE 1901.

BULLETIN

DE

LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

ARTS MÉCANIQUES

RAPPORT fait par **M. Édouard Simon**, au nom du *Comité des Arts mécaniques*, sur un système d'obturateur pour becs de gaz, par **M. le capitaine d'artillerie Girardville**, 6, rue Michelet, à Montreuil-sous-Bois (Seine).

MESSIEURS,

La plupart des becs de gaz présentent l'inconvénient de donner lieu à des fuites qui augmentent avec l'usure des robinets. Bien que les odeurs caractéristiques et désagréables du gaz d'éclairage ordinaire et de l'acétylène prémunissent le consommateur contre certains accidents, ces fuites, sans parler de la dépense, sont toujours redoutables.

Les gaz inodores et notamment l'oxyde de carbone, mélangé ou non à d'autres fluides combustibles, sont plus dangereux encore, parce qu'ils s'infiltrent de façon insidieuse à travers l'air ambiant et parfois ne se révèlent que par des explosions violentes et des intoxications mortelles.

Frappé de l'imperfection des appareils en usage, M. le capitaine Girardville s'est efforcé d'y remédier au moyen d'un système d'obturateur, qu'il soumet à votre appréciation. Deux points essentiels constituent l'invention : la fermeture du robinet effectuée de manière à obtenir le contact intime des surfaces d'occlusion, et la garniture de la clef à l'aide de joints particuliers.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Sur le raccord fileté, qui existe dans tous les appareils et qui doit porter le brûleur, M. Girardville visse une pièce en bronze cylindro-conique A (fig. 1) à deux pas intérieurs superposés.

Le pas inférieur sert tout d'abord, comme il vient d'être dit, à former raccord. Le pas supérieur reçoit la clef évidée du robinet B (fig. 2), filetée

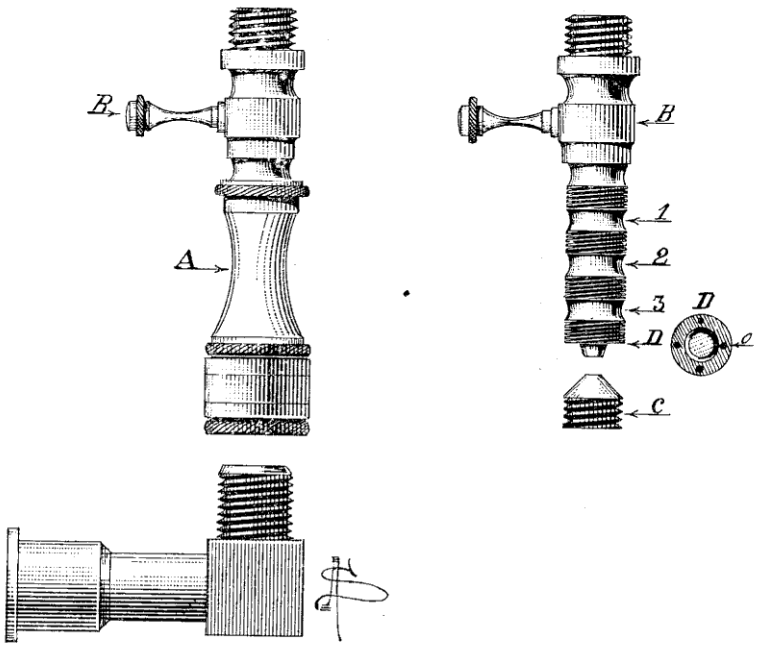


Fig. 1 et 2.

A Raccord cylindro-conique à double pas de vis intérieur. — B Clef évidée du robinet (en bronze) avec filetage extérieur correspondant au pas de vis intérieur de la partie haute de A. — C Ajutage en acier, percé d'un trou central et fileté extérieurement pour se visser à la partie inférieure et intérieure du raccord A, vis-à-vis de l'embase de la clef B. — 1 et 3 gorges annulaires formant joints et garnies de suif ; 2 gorge intermédiaire remplie de glycérine. — D Plan de l'embase venant appuyer sur l'ajutage C, lors de la fermeture du robinet. *o*, *o*, *o*, *o* Petits orifices également répartis autour de l'embase D pour le passage du gaz, de l'ajutage C à l'intérieur de la clef B.

extérieurement ; ce filetage est interrompu, sur la hauteur, par trois gorges annulaires 1, 2, 3, formant autant de joints.

Les deux gorges extrêmes sont garnies de graisse, de suif, par exemple, la gorge intermédiaire est remplie de glycérine ; ce liquide s'oppose au passage du gaz quand bien même le filetage a pris du jeu. A la partie inférieure, la clef se termine par une embase cylindrique, formant saillie au centre d'un cercle D, percé de quatre petits orifices. Vis-à-vis, et à distance convenable (réglée au moyen du pas inférieur du raccord) se visse un ajutage conique en acier C, percé d'un trou central. Aussi longtemps que le robinet est ouvert, c'est-à-dire que l'embase de la clef est écartée de l'ajutage, le gaz arrive, à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

travers ce dernier, aux quatre orifices ci-dessus mentionnés et, par le canal intérieur de la clef, jusqu'au brûleur. Lors de la fermeture du bec, l'embase (en bronze) vient clore l'ouverture du cône d'acier, dont la pointe pénètre légèrement dans le métal relativement mou qui lui est superposé. Cette pénétration assure une occlusion absolue. L'usure pouvant résulter, à la longue, de ce serrage énergique est sans inconvénient, parce qu'elle est facilement compensée par le vissage de l'ajutage.

L'obturateur breveté par M. le capitaine Girardville n'est pas encore dans le commerce. Cet ingénieux dispositif mérite d'être soumis à une expérimentation prolongée, qui démontre l'utilité d'une fabrication industrielle permettant d'établir le nouveau robinet dans des conditions de prix favorables à sa généralisation. En conséquence, le Comité des Arts mécaniques vous propose, Messieurs, de remercier l'inventeur de sa communication et de voter l'insertion au Bulletin, du présent rapport, accompagné des dessins utiles à la représentation de l'obturateur, et d'une légende explicative.

Signé : Édouard Simon, *Rapporteur.*

Lu et approuvé en séance le 12 juillet 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

COMMERCE

LES ÉTATS DANUBIENS

Par **Joseph Mallat**, *Professeur d'Économie commerciale* (1).

II

Économie sociale. — Croates, Serbes ou Roumains, les peuples desquels nous nous occupons sont essentiellement pasteurs et cultivateurs. Le travail de la terre a toujours été considéré chez eux comme le plus digne de l'homme, et le commerce de ses fruits comme celui auquel on peut se livrer avec honneur. Aussi les institutions sociales ont-elles généralement eu pour objet les intérêts ruraux et la vie patriarcale s'y est-elle conservée avec des formes très appropriées aux temps, mais avec des principes immuables.

Il n'est donc pas surprenant que les villes aient mis bien longtemps pour se développer et qu'à peine commencent-elles à être ce que, depuis bien des siècles, elles sont dans le reste de l'Europe (2).

La Zadruga croate, la Zadruga serbe sont des institutions qu'on doit souhaiter voir perpétuer, car elles assurent la richesse ou tout au moins le maintien de l'aisance chez le cultivateur.

Qu'est-ce que la Zadruga?

La Zadruga. — La Zadruga est une institution qui procède du clan écossais et de la société de famille, le pueblo d'Amérique. Cette institution remonte à la plus haute antiquité, et, alors que les révolutions amenaient la disparition de la plupart des autres institutions, celle-ci demeurait vivace et faisait ressembler les peuples slaves du sud au peuple hébreu au temps des douze tribus, au temps des familles patriarcales.

Reconnue par la loi serbe, la Zadruga est ainsi définie par l'article 507 de son Code civil :

« La Zadruga est une communauté de vie et de bien fondée et appuyée sur la parenté naturelle ou adoptive. »

(1) Voir le *Bulletin* de mars 1901.

(2) On compte en Serbie près de 2500 villages ou chefs-lieux d'Opchtinas qui se développent graduellement et deviennent petit à petit des bourgs ruraux assez importants.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Elle a une durée perpétuelle et constitue une personne civile. Elle peut agir en justice. Elle se compose d'autant de personnes qu'en comporte la famille. Elle vit sur un domaine collectif indivisible, dans un enclos et sur des terres que tous les membres possèdent en commun, à titre égal de propriétaires mais dont aucun n'a le droit de vendre ni d'hypothéquer une part indivise. Le père, chef de la Zadruga, vit là avec ses fils et ses petits-fils. La fille qui se marie reçoit une dot mais elle ne peut réclamer sa part du bien commun. Celui qui quitte sans esprit de retour perd ses droits. A la mort du père, la Zadruga élit son nouveau chef.

Cette institution, précieuse comme œuvre de moralisation, ne l'est pas moins comme œuvre de prospérité sociale. Elle évite le morcellement, l'émiettement de la propriété et de ces droits de succession et de mutation qui sont la ruine du petit cultivateur ; elle maintient dans l'union si utile à l'établissement et à la conservation des fortunes tous les membres de la même famille, et leur assure la force qui résulte partout et toujours de l'union.

De nouvelles dispositions des lois Serbes autorisent la dissolution de la Zadruga, mais sous des conditions restrictives qui en sont encore une sauvegarde. Les municipalités, toutefois, de peur que ces dispositions ne facilitent par trop la disparition de cette institution, encouragent au contraire son développement en mettant à sa disposition des terres qui ont jusqu'ici composé leur patrimoine communal.

En Croatie, la Zadruga perd de sa popularité. Sous l'influence magyare elle tend à disparaître, et M. Émile de Laveleye, dans une étude sur l'évêque Strossmayer publiée il y a quelques années dans la *Revue des Deux Mondes*, met dans la bouche d'une vieille Croate les doléances des vieillards en présence de l'affaiblissement de l'esprit de famille résultant des dissolutions trop fréquentes des Zadrugas.

La Moba. — A côté de la Zadruga, les Slaves du sud pratiquent la *moba*, autre institution patriarcale ou plutôt usage rural, qui est une forme de la solidarité entre agriculteurs de la même commune et des bonnes relations de voisinage.

Le Slave de la péninsule balkanique n'aime pas à louer ses services, mais il prête volontiers un concours désintéressé à charge de revanche. Un paysan qui, à l'époque de la récolte, n'est pas en mesure, à l'aide de ses propres forces, de faucher ses foins ou de rentrer ses céréales, prie ses voisins de lui venir en aide tel jour. Les voisins arrivent au jour dit avec tous leurs outils et sont, pendant un jour ou deux, les hôtes de celui qu'ils aident à faire la récolte. Il n'est pas question de paiement, le service rendu reposant sur une parfaite réciprocité : c'est la *Moba*.

La culture des terres, les céréales et la vigne sont les objets de l'agriculture

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dans les États balkaniques. Leur vente en est presque le seul commerce, avec celui des produits de l'élevage.

Agriculture. — Tous les animaux domestiques et de boucherie dont on cultive les espèces en Europe sont l'objet de l'élevage sur les collines qui dominent le Danube, la Save, les deux Morawa et la Maritza et trouvent dans les vallées de ces cours d'eau les pâturages qui leur sont nécessaires. Le bœuf serbe a une robe gris sale et les cornes semblables à celles des bœufs allemands. Sa viande est de très bonne qualité. Le porc y est l'objet d'un grand commerce. On y a beaucoup élevé le buffle pour les travaux agricoles, mais aujourd'hui on lui préfère le cheval, parce qu'on a reconnu que, là où deux ou trois paires de buffles étaient nécessaires, on peut, avec deux chevaux, faire le même travail. En Bulgarie, en Macédoine et en Bosnie, on se sert beaucoup du buffle pour le roulage sur les routes et pour les longs transports.

Race chevaline. — On travaille particulièrement en Dalmatie et en Bosnie à l'amélioration de la race chevaline. Le produit du croisement de la race serbe avec la race arabe est de petite taille, peu élégant mais vif, alerte, très dur à la fatigue et son pied est d'une incomparable sûreté. Mgr Strossmayer, avec ses haras d'étalons hongrois, a fait faire des progrès considérables à l'élevage du cheval daus toute la presqu'île.

Forêts. — Les forêts seraient une source d'incalculables richesses pour les pays qui nous occupent, et particulièrement pour les Serbes et les Roumains, si l'exploitation en était faite avec intelligence et méthode. Les forêts sont, en effet, dans ces contrées et en Transylvanie, très nombreuses et très étendues. Toutes les essences forestières de l'Europe y sont représentées par des sujets beaux, vigoureux et de très bonne qualité. On y trouve particulièrement le chêne rouge, dont les facettes marbrées sont très prononcées, et qui fournit un bois magnifique pour la fabrication des meubles.

Quelques intéressants essais d'exploitation ont été tentés avec plus ou moins de succès, mais jusqu'ici inhabilement.

Concessions d'exploitation. — Voici que vont s'ouvrir de nombreuses gares de chemin de fer sur des lignes multiples reliant les centres forestiers à tous les points de transit correspondant à toutes les grandes lignes d'exportation. Ce sera alors le moment d'essayer de nouveau l'exploitation des forêts par les procédés mécaniques, les seuls qui puissent donner des résultats rémunérateurs.

La législation en la matière n'est pas la même pour tous les États danubiens. Il est, en général, assez facile d'obtenir des concessions de coupe de forêts, mais il faut toujours être très prudent et s'assurer, qu'après avoir obtenu une concession ponr un prix déterminé, une autre autorité que celle avec laquelle on a traité ne viendra pas, à son tour, en demander le paiement.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les arbres fruitiers sont très nombreux, surtout au centre de la Pénisule. La pomme, la cerise, la noix y sont l'objet d'importantes transactions; mais c'est surtout le pruneau qui y est l'objet d'une culture intensive et constitue une des richesses de la Serbie et des pays circonvoisins. Il n'y a pas de village où quelques habitants au moins n'aient un enclos de ce produit, et nous verrons par les statistiques à quels trafics il donne lieu. En 1880 on évaluait à 15 à 20 millions de kilogrammes l'exportation des pruneaux pour la seule Serbie.

Le lin, le chanvre et le tabac sont également produits en abondance par l'ancienne Turquie d'Asie et trouvent de faciles débouchés sur les marchés voisins d'Orient et d'Occident.

La soie. — Comme les mûriers s'y développent d'une façon tout exceptionnelle, il serait naturel que la culture du ver à soie y fût pratiquée sur une large échelle. Il n'en est cependant rien parce que les paysans serbes manquent de l'éducation nécessaire à cette branche de l'industrie agricole.

Il n'en fut toutefois pas toujours ainsi.

On dit que c'est vers 1720 ou 1730 que le gonverneur du Banat (Hongrie), le comte de Mercy — un Belge — introduisit en Serbie la culture du mûrier pour l'usage du bombyx de la soie. Le ver à soie de l'espèce balkano-albanaise fut cultivé et donna des résultats appréciés. La production de la soie en Serbie se développa rapidement tandis que l'exportation des cocons en Italie commençait à se faire sérieuse. Tombée à peu de chose vers le milieu du XIX^e^ siècle, la culture du ver à soie, malgré les encouragements du gouvernement serbe, ne s'est guère relevée et l'abaissement du prix de ses produits amène sa rapide décadence.

Enfin, le miel, la cire et la laine sont l'objet d'un important commerce.

Cette nomenclature des produits de l'agriculture n'est point complète. A peine donne-t-elle une idée de la variété des ressources que peut tirer de son sol vraiment fécond l'agriculteur peninsulaire lorsqu'il met de l'intelligence dans son travail.

Eaux minérales et thermales. — A côté de ces productions du sol, qui ont une valeur effective dans la fortune publique, il en est d'autres auxquelles on a bien jusqu'ici reconnu des qualités précieuses, mais dont on n'a encore tiré aucun parti économique, ce sont les sources d'eaux minérales. La plupart d'entre elles furent connues et appréciées des Romains.

Elles sont abondantes, et, sous un climat aussi clément, aussi tempéré, entre les 39^e^ et 46^e^ degrés de latitude nord, entre les 14^e^ et 25^e^ degrés de longitude est, avec les facilités de transports que procure la grande voie ferrée qui rejoint Paris à Constantinople en passant à proximité des grandes capitales européennes, on est surpris que des eaux auxquelles des sommités médicales comme le D^r^ Lindenmayer ont reconnu des propriétés thérapeutiques considérables, n'aient

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

jusqu'ici donné naissance à aucune de ces villes d'eaux que fréquentent les étrangers et qui sont, pour les pays qui ont le bonheur de les posséder, une source inépuisable de richesses.

Stations balnéaires. — Malgré la beauté des sites, malgré les facilités de communication, l'installation dans les stations thermales de la Serbie, qui en possède de nombreuses (1), est encore tellement primitive que seuls les malades du pays et des pays circonvoisins les ont jusqu'ici fréquentées.

Une société financière, solidement constituée, qui saurait offrir des garanties suffisantes à la municipalité de Wrntzé, par exemple, dont les eaux sont comparées comme vertu à celles d'Ems et de Carlsbad, pour obtenir le privilège de l'exploitation de ses sources et de celles d'Yochanitza « l'eau jaillissante la plus chaude connue en Europe » qui en sont voisines, et qui, en ce magnifique site, créerait des établissements confortables capables d'attirer et de retenir les étrangers, aurait bien peu de peine à en faire une station mondaine de premier ordre. La seule réclame intéressée des Compagnies de chemins de fer a mis à la mode des stations qui avaient par elles-mêmes beaucoup moins de charmes et dont les eaux étaient bien moins efficaces.

*
* *

Le sol de la péninsule balkanique n'est pas seulement riche en humus, en matières azotées et fertilisantes produisant des céréales, des vignes, des pâturages et des forêts ; son sous-sol ne possède pas seulement des sources thermales et des eaux minérales riches en principes curatifs ; ses richesses minéralogiques sont considérables et il n'est peut-être en Europe que l'Angleterre et la Belgique pour posséder des centres miniers aussi rapprochés les uns des autres.

Mines et charbons. — Le lignite et la houille abondent dans la vallée sud du Bas-Danube et dans celle de la Morawa. Des gisements très riches de cuivre sulfuré ou pyriteux, de dorite, des minerais de fer, d'hématite alumino-siliceuse, de plomb, de zinc, de galène, d'antimoine, sont répandus en abondance dans la région baignée par la Drina et dans toute la vallée de la Save. Et, chose intéressante à noter, ces gisements qui offrent des couches d'épaisseurs très variées se trouvent souvent presque à fleur de terre, mais généralement à une très faible profondeur.

Les Croates, les Serbes, les Bulgares et les Roumains ont eu longtemps peu

(1) Nous ne pouvons citer toutes les eaux minérales qui se rencontrent sur de nombreux points de la Serbie.

Les plus connues sont celles d'Arandjelovatz, Aleixinatz, Rybar, Wrntzé, Smardan-Bara, Nisch, Vranja, etc., etc.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de dispositions pour l'industrie. Leur éducation industrielle est à peine commencée, aussi leurs richesses métallurgiques n'ont-elles été jusqu'ici exploitées que par quelques compagnies anglaises ou autrichiennes qui ne paraissent pas avoir parfaitement réussi.

Exploitation des carrières. — Il paraît, qu'avant la conquête turque, des Ragusains et des Allemands avaient commencé à ouvrir d'importantes carrières et des mines qu'ils durent abandonner lorsque les prescriptions du Koran furent imposées aux provinces soumises à la domination ottomane. Le Koran défend, en effet, de creuser le sol pour en extraire des pierres et des minerais.

Mais ces peuples, qui paraissaient si éloignés de toute culture industrielle, commencent à s'ouvrir à la civilisation occidentale. Ils ne s'opposent plus à l'exploitation de leur sol et accordent facilement des concessions aux étrangers qui viennent installer chez eux des industries métallurgiques. Ils les considèrent comme des éducateurs qui leur portent de nouvelles sources de prospérité nationale et s'intéressent au succès de leurs entreprises.

Études géologiques. — Nous ignorons cela en France et nous paraissons même très peu soucieux de l'apprendre, tandis que nos plus puissants voisins envoient là-bas des missions composées d'ingénieurs et de techniciens pour procéder à des analyses et à des sondages, prélever des échantillons, se renseigner sur les ressources en main-d'œuvre que possède le pays et sur la législation qui régit les exploitations minières.

Ces ingénieurs et ces techniciens sont préalablement munis de cartes géologiques fort bien faites et de rapports officiels adressés à leurs gouvernements par des agents spécialements chargés de ces études. Car il ne faut pas croire, qu'en ces États de la péninsule balkanique, il n'y ait pas de géologues et de minéralogistes, de chimistes savants aussi capables que dans quelque autre nation que ce soit ; il ne faut pas supposer que leurs gouvernements ne soient pas exactement renseignés sur la valeur des richesses que renferme leur sol. Je ne veux pour preuve de la vérité de mon assertion, que le rapport publié en 1874 dans le *Srbske Novine*, journal officiel du royaume de Serbie, par M. Koffmann, ingénieur des mines au département des finances.

D'après l'estimation du rapporteur et d'après l'étude qu'il en a faite, les seules mines de Serrié (sur la Morawa) ne contiennent pas moins de 27 millions de quintaux métriques de charbons.

Pourquoi nos industriels français n'ont-ils pas eu l'idée d'aller là-bas prendre une place qui eût assurément été honorable au milieu de leurs concurrents?

La question de la main-d'œuvre. — Ont-ils de bonnes raisons à donner de cette abstention?

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ils en donnent certainement. Ils allèguent d'abord la difficulté de trouver sur place la main-d'œuvre nécessaire à de grandes entreprises et se servent pour cela d'une phrase devenue un vieux cliché, car nous l'avons retrouvée il y a plus de quinze ans dans une étude où elle pouvait être alors l'expression de la vérité, où elle était, en tous cas, la confirmation de ce que nous avons dit à propos de la *moba :* le Slave de la péninsule balkanique n'aime pas à louer ses services, sa fierté le lui défend.

Cette phrase, la voici :

Le paysan roumain, comme le paysan serbe, est essentiellement agriculteur. L'ouvrier n'existe pas, dans ces pays, en tant que classe sociale, c'est-à-dire que tous, à de très rares exceptions près, possèdent un bout de champ, soit en propriété, soit à titre de ferme. Dans ces conditions, dès que la terre a besoin de leurs soins, ils délaissent tout autre travail pour se consacrer à sa culture.

Donc on ne saurait compter sur eux comme ouvriers industriels.

Certes, le Slave méridional est fier. Le Monténégrin particulièrement est si fier qu'il croirait abaisser sa dignité en se livrant à quelque commerce. En revanche, après l'agriculture qui est une noble occupation, la chasse est considérée par lui comme un passe-temps dans lequel l'homme s'élève moralement au-dessus de tous ceux qui s'astreignent à un autre labeur. La fierté du Monténégrin est la même que celle du Castillan qui, drapé dans son manteau, passe sa vie à se promener sur les places de Séville ou de Cadix, vit dans la misère la plus profonde et supporte toutes les privations plutôt que de s'occuper à une œuvre servile.

Certes aussi, le Serbe est fier et il est parfaitement vrai qu'à celui qui lui demande s'il y a une noblesse en Serbie, il répond toujours : « Mais oui il y a une noblesse, et tous les Serbes en sont. »

Mais ce qui est aussi parfaitement vrai, c'est que, sous l'influence de la civilisation occidentale et de l'indépendance qui a donné un nouveau champ à l'initiative privée, il s'est produit depuis quelques années une transformation sensible dans les conditions sociales des peuples de la péninsule balkanique et que les États qui la compoaent sont en voie de développement industriel et de croissance sociale.

Les nouveaux moyens de communication, la grande voie ferrée qui relie l'Orient à l'Occident en traversant complètement les pays qui nous intéressent ont considérablement aidé à cette transformation et donné raison aux prévoyances de M. de Reverseaux, aujourd'hui ambassadeur de France à Vienne, qui m'écrivait le 27 avril 1886 :

A mon sens, l'établissement des chemins de fer est de nature à changer les conditions économiques de la Serbie (il aurait pu ajouter : et des autres États Danubiens), en mettant les indigènes en contact avec les Occidentaux et en leur faisant connaître une existence et un bien-être qu'ils ignorent.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Formation de centres populeux. — L'œuvre est largement commencée. L'accroissement de la population des villes, la formation d'importants centres populeux en de petites bourgades qui, avant d'être devenues stations de chemin de fer, comptaient à peine quelques centaines d'habitants, voici une démonstration péremptoire de notre allégation.

Et en effet, on trouve en Bulgarie et en Roumélie orientale, des villes de 20 000 habitants et au-dessus, on en trouve de 30, 50, 60 et 80 000 en Roumanie (Bukarest compte près de 195 000 habitants). En Serbie, laissant de côté Belgrade dont la population, de 27 000 âmes en 1883, est aujourd'hui de 60 000, Kraguievatz et Nisch, accrues de 7 000 âmes dans le même espace de temps, nous voyons que Kgnajevatz a gagné 2 000 habitants depuis qu'une gare de chemin de fer la dessert, que Semendria est en croissance de 1 580, Pirot de 3 278, Vrania ou Wranja de 1 180 et ainsi de suite.

Il se forme des centres populeux et il devient facile d'y trouver des ouvriers. Cela deviendra même d'autant plus facile que les Slaves méridionaux n'aiment pas à s'expatrier : ils tiennent à leur sol. Or, ils sont très prolifiques — la population de la Serbie s'est accrue de 27 p. 100 dans les dix-huit dernières années — et les travaux de la campagne ne pourront pas longtemps suffire à occuper les bras valides. Il leur faudra forcément ou aller demander du travail à l'étranger ou, ce qui sera bien plus conforme à leurs sentiments, s'occuper dans l'industrie nationale.

Avis de M. E. de Borchegrave en 1883. — La fierté slave est, du reste, depuis quelque temps du moins, beaucoup plus une fiction qu'une réalité. Nous empruntons le passage suivant au Rapport si bien fait, adressé en 1883 à son gouvernement, par M. Émile de Borchegrave, ministre résident de Belgique à Belgrade.

> L'industrie, au sens étendu qu'on lui donne dans les pays producteurs de l'Europe, n'existe pas en Serbie. Malgré la richesse du sol, l'abondance des mines, des forêts, des charbonnages, le pays a encore tout ou presque tout à créer dans cette sphère. Une sorte de nonchalance dédaigneuse, le manque d'habitude et peut-être un sentiment exagéré d'indépendance empêchent le Serbe de s'adonner aux divers travaux que nécessite le soin d'une grande industrie; toujours est-il que les établissements industriels qui se sont installés en Serbie sont presque tous aux mains des étangers.
>
> Néanmoins, le travail personnel existe; le travail domestique est même très développé dans le pays. C'est ainsi que la plupart des objets de nécessité, étoffes et habillements, par exemple, sont, par tout le pays, confectionnés chez les paysans eux-mêmes.

L'éminent rapporteur fait suivre ces observations de l'énumération des petites industries qui existent en Serbie et de leur état à l'époque de son enquête. Il résulte de cette enquête que quelques industriels allemands, anglais ou belges ont fondé des manufactures qui sont devenues prospères et que les ouvriers qu'ils y emploient sont à peu près tous de nationalité serbe.

Nos facultés de lettres, de droit et de médecine de Paris reçoivent tous les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ans un certain nombre de jeunes Albanais, de jeunes Roumains et de jeunes Serbes, qui viennent étudier pour devenir diplomates, avocats, médecins; mais, me disait récemment le ministre de l'un de ces États, vos écoles industrielles ne verront venir vers elles nos nationaux que lorsque vous leur aurez appris l'application des études qu'on y fait, lorsqu'ils auront vu les résultats des sciences qu'on y professe.

*
* *

Cette question de la main-d'œuvre étant écartée, on a fait une seconde objection :

Comment de grandes industries établies en Serbie, en Bulgarie ou en Roumanie écouleraient-elles leurs produits?

Quels seraient leurs débouchés?

Cette objection est moins inspirée par la prudence que par une insuffisante connaissance de la marche vers le progrès dans les pays de la péninsule balkanique.

Une pareille question, en effet, porterait juste s'il s'agissait de l'Annam ou de Madagascar, pays récemment arrachés aux ténèbres de l'état sauvage; pays ou tout est à faire tant au point de vue des voies de communication qu'à celui de l'éducation physique et morale; pays, enfin, situés au milieu d'autres non moins arriérés et dont les besoins sont tout aussi grossiers.

Débouchés des produits de l'industrie. — Mais, dans les États danubiens, acquis à la civilisation en même temps que les autres pays de la vieille Europe, dans les États danubiens tributaires depuis longtemps des nations industrielles de l'Occident, les grandes industries peuvent se créer sans crainte et produire en confiance, leur fabrication s'écoulera aussi bien et trouvera d'aussi faciles débouchés que celle des grandes usines de Belgique ou d'Angleterre.

Si la grande industrie n'existe pas en ces pays, la petite industrie et le travail domestique y sont bien développés. La tonnellerie, la coutellerie, la chaudronnerie, la fabrication du drap et la tannerie exigent l'emploi d'un grand nombre d'outils que les indigènes sont obligés de demander à l'industrie étrangère. Les brasseries, les moulins à vapeur, les fabriques de spodium (noir animal) les manufactures de poterie sont obligés de recourir à l'étranger pour leurs machines et leurs pièces mécaniques; les manufactures de l'État, fabriques d'armes, arsenaux, fabriques de poudre de guerre, fabriques d'allumettes, font venir d'Allemagne leur matériel, leurs machines-outils, leurs instruments de précision.

Consommation intérieure. — Donc, déjà, et dans l'état actuel, une importante consommation à l'intérieur est assurée aux produits de la grande industrie.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Mais, en admettant que cette consommation intérieure ne soit pas un débouché suffisamment assuré, il n'y a aucun empêchement à faire l'exportation. Les voies de communication sont non seulement nombreuses, mais encore très faciles. Les routes bonnes et bien entretenues relient entre elles les grandes villes et celles-ci sont reliées aux ports de commerce par voies fluviales et par voies ferrées. Le roulage n'est pas plus coûteux que dans le reste de l'Europe et il est assuré par des bœufs solides, par des buffles très résistants et par des chevaux entraînés.

Voici pour le présent. Dans un avenir très rapproché la condition de la grande industrie sera encore bien améliorée.

Avant les événements de 1876 et 1878, un chemin de fer avait été construit dont le point terminus en Hongrie se trouvait sur le Danube à une faible distance de Belgrade, à Naïsatz. Par Vienne et Pesth, il reliait la Sirmie à l'Europe occidentale. Un autre avait pour point terminus Uskub dans le territoire de Kossovopolie et reliait la Turquie au sud de la Serbie.

Chemins de fer. — A cette époque, un homme de talent, un Français que la fortune trahit plus tard cruellement, M. Bontoux avait préparé un gigantesque tracé d'autres voies ferrées dont le réseau devait mettre en communication toutes les villes importantes de la péninsule et les relier au port de Salonique, d'un côté, à Raguse de l'autre. Un autre Français, M. Kush, avait, lui aussi, fait des ouvertures aux gouvernements turc, russe et autrichien pour l'exécution d'un plan de voies ferrées dont il était l'auteur.

Le traité de Berlin imposa aux Serbes et aux Bulgares la construction de certaines voies ferrées pour faciliter les relations commerciales entre l'Orient et l'Occident.

En exécution de cette prescription, le gouvernement serbe fit examiner les projets qui lui étaient soumis. Les combinaisons si bien étudiées de M. Bontoux firent écarter le tracé Belgrade-Alexinatz, présenté par M. Kush, malgré la concurrence d'entre preneurs austro-hongrois et d'une puissante société belge alliée à des financiers considérables (1), le président général du Conseil d'administration de l'*Union générale de Paris* signa le 3 février 1881, avec le gouvernement royal de Serbie, une convention pour l'établissement du premier chemin de fer de l'État serbe.

Le tracé dont les études techniques furent faites par la même société française qui avait fait ou préparé les lignes ferrées de Turquie et de Macédoine, société présidée et dirigée par le comte Vitali, élève de l'École centrale de Paris, longe, dans la majeure partie de son parcours — 363 kilomètres environ — la vallée de la Morawa dont elle ne s'écarte un peu que pour desservir Nisch, et

(1) *La Serbie*, par M. E. de Borchegrave.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

joint Belgrade à Vranja, c'est-à-dire qu'elle traverse la Serbie du nord au sud, reliant la ligne Vienne-Buda-Pesth au port de Salonique. C'était la mise en communication de la Péninsule tout entière avec l'Europe occidentale.

D'autres lignes secondaires comme importance économique furent construites ; l'une traversant la Bosnie et suivant les vallées de la Drina et de la Lim relia Sseraiewo (Bosna Seraï) à Mitrovitza et à la ligne Uskub-Salonique, une autre, traversant la Roumanie, reliait Pesth à Bukarest. Enfin, Sophia fut relié à la grande ligne par Nisch et Pirot. Ces grandes artères achevées, chaque État sentit l'intérêt qu'il y avait, soit pour l'accroissement du bien-être de ses nationaux soit au point de vue de la sécurité nationale, à construire de nouvelles lignes commerciales et stratégiques, et bientôt des embranchements vinrent se greffer sur ces voies principales et, rameaux reliés à ces troncs vigoureux, portèrent la sève du progrès et de la civilisation dans des contrées que, jusqu'alors, les difficultés de communication avaient retenues en dehors du mouvement intellectuel, économique et social.

C'est alors que commença à se produire ce phénomène dont nous parlions tout à l'heure : l'affluence vers les villes des bras que n'occupait plus assez utilement la campagne. Des centres populeux se formèrent dans les petites bourgades devenues stations de chemin de fer et s'y développèrent assez rapidement pour que les gouvernements, soucieux de plus en plus d'assurer la prospérité de leurs États, fissent étudier de nouveaux projets qui tout en multipliant ces centres missent leurs marchés en rapports plus directs avec les marchés européens, les délivrassent de la tutelle dangereuse des grands États voisins et les missent à l'abri de tous conflits avec eux sur des lignes internationales.

Nouvelles lignes serbes. — La Serbie est en avance à cet égard. Elle a fait faire les études d'un réseau complet comprenant plus de 900 kilomètres de voies et la Skouptchina a voté il a y bientôt deux ans l'exécution de cet immense réseau qui fait l'objet de la loi du 6 décembre 1898 publiée au *Journal Officiel* du royaume

Eh bien, la concession des douze lignes composant ce réseau a été faite à une société anglaise représentée par MM. Edward Calthrop et Marcus de Londres, et nous, Français, qui avons les premiers travaillé aux chemins de fer serbes, nous n'avons pas seulement tenté de disputer à l'adjudicataire le plus petit tronçon de son entreprise.

Et cependant, les entrepreneurs qui firent les premiers chemins de fer serbes ne firent-ils pas en même temps leurs affaires personnelles? N'y réalisèrent-ils pas des bénéfices plus que raisonnables — exception faite, toutefois, de ceux que la guerre d'Orient arrêta dans leurs travaux — et eurent-ils à se plaindre de la façon dont ils étaient traités dans ces pays où, pour assurer la sécurité de leurs personnes et de leur bourse, les gouvernements mettaient à leur disposition

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

gendarmes et pandours? M. Pons et M. Fortuné Gaudin, qui passèrent plusieurs années dans l'Europe orientale, tant comme ingénieurs faisant les études préparatoires des tracés que comme entrepreneurs de lots plus ou moins importants de ces chemins de fer, conservèrent le souvenir de l'accueil empressé qu'ils reçurent partout des Slaves méridionaux, des Bulgares et des Turcs au milieu desquels ils opérèrent.

Puisqu'en ce moment nous sommes en Serbie, et avant de pousser plus loin nos considérations, disons que depuis le 31 décembre 1873 (12 janvier 1874) il existe dans ce pays un loi qui, si elle est une marque de la sollicitude du roi Milan Ier pour le développement physique de son royaume, peut être encore considérée comme une invitation aux industriels étrangers à venir en Serbie fonder d'importantes exploitations.

Loi pour l'encouragement de l'industrie. — Cette loi a, en effet, pour but d'encourager le développement de l'industrie dans le pays en accordant aux entrepreneurs, sociétés ou particuliers, des faveurs spéciales. Ainsi, une entreprise industrielle dont l'introduction paraît utile, peut recevoir un monopole d'exploitation pendant quinze ans. L'importation de machines et de parties de machines, d'outils et d'instruments, de même que l'importation de matériaux et de matières premières, de charbons et autres objets nécessaires pour l'érection ou pour l'exploitation de l'établissement, ont lieu en franchise de droits de douanes et d'autres taxes accessoires. L'exploitation des produits ouvrés ou demi-ouvrés provenant d'établissements serbes peut être légalement exemptée de droits douaniers, si tant est qu'il en soit exigé à la sortie. Toutefois, ces deux exemptions ne peuvent, de même que l'exonération de tout impôt direct, être accordées que pour dix ans.

Si, pour l'établissement d'une fabrique ou d'une importante entreprise industrielle, la concession d'un terrain appartenant à l'État est jugée nécessaire, elle peut avoir lieu gratuitement si la perte pour le trésor ne représente pas 1 200 francs de revenu; néanmoins, la durée de l'usage est limitée à trente ans, et le terrain concédé ne peut en aucun cas devenir la propriété de l'entreprise.

L'État cède, s'il le juge nécessaire, pendant quinze ans, des parties de forêts ou du bois à un établissement industriel, sous la condition que les coupes aient lieu conformément aux règlements forestiers existants, et que le reboisement ait lieu sans retard.

Aux termes de la même loi, et ceci est capital à noter, les étrangers peuvent acquérir le terrain nécessaire pour l'établissement d'une fabrique ou d'une entreprise industrielle; mais cela seulement pour un terme de trente ans et moyennant la déclaration qu'ils reconnaissent la juridiction serbe (1). Enfin, la loi

(1) Les récents traités ont rendu cette dernière clause sans objet : désormais, l'étranger appartenant à un État signataire devient acquéreur sans restrictions.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

prévoit le cas où les privilèges susmentionnés cesseraient d'être en vigueur avant l'expiration du terme assigné à l'exploitation.

*
* *

Quelles sont donc les industries qu'on peut utilement installer dans les États danubiens et balkaniques?

Toutes ou à peu près toutes celles qui relèvent de l'exploitation minière ou qui l'ont pour objet immédiat et celles qui dérivent de la minéralogie, à commencer par le charbon.

Minéralogie et métallurgie. — Depuis plusieurs années déjà les économistes industriels s'inquiètent du prochain épuisement des mines de houille jusqu'ici connues. Leurs savantes statistiques établissent que, dans un temps prévu et dont l'échéance est proche, ce producteur de la force motrice fera totalement défaut. Ces calculs sont basés sur des données très étudiées et leur pessimisme ne paraît point forcé, mais on paraît n'avoir fait entrer en ligne de compte que les gisements jusqu'ici exploités. On a complètement oublié d'introduire dans ces chiffres un facteur cependant appréciable, on a omis d'y comprendre les bassins houillers des pays slaves méridionaux. Or, nous l'avons dit, ils sont nombreux et importants.

Dans nombre de cas, la couverte est très mince et on pourrait exploiter beaucoup de mines de houille à ciel ouvert.

Dans les cas où les sondages annoncent une trop grande profondeur des gisements, l'exploitation par puits est rendue facile par la proximité d'immenses forêts dans lesquelles on trouvera en abondance tous les bois nécessaires au boisage des galeries.

Sous-produits de l'industrie minière. — Les mines de houille sont si nombreuses et paraissent si riches dans ce sol, qu'au commencement, une extraction trop intensive ne trouverait peut-être pas un débouché suffisant dans son emploi comme combustible; mais le traitement de la houille par des procédés chimiques donne aujourd'hui des sous-produits, des dérivés dont l'écoulement devient de plus en plus facile. Ce ne sont plus seulement le goudron et les couleurs, mais de nombreux alcaloïdes et jusqu'à des produits fort recherchés par la parfumerie.

Nous venons de dire que la houille intensivement exploitée ne trouverait peut-être pas tout de suite un débouché suffisant comme agent producteur de force motrice. C'est que, en effet, il n'est peut-être pas de pays au monde où la force motrice naturelle soit aussi abondante que dans les vallées des Alpes Dinariques, du Pinde, des Karpathes et des Balkans et de leurs prolongements. Donc c'est surtout l'exportation qui devra être visée par les Compa-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

gnies de charbonnages que ne suffirait pas à décharger de leur production la consommation des chemins de fer et la batellerie à vapeur.

La force motrice naturelle est abondante en ces vallées, et elle y est très considérable.

La force motrice hydraulique. — S'il est quelque chose qui frappe l'économiste dès qu'il met le pied dans les régions cis-danubiennes, s'il est une observation qui s'impose à son attention c'est, avant tout, la constatation de l'immense valeur industrielle, de l'incalculable capital représenté par ces eaux vives, par ces chutes naturelles inutilisées et cependant d'une captation généralement si facile. Leur représentation en francs ou en livres représente pour le moindre de ces États la fortune d'une grande nation, d'une grande puissance industrielle, et pour moi, je reste rêveur en songeant au repos improductif dans lequel cette immense fortune a été si longtemps tenue sous la tutelle de la paresse orientale.

Combien de millions de chevaux-vapeur, combien de milliards d'hectowats et d'ampères représente la valeur dynamique de ces sources abondantes dont on n'a qu'à vouloir pour s'en rendre maître!

En France, nous l'ignorons encore. Les Serbes commencent à s'en rendre compte. Mais les Autrichiens, les Allemands, les Anglais, les Belges et les Américains ont, eux, depuis bien des années déjà, fait ce calcul. Ils ont vu là un champ propice pour de fructueuses opérations et ils guettent le moment où des voies ferrées sillonneront en tous sens ces riches contrées pour y prendre position et y créer d'importants établissements.

***

De grandes usines métallurgiques peuvent se fonder là-bas avec toute assurance de succès.

Hauts fourneaux. — Fontes et aciers. — Les hauts fourneaux qu'on établirait dans la vallée de la Morawa trouveraient dans les forêts voisines le charbon nécessaire à l'affinage. Ils pourraient, ainsi que ceux de Maidanpeh dans la vallée du Danube, entre Négotine et Dolni-Milanowatz, procurer à la mécanique et aux besoins des ménages des fontes de bonne qualité et des aciers dont, assure-t-on, les qualités ne le céderaient en rien à celles des aciers de Suède. La facilité d'obtenir du gaz, par la combustion des houilles riches qui se trouvent tout auprès, permettrait le puddlage et la régénération Siemens à des prix très rémunérateurs.

La fonderie trouverait-elle sur place les sables à mouler qui lui seraient nécessaires?

Cela ne fait pas de doute, puisque déjà des essais ont été faits avec succès.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La fonderie, en produisant les pièces mécaniques, les roues et les volants serait assurée d'un débit d'autant plus grand que jusqu'ici, il a fallu payer, pour se les procurer, des prix de transport excessivement élevés.

Le laminage aurait pour débouchés intérieurs, immédiats, toutes les forges qui sont aujourd'hui tributaires, pour un gros chiffre, de la Russie et de l'Allemagne et aussi les compagnies de chemins de fer qui, pour l'établissement de leurs voies et leur entretien, vont avoir besoin de quantités considérables de rails.

Taillanderie. — La taillanderie, aujourd'hui obligée de se fournir à l'étranger, attend impatiemment que la production de l'acier industriel la délivre de cet asservissement.

Instruments agricoles. — Mais c'est la fabrication des instruments agricoles qui doit particulièrement appeler, entre la mer Adriatique et la mer Noire, d'intelligents constructeurs qui peuvent être assurés d'avance du facile écoulement de leurs produits. Pendant longtemps, et récemment encore, c'était le paysan qui confectionnait les instruments aratoires dont il avait besoin; mais voici quelques années que l'usage de la charrue en fer a été introduit dans la plupart des pays danubiens et cet outil détrône l'ancienne *ralitza* des Bulgares et des Turcs. La ralitza entame à peine le sol, alors que la charrue en fer le laboure profondément. La routine abandonne ses errements et s'en trouve bien.

Par contre, il serait inutile de tenter l'introduction dans ces pays de la machine agricole. Le terrain ne s'y prête absolument pas; il n'est ni assez plat, ni suffisamment étendu pour qu'on y puisse utiliser la faucheuse, la semeuse ni la moisonneuse. Tout au plus la batteuse pourrait-elle y rendre des services. Je ne sais si elle a été essayée ni si elle y serait admise.

Chaudronnerie. — La chaudronnerie, très répandue en Serbie et dans l'Albanie, la Bosnie et la Bulgarie, puisqu'il n'est presque pas de ville qui n'y ait son fondeur de clochettes ou son fabricant d'appareils de distillation, emploie une grande quantité de cuivre qu'on trouve en abondauce, en amas et en rognons à l'état de cuivre sulfuré et de cuivre pyriteux, disséminé plus ou moins régulièrement en de puissants filons de porphyre siénitique.

L'exploitation des carrières de cuivre, sauf peut-être de celle de Maidanpeh, se fait d'une façon peu rationnelle et qui est loin de produire ce qu'on pourrait en tirer. Il en est de même du zinc et des mines de plomb de la vallée de la Morawa.

*
* *

Terre cuite. — Les industries qui ont la terre pour matière première, celles du plâtre, de la chaux, du ciment sont de celles qui attirent peu l'étranger vers

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des pays éloignés, aussi nous contenterons-nous de dire qu'elles pourraient cependant être exploitées avec fruit dans la péninsule des Balkans; quant à la terre cuite, poterie du bâtiment, céramique, faïencerie et même porcelainerie, ces branches du travail industriel méritent d'attirer l'attention. L'argile plastique, le quartz et même le kaolin sont très répandus dans le sol de ces pays et s'y rencontrent par bancs importants. Quelques grandes tuileries mécaniques, des manufactures de tuyaux et de poterie verraient en peu de temps fructifier le capital qu'on aurait mis à leur disposition; leur fabrication serait assurée d'un considérable écoulement.

Industries du bois. — Il en serait de même de toutes les industries du bois. Exploitations forestières, scieries mécaniques, fabriques de meubles peuvent en toute confiance tenter des établissements dans ces contrées forestières; la matière première s'y trouve à bon marché et de qualité supérieure.

La menuiserie française, celle de Paris particulièrement, connaît les bois de Roumanie pour les employer couramment; il est vrai qu'elle préfère payer de grosses commissions de courtage à des maisons allemandes qui les lui procurent, plutôt que d'aller elle-même sur place traiter avec les exploitants. Les bois de Serbie valent ceux de Roumanie, quelques-uns même leur sont supérieurs. Exploitées avec intelligence, les forêts de Serbie et de Bulgarie seraient une mine d'or pour les entrepreneurs qui voudraient en essayer.

Exploitations forestières. — Il y a quelques années, quelques Français tentèrent des exploitations forestières en Transylvanie et en Roumélie. Peu ont réussi. D'abord le lieu de leurs exploitations était mal choisi, loin des moyens de transports et dans des contrées où la main-d'œuvre était encore difficile à trouver; ensuite le *bacchich*, élevé à la hauteur d'une institution dans tous les pays où il se trouve des fonctionnaires turcs, absorbait le plus clair de leurs bénéfices. Loin de décourager nos nationaux, ces exemples doivent être considérés par eux comme un apprentissage dont ils n'ont pas eu à faire les frais mais duquel ils doivent bénéficier.

La papeterie. — Nous ne terminerons pas cette revue des industries que l'on pourrait établir dans les États cis-danubiens sans parler de la papeterie, industrie vraiment française, et que nous nous sommes laissé dérober par tous nos voisins.

L'imprimerie fut importée de très bonne heure chez les Slaves occidentaux. On connaît des missels et autres livres liturgiques imprimés au Monténégro en 1519 et 1563 (1). Il paraît même que, vers la fin du xv^{e} siècle, on imprima à Obod un bréviaire appelé l'*Octave*, et qu'antérieurement à cette époque, les Serbes possédaient des ateliers de typographie. Mais ce n'est que depuis que l'instruction s'est répandue qu'on imprime dans toutes les villes de la péninsule des

(1) Voir *Les Provinces danubiennes*, par Chopin, p. 192, col. 1.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

livres, des revues savantes et des feuilles quotidiennes d'informations politiques, travaux pour lesquels il s'y consomme de très grandes quantités de papier.

D'autre part, on fume beaucoup la cigarette dans toute l'Europe orientale, et c'est l'Occident qui fournit le papier dont on l'enveloppe, comme aussi le papier à écrire et celui à imprimer.

Or, que faut-il pour fabriquer du papier?

Avant tout, une eau courante très claire et de la cellulose végétale obtenue par un traitement que l'on fait subir soit à de vieux chiffons et à de vieux cordages, soit à des matières ligneuses, soit enfin, à la paille des céréales. La charge, qui y est ajoutée en plus ou moins grande quantité, consiste en fécule ou en kaolin, et la colle est fournie par toutes sortes de gélatines animales; charge et colle entrent, du reste, pour peu de chose dans la fabrication du papier.

Il suffit, je pense, de cette nomenclature des objets nécessaires à la fabrication du papier pour que tout de suite on puisse conclure qu'en Serbie, aussi bien qu'en Bosnie, en Roumanie et en Bulgarie, il est possible de créer de très importantes papeteries. Il faudrait, toutefois, avoir soin de les placer sur des cours d'eau roulant sur un fond calcaire plutôt que sur un ruisseau dont les eaux puissent être chargées de matières minérales qui produiraient dans le papier des taches d'oxydation et amèneraient sa prompte détérioration.

L'industrie papetière en appelle deux autres : celle de la toile métallique et celle du feutre. Bien que d'exportation très facile, les cylindres de toile métallique et les manchons de feutre pourraient également être fabriqués dans des manufactures à proximité des centres papetiers, puisque, ainsi que nous le disions il n'y a qu'un instant, le cuivre n'y fait pas défaut. Quant à la laine, objet d'une importante exportation de ces pays, elle est fournie par les moutons des nombreux troupeaux qui s'y engraissent.

De tout ce qui précède, il résulte que les États cis-danubiens possèdent dessus et dans leur sol de très grandes richesses, et cependant ils sont obligés de demander à l'industrie étrangère à peu près tout ce dont ils ont besoin, sauf les produits nécessaires à l'alimentation qui font, au contraire, l'objet d'une importante exportation de leur part.

C'est à l'étude des transactions commerciales auxquelles donnent lieu ces importations et ces exportations que nous allons consacrer la troisième partie de ce travail.

III

Rien n'est plus intéressant à consulter que les statistiques douanières et les rapports adressés au ministère du Commerce et de l'Industrie par nos agents consulaires. Leurs chiffres, généralement établis avec le plus grand soin et puisés

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à des sources officielles, peuvent être envisagés à de nombreux points de vue et permettent des comparaisons pleines d'enseignements. On pourrait leur adresser le reproche de n'être pas toujours dressés sur un plan parfaitement uniforme, mais comme chacun essaie d'être ou plus complet, ou plus original, il n'y a pas trop lieu de regretter la part d'initiative privée qu'on y rencontre.

Nous avons demandé à ces rapports les renseignements commerciaux nécessaires à l'établissement de cette troisième partie. Nous ne pouvons évidemment tous les analyser, mais dans ceux que nous passerons en revue, nous trouverons des éléments suffisants pour asseoir nos conclusions.

BULGARIE

La principauté de Bulgarie et Roumélie orientale (1) occupe dans la presqu'île des Balkans une superficie de 97 260 kilomètres carrés et comprend une population de 3 312 500 habitants, soit 34,1 par kilomètre carré. Ses principales villes sont Philippopoli avec 34 000 habitants, Sofia avec 33 000, et Choumla avec 23 000. Son littoral sur la mer Noire est assez étendu et elle y possède quelques ports importants.

La France entretient auprès du gouvernement bulgare un ministre plénipotentiaire de deuxième classe, et elle a un consul général à Sofia.

M. Lanel qui occupait ce dernier poste en 1889 adressa, le 16 mars de cette année, au ministre du Commerce de la République française un rapport dans lequel il analysait les trois fascicules qui venaient de paraître du recueil intitulé : *Statistique du commerce de la Bulgarie avec les pays étrangers.* Ces fascicules publiés par le ministre des Finances étaient afférents aux années 1882-1883-1884.

(1) La réunion de la Roumélie à la Bulgarie date du 18 septembre 1885. Nous n'avons pas à faire ici l'historique de la révolution rouméliote dont la nouvelle fut transmise au ministre des Affaires étrangères de la République française par trois dépêches : la première de M. Boysset, consul de France à Philippopoli, la seconde par M. de Lacretelle, vice-consul de France à Varna, et la troisième par M. Flesch, agent et consul de France à Sofia. Voici cette dernière :

« Sofia, le 18 septembre 1885. — TÉLÉGRAMME. — Les agents étrangers ont été autorisés par le président du Conseil à faire savoir à leurs gouvernements respectifs que la réunion de la Roumélie à la Bulgarie est accomplie, que le prince de Bulgarie a accepté et qu'il est parti de Varna aujourd'hui pour Philippopoli où il arrivera demain. Une assemblée de plus de 3 000 personnes vient de se tenir sur la place du palais à Sofia. Il y a été résolu : 1° de prier le prince de Bulgarie de protéger la Roumélie et d'y envoyer des troupes bulgares; 2° de demander à l'empereur de Russie de prêter son appui. A Sofia, la population manifeste beaucoup d'enthousiasme sans que l'ordre soit troublé. »

Le lendemain, 19 septembre, nouvelle dépêche de même origine : « Les troupes du camp de Choumla se dirigent à marche forcée vers Jambole. Le prince Alexandre se presse d'arriver à Philippopoli pour que les puissances soient placées devant un fait accompli. »

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Il ressort de ce rapport et de ces statistiques que la Bulgarie importait alors pour 46 359 033 francs de produits étrangers de toute nature, et que ses exportations qui se montaient déjà à 35 297 160 francs consistaient principalement en produits du sol, c'est-à-dire de l'industrie agricole, la seule exercée dans ce pays :

Les céréales y entraient pour.	16 479 947	francs.
Les bestiaux, pour.	4 864 231	—
Les œufs, le fromage, le miel, pour.	1 255 957	—
Les pruneaux, pour.	79 320	—
Les cocons, pour.	53 630	—
Les peaux, tannées ou non, pour.	1 046 037	—

Les céréales étaient surtout achetées par :

L'Autriche-Hongrie, pour.	587 455	francs.
L'Angleterre, —	11 500 028	—
L'Italie, —	809 747	—
La Roumanie, —	1 492 911	—
La Turquie, —	743 228	—
La France, —	1 346 576	—

La Turquie achetait à peu près tous les bestiaux, et l'Autriche une grande partie des peaux dont les centres de production bulgares étaient :

Sofia	qui livre annuellement	20 à . .	25 000	peaux de moutons et	70 à 80 000	d'agneaux.
Widdin	qui exporte annuellement.		25 000	peaux d'agneaux et	10 000	de chevreaux.
Plewna	—		12 000	— —	4 000	—
Wratza	—		6 000	— —	40 000	—
Kustendil	—		8 000	— —	18 000	—
Lom Palanka	—		7 000	— —	00 000	—
Doubnitza	—		3 000	— —	10 000	—
Berkowatz	—		3 000	— —	20 000	—

On construisait alors le chemin de fer de Tzaribrod à Philippopoli, mais on n'avait encore comme ports d'embarquement que Sistow, Widdin, Rahowa, Lom-Palanka et Nicopoli.

Le rapport de M. Lanel contenait, à l'usage de nos commerçants français, divers renseignements quant aux conditions de place à faire à leurs correspondants de Bulgarie s'ils voulaient lutter avantageusement contre la concurrence. Il leur indiquait jusqu'aux genres préférés, comme largeurs et comme dessins, des étoffes à importer et il ajoutait que, grâce aux nouveaux moyens de communication qui lui étaient offerts, le commerce français devait pouvoir faire concurrence à celui des autres pays pour un certain nombre d'articles.

Nous devons particulièrement retenir les deux observations suivantes de notre agent général de France à Sofia, en 1889.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

1° Une concurrence redoutable nous est faite par l'Autriche qui introduit en Bulgarie des savons et de la parfumerie de sa fabrication sous des étiquettes françaises. Même observation au sujet des conserves alimentaires; la France a sans doute sa part, et une part très importante dans l'importation de ces produits, mais une partie d'entre eux est vendue par l'Autriche et l'Allemagne sous des étiquettes françaises. De même pour les fromages, dont un grand nombre que l'on donne comme étant de provenance française, ne sont que des produits très inférieurs que l'Autriche a fabriqués.

2° Il est un moyen auquel le commerce austro-hongrois a eu recours pour donner à ses opérations en Bulgarie une impulsion plus grande encore. La création à Sofia d'un *dépôt d'exportations*. Cent quarante-sept négociants, membres de la *Société austro-hongroise d'exportation de Vienne* se sont syndiqués à cet effet. L'établissement dont il s'agit, bien que ne se rattachant pas directement à la société précitée, a pris le nom d'*agence de dépôt d'échantillons de la Société austro-hongroise d'exportation.*

Suivent les renseignements relatifs au fonctionnement de cette institution. Et M. Lanel concluait :

Pendant que l'Autriche-Hongrie consacre de si grands efforts à l'extension de son commerce dans la principauté, et que l'Allemagne, dont les importations en Bulgarie ont sensiblement augmenté, semble suivre l'Autriche dans cette voie, que font les commerçants français pour essayer de soutenir leur concurrence, tout au moins dans la vente de certains articles? Pour se former une opinion exacte à cet égard, on ne saurait mieux faire que de se reporter aux considérations que M. le ministre de la République à Belgrade a développées dans un rapport publié par le *Moniteur officiel du commerce* du 5 avril 1888; elles s'appliquent avec une exactitude absolue à l'état de nos relations commerciales avec la principauté. Il semble, en réalité, que les commerçants français se désintéressent absolument de ce marché.

Voyons maintenant quel était l'état commerciel de la Bulgarie en 1898 et à quelles réflexions les statistiques de cette année donnèrent lieu de la part de notre consul à Sofia.

BULGARIE

Tableau comparatif du mouvement général du commerce pendant les années 1884 et 1897.

	1884	1897		
Importations.	46 359 033	72 730 250	Augmentation. .	26 371 217
Exportations.	35 297 160	66 537 007	Augmentation. .	31 239 847
Total du mouvement. .	81 656 193	139 267 257	Augmentation. .	57 611 064

De l'examen de ces tableaux, il ressort, qu'en ces quatorze dernières années, le mouvement général du commerce extérieur de la principauté a pris un accroissement de 57 611 064 francs et qu'une forte part de cette augmentation revient aux exportations (31 239 847 francs), ce qui est une marque certaine de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Importations en Bulgarie en 1884 et en 1898.*

PRODUITS IMPORTÉS.	AUTRICHE-HONGRIE.		ANGLETERRE.		ALLEMAGNE.		ITALIE.		RUSSIE.		FRANCE.		ÉTATS-UNIS.		TURQUIE.		BELGIQUE.	
	1884	1898	1884	1898	1884	1898	1884	1898	1884	1898	1884	1898	1884	1898	1884	1898	1884	1898
Sucre et sirops	2 512 665	2 826 586	»		»	»	»	»	»	73 870	33 430	»	»			»		»
Boissons fermentées, eau minérale, huile de table	1 792 813	388 757	»		»	»	»	»	455 779	36 557	112 123	166 507	»			1 186 821		»
Café, cacao et thé	»	265 524	634 748		»	»	»	522 963	»	»	384 167	44 000	»			»		»
Tannin, matières tinctoriales, couleurs	174 971	171 622	188 346		»	»	»	»	»	»	69 484	»	»			»		»
Drogues pour l'usage médical	94 764	290 590	»		»	137 921	»	»	»	»	15 859	82 341	»			»		»
Bougies, savon et parfumerie	136 281	»	»		»	»	»	»	»	»	22 836	96 200	»			480 718		89 893
Matières inflammables	140 930	412 769	»		»	»	»	»	»	»	»	»	»			»		»
Terre cuite, porcelaine	130 397	89 235	»		»	»	»	»	»	»	»	80 677	»			»		»
Verrerie	397 762	593 226	»		»	80 027	»	»	»	»	33 095	31 600	»			»		372 039
Métaux non précieux bruts	216 100	123 738	»		68 072	230 547	»	»	»	»	»	»	»			»		190 045
Métaux non précieux ayant subi une demi-fabrication	242 798	217 456	1 173 689		67 171	198 102	»	»	»	»	36 753	»	»			»		248 828 / 85 865
Articles en fer à l'exception des machines et appareils	737 112	136 083	»		413 721	198 203	»	»	»	»	102 710	»	»			»		»
Papiers et cartons	769 935	1 488 280	»		»	»	»	»	»	»	»	50 675	»			»		»
Cuir brut et peaux	320 390	219 171	»		»	319 247	112 704	670 102	462 576	140 744	299 449	31 226	»			600 297		»
Articles en cuir travaillé	612 240	346 344	»		»	275 830	»	45 055	121 949	»	»	16 700	»			»		»
Fils, ouates, matières à filer	531 241	1 393 788	4 159 520		55 983	190 202	»	382 725	»	»	»	»	»			799 513		»
Tapis, feutres, tissus de poils	85 789	»	»		40 308	1 794 298	»	»	»	»	»	»	»			»		»
Articles d'étoffes	1 384 599	1 720 530	3 796 565		448 170	»	»	148 009	»	100 335	»	412 650	»			»		57 734
Bonneterie	166 642	414 737	»		22 832	311 802	»	»	»	»	»	»	»			307 368		»
Passementerie et boutons	86 670	214 375	»		27 231	»	»	»	»	»	»	»	»			»		»
Dentelles, broderies, blondes	108 989	»	»		23 955	»	»	»	»	»	»	»	»			»		»
Vêtements, linge de corps confectionné	1 192 737	1 233 267	»		41 603	290 494	»	»	»	»	498 149	»	»			»		»
Chapeaux, plumes de parures, fleurs artificielles	149 648	308 336	»		»	119 508	»	88 827	»	»	»	»	»			»		»
Soieries (fils et tissus)	»	»	»		»	»	»	»	»	»	130 898	226 077	»			»		»
Soieries et laines	»	104 777	»		»	132 766	»	»	»	»	175 393	243 816	»			»		68 892
Machines, instruments et appareils	140 238	784 029	»		70 140	507 732	»	»	»	»	»	»	»	217 645		262 694		»
Quincaillerie, bimbeloterie, articles de luxe	166 343	608 472	»		36 024	664 079	»	»	»	»	»	»	»			»		»
Sel de cuisine et épices	»	»	»		»	»	712 091	150 880	»	»	»	»	»			»		»
Riz	»	»	»		»	»	313 681	121 954	»	172 745	»	»	»			»		»
Huiles minérales, essences	»		»		»	»	»	»	630 946	2 172 935	»	»	620 277			»		»
Confitures et articles de confiserie	»		»		»	»	»	»	»	»	62 043	»	»			»		»
Vernis, laques, etc.	»		»		»	»	»	»	»	»	31 169	»	»			»		»
Bois et industries diverses	»	2 419 894	»		»	»	»	»	»	»	»	»	»			»		»
TOTAUX**	12 390 105	21 614 362	9 972 868	23 077 913	1 315 230	10 623 657	1 138 476	3 158 751	1 671 250	4 209 018	2 007 578	4 117 603	620 277	328 525	»	9 488 518	»	2 367 679
		12 390 105		9 972 868		1 315 230		1 138 476		1 671 250		2 007 578		»				
DIFFÉRENCES		9 224 257		13 105 045		9 308 427		2 020 275		2 537 768		2 110 025		»				

* Ces chiffres sont puisés : 1° Dans le *Rapport* sur la situation économique et commerciale de la Bulgarie dressé le 16 mars 1889 par M. Lanel, gérant de l'agence et consul de France à Sofia (*Bulletin consulaire français*, année 1889, 1er fascicule, juillet).
2° Dans le *Rapport* sur le commerce de la Bulgarie en 1897 dressé le 22 juin 1898 par M. Perroud, vice-consul de France à Sofia (*Moniteur officiel du Commerce*, n° 790 du 18 août 1898).
** La différence entre ces totaux et ceux que donnerait l'addition des colonnes au bas desquelles ils se trouvent est représentée par divers articles secondaires dont la nomenclature aurait inutilement allongé celle que nous donnons et qui seule nous intéresse.

Les chiffres manquent.

Les autres chiffres manquent.

NOTA BENE. — Les chiffres représentent des francs.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MOUVEMENT COMMERCIAL EXTÉRIEUR DE LA BULGARIE EN 1898

Importations.

PRODUITS IMPORTÉS.	MONTANT en francs.	LA FRANCE y est comprise pour
Cuirs, peaux et produits de la peausserie. .	3 953 205	499 546
Étoffes, matières et produits textiles. . . .	21 935 629	745 310
Pierres, terres, verres et leurs produits. . .	2 815 526	612 896
Huiles, graisses, bougies, savons.	2 539 713	632 195
Métaux et produits de la métallurgie. . . .	10 722 336	230 947
Parfumeries	142 429	35 770
Fruits, légumes, graines, denrées coloniales.	6 051 180	81 867
Boissons spiritueuses.	1 627 238	53 517
Produits chimiques.	666 754	51 500
Papeterie (matières et produits)	1 913 356	219 800
Machines, instruments et appareils. . . .	5 100 000	116 650
Conserves	534 838	49 000
Divers	14 708 046	981 688
	72 730 250	4 310 686 soit 5,93 °/₀

Voici, du reste, le chiffre de participation des autres pays dans cette somme de 72 730 250. Nous occupons le cinquième rang :

Autriche-Hongrie..	20 454 821	Belgique	3 716 259
Angleterre.	17 383 630	Russie	3 166 416
Allemagne.	9 390 544	Italie	2 707 315
Turquie.	7 444 885	Roumanie.	1 532 336

Divers pour la différence.

Exportations.

PRODUITS EXPORTÉS.	MONTANT en francs.	LA FRANCE y est comprise pour
Oiseaux de basse-cour.	131 000	108 700
Œufs	1 725 500	42 500
Froment.	2 814 628	1 125 500
Blé tendre roux.	25 177 000	3 158 300
Seigle	2 351 500	62 000
Avoine.	370 700	62 250
Orge.	3 882 300	154 160
Maïs.	10 510 466	553 860
Haricots	1 096 300	138 178
Graines de moutarde.	42 000	42 000
Essence de roses.	2 575 797	544 560
Peaux	2 211 200	757 332
Cocons.	932 212	253 761
Soie écrue et bourre de soie.		57 363
Divers	12 716 404	789 536
	66 537 007	7 150 000 soit 9 °/₀

Les importations de la France en Bulgarie se sont élevées à.	4 310 686
Ses exportations à.	7 150 000
DIFFÉRENCE. . . .	2 839 314

Près de 3 millions en faveur des exportations.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

prospérité économique. Le commerce des céréales et celui des cocons ont pris une extension considérable.

M. Peroud, vice-consul de France à Sofia, qui a rédigé le rapport relatif à l'année 1898 (1), est très sobre d'observations. Nous lui empruntons toutefois celle-ci qui prouve que les avis de son prédécesseur ont été peu écoutés par ses nationaux :

J'insisterai ici sur les progrès réalisés par le commerce allemand au cours des dix dernières années, car cette constatation est de nature à stimuler l'initiative de nos négociants. Les Allemands se sont pliés avec une habileté remarquable à toutes les exigences de cette place : leurs représentants visitent fréquemment le pays : ils se sont en outre insinués dans les bonnes grâces des acheteurs bulgares en recourant à un moyen irrésistible ici, le crédit à long terme. Les importations allemandes ne dépassaient pas 3 900 000 francs environ en 1889; elles ont atteint le chiffre de 12 100 000 francs en 1894.

. . . . . .

Cet exemple prouve, une fois de plus, qu'un des principaux facteurs du succès dans ces contrées est la propagande sur place par des voyageurs. La question du crédit, on ne saurait assez le répéter, joue, elle aussi, un rôle prépondérant en ce pays. Les Allemands et les Autrichiens accordent couramment 4, 6 et même 9 mois parfois pour le paiement des marchandises qui sont d'un placement facile, et certaines maisons allemandes n'hésitent pas à faire de plus grandes concessions lorsqu'il s'agit d'évincer un concurrent plus exigeant.

Et la conclusion finale de ce rapport est celle-ci qui prête à de sérieuses réflexions :

En 1898, nos achats ont dépassé de 2 838 674 francs la valeur de nos importations en Bulgarie.

Des rapports que nous venons d'analyser, il nous a paru intéressant de relever quelques chiffres comparatifs qui ont servi à dresser le tableau ci-contre. Il fait connaître, en même temps que les principaux objets de l'importation bulgare, la part pour laquelle y concourent les principaux États commerciaux du monde. Il présente également pour la plupart les éléments constitutifs de la marche progressive du commerce de ces États avec la Principauté de Bulgarie et Roumélie orientale.

SERBIE

Le royaume de Serbie comprend 48 589 kilomètres carrés et sa population qui approche de 2 360 000 habitants présente depuis quelques années une augmentation soutenue qui est du meilleur augure pour son avenir (2). Il résulte, en effet, des derniers recensements et des plus récentes statistiques que le nombre des naissances dépasse annuellement celui des décès de 17 p. 100 et

(1) *Moniteur officiel du Commerce*, n° 866 du 23 novembre 1899.

(2) En 1888 la population de la Serbie était de 2 010 612 habitants.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qu'en raison d'améliorations dans l'hygiène populaire ou d'augmentation du bien-être des masses, les décès décroissent sensiblement depuis une dizaine d'années.

D'après son *Budget d'État* de 1898, les recettes de la Serbie sont de. . .	63 600 000	francs.
Les dépenses de (1).	62 300 000	—
Ce qui donne un excédent de recettes de.	1 300 000	—
La dette de l'État serbe se montait à la même époque à.	407 400 000	—
Son service exigeait (intérêts et amortissements).	17 700 000	—
Les produits nets de l'État (chemins de fer, monopoles) sont de.	2 200 000	—

Ces produits semblent devoir s'améliorer par une sage administration des chemins de fer dont l'État a repris à l'exploitation directe en 1890. Quant à l'administration des monopoles, qui gage les emprunts serbes, elle a été réorganisée. Son organisation nouvelle, tout en étant loin de présenter la même sécurité que les commissions européennes qui fonctionnent en Turquie, en Grèce, en Égypte, offre cependant déjà plus de garanties que l'ancienne.

La richesse privée est, elle, en croissance sensible. Il suffit pour le démontrer de dire qu'en 1888, le mouvement des fonds dans les banques, caisses d'épargne ou d'associations s'élevait à 251 475 000 francs et que dix ans plus tard il se montait à 1 631 335 000 francs.

L'instruction publique y est en progrès.

En 1870	on comptait en	Serbie	441	écoles	fréquentées par	42 788	enfants.
En 1880	—	—	614	—	—	64 464	—
En 1890	—	—	744	—	—	57 005	—
En 1898	—	—	1014	—	—	74 068	—

Depuis quelques années, la sollicitude du gouvernement serbe s'est portée sur l'amélioration de ses moyens de transports et, après le rachat fait en 1890 de ses voies ferrées, il a fait étudier de nombreux projets qui ont abouti au vote par la Skouptchina de douze nouvelles lignes présentant un développement d'environ 900 kilomètres.

Voici le tableau des voies ferrées de Serbie avec l'indication des principales stations qu'elles desservent ou desserviront.

(1) Le Budget de la guerre entre pour 23 p. 100 dans les dépenses totales.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Lignes de chemins de fer de l'État serbe.

		kil.
1° En exploitation par l'État serbe.	1° de Belgrade à Vrania (de Vienne à Salonique, par Uskub).	354
	Dessert : Belgrade-Topchidère-Palanka-Velika Plana-Lapovo-Iagodina Tchoupria-Paratchin-Alexinatz-Nisch-Leskowatz-Vrania.	
	2° de Nisch à la frontière Bulgare.	98
	Dessert : Nisch-Bania-Sveta Petka-Biela Palanka-Pirot Tzaribrod.	
	3° de Semendria à Velika Plana	45
	Dessert : Semendria-Saranowatz-Lassovik-Velika Plana.	
	4° de Lapovo à Kraguievatz.	29
	Dessert : Lapovo-Batoschina-Kraguiewatz.	
	5° de Kladovo à Kniajewatz.	164
	Dessert : Kladovo-Brza Palanka-Negotin-Zaïtchar-Kniagewatz.	
		690
2° En construction (2) par Edward Calthrop et Marcus, de Londres.	1° de Belgrade à Obrenovatz, Laikovatz, Valiévo, Korinitza et Loznitza (1).	150
	2° de Stalatz à Kruschevatz, Trstenik, Kralievo. Tchaktchak, Podjega et Oujitzé.	150
	3° de Oujitzé à Kremna, Mokragora et la frontière bosniaque.	40
	4° de Valiévo à Ossetchina, Zavlaka, Loznitza et la frontière bosniaque. . .	50
	5° de Bladinovatz à Aranghelovatz, Lazarovatz et Laïkowatz.	75
	6° de Kraguiewatz à Gouberetz et Kraliévo.	45
	7° de Nisch à Prokouplié, Kourschoumlié et la frontière turque.	70
	8° de Paratchin à Lukovo, Boliévatz et Zaïtchar	75
	9° de Nisch de Kgniajewatz (terminant le circuit Kladovo-Nisch-Belgrade).	50
	10° de Doubrevitza (sur le Danube) à Pojarivatz, Petrowatz, Jagoubitza et Zaïtchar.	125
	11° de Petrowatz à Iabaré et Velika-Plana.	30
	12° de Schabatz à Leschnitza et Loznitza.	30
		890 (3)

Voici maintenant le tableau du mouvement sur les voies ferrées en exploitation pendant l'année 1897 :

Voyageurs transportés.	655 000	produit. 5 837 000 francs
Têtes de bétail.	182 200	
Tonnes de marchandises. . . .	133 000	

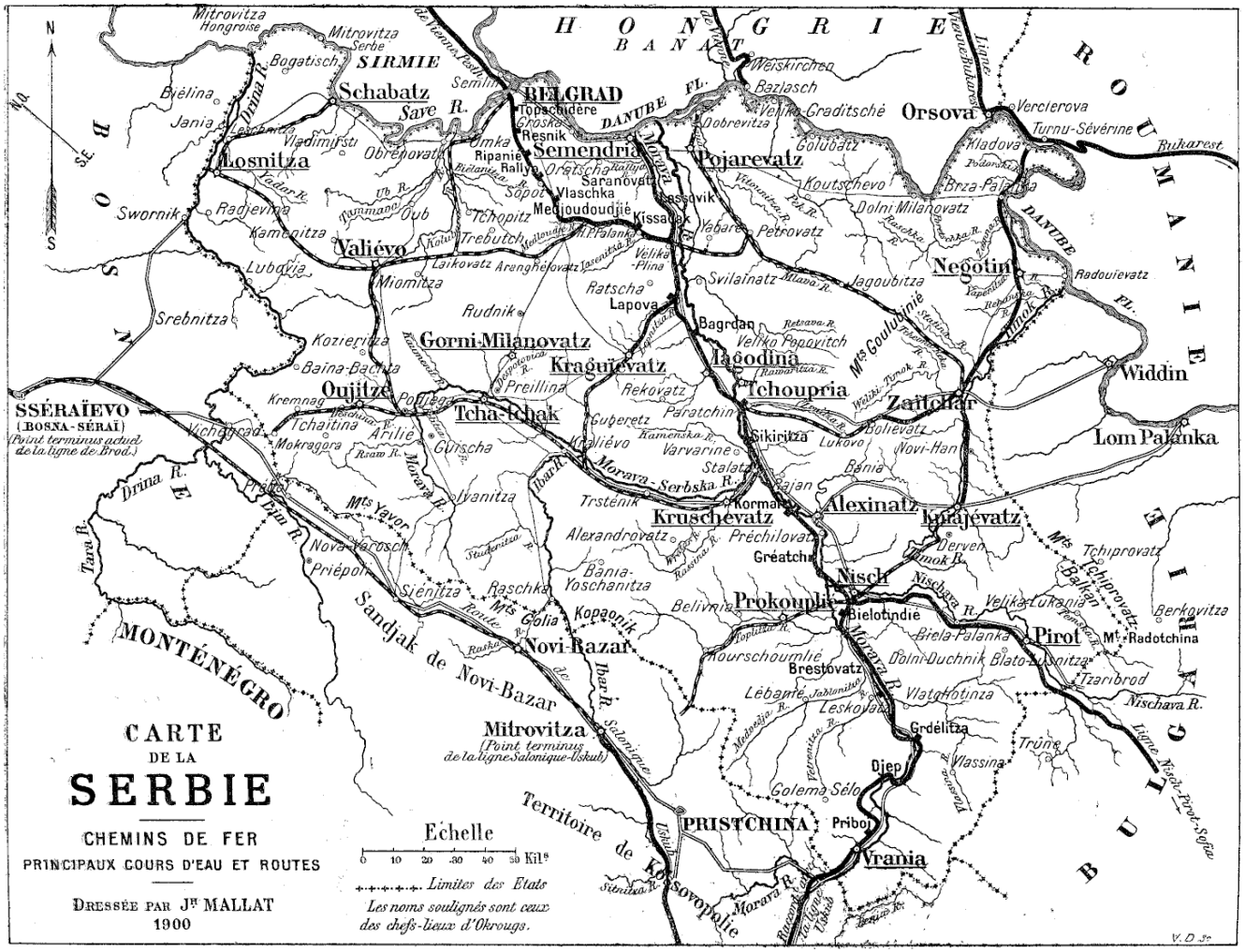
(1) Pour établir ces chiffres, j'ai mesuré sur la carte les distances qui séparent les stations projetées en suivant à peu près les vallées; c'est dire que mes chiffres ne sont qu'approximatifs.

(2) La durée de la concession n'est pas déterminée, mais ne peut dépasser 90 ans. Le gouvernement royal se réserve le droit de rachat avant que soit expiré ce délai, mais au plus tôt 30 ans après la mise en exploitation.

La largeur des voies sera ou normale (1m,435) ou étroite (0m,76).

(3) Un pont va être constrnit sur le Danube à Kladovo à frais communs par les États serbe et roumain pour relier les chemins de fer des deux pays.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires


CARTE
DE LA
SERBIE
CHEMINS DE FER
PRINCIPAUX COURS D'EAU ET ROUTES
DRESSÉE PAR Jh MALLAT
1900
Échelle
0 10 20 30 40 50 Kils
Limites des Etats
Les noms soulignés sont ceux des chefs-lieux d'Okrougs.
HONGRIE
BANAT
ROUMANIE
BULGARIE
BOSNIE
MONTÉNÉGRO
Territoire de Kossovopolie
Sandjak de Novi-Bazar
SIRMIE
BELGRAD
Schabatz
Losnitza
Valiévo
Gorni-Milanovatz
Kragujévatz
Tchacak
Oujitze
SSÉRAÏEVO
(BOSNA-SÉRAÏ)
Semendria
Pojarevatz
Orsova
Negotin
Tchoupria
Jagodina
Zaitchar
Widdin
Lom Palanka
Alexinatz
Kruschevatz
Ivajévatz
Nisch
Prokoupli
Pirot
Brestovatz
Grdélitza
Djep
Priboj
PRISTCHINA
Vrania
Mitrovitza
(Point terminus de la ligne Salonique-Uskub)
Novi-Bazar
Ratscha
Lapova
Tchoprija
Sikiritza
Kormane
Gréatcha
Bielotindie
Mts Golia
Mts Yavor
Mts Radotchina
Mts Tchiprovatz
Balkan
Drina R.
Save R.
Danube Fl.
Morava-Serbska R.
Ibar R.
Lim R.
Nischava R.
Vlassina R.
Trûna
Tzaribrod
Berkovitza
Golema Sélo
Lébane
Leskovatz
Bania
Dolni Duchnik
Blato-Dusnitza
Dolni Milanovatz
Brza-Palanka
Kladova
Turnu-Sévérine
Bukarest
Vercierova
Orsova
Ligne Budapest-Orsova
Ligne Nisch-Pirot-Sofia
Ligne Salonique-Uskub
Ligne Belgrade-Vienne
Ligne Belgrade-Semlin
Ligne Ouvrages-Vienne
Ligne Ouvrages-Budapest
Ligne Ouvrages-Bukarest
Ligne Ouvrages-Nisch
Ligne Ouvrages-Salonique
Ligne Ouvrages-Sofia
Ligne Ouvrages-Constantinople
Ligne Ouvrages-Athènes
Ligne Ouvrages-Trieste
Ligne Ouvrages-Fiume
Ligne Ouvrages-Agram
Ligne Ouvrages-Semlin
Ligne Ouvrages-Belgrade

Il y a en Serbie un réseau télégraphique qui développe 8,106 kilomètres de fils et est desservi par 128 stations ou bureaux dont les recettes, pour le dernier exercice, se sont élevées à 2 054 000 francs.

Ce pays est, comme tous ceux de la péninsule balkanique, essentiellement producteur agricole.

On évaluait ainsi la récolte de 1897 :

Céréales	71 102 600 francs.
Paille	19 263 646 —
Foin	23 945 400 —
Vin (1)	20 613 200 —
Divers	57 349 154 —
Valeur totale de la récolte	192 274 000 francs.

Et on estimait de la manière suivante la valeur de son bétail de ferme :

Porcs	915 400 têtes	valant 140 377 000 francs.
Bœufs	904 400 —	
Moutons	3 094 200 —	
Chèvres	526 000 —	

*
* *

Il y a en Serbie une cinquantaine de villes et environ 4 400 villages ou bourgs. La France entretient, auprès de la cour de Belgrade, une Légation dont le titulaire était en 1884 M. de Reverseaux, aujourd'hui ambassadeur à Vienne.

Ce diplomate adressa, le 25 août 1884, au ministre du Commerce, un rapport sur la *Situation économique de la Serbie en 1882* (*Bulletin consulaire français*, année 1885, 1er et 2e fascicules).

Nous empruntons d'abord à ce rapport les chiffres suivants, qui, tout en établissant que depuis 1872 la Serbie était au point de vue commercial en état de progrès sensible (2), nous feront connaître les principaux objets d'importation et d'exportation de ce pays.

(1) On évalue à 34 000 hectares la contenance des terres consacrées à la culture de la vigne.

(2) La colonne des unités importés en Serbie en 1872 donne, total	78,046,565
Celle des unités importées en 1882 donne	162,819,836
L'augmentation est donc de	92,773,271

c'est-à-dire que la consommation a plus que doublé et cependant le pays n'a pour ainsi dire pas encore connu les bienfaits de la paix.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Tableau comparatif de l'IMPORTATION des principaux produits en Serbie en 1872 et 1882.

PRODUITS.	Unités.	En 1872.	En 1882.	AUGMENTATION.
Papier	Feuille.	59 915 000	128 266 000	68 351 000
Cuivre	Oke (1).	72 305	429 536	357 231
Farines	Id.	1 746 096	2 976 342	1 230 246
Pétrole	Id.	517 127	4 320 468	3 803 341
Huiles	Id.	315 639	1 723 972	1 408 333
Café	Id.	518 689	1 723 972	1 205 283
Sucre	Id.	1 337 394	6 207 718	4 870 324
Riz	Id.	520 102	2 347 448	1 827 346
Bougies de stéarine	Id.	178 298	279 978	101 680
Savon	Id.	30 351	149 588	119 237
Fer	Id.	4 034 370	11 540 669	7 506 299
Toile américaine	Id.	788 920	1 390 380	601 460
Coton	Paquet.	72 274	1 463 765	1 391 491

(1) L'oke égale 1 kilogr. 280 grammes.

Tableau comparatif des principaux articles de l'EXPORTATION serbe en 1879 et 1882.

PRODUITS.	UNITÉS.	En 1879.	En 1882.
Bœufs	Tête.	37 612	16 621
Vaches	Id.	3 657	2 333
Veaux	Id.	624	159
Porcs gras	Id.	177 916	114 109
Porcs maigres	Id.	99 570	126 437
Moutons	Id.	42 899	39 469
Agneaux	Id.	46 752	12 800
Chèvres	Id.	9 648	3 125
Froment	Oke.	13 507 685	31 481 332
Seigle	Id.	838 521	2 652 600
Orge	Id.	469 265	1 326 751
Maïs et avoine	Id.	5 107 329	7 061 924
Peaux	Pièce.	1 296 992	1 404 541
Eau-de-vie	Oke.	29 512 060	180 260
Pruneaux	Id.	13 589 170	25 759 388
Noix de galle	Id.	1 732 545	531 015
Vins	Id.	4 448 132	4 360 486
Laine	Id.	137 457	134 871
Suif	Id.	15 098	48 901

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ce qu'il importe surtout de noter dans le rapport à M. de Reverseaux ce sont ses appréciations générales puisque, comme nous l'avons vu dans le rapport de M. Lanel elles sont également applicables à la Bulgarie :

Le commerce et l'agriculture vont prendre leur essor (en Serbie), les richesses du sol, qui sont considérables, pourront être exploitées et les étrangers appelés à concourir à cette nouvelle existence, à laquelle, plus que tout autre, la France doit prendre part. -- Les conditions, en effet, sont favorables pour elle. Notre commerce, peu connu malheureusement jusqu'ici, jouit d'une réputation d'honnêteté incontestée; on sait que nos produits sont supérieurs comme qualité et comme bon goût à ceux de l'Autriche et de l'Allemagne . . . . . .

. . . . . .

Jusqu'à présent, les négociants français se sont laissé distancer par les Autrichiens et les Allemands, *qui ont inondé la Serbie de voyageurs de commerce*, tandis que les nôtres n'ont pas fait leur apparition; aussi nos articles sont-ils peu connus, ou faussement connus, *car beaucoup d'entre eux qu'on vend ici comme français ne sont autre chose que des produits autrichiens de second ordre* et dont le prix est fort élevé.

Il ne faut pas compter que les Serbes iront en France solliciter les relations; la longueur et le prix du voyage, aussi bien que la difficulté de parler notre langue, les en empêchent. Il serait donc utile qu'à défaut de commis voyageurs notre commerce fît connaître ses produits par un dépôt d'échantillons à Belgrade et à Nisch.

Examinons maintenant la situation commerciale de la Serbie en 1897, c'est-à-dire quatorze ans après le rapport de M. de Reverseaux.

Nous allons puiser nos indications dans le Rapport de M. Marie, consul honoraire chargé de la chancellerie de la Légation de France à Belgrade.

Ce rapport, très court, est très sobre d'observations; avant de l'analyser comme chiffres, nous copions ce paragraphe :

Le mode de paiement adopté par les maisons autrichiennes et allemandes consiste en traites payables à trois et quatre mois de vue pour les denrées coloniales et six mois pour les produits manufacturés.

Une prolongation de délai pour faciliter les paiements est souvent accordée, sans intérêts, aux créanciers qui n'auraient pas fait honneur à leur signature à l'échéance fixée.

Les conditions de paiement des maisons anglaises sont les suivantes : trois mois, à compte ouvert sans traite. Ce délai expiré, ces maisons réclament un intérêt pouvant s'élever à 5 p. 100.

Tableau comparatif du mouvement général du commerce extérieur de la Serbie pendant les années 1883 et 1897.

	1883	1897		
Importations.	51 642 127	45 313 824	Diminution. . . .	6 328 303
Exportations.	5 806 200	55 939 981	Augmentation. . .	50 133 781
Total du mouvement. .	57 448 327	101 253 805	Augmentation. . .	43 805 478

Ces chiffres prouvent avec éloquence l'état prospère du commerce de la Serbie, qui dans un laps de quatorze ans a vu s'élever de 5 millions, c'est-à-dire

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Importations en Serbie en 1883 et 1897*.

DÉSIGNATION DES PRODUITS.	AUTRICHE-HONGRIE.		ANGLETERRE.		ALLEMAGNE.		ITALIE.		RUSSIE.		FRANCE.		TURQUIE.		DIVERS.	
	1883	1897	1883	1897	1883	1897	1883	1897	1883	1897	1883	1897	1883	1897	1883	1897
Papiers	547 912	804 918	»	»	»	81 069	»	»		»		9 660		»	»	»
Tabac et cigares	»	»	»	»	»	87 460	»	»		»		»		448 675	»	»
Laines et poils	»	2 344 466	»	»	»	1 318 400	»	»		»		20 760		607 415	»	695 360
Fils de laine	»	172 601	»	41 900	»	417 352	»	»		»		»		93 862	»	»
Laine de moutons brute	»	447 668	»	»	»	46 490	»	»		»		»		483 096	»	18 546
Étoffes en laine	366 197	846 840	»	547 967	»	223 842	»	26 121		»		13 295		»	»	»
Couvertures et rideaux non confectionnés	»	490 177	»	89 809	»	184 333	»	»		»		7 225		»	»	»
Velours et peluches en laine	»	8 781	»	»	»	3 072	»	»		»		240		»	»	»
Bois et ouvrages en bois	2 097 102	1 120 198**	»	»	»	»	»	»		»		»		»	»	»
Animaux et produits d'animaux	»	698 751	»	»	»	»	»	»		»		»		»	»	»
Poissons frais ou conservés	»	110 394	»	»	»	»	»	»		238 800		»		»	»	»
Fromages	»	5 530	»	»	»	»	»	»		21 364		10 709		»	»	30 547
Vins	»	45 178	»	»	»	»	»	»		»		980		»	»	7 771
Cognacs, rhums et liqueurs	»	7 096	»	»	»	»	»	43 150		»		»		354 307	»	34 728
Sel	»	»	»	»	»	»	»	»		»		14 295		»	»	13 187
Charbon de terre	»	398 249	»	»	»	»	»	»		»		»		»	»	540 470
Poterie, faïence et porcelaine	»	145 256	»	»	»	74 570	»	»		»		»		»	»	»
Verrerie	»	131 124	»	»	»	»	»	»		»		4 795		»	»	»
Métaux	743 143	3 013 874	»	»	352 053	443 917	»	»		»		1 947		»	»	7 443
Peaux, caoutchouc, gutta-percha	»	2 354 770	»	217 662	1 052 585	769 630	»	»		»		177 560		»	»	»
Denrées coloniales	503 596	2 014 196	»	304 423	»	»	»	»		»		155 548		»	»	335 315
Café	»	196 768	»	47 017	»	»	»	129 187		»		15 394		265 985	»	930 330
Sucre	1 289 670	1 648 071	»	»	»	»	»	»		»		»		»	777 622	891 734
Riz	»	62 873	»	197 229	»	»	»	»		»		»		»	»	»
Médicaments, prod. chimiques et couleurs	301 731	916 180	»	»	»	282 049	152 019	49 504		»		4 767		100 727	»	»
Substances grasses et savons	»	780 653	»	191 280	»	81 933	»	»		»		87 818		»	»	»
Machines, instruments	»	697 053	»	128 108	»	304 140	539 487	»		143 789		79 640		»	312 367	»
Armes	»	13 390	»	»	»	»	»			»		23 353		»	»	»
Coton, chanvre, filaments végétaux	»	840 627	»	3 260 069	»	»	»	»		»		»		»	»	30 824
Fils de coton teints ou imprimés	»	300 932	»	122 303	»	24 397	»	»		»		»		»	»	»
Tissus de coton	»	289 595	989 666	212 397	»	21 863	»	»		»		9 525		»	»	10 736
Treillis pour vêtements militaires	»	»	»	»	»	»	»	7 871		»		12 370		»	»	170 212
Toiles fines	»	54 336	»	»	»	3 622	»	»		»		111 341		»	»	»
Soieries	93 238	537 382	9 800	»	3 033	»	11 313	»		»		10 637		»	»	»
Quincaillerie	»	729 859	»	»	53 818	270 410	»	»		»		65 729		»	»	»
Habits confectionnés, chapeaux, parapluies	»	2 619 872	»	»	»	225 581	»	55 487		»		41 951		»	»	»
Broderies sur tissus	»	31 613	»	»	»	9 325	»	»		»		10 867		59 538	»	»
Divers	805 418	»	»	»	»	»	26 330	»		»		64		»	»	10 221
	6 744 006		999 466		1 461 489		729 146					362 493		2 413 605	1 089 989	3 727 624

* Ces chiffres sont puisés : 1° Dans le *Rapport* sur la situation économique de la Serbie dressé le 25 août 1884 par M. de Reverseaux, ministre de Belgrade (*Bulletin consulaire français*, année 1885, 1er et 2e fascicules).
2° Dans le *Rapport* sur le commerce de la Serbie pendant l'année 1897 dressé par M. Marie, consul honoraire chargé de la chancellerie de la légation de France à Belgrade (*Moniteur Officiel du Commerce*, n° 808 du 22 décembre 1898).
** Dans ce chiffre, les meubles rembourrés et tapissés figurent pour 21 434 francs.

NOTA BENE. — Les chiffres représentent des francs.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

presque rien, à près de 55 millions le chiffre de ses exportations tout en diminuant, très peu, c'est vrai, le chiffre de ses importations.

Mouvement du commerce extérieur (Tableau comparatif du) d'après le coup d'œil économique sur la Serbie, par M. Victor Lévy.

NATIONS.	ANNÉE 1890.	ANNÉE 1898.	P. 100 de 1898.
Autriche-Hongrie	70 474 626	75 972 058	78,51
Allemagne	6 112 020	4 170 923	3,67
Angleterre	5 098 234	3 013 579	2,52
Turquie	4 810 145	5 167 337	5,30
Amérique	1 700 347	1 304 815	1,20
Bulgarie	4 541 296	2 487 648	2,26
Roumanie	1 254 050	1 416 668	1,45
Italie	386 823	519 529	0,41
Bosnie	524 405	390 835	0,52
FRANCE	868 824	735 809	0,82
Russie	1 056 909	999 695	1,39
Suisse	701 773	441 361	0,32
Grèce	50 409	15 285	0,02
Belgique	161 163	232 948	0,19
Autres pays	»	876 918	1,40
	97 741 014	97 745 408	100,00

ROUMANIE

Le royaume de Roumanie, pays transdanubien et cis-karpathique, est formé de la Moravie, de la Valachie et de la Dobroutcha. Sa superficie est de 132 000 kilomètres et sa population (1894) de 5 411 000 habitants, en augmentation de 35 000 depuis 1892.

Ses principales villes sont :

Bukarest avec	194 633	habitants.	
Braïla	50 000	—	
Galatz	60 000	—	
Berlad	27 000	—	
Jassy	80 000	—	dont 50 000 juifs.

(La question de la naturalisation des juifs, imposée à la Roumanie par le traité de Berlin, a longtemps été l'objet de nombreux incidents diplomatiques et a retardé jusqu'au mois de novembre 1879 la reconnaissance par les puissances du gouvernement de ce pays.)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les villes de 20 000 habitants sont nombreuses dans ce pays, dont le développement économique est devenu considérable depuis quelques années. Le commerce d'échange et l'industrie y ont pris un accroissement tout à fait imprévu, de nombreuses fabriques se sont montées, des études minéralogiques ont été faites par tout le pays. On a trouvé dans son sol montagneux de l'or, beaucoup de fer, du mercure et d'abondantes sources de pétrole qui ont donné naissance à l'industrie du raffinage.

Les Allemands se sont abattus par nuées sur la Roumanie où ils sont, on peut le dire, les maîtres de l'industrie et du commerce d'échange. Toutefois, les ingénieurs français sont très appréciés et on utilise leurs services avec un grand empressement.

Les sciences sont particulièrement cultivées par les Roumains qui envoient tous les ans de nombreux étudiants à Paris et à Berlin pour y étudier le droit, la médecine et les sciences physiques et naturelles.

L'agriculture se développe, elle aussi, rapidement. La fondation d'un crédit agricole l'y a aidée et la pousse vers le progrès. On compte aujourd'hui en usage 300 000 charrues en fer et 15 000 machines semeuses, faucheuses et batteuses.

La valeur des machines importées en trois ans, de 1888 à 1890, se décompose comme suit :

De l'Allemagne.	13 000 000 francs.
De l'Autriche.	8 300 000 —
De l'Angleterre.	7 000 000 —
De la France.	250 000 —
De la Suisse	200 000 —
De l'Amérique	50 000 —

Ces quantités sont au moins du double pour les années suivantes, mais la proportion en notre défaveur n'a pu que s'accentuer, toujours pour les mêmes causes : prix plus élevés et *manque d'offres tendant à faire connaître nos produits* (1).

La Roumanie est un pays très boisé. Environ les 2/5 de sa surface sont couverts de forêts dont plus de la moitié appartiennent à l'État qui possède près du quart de la superficie totale du pays.

Dès que l'on s'éloigne du Danube pour remonter du côtés des montagnes, les forêts font leur apparition, rares d'abord, puis plus fréquentes, elles couvrent la plus grande partie du sol lorsqu'on arrive à la montagne proprement dite.

Les forêts les plus proches du Danube sont d'essences variées, parmi lesquelles dominent le chêne rouvre et le chêne pédonculé; ce n'est guère que dans la chaîne des Karpathes proprement dite que l'on trouve l'épicéa et le sapin; mais alors ils couvrent ces montagnes en épaisses forêts séculaires d'une venue admirable (2).

(1) Communication de M. A. Crié, conseiller du commerce extérieur de la France, au *Moniteur officiel du Commerce*, n° 790 du 18 août 1898.

(2) Conférence de Et. Famin à la Société forestière de Franche-Comté, le 15 juillet 1894.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Dans ce sol humide et fertile, le chêne pousse trop vite pour fournir du bois de bonne qualité. Il est cassant et peu nourri. Le hêtre, au contraire, donne du bois de bonne qualité, très recherché pour le charronnage et pour les outils agricoles que des ouvriers hongrois confectionnent en forêt avec une dextérité et une habileté incomparables et à un prix excessivement réduit.

Ce sont des Français qui, les premiers, importèrent en Roumanie l'industrie du bois, et à leur école se formèrent plusieurs Roumains intelligents et pratiques qui, aujourd'hui, exploitent les établissements que diverses raisons et particulièrement le manque d'esprit de suite firent abandonner par leur fondateur.

Le matériel employé varie beaucoup suivant les localités; dans les montagnes où la force hydraulique abonde, on a adopté la scierie helvétienne, toute en bois avec turbine pour chaque scie. Dans les grandes usines, on se sert plus usuellement de la vapeur et des scies à cadre qui sont fournies par les fabricants de Vienne, de Buda-Pesth et de Berlin, nos fabricants français s'étant complètement laissé distancer pour ce genre de machines, tant au point de vue du prix qu'à celui de la construction, la machine allemande, beaucoup plus massive, permettant une installation moins coûteuse que les fondations nécessaires au bon fonctionnement d'une machine française.

Les bois de Roumanie alimentent actuellement la Turquie, la Syrie, la Grèce; l'Égypte en fait une énorme consommation et ils viennent maintenant jusqu'en Tunisie; il en est également expédié dans les Indes et jusqu'en Australie.

Le roi de Roumanie qui s'occupe lui-même de l'exploitation des forêts dont il est propriétaire, a fait faire des installations remarquables. Ses usines fournissent les chemins de fer, l'armée et de nombreuses administrations.

La navigation sur le Danube est presque entièrement entre les mains de la Société autrichienne privilégiée, dont la flotte se compose de 190 vapeurs et 737 remorqueurs. Le service de la navigation sur la mer Noire est fait par la société de navigation à vapeur russe; mais le gouvernement roumain a acheté en 1890 à la Compagnie autrichienne le chantier de Turn Severin; il possède actuellement cinq grands vapeurs et un service de remorqueurs, et il paraît disposé à réunir entre des mains roumaines tous les transports du Danube et du Pruth.

Le réseau des chemins de fer roumains comprenait, en 1883, 1184 kilomètres produisant un bénéfice net de 8 millions; en 1896, il était de 2930 kilomètres et le bénéfice net s'élevait à 18 millions. De nouvelles lignes sont projetées et de nouveaux services de navigation sont à l'étude pour entrer incessamment en exploitation. Lorsque ces lignes seront faites, la Roumanie se trouvera rattachée, d'une part avec l'Allemagne occidentale par Rotterdam, de l'autre par Constantinople, Salonique et Alexandrie avec les diverses parties de l'Orient (1).

(1) Il ne lui manquera plus qu'une ligne vers Samboun pour assurer ses communications avec l'Asie Mineure, lorsque le réseau des chemins de fer aura été complété dans cette région.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. Henry, ministre de la République française à Bukarest, termine la communication à laquelle nous empruntons ce renseignement (1) en faisant remarquer qu'avant même que le port de Kustendjé (Constantza) ne soit achevé, on voit se dessiner successivement le plan qui a présidé à sa création et qui, par l'établissement de trains rapides, de fils télégraphiques directs, de tarifs réduits avec l'Allemagne, et l'ouverture des lignes maritimes vers les diverses échelles du Levant tend à faire de ce port roumain l'entrepôt du commerce allemand sur la mer Noire et le point de départ de l'expansion germanique vers l'Orient.

Voilà qui donne à réfléchir.

Nous avions cependant une bonne place à prendre en Roumanie et notre attitude désintéressée, on pourrait dire chevaleresque, nous avait valu bien des sympathies; pour le démontrer, nous croyons à propos de publier la traduction littérale de la *Protestation adressée* (en juillet 1885) *par les principaux négociants de Galatz à M. Bratiano, président du Conseil des ministres à Bukarest.*

A personne plus qu'à nous, habitant un port en nombreuses relations d'affaires avec la France et la Turquie et qui avons eu beaucoup à souffrir, dans ces derniers temps, par la suppression du port franc, par l'établissement irréfléchi des tarifs des chemins de fer et une foule d'autres mesures vexatoires; à personne plus qu'à nous, disons-nous, n'incombe le devoir d'élever la voix en présence de la décision prise par le Gouvernement d'appliquer, à partir du 1er juillet prochain, le tarif autonome, aux marchandises importées de France et de Turquie.

A qui, Monsieur le Président, profitera une telle mesure? aura-t-elle pour effet de protéger l'industrie nationale, seule justification possible de l'application d'un régime protectionniste?

Par les débats survenus dans la presse, tant roumaine qu'étrangère, sur cette question, tout le monde a pu se convaincre que notre pays n'a rien à gagner à l'application projetée des taxes d'entrée sur les marchandises françaises et turques et que nous ne ferions par là que le jeu du commerce autrichien surtout allemand. En observant, en effet, sérieusement la statistique de l'importation des pays visés par le tarif autonome, nous voyons que presque aucun de leurs articles n'est produit dans notre pays, de sorte que nous serons obligés de nous les procurer ailleurs.

Que gagnera la Roumanie à ce changement? Rien; au contraire, elle perdra; car, la concurrence diminuant, les prix hausseront.

D'autre part, si, usant de représailles, comme il est probable, les pays frappés mettent les mêmes taxes sur nos produits, n'est-il pas évident pour quiconque que nous subirons des pertes immenses?

Nous ne croyons pas nécessaire de nous servir de chiffres dans cette pétition qui n'a d'autre but que de vous exposer brièvement nos désirs, surtout à vous qui, sans doute, devez connaître la question à fond; mais nous ne pouvons nous empêcher de nous rappeler que ce que nous exportons surtout en France, ce sont nos céréales, et en Turquie, en outre des céréales, des bois de construction, du fromage, de la farine, et autres produits; ces deux pays se fourniront ailleurs, au dommage irréparable de la Roumanie.

L'objection consistant à dire que la France a imposé nos blés ne peut être sérieuse, car l'Allemagne a fait la même chose; si donc nous ne pouvons traiter ces deux pays sur le pied de la plus parfaite égalité, l'application à la France seule du tarif autonome n'a d'autre signification qu'une prime d'encouragement donnée au commerce allemand, qui nous traite tout aussi mal.

(1) *Moniteur officiel du Commerce*, n° 827, du 4 mai 1899.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Dans de telles circonstances, nous sommes forcés d'apporter respectueusement à votre connaissance qu'il nous est impossible de souffrir davantage. Le pays est déjà très indisposé par les nombreux maux qui l'accablent et nous en particulier, habitants de Galatz, nous sommes tombés, sous tous les rapports, dans un état déplorable.

Nous espérons, Monsieur le Président, que le Gouvernement de Sa Majesté, mieux avisé, s'apposera à l'application de mesures qui ne peuvent enfanter que des désastres.

ANTERCHI, *Président de la Chambre du Commerce.*

(Suivent les signatures de 300 principaux négociants de Galatz.)

Enfin, c'est grâce à la France que la Roumanie possède quelques bons ports sur la mer Noire, et aujourd'hui elle a abandonné ce marché aux Allemands qui ont accaparé ces ports.

Récemment, le consul général de France à Leipzig nous apprenait qu'il venait de se constituer une *Société de protection des intérêts allemands en Roumanie* et que, dans sa première séance, on avait discuté, entre autres choses, les moyens de sauvegarder les intérêts financiers de ses membres. Le comité de cette société est chargé d'organiser un service d'information et de surveillance permanent, ce qui permettra de se rendre bien compte de la situation commerciale du Royaume.

Les personnes qui composent ce comité et qui ont une connaissance spéciale de ces contrées ont assuré que la situation des affaires en Roumanie est moins défectueuse qu'on pourrait le croire (*Moniteur officiel du Commerce*, n° 856 du 23 novembre 1899).

***

Nous avons négligé de réunir sur le mouvement général du commerce d'échange de la Roumanie des documents statistiques aussi nombreux que ceux que nous nous sommes procurés à l'égard de la Serbie et de la Bulgarie. Nous avons toutefois lu avec intérêt le rapport sur le commerce de Galatz pendant l'année 1897 adressé au gouvernement français par M. G. Wiet, consul général.

Notre représentant à Galatz constate que le gouvernement roumain accorde toutes sortes de facilités aux fabriques qui viennent s'y fonder : exemption des droits de douane à l'importation des machines que nécessite l'installation des usines ; *idem* pour les matières premières ; concession de terrains pour l'installation des fabriques ; enfin, prime à certains produits destinés à l'exportation.

En terminant, M. Wiet ajoute :

Les grandes usines, fabriques, etc., en France ont pour principe de ne pas traiter directement avec les négociants établis ici. Les voyageurs de commerce ne visitent pas assez

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ROUMANIE

Mouvement commercial extérieur de Galatz pendant l'année 1897 (1).

NATIONS.	IMPORTATIONS A GALATZ.		EXPORTATIONS DE GALATZ.		DIFFÉRENCE EN FAVEUR		OBSERVATIONS.
	Poids en kilogrammes.	Valeur en francs.	Poids en kilogrammes.	Valeur en francs.	des importations. francs.	des exportations. francs.	
France	18 545 814*	28 353 992	31 888 787	3 902 124	24 451 868	»	* Les importations de la France comprennent :
Angleterre	74 151 874	23 096 250	175 937 264	21 473 492	1 622 758	»	
Allemagne	5 113 732	13 728 728	928 132	237 191	13 491 537	»	
Belgique	10 173 050	13 636 795	21 341 123	4 177 841	9 458 954	»	
Autriche-Hongrie	19 437 499	9 666 103	736 148	123 468	9 542 635	»	
Turquie	10 243 047	9 026 873	17 148 473	3 375 257	5 651 616	»	
Italie	3 194 134	4 532 981	12 587 681	1 391 562	3 141 419	»	
Russie	6 601 723	3 896 583	6 077 059	594 493	3 302 090	»	
Suisse	261 907	1 676 854	3 331 858	1 446 529	230 325	»	
Hollande	697 377	1 105 961	2 432 381	228 942	877 019	»	
Grèce	1 443 254	889 324	1 594 164	186 900	702 424	»	
Bulgarie	202 418	95 370	5 987 166	1 573 826	»	1 478 456	
Suède et Norvège	16 748	27 365	218 044	34 951	»	7 586	
Espagne	39 400	22 100	1 191 060	184 852	»	162 752	
Serbie	1 867	4 494	178 894	340 340	»	174 346	
	150 123 844	109 759 773	281 578 234	39 271 768			

	francs.
Riz, produits farineux	84 200
Sucre raffiné	2 141 898
Produits coloniaux	314 520
Sucs végétaux	317 000
Huiles	480 320
Produits chimiques	2 483 217
Soies et tissus de soie	1 115 300
Autres tissus	275 751
Poterie, vitrification	458 251
Papeterie	98 950
Métaux divers	19 748 753
Quincaillerie	178 192
Peaux et cuirs	61 749
Matières tinctoriales	140 158
Cotons, laines	274 341
Conserves alimentaires	130 148

(1) Les indications qui ont servi à établir ce tableau sont tirées du Rapport de M. G. Wiet, Consul général de France (*Moniteur officiel du Commerce*, n° 827, du 4 mai 1899).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nos parages et n'y font que des séjours de trop peu de durée. Dans un pays comme la Roumanie, il faut que le représentant de la maison pour laquelle il traite voie plus souvent le négociant. Notre marché est assailli de commis voyageurs allemands; pourquoi ne ferions-nous pas comme eux?

On le voit, tous nos consuls de la péninsule jettent le même cri : Si nous sommes concurrencés, c'est que nous ne prenons pas la peine de nous défendre.

Nos importations en Roumanie ont atteint, en 1898, la somme de 4 millions tandis que nous y achetions pour 21 millions de produits divers.

ALBANIE, MONTÉNÉGRO, BOSNIE

Des deux premiers de ces petits États, nous n'avons rien à dire dans ce chapitre. Le Monténégrin n'a pas encore ouvert son entendement à la vie sociale telle que nous la comprenons et il faudra beaucoup de tact pour lui faire adopter ce que nous appelons notre civilisation.

Le Monténégro ne possède un code que depuis 1855. Il faudrait le transcrire pour donner une idée de l'état d'âme de ce peuple fier, dont le trésor le plus précieux fut toujours la liberté. Nous n'entreprendrons pas de l'analyser, ce serait sortir de notre cadre.

L'Albanie est un peu moins rude quant aux mœurs, et ses coutumes se ressentent du voisinage de l'Épire. Toutefois, sa capitale Sienogorod, pas plus que Cettigné la capitale du Monténégro, ne peuvent être considérées comme des centres à rechercher par le commerce d'exportation.

Quant à la Bosnie, elle est, comme la Croatie, une province de l'empire autrichien. Sa population se compose de chrétiens latins, de chrétiens grecs, de turcs musulmans, de juifs et de tziganes. Ces derniers, qu'on appelle généralement bohémiens, mènent la vie de pasteurs nomades au milieu des vastes pâturages qui forment la plaine située entre Kouprès et Snitza. Le pays est parsemé de nombreuses forteresses qui étaient au temps jadis les chefs-lieux des voiwodies ou capitaineries. Seraïevo appelée aussi Bosna-Seraï est la capitale de la Bosnie. C'est là qu'était le palais du visir, vaste édifice en bois de la construction la plus grossière. Un chemin de fer réunit cette ville à Brod en suivant la vallée de la Bosna ou Lassowa.

L'empire austro-hongrois a fait preuve d'une grande habileté politique pour s'attacher l'Herzégovine et la Bosnie soumises à sa domination. Il a conservé la forme extérieure de la plupart des institutions auxquelles ces pays paraissent le plus attachés et, peu à peu, il a transformé les unes et s'est débarrassé des autres après les avoir poussées à exagérer leurs défauts.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les *communes d'écoles* sont une institution propre à l'Orient.

Ce ne sont pas de simples paroisses, puisqu'elles ont à administrer à la fois des fonds d'églises et des fonds d'écoles et éventuellement aussi des aumônes, puisqu'elles remplissent une sorte d'emploi de juge de paix dans les affaires de famille et d'héritage; mais c'est surtout à l'entretien et à l'administration des écoles de la confession qu'elles se consacrent (1).

Le gouvernement austro-hongrois laissa fonctionner les *communes d'écoles* sans intervenir dans leur fonctionnement; puis, en 1882, il suspend celles de Mostar et les déclare dissoutes pour s'être livrées à des menées politiques; bientôt après (en 1884), il les rétablit, mais, entre temps, il a fait subir à leurs statuts de sensibles modifications.

D'autre part, le clergé de l'église grecque avait toujours prélevé sur ses fidèles un impôt appelé wladikarina. Le gouvernement commença par faire ressortir aux yeux des orthodoxes combien il serait juste et conforme aux maximes de l'égalité entre les cultes, de faire disparaître cette sorte d'impôt de capitation religieuse à laquelle seule leur confession était soumise, puis il démontra au clergé grec que cette institution semblait le mettre dans un état d'infériorité vis-à-vis des prêtres des autres cultes qui étaient, eux, rétribués par l'État, était humiliante pour l'église orthodoxe. Et la wladikarina fut supprimée.

Pour les fidèles de la religion catholique romaine, l'Autriche obtint du Pape de conserver tous ceux des privilèges, droits et coutumes, de l'Église de Bosnie, qui ne se trouvaient pas contraires à la discipline de l'Église de Rome. C'est ainsi que les religieux franciscains, très populaires et influents, furent maintenus dans les fonctions ecclésiastiques qu'ils occupaient, tandis que le clergé séculier devait leur prêter le concours de sa collaboration.

L'Autriche-Hongrie n'oublia pas que les musulmans étaient nombreux en Bosnie et en Herzégovine. Elle s'empressa de donner satisfaction à leurs vœux en leur constituant, si l'on peut s'exprimer ainsi, une Église autonome dans ces provinces. Mais il fallait mettre à sa tête un homme de science éprouvée, d'honorabilité et de pureté de vie parfaites et d'un âge assez avancé pour qu'il n'y eût pas à craindre qu'il devînt un organisateur de rébellion. Par bonheur, le mufti de Seraïewo, Hilmy-Effendi, remplissait toutes ces conditions et jouissait parmi ses coreligionnaires d'un prestige mérité. Un décret impérial du 17 octobre 1882 le créait reis-el-ulema en Herzégovine et Bosnie, avec 8000 florins d'appointements, c'est-à-dire un traitement égal à celui de l'archevêque catholique.

C'est par ces moyens et d'autres analogues, c'est en inscrivant à son budget 200 000 florins pour frais de culte pour les trois confessions, que le gouvernement autrichien a attaché et rattaché à lui les populations bosniaques. C'est en

(1) *La Question religieuse en Bosnie et en Herzégovine,* par M. Gabriel Charmes (*Revue des Deux Mondes*, année 1885).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sachant se plier à leurs mœurs, qu'en attendant de les avoir assimilés aux siennes, il a pris sur ces nouveaux sujets une influence qui s'accuse de jour en jour par les développements commerciaux et sociaux de ces provinces.

CONCLUSION

Les études que nous venons de résumer nous ont conduit aux conclusions suivantes, qui firent l'objet de la communication verbale que nous eûmes l'honneur de faire le 12 janvier 1900 à la *Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*.

Nos relations commerciales avec l'extérieur sont loin de prendre l'importance qu'elles devraient avoir. Nous ne cherchons pas à créer de nouveaux débouchés à notre exportation et nous laissons envahir notre marché par les produits de l'industrie étrangère.

La démonstration de ces deux vérités est trop facile à faire, et ce n'est pas seulement à Paris, entre la gare Saint-Lazare et l'Opéra, entre la place de la Concorde et le Palais-Royal, qu'il devient de plus en plus difficile de trouver l'enseigne d'un magasin ou l'annonce d'un produit faites en langue française, mais à Bordeaux, à Marseille, à Pau, dans la plupart des villes qui furent autrefois l'orgueil de notre industrie nationale, on ne s'habillera bientôt plus, on ne se restaurera bientôt plus, on ne se meublera bientôt plus que des produits de l'industrie étrangère.

Après avoir été les maîtres de la mode, après avoir été les juges incontestés du bon ton et du bon goût, nous nous sommes laissés aller à copier la mode, à chercher la note du bon ton et du bon goût chez les peuples pour lesquels nous n'avions autrefois que critiques acerbes; et tandis qu'encore, par delà l'Océan, on attend fiévreusement de connaître les créations de l'invention parisienne pour les imiter, nous faisons violence à nos goûts naturels pour adopter les créations de l'invention étrangère.

Voilà pour le marché intérieur.

Pour l'exportation c'est pis encore.

Les chiffres ne sont et ne peuvent être ni optimistes, ni pessimistes; leur essence est d'être exacts. Aussi le philosophe économiste qui, de temps en temps, jette un coup d'œil dans les brutales statistiques, tombe-t-il en de sombres rêveries en constatant l'énorme différence qu'il y a entre nos progrès et ceux de nos concurrents sur les marchés étrangers.

Mais ce que les chiffres ne révèlent pas; ce que l'observateur attentif ne parvient à découvrir qu'au prix de patientes recherches, c'est que les statistiques même les plus scrupuleusement faites, même les plus exactes, sont encore bien

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

loin de nous donner une idée juste et précise de la situation du commerce français d'exportation.

Et comment cela ?

Tout simplement parce que les statisticiens sont obligés de comprendre dans les chiffres de nos exportations toutes les marchandises qui passent nos frontières, tous les produits du commerce ou de l'industrie qui font transit en douane, sans distinction de la nationalité des maisons qui les expédient ; parce que, et bien que cet aveu soit pénible à faire, je le dois à la vérité, en France, près de la moitié des maisons qui font de l'exportation sont des maisons étrangères (1).

Et, ici encore, je puis le répéter, ce ne sont pas seulement le quartier du Marais, celui du Sentier et le faubourg Saint-Antoine, qui deviennent de grands comptoirs allemands, anglais, autrichiens ou américains ; ce n'est pas seulement à Paris, dans les gares des chemins de fer, sur les quais de grande et

(1) La lecture de cet article de journal ne m'a pas fait hésiter une minute à maintenir toutes mes appréciations.

M. Ad. D.-H. dit :

« Les négociants français sont accusés fréquemment et bien à tort de manquer d'initiative, d'etre routiniers. d'ignorer et même de dédaigner les lointains marchés où Anglais, Allemands, Américains, réalisent à l'heure actuelle d'immenses bénéfices. »

Et il ajoute :

« Rien de plus injuste qu'un tel jugement porté bien à la légère par des gens qui, la plupart du temps, n'ont jamais quitté le coin de leur feu et qui sont d'autant mieux placés pour donner des conseils ou adresser des critiques qu'ils n'ont jamais fait ce qu'ils recommandent aux autres. »

Ce reproche ne pouvait viser mon travail puisque je ne l'avais encore communiqué à personne. Il ne pouvait être qu'à l'adresse des journalistes qui, ignorant les services que rend notre corps consulaire ou jugeant du singulier au général, font de lui une sévère critique que tout au plus méritent quelques-uns de nos agents.

Cette conférence était écrite lorsque, dans le *Petit Journal* du 22 décembre 1899 parut sous la signature Ad. D.-H., un article intitulé *La France au loin*, article dans lequel l'écrivain, que je n'ai pas l'avantage de connaitre, apprécie, tout autrement que je ne le fais, l'état de notre commerce d'exportation, le corps de nos consuls et la confection des statistiques commerciales.

« La besogne du plus grand nombre de nos consuls, dit encore l'auteur de la *France au loin* se borne à envoyer, à intervalles réguliers, au quai d'Orsay, des traductions et des coupures de journaux, sans se faire, d'ailleurs, la moindre illusion sur le sort réservé à leurs envois. Ils savent parfaitement que leurs rapports seront classés soigneusement, *sans être lus*. »

Nous ne croyons pas que les rapports qui nous ont aidé à établir les statistiques, dont nous avons été peut-être trop prodigue mais que nous aurions pu donner encore plus complètes, grâce aux *envois périodiques* des consuls de la France au loin, soient de simples coupures de journaux. Quand aux appréciations qui les accompagnent, elles prouvent bien quelque sollicitude de la part de ces messieurs pour l'accroissement de nos relations commerciales sur les marchés étrangers. Si ces rapports ne sont pas lus, ce ne saurait leur être imputé à crime et nous croyons, qu'au lieu de les blâmer, la plupart du temps, on devrait leur adresser des encouragements et des félicitations.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de petite vitesse qu'on peut constater le cosmopolitisme des maisons qui font l'exportation, mais dans tous les centres industriels, dans tous les ports, dans toutes les villes commerçantes, dans toutes les régions manufacturières, nous constatons la même mainmise de l'étranger sur notre commerce d'exportation.

On s'émeut de voir que, dans nos belles colonies, dans les plus riches surtout, en Tunisie et à Madagascar, on laisse les étrangers prendre une place prépondérante et on se préoccupe à peine s'ils s'installent chez nous en maîtres de la finance, en maîtres du commerce et de l'industrie, en maîtres de la fortune publique.

Je ne veux rechercher ici ni les causes ni même les effets de ce cosmopolitisme. Il me faudrait entrer dans le développement de considérations économiques que vous êtes bien plus aptes à juger que je ne le suis moi-même. Je constate, voilà tout.

*
* *

Depuis quelques années, le ministère du Commerce et de l'Industrie a fait de très louables efforts pour obtenir un relèvement de notre commerce d'échange.

Tirant un parti précieux des moyens dont il dispose, il a d'abord créé l'*Office national du Commerce extérieur* (3, rue Feydeau) doté d'un organe officiel. (Le *Moniteur officiel du Commerce*, paraissant tous les jeudis. — Sa fondation remonte à 1882.) Il a ensuite fondé un comité de *conseillers* choisis parmi les plus autorisés d'entre les exportateurs et les explorateurs. En un mot, il s'est ingénié à mettre dans les mains de notre commerce et de notre industrie métropolitains des instruments qui semblaient devoir les aider dans un rapide relèvement.

Les Chambres de commerce, de leur côté, et quelques municipalités ont, dans le même but, institué des dotations en vue de fournir des *bourses de voyage* aux meilleurs élèves de cours à la tête desquels elles entretiennent un personnel enseignant particulièrement choisi.

Les Sociétés de géographie commerciale, d'expansion coloniale, se multiplient pour engager nos jeunes hommes, au moment où ils entrent dans la vie, à porter leur activité au service de terres nouvelles, vastes et inexploitées, que le sang de leurs aînés ou les habiletés de la politique ont faites terres françaises, et à devenir, en même temps que les pionniers de la civilisation, les auxiliaires de notre commerce, les champions de notre industrie.

La *Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale* fait, de son côté, et j'en puis parler librement dans son enceinte, puisque je n'ai pas l'honneur de lui appartenir, de louables efforts afin de maintenir et de développer, dans les sphères intelligentes et éclairées de l'industrie et du commerce parisiens, les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qualités qui en ont fait longtemps les maîtres incontestés du bon goût et de la science industrielle sur tous les marchés du monde.

En accordant gracieusement le haut patronage de votre institution à la conférence que je fais aujourd'hui, vous affirmez une fois de plus, Messieurs, qu'il n'est pas de question qui vous soit indifférente, quand il s'agit d'intérêts nationaux à soutenir ou à défendre.

*
* *

Tous les efforts tentés jusqu'ici en vue de faire renaître les beaux temps de notre expansion industrielle et commerciale semblent aboutir à de bien minces résultats. En tous cas, les résultats acquis ne correspondent-ils pas avec les sacrifices faits dans ce but.

Si nous en recherchons les causes, nous les retrouvons nombreuses et d'autant plus difficiles à combattre qu'elles prennent leur existence dans un amour excessif de quiète jouissance qui, déjà depuis bien des années, s'est insinué dans notre tempérament national. Nos capitalistes et un grand nombre de commerçants français préfèrent aujourd'hui, aux sollicitudes qu'exigent les affaires sur les marchés étrangers, les spéculations financières ou industrielles — cependant sujettes à bien des surprises — mais qui, si elles offrent tout autant d'aléa, nécessitent moins d'efforts de travail.

Quant à la jeunesse de nos jours, subissant la contagion de l'exemple, elle ne se sent aucun goût pour les opérations de négoce, qui demandent trop d'esprit de suite et quelque énergie et ne promettent de récompense qu'au courage persévérant.

Dans ses rangs, les professions libérales trouvent de nombreux aspirants; les fonctions rétribuées par l'État en trouvent davantage; et si, en France, on étudie encore beaucoup les lois commerciales, la législation internationale, les questions douanières, les traités de commerce, c'est très rarement pour en faire usage dans une maison d'exportation, mais généralement pour préparer des examens dans les programmes desquels ces matières sont imposées, et pour devenir fonctionnaire.

Des missions sont envoyées au loin; les explorateurs ne manquent pas, qui vont reconnaître des plages lointaines et poser les jalons de routes commerciales à travers des tribus jusqu'alors réputées hostiles; au mépris des plus grands dangers, ils nous préparent des entrées en relations qui promettent d'être fructueuses, mais lorsque, exténués et fiers des résultats obtenus, ils sont rentrés en France et y ont rendu compte de leurs exploits, s'il se trouve bien des mains pour les applaudir, des langues pour les louer, il ne se trouve guère de jeunes gens pour aller recueillir le bénéfice de leurs aventures.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ce long préambule m'a semblé la préface nécessaire aux conclusions que je vais tirer des chiffres et des faits précis qui constituent ce travail.

***

J'étais jeune lorsque furent signés le traité de San Stefano et celui de Berlin, desquels sortirent l'organisation politique et les limites territoriales des provinces ou principautés jusqu'alors désignées sous la dénomination plus générique que géographique de danubiennes.

J'étais jeune lorsque se déroulaient dans les Balkans et sur les rives du Danube, dans les vallées profondes de la Morawa et des autres cours d'eau qui sillonnent cette contrée rocheuse et boisée, les guerres qui, comme celle à laquelle nous assistons depuis quelques mois, laisseront dans l'histoire militaire du XIX^e^ siècle le souvenir impérissable des actes de courage que peut inspirer et soutenir le sentiment de la confiance en son droit contre le droit de la force.

Dès ce moment, je me sentis une sorte d'attraction vers ces Croates, qui ont conservé, à travers les siècles et les révolutions, une organisation sociale à laquelle, malgré notre civilisation avancée, raffinée, nous aurions beaucoup de choses à emprunter; vers ces Serbes, peuple pasteur et paysan, dont l'histoire n'est qu'une suite de faits glorieux n'ayant tous eu qu'une cause unique : la conquête de l'autonomie nationale, la conquête de la liberté. Je me sentais, enfin, de la sympathie pour ces Bulgares — autre rameau détaché de la grande famille slave — dont l'indomptable énergie fut longtemps la barrière devant laquelle vinrent se briser les efforts de l'Islam, et j'éprouvai un vrai sentiment douloureux en constatant l'inutilité de tant d'efforts, qui eussent été féconds en grands résultats, s'ils eussent été combinés en vued'une action commune, et qui n'aboutirent qu'à l'affaiblissement par suite de la lutte de race qui armait continuellement ces bras généreux pour des guerres fratricides.

Cette sympathie me portait naturellement à suivre de loin les événements qui se déroulèrent dans cette grande péninsule, lorsque ce que nous sommes convenus d'appeler les hasards de la vie m'obligea de m'occuper de ces mêmes pays en tant que marchés commerciaux.

Succédant à mon père comme professeur d'études commerciales dans le chef-lieu d'un département où l'industrie papetière était alors une source de richesse, je fus chargé, coup sur coup, de la partie technique de la constitution d'une société pour la fabrication des papiers par les procédés nouveaux et des opérations préparatoires à la liquidation d'une des plus anciennes maisons de papiers d'Angoulême.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Là, je constatai, qu'après avoir fait avec les principautés balkaniques un chiffre d'affaires assez important, cette branche de l'industrie française n'exportait plus en ces contrées que des quantités infimes de ses produits.

Il est vrai que l'industrie papetière était encore, en France, sous le régime de la loi de 1872, et que l'impôt de guerre qui la frappait la mettait en mauvaise posture pour lutter contre la fabrication belge et la fabrication allemande qui commençaient déjà à se développer de façon inquiétante pour nous. Il est vrai, encore, que la contrefaçon de nos marques par les maisons autrichiennes commençait déjà ces opérations qui sont la ressource de ceux qui, ne se reconnaissant pas assez de génie pour lutter avec des armes courtoises, emploient volontiers les armes déloyales.

Il me souvient, à cet égard, d'une lettre que je reçus d'un négociant de Belgrade qui me disait en substance ceci :

« Fournissez-nous donc des papiers à cigarettes sous des enveloppes semblables à celles dont je vous envoie des échantillons et j'en vendrai des masses. »

Or, des plis de sa lettre, s'échappèrent des vignettes qui n'étaient autre chose que de pitoyables contrefaçons de celles sous lesquelles nos fabricants angoumoisins avaient fait adopter là-bas nos papiers à cigarettes pour l'exportation. L'une d'elles, par exemple, reproduisait, très haut en couleurs, le tableau si connu d'un de nos peintres militaires : *Les Dernières Cartouches*. C'était bien là, il me semble, de la concurrence déloyale. Son auteur était une maison austro-hongroise.

Quelques années plus tard, je dirigeais, pour le compte d'une société en commandite, les services d'une importante fabrique de céramique et j'eus la curiosité de rechercher quels étaient les débouchés nouveaux que pourrait bien se créer à l'étranger l'industrie de la terre cuite. Mes recherches se portèrent encore, et naturellement, vers les pays danubiens, et il résulta de mes investigations qu'après quelques efforts, assez mollement tentés, du reste, la fabrication française avait à peu près renoncé à expédier là-bas ses produits.

Il en était à peu près de même de la quincaillerie, du fer ouvragé, du meuble et de beaucoup d'autres produits de notre travail national qui souffrait déjà du manque de débouchés à sa production, ce qui était un présage de la crise économique et sociale dans laquelle nous nous trouvons aujourd'hui.

Pourquoi donc se rebutait-on si facilement?

Avait-on des raisons sérieuses de croire qu'il n'y avait point pour nous une place à prendre sur ces marchés?

J'étais convaincu du contraire.

En effet, depuis 1884, j'étais en commerce de correspondance amicale avec quelques personnages mieux en place que personne pour porter sur cette question un jugement sûr et solidement établi.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

C'étaient M. Émile de Borchegrave, ministre résident de Belgique à Belgrade ; M. le marquis de Reverseaux, ministre plénipotentiaire, qui fut président de la Commission du Danube et qui représente actuellement la France à Vienne en qualité d'ambassadeur ; c'était encore le diplomate de carrière doublé de l'érudit historien qu'est M. le baron d'Avril ; c'étaient, enfin, nos consuls dans les principales villes de l'ancienne Turquie d'Europe.

Je m'étais procuré les rapports officiels de ces messieurs à leurs gouvernements, et ils mettaient une bonne grâce, dont je leur suis reconnaissant, à me fournir, avec leurs observations, quelques précieux documents inédits ou récemment publiés.

Or, de ces lettres, de ces rapports et de ces documents, qui forment l'une des collections les plus précieuses de ma bibliothèque, il ressort, qu'à ce moment, où l'attitude des représentants de notre gouvernement avait acquis à la nation française, non seulement dans le monde diplomatique et officiel, mais encore dans le commerce et dans le peuple de ces petits nouveaux États des sympathies considérables, nous n'avions qu'à savoir en tirer parti.

Il ne faut, en effet, pas oublier, qu'au Congrès de Berlin, c'est la France qui empêcha de grandes iniquités d'être commises ; c'est elle qui éleva la voix et se fit l'avocate de la Roumanie sacrifiée ; ce sont les plénipotentiaires français qui proposèrent, qu'en compensation de la Bessarabie, rétrocédée à la Russie, le territoire de la Roumanie s'étendît jusqu'au port de Mangalia sur la mer Noire ; les autres puissances avaient l'intention de la contenter de la Dobroutcha échancrée pour la circonstance. Il ne faut pas, non plus, oublier que la présidence de la Commission technique européenne chargée de la délimitation de la frontière roumano-bulgare (1879) étant échue au délégué français, — M. Lalanne, membre de l'Institut, — c'est à peu près à lui seul qu'il faut attribuer la solution pacifique de la question irritante du pont de Sillistria sur le Danube.

Le traité de Berlin avait imposé aux nouveaux États la construction de certaines voies ferrées pour faciliter les relations entre l'Orient et l'Occident.

Ces lignes furent étudiées puis construites par des ingénieurs et par des entrepreneurs français. Les ingénieurs qui en firent les études se souviennent volontiers de l'accueil hospitalier qu'ils reçurent des populations slaves et bulgares, et l'un d'eux, M. Fortuné Gaudin, qui, avec feu M. Pons, travailla particulièrement en Serbie et en Macédoine, se plaît aujourd'hui à se rappeler les bons souvenirs qu'il a conservés de ces contrées. Il se plaît souvent à me parler de l'empressement que mettaient ces rudes paysans à assurer sa sécurité et de la bienveillance avec laquelle le souverain de Serbie, qui daigna lui accorder une honorable distinction, les évêques nationaux et les supérieurs des couvents le recevaient et lui offraient des distractions qui lui faisaient plus facilement supporter le séjour prolongé sur une terre étrangère.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Malgré cette position privilégiée pour le commerce français et la réputation de probité dont jouissent en Serbie nos négociants, le chiffre de nos exportations commençait déjà, en 1883, à y diminuer fortement. Sur un chiffre de 51 540 000 francs, nous ne figurions déjà plus que pour 400 000 francs, représentés par environ 10 000 kilogrammes de soie (1).

Or, dans son rapport du 25 août 1885, M. le marquis de Reverseaux exhortait les commerçants français à prendre la part à laquelle la France avait droit dans l'existence économique nouvelle de la Serbie ; il indiquait en même temps les moyens à employer pour conserver les relations à nouer avec ce pays, et plaçait au premier rang la visite périodique de la clientèle par des voyageurs de commerce ; car, le croirait-on, ceux de nos manufacturiers qui désiraient, à cette époque, trouver en Serbie des débouchés pour leurs produits employaient le seul moyen qu'ils n'eussent jamais dû essayer, ils chargeaient des maisons allemandes ou autrichiennes du soin de présenter et de faire valoir leurs marchandises, C'était une fatale inconséquence, qui mettait aux mains de nos plus redoutables concurrents le moyen le plus sûr de nous dépouiller.

M. de Reverseaux continuait ses conseils à notre commerce par cette phrase qui, vraie alors, n'a perdu depuis rien de sa valeur :

Il serait utile, qu'à défaut de commis voyageurs, notre commerce fît connaître ses produits par un *Dépôt d'échantillons* à Belgrade et à Nisch ; de son côté, la légation de la République pourrait mettre à la disposition des Chambres de commerce françaises une collection en plusieurs exemplaires des articles les plus recherchés en Serbie et indiquer des représentants sérieux et honnêtes dont le nombre est très restreint et qui, par conséquent, demandent une commission assez élevée : 5 à 6 p. 100 pour les articles courants et au moins 2 ou 3 p. 100 pour les articles plus importants. C'est, d'ailleurs, les conditions qu'ils font aux négociants autrichiens et allemands qui accordent également un crédit de quatre ou six mois. En somme, ce sacrifice n'est pas exorbitant dans un pays où le commerce en gros gagne sur tous les articles, sauf sur les denrées et les cotonnades, de 10 à 20 p. 100 et le commerce en détail de 20 à 30 p. 100 et où la France bénéficie, par suite de son traité de commerce, du traitement de la nation la plus favorisée (2). Il ne faut pas, d'ailleurs, oublier que l'ouverture du chemin de fer d'Arlberg, en facilitant les rapports commerciaux entre la France et la Serbie, supprimera les frais de transit à travers l'Allemagne.

Si j'ai transcrit ici ce long paragraphe, c'est parce qu'il donne la note des observations que contenaient à cette époque tous les rapports de nos consuls dans la péninsule balkanique.

Celui de M. Lanel, gérant de l'agence et consulat général de Sofia, bien que plus récent de plusieurs années, formule les mêmes conclusions.

(1) Je néglige ici quelques chiffres de minime importance. Les tableaux que j'ai donnés plus haut les rétablissent dans leur absolue exactitude.

(2) *Traité d'amitié, de commerce et de navigation* conclu le 18 janvier 1883, entre la France et la Serbie. — Il porte les signatures de M. Eugène Duclerc, sénateur, Président du conseil, ministre des Affaires étrangères, et pour la Serbie, de M. Jean Mariwovitch, envoyé extraordinaire ministre plénipotentiaire.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les Bulgares, de même que leurs voisins les Serbes, traitent peu volontiers les affaires par correspondance ; ils tiennent à se rendre compte par eux-mêmes du genre et de la qualité de la marchandise qu'on leur propose. Les commerçants les plus importants de Sofia sont même accoutumés à se rendre, comme ceux de Belgrade, une ou deux fois par an à Pesth et à Vienne pour y faire leurs achats. Ce n'est donc point par l'envoi de prix courants et de prospectus que les fabricants français parviendront à nouer des relations commerciales avec la Bulgarie et à lutter contre les Autrichiens dans l'importation des produits pour lesquels la concurrence est possible. *Il est absolument nécessaire qu'il aient recours à une représentation plus vivante de leurs intérêts*, qu'ils envoient en Bulgarie des commis voyageurs chargés d'étudier les différents marchés, de faire connaître leurs produits et, au besoin, de choisir sur les lieux un agent commercial.

Il serait même de l'intérêt des principales maisons de commerce françaises d'imiter l'exemple que leur donnent celles d'Autriche et de Hongrie et de se syndiquer afin d'installer à Sofia un dépôt d'échantillons de leurs articles. Ce dépôt pourrait être établi sans grands frais et serait le meilleur mode de vulgarisation de l'industrie française.

A la même époque, M. Frabian, gérant du vice-consulat de France à Erzoum, faisait entendre les mêmes observations et donnait les mêmes avis :

L'approvisionnement de tous les articles manufacturés venant de la France a continué (en 1888) d'être effectué par l'entremise de commissionnaires indigènes résidant à Constantinople. Cette situation ne fait que mieux ressortir l'urgence d'établir quelques agents commerciaux chargés de représenter les principales branches de notre industrie. Ces intermédiaires contribueront, non seulement à donner, en facilitant les relations françaises, un plus grand essor entre ce pays et la France, en ce qui concerne les articles reçus jusqu'à ce jour indirectement, mais encore à introduire dans ces contrées une grande variété de nos produits manufacturés qui y sont encore inconnus.

Pourquoi ces conseils ne furent-ils pas entendus chez nous ?

Pourquoi ces appels ne trouvèrent-ils point d'écho en France ?

Pour les raisons que je développais au commencement de cette conférence, Le Français reste chez lui. Et comme il lui faut une excuse à cet attachement exagéré et mal entendu au sol natal, il en trouve plusieurs.

Les affaires avec certains pays étrangers, dit-il, ne sont pas rémunératrices en raison des risques qu'elles font courir et il n'est pas certain que le bénéfice qu'on retirerait de celles qui seraient tentées sans ceux-ci suffisent à couvrir les frais de voyages engagés.

Quant à aller y fonder des industries, ajoute-t-on, ce serait folie puisqu'on n'y trouverait pas sur place la main-d'œuvre nécessaire.

La première de ces objections, contredite par les faits, puisque nous avons établi que la fortune publique est prospère dans la presqu'île, est de plus victorieusement combattue par l'exemple de tous nos voisins, qui n'ont pas les mêmes craintes, et voient leurs entreprises couronnées de succès, c'est-à-dire aboutir à de jolis bénéfices.

Quant à la seconde, c'est un vieux cliché qui put avoir sa valeur en 1875 ou 1880 mais qui, aujourd'hui, nous l'avons démontré, prouve seulement l'ignorance de l'évolution économique et sociale qui s'est produite depuis une vingtaine d'années dans les États balkaniques et danubiens.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

*
* *

Depuis dix-sept ans, non seulement nous n'avons pas gagné de terrain, mais, sur plusieurs points, nous avons perdu celui que nous avions acquis. Cette constatation inspirait la phrase suivante, que je retrouve dans une lettre que m'écrivait, il y a quelque temps, un diplomate de mes amis :

Si j'avais pu réaliser mon projet d'amener nos commerçants français à prendre en Serbie la place vacante, la civilisation eût été plus rapide; *mais nous n'aimons pas à quitter la France* et mes efforts n'ont été couronnés d'aucun succès.

Et cependant, nous l'avons vu, la Bulgarie, la Roumanie, la Serbie sont en voie de développement commercial et de croissance sociale. Des centres d'affaires s'y créent et les dispositions pour le négoce s'y accusent et s'y multiplient.

Ce développement, dû en grande partie aux moyens nouveaux de communication, a donné pleinement raison aux prévisions de M. de Reverseaux qui m'écrivait, le 27 avril 1886 :

A mon sens, l'établissement des chemins de fer est de nature à changer les conditions économiques de ces pays en mettant les indigènes en contact avec les occidentaux *honnêtes* et en leur faisant connaître une existence et un bien-être qu'ils ignorent.

Et, en effet, les Bulgares, les Serbes, les Jugo-Slaves, les Roumains, qui paraissaient peu enclins aux opérations commerciales, ont secoué leur indolence native, qu'on avait qualifiée de haine du progrès, et on constate, dans tous ces peuples, le réveil de facultés qui ne demandaient qu'à se développer.

Nous avons donné les statistiques officielles du mouvement commercial de quelques-uns de ces États. Il en résulte que tandis, qu'en 1893, nous exportions en Serbie pour 475 955 francs de produits divers, en 1897, nous n'en exportions plus que pour 362 493 francs, ce qui ne représente que 1,29 p. 100 du total des importations de ce pays, l'un de ceux dans lesquels se dessine peut-être plus sensible le mouvement vers le progrès que je tiens à constater.

En 1883, nos envois de soieries en Serbie se chiffraient par 402 799 francs
en 1897, ils ne se montent plus qu'à. . . . . 65 729 francs
et nous n'y expédions plus une pliée de cotonnade.

Nos exportations de laines et lainages pendant l'exercice 1897 sont en recul de 5 175 francs sur l'exercice précédent, et, après avoir été les approvisionneurs des Serbes pour les papiers, nous ne leur en vendons plus que pour 9 660 francs.

Nous avons de grandes et fortes colonies et cependant, sur une consommation de près d'un million de francs en riz, café, sucre et huile, qui se fait en Serbie, l'importation française n'entre que pour *quatre mille francs* (4 000 francs).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Enfin, tandis que nos produits pharmaceutiques jouissent d'une réputation incontestée dans tous les pays du monde, ils sont presque inconnus des Serbes qui ne nous en achètent que pour. . . . . 87 818 francs
sur une consommation de . . . . . 1 286 047 —
la différence, soit. . . . . 1 198 229 —
étant fournie par l'Allemagne et l'Autriche qui, le plus souvent, livrent de mauvaises contrefaçons de nos marques, qu'elles font ainsi discréditer.

Ne terminons pas cette excursion à travers les statistiques sans constater que, si nos exportations en Serbie diminuent sensiblement, en revanche, nos importations prennent une sérieuse importance. Tandis, qu'en 1893, nous n'importions de ce pays que pour 178 269 francs, en 1897, nous en avons importé pour. . . . . 427 570 francs, c'est-à-dire que nous avons versé dans les caisses serbes. 249 301 francs de plus que nous n'en avons retiré.

Notre chiffre d'exportations en Bulgarie a été, en 1898, de 4 310 864 francs.

M. le consul de France à Sofia signale avec plaisir que « la France prend la cinquième place, gagnant ainsi un rang, avec une augmentation de 193 000 francs sur l'année 1897. C'est, ajoute-t-il, le chiffre le plus élevé que nos envois aient atteint depuis dix ans.

Cette constatation est certes de nature à nous donner quelque satisfaction. Mais lorsque, épluchant les chiffres que M. le consul de Sofia a réunis à l'appui de son rapport, nous constatons, par exemple, que, pour les soieries, nous sommes en déficit de 42 250 francs sur l'exercice précédent; que, alors qu'en 1884 nous exportions en Bulgarie pour. . . . . 130 898 francs
de soies, fils et tissus et pour. . . . . 175 393 —
de soieries et laines, les statistiques actuelles n'accusent plus, pour ces deux articles réunis qu'un total de . . . . . 115 000 francs,
qu'enfin, alors, qu'en 1884, nous faisions avec la Bulgarie un chiffre de près de 500 000 francs en tissus divers, nous sommes aujourd'hui tombés à zéro, nous ne pouvons nous empêcher de dire que nous perdons les places conquises, que nous capitulons devant l'ennemi.

Et cependant nous continuons de plus en plus d'être tributaires de la Bulgarie. Notre consul à Sofia établit, dans son rapport précité, que nos achats y dépassent nos ventes d'une importance de près de 3 millions de francs.

Notre quincaillerie, notre verroterie, notre poterie, nos bougies et nos savons prennent de moins en moins le chemin de l'Orient, mais notre or continue d'y affluer.

Si je ne craignais d'allonger outre mesure ce chapitre des comparaisons, je pourrais démontrer, qu'alors que nous achetons à la Roumanie, dans les contrées forestières des Karpathes et des Balkans, des quantités énormes de bois,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nous ne savons même pas profiter de l'intérêt que nous aurions à les acheter de première main et que c'est par l'intermédiaires de négociants hongrois que nous traitons ces importantes affaires.

Mais, à quoi bon nous attarder à des réflexions plutôt désagréables? A quoi bon démontrer plus longuement que nous cédons trop volontiers la place à nos concurrents? Il sera plus utile de déduire de ce qui précède quelques enseignements pratiques.

Mais quel écho puis-je espérer pour ma voix, lorsque je viens de faire la constatation du peu de résultats qu'ont obtenu les voix bien plus autorisées de nos consuls jetant le même cri?

De vaillantes feuilles, revues et journaux, ont déjà tracé à leurs milliers de lecteurs le tableau attristant des résultats de notre apathie industrielle et commerciale. Il n'y a pas de preuves qu'ils aient été entendus, et si la proportion du chiffre de nos nationaux établis à l'étranger était partout analogue à celui des Français établis en Serbie, nous pourrions dire qu'il n'est pas utile de développer tant de science, d'user tant d'encre pour obtenir un si mince résultat. D'après le dernier relevé de la population serbe, sur 15 717 étrangers établis dans le royaume, on compte 68 Français. Et cependant la vie est facile dans les États danubiens, elle y est presque à bon marché.

*
* *

Si notre rôle d'économistes est de signaler au commerce français les observations que nous suggèrent nos études, le sien semble être de s'en désintéresser absolument, surtout lorsque nous lui indiquons quelque marché nouveau sur lequel il trouverait une place à occuper. Et lorsque, presque malgré lui, on lui propose une fourniture à faire sur une place étrangère, il met à la traiter un manque de souplesse déconcertant. Il ne demande pas « à quelles conditions » mais il impose les siennes. Il ne se départ pas plus de son mode particulier d'emballage que des 90 jours d'usance de ses lettres de change et, comme pour bien préciser son peu d'enthousiasme pour les affaires extérieures, il demande à ses commissionnaires un dû-croire exorbitant.

Il y a cependant partout, comme en France, des conditions de place auxquelles il faut se conformer, et ce n'est qu'en s'y soumettant que nos commerçants français arriveront à prendre le rang qui leur revient sur les marchés étrangers.

Que, si la prudence leur dit de prendre de sages précautions, ils ne doivent pas oublier que nous avons à l'étranger tout un corps de consuls dont c'est le devoir de les renseigner, et qu'il est rare que ces agents de la France ne le fassent avec conscience et empressement.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

*
* *

Je suis arrivé au terme de la tâche que je me suis imposée; j'ai eu soin d'écarter la passion qui fait apercevoir sous un jour faux les questions sur lesquelles on lui laisse prendre parti. Je n'ai pas voulu, non plus, envisager la situation qui pourrait être faite aux États danubiens s'il survenait en Europe quelques événements politiques qui peuvent être prévus mais dont on ne saurait sans témérité préjuger les effets. Si la prévision d'une révolution gouvernementale devait être un obstacle aux transactions internationales, quel serait l'État en Europe, quel serait l'État dans le monde connu avec lequel il serait possible de traiter des affaires?

Je considérerais avoir utilement travaillé en publiant cette étude si j'apprenais qu'elle a décidé un certain nombre de nos jeunes Français, au sortir des Écoles, à former une caravane d'instruction allant vers le bas Danube afin d'y vérifier sur place l'exactitude des choses que j'ai avancées; j'accompagnerais de mes vœux ces voyageurs qui, j'en ai la ferme conviction, ne reviendraient de là-bas qu'avec le ferme désir d'y retourner, mais cette fois pour y mettre en pratique les conseils, qu'à la suite de nos consuls, je leur ai soigneusement donnés.

Les terres lointaines qui appellent notre activité sont nombreuses. Je viens d'en désigner une, que je connais plus particulièrement, qui offre des aspects pleins d'intérêt et qui possède sur beaucoup d'autres l'avantage d'être déjà en pleine activité de vie économique et sociale.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

ESSAI DES MÉTAUX PAR PLIAGE DE BARRETTES ENTAILLÉES

par **M. Ch. Frémont.**

La fragilité du métal a toujours été une des grandes préoccupations des consommateurs de fer et d'acier.

Au XVII^e^ et au XVIII^e^ siècle, le fer était essayé au choc : Swedenborg nous dit dans son *Traité du fer*, imprimé en 1734, que les marchands qui achetaient de grandes quantités de fer en Suède et en Angleterre, pour les expédier dans d'autres pays, avaient soin d'effectuer divers essais préalables et notamment l'essai de choc :

« Quand ils doutent de la nature d'une barre de fer, ils la jettent de toute leur force sur un coin de fer arrêté dans un morceau de bois, ou sur quelque autre point d'appui de fer et bien aigu ; ou bien ils posent la bande sur ce coin et font toucher dessus avec des masses : si les coups marquent sur le fer sans qu'aucune partie de la barre se casse, c'est un signe de ténacité. »

Grignon, le savant métallurgiste du XVIII^e^ siècle, écrit dans son livre *Essai d'artillerie*, en 1775 :

La première épreuve à laquelle on soumettra le fer pour s'assurer de sa qualité, sera de couper les barres aux deux extrémités pour en reconnaître le grain :

« .... Pour ce, *on entamera les surfaces, avec une tranche, sur des lignes correspondantes, puis on achèvera de séparer les bouts en les rompant à coups de masse ;* l'on examinera le fer à la cassure. » On composera le lot de la première qualité, des barres à cassure charnue, c'est-à-dire du fer nerveux qui s'arrache ; le nerf sera long, bien charnu, d'un grain cendré, argentin, bien tordant. — Les barres à cassure grenue en fer qui se rompt seront mises dans le lot de seconde qualité.

Ainsi dès le XVIII^e^ siècle, et probablement avant, les métallurgistes essayaient le fer en pratiquant à la tranche des entailles correspondantes et en opérant la rupture par le choc du marteau.

Plus tard, cet essai au choc sur barreau entaillé fut pratiqué d'une façon

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

analogue, mais mieux définie : pour unifier l'entaille, on tarauda les fers ronds et carrés, le pliage au marteau s'opérant sur la partie taraudée (1).

Si l'essai au choc effectué sur barreau entaillé a été constamment employé dans les usages de la pratique, depuis plusieurs siècles, ce n'est pas parce que les praticiens ignoraient l'essai de traction.

L'essai de traction, décrit par Réaumur en 1722, appliqué par Musschenbrœk pour ses nombreuses recherches de résistance des métaux, puis ensuite par Perronet, Gauthey, Soufflot, Rondelet, Navier, etc., ne servit en réalité à tous ces expérimentateurs que pour *étudier* la résistance des métaux et pour en déduire, en appliquant un certain coefficient de sécurité, la résistance maximum qu'ils jugeaient à propos de ne pas dépasser dans les efforts qu'ils attribuaient aux métaux employés.

L'essai de traction n'est devenu un essai de recette que depuis 1860, à la suite d'une importante étude due à M. David Kirkaldy, étude coïncidant avec l'apparition et le développement des aciers Bessemer. La méthode répondant au besoin nouveau de classer numériquement les nouveaux produits, et les essais au choc qui n'avaient pas encore été mis en état de fournir des chiffres, furent laissés de côté.

Cependant, on peut reprocher à l'essai de traction d'être une méthode longue, coûteuse, pas toujours applicable à cause des grandes dimensions nécessitées par la confection des éprouvettes, peu précise et surtout incomplète, car elle ne renseigne pas sur la *fragilité*, c'est-à-dire sur la propriété de résister plus ou moins à certaines actions brusques, chocs, etc., produisant la rupture sans déformation permanente.

Tous les constructeurs savent en effet que des aciers, ayant donné d'excellents résultats à l'essai de traction, se brisent quelquefois sous un choc même léger, ou après un travail vibratoire plus ou moins prolongé.

Je rappellerai quelques exemples cités par MM. Lebasteur et Considère : Dans son livre *Les Métaux à l'Exposition de 1878*, M. Lebasteur rapporte que :

« Certains fers provenant du district des Ardennes, ayant été essayés par traction, ont donné les résultats suivants :

Premier échantillon. —	Résistance par millimètre carré.	48 kilog.
—	Allongement.	14 p. 100.
Deuxième échantillon. —	Résistance par millimètre carré.	72 kilog.
—	Allongement.	20 p. 100.

« Ces fers de forge présentaient une grande ductilité à froid; les barres se ployaient parfaitement au marteau sans se criquer; mais, si l'on préparait au

(1) Procédés de fabrication dans les forges. — Cours sur le service des officiers d'artillerie approuvé par le ministre de la Guerre. Paris, 3 août 1838.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

burin une très légère incision à la surface d'une barre, elle se brisait net en cet endroit, sous un coup de marteau modéré : le métal, quoique ductile, était donc fragile sous des chocs. »

Vers la même époque en 1880, j'avais à mon compte personnel une entreprise de ferrures de wagons, une partie de ces ferrures était à découper; j'achetai dans les Ardennes du fer de qualité qui donna d'excellents résultats aux essais de traction. Mais à la livraison je constatai, à ma grande stupéfaction, qu'au déchargement par renversement de la petite voiture qui servait au transport de ces ferrures, beaucoup de pièces se brisèrent.

Douze mille pièces furent ainsi rebutées; j'appris à mes dépens que la fragilité n'est pas décelée par les essais de traction.

M. Considère cite un exemple analogue :

Une cornière d'acier de 13 millimètres d'épaisseur, qui avait subi avec plein succès les essais habituels de réception, s'était brisée en *tombant à terre;* ces essais avaient donné les résultats suivants :

Résistance à la rupture.	$50^{kil},50$
Limite pratique d'élasticité.	$33^{kil},90$
Allongement de rupture sur 100 millimètres de long.	27 p. 100
Contraction de la section de rupture.	53 p. 100

M. Lowthian-Bell, le Jern-Kontor, de Suède, ont signalé des faits semblables.

Les curieuses avaries des chaudières du *Lividia* en 1881 et les cas signalés en 1885 par M. Maginnis sont encore des résultats de fragilité.

J'ai eu l'occasion d'étudier plusieurs avaries de chaudières dont la cause était la *fragilité* au choc de l'acier, quoique celui-ci fut très ductile à la traction.

Les accidents causés par la fragilité de l'acier peuvent être de la plus grande gravité, une explosion de chaudière, un déraillement à la suite de rupture par fragilité d'un rail, d'un bandage, d'un essieu, etc.

Ils peuvent dans des cas moins graves, occasionner des pertes d'argent très importantes, je citerai à ce sujet deux exemples dont j'ai été témoin tout récemment :

Une conduite d'eau d'une grande longueur fut exécutée avec des tôles d'acier de 14 millimètres d'épaisseur, roulées en tuyaux de 43 centimètres de diamètre; le constructeur de ces tuyaux spécifia dans sa commande à la forge que les tôles résisteraient à 40 kilogrammes et auraient un allongement de 20 p. 100, mais il n'indiqua pas d'essai de choc en prévision de la fragilité.

A la recette les essais de traction donnèrent $41^{kg},35$ à $43^{kg},40$ et 23,75 à 25,50 p. 100 d'allongement sur éprouvettes de 20 centimètres.

Dès le début de la mise en service de cette conduite d'eau, des chocs produits par des coups de bélier, occasionnés par le fonctionnement brusque des vannes, firent rompre une grande partie des tuyaux. Des essais de choc indi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

quèrent alors une très grande fragilité de l'acier employé. La perte d'argent subie par le constructeur fut de 125 000 francs.

Je citerai encore une récente installation mécanique dans laquelle huit gros arbres à vilebrequins du poids de dix tonnes et du prix de 30 000 francs chacun, se sont successivement rompus après un fonctionnement de quelques mois.

Des barreaux d'essais prélevés les uns dans des parties n'ayant subi aucun effort, les autres dans des parties aussi voisines que possible des cassures, donnèrent également à l'essai de traction une résistance de 39 kilogrammes à $39^{kg},50$ et un allongement de 25 à 29 p. 100.

Des essais de choc sur éprouvettes entaillées firent constater dans toutes les parties une fragilité excessive.

La fragilité non prévue aux conditions de recette a donc été cette fois encore la cause pour les fournisseurs d'une perte de plusieurs centaines de mille francs.

C'est donc une grande erreur de considérer un acier comme nécessairement et absolument non fragile parce qu'il possède une grande ductilité dans certains essais, notamment dans l'essai par traction.

En résumé, si l'on essaie au choc les aciers qui se sont rompus brusquement en service, on *constate toujours, et sans aucune exception, qu'ils sont fragiles.*

Il est vrai que des aciers fragiles ont souvent donné un très long service sans se briser, mais cela tient évidemment à ce qu'ils ne se sont pas trouvés soumis à des conditions spéciales de rupture qui peuvent cependant se produire dans la pratique; il est donc nécessaire de n'employer que des aciers constatés non fragiles par des essais spécifiques.

La recherche de la fragilité dans la recette de l'acier de construction est de la plus grande importance; qu'un acier ait un peu plus ou un peu moins de ténacité ou de ductilité il n'en résistera pas moins bien, parce qu'on fait toujours travailler le métal fort au-dessous de sa limite élastique; et en effet, sauf erreur de calcul, une pièce d'acier ne se rompt que pour cause de fragilité; des pièces qui ne supportaient statiquement pas plus de 3 ou 4 kilogrammes par millimètre carré, se brisent net par suite de chocs, de vibrations répétées ou de tout autres causes.

L'essai de traction ne renseignant pas sur cette fragilité du métal, la plupart des cahiers des charges pour combler cette lacune prescrivent en supplément des essais de pliage, perçage par chocs, etc.

Malheureusement ces essais pratiques sont ou mal appropriés à leur destination ou confiés à des ouvriers habiles qui procèdent avec tant d'adresse qu'ils parviennent généralement à plier, percer, etc., à la satisfaction des agents, les métaux les plus médiocres; aussi en pratique on y a très rarement recours et on se contente d'effectuer uniquement l'essai de traction.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Depuis quarante ans que les forges ont eu comme principale condition de recette l'essai de traction, elles se sont appliquées à donner satisfaction, à ce point de vue, aux demandes les plus variées des acheteurs, mais elles ne se sont généralement pas inquiétées de la fragilité, les essais qui auraient pu la montrer n'étant spécifiés que dans de rares cahiers des charges.

Aujourd'hui que les graves et importants accidents dus à la fragilité sont plus connus et constatés, que les ingénieurs les redoutent et cherchent à les éviter, les forges s'appliqueront à produire des aciers répondant aux conditions d'essais de choc, comme elles se sont appliquées jusqu'ici à donner satisfaction aux conditions d'essais de traction. Les usines peuvent fournir des aciers non fragiles, puisque sans le chercher, elles en livrent déjà qui satisfont à l'essai de fragilité. Il faut arriver à ce qu'elles ne livrent pas d'autres aciers. Poussées par la concurrence, elles y arriveront rapidement, d'autant plus qu'elles connaissent bien, pour la plupart, les conditions de travail permettant d'obtenir ces résultats.

Méthodes proposées pour mesurer la fragilité des aciers.

Lorsque les marchands, dès les XVII^e^ et XVIII^e^ siècles, essayaient le fer en le jetant sur un coin de fer ou en frappant dessus après l'avoir posé sur ce coin, ou bien quand ils classaient leur métal d'après la cassure à nerf du fer qui s'arrache et de la cassure à grain du métal qui se rompt brusquement; ils *appréciaient la qualité mais ne l'évaluaient pas, car ils ne mesuraient pas la résistance vive du métal.*

Ces procédés primitifs d'essai au choc durent être ainsi modifiés pour répondre aux besoins actuels.

La première modification, apportée dans ce sens, consista à opérer la rupture du métal à essayer, par *coups successifs* d'un mouton tombant d'une même hauteur sur un barreau de dimensions déterminées; le nombre de coups nécessaires pour obtenir la rupture était supposé donner la mesure cherchée.

Réaumur avait, dès 1722, mesuré la dureté de l'acier par le nombre de coups de marteau nécessaire pour faire pénétrer un ciseau d'une profondeur donnée. Ce procédé appliqué à la mesure de la fragilité a plusieurs inconvénients, non seulement il est long et fastidieux mais il fausse les résultats.

Je citerai les résultats d'essais effectués comparativement par un seul choc ou par plusieurs.

Un acier à 40 kilog. de résistance à la traction et à 23 à 25 p. 100 d'allongement a été essayé par pliage statique, par pliage au choc avec un marteau de 10 kilog. tombant d'une hauteur de chute de 1 mètre, puis d'une hauteur de chute de 3 mètres, les éprouvettes essayées étaient de dimensions et d'entailles absolument semblables.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Voici les résultats de ces essais :

	Sens en long. Kgm.	Sens en travers. Kgm.
Pliage statique	= 22,5	= 17,5
Pliage au choc : hauteur *1 mètre*	10 + 10 + 2 = 22	10 + 3 = 13
— —	10 + 10 + 1 = 21	10 + 9 = 19
— hauteur *3 mètres*	= 7	= 6

Ce métal essayé par coups successifs paraît très bon dans les deux sens, mais essayé avec rupture *obtenue d'un seul coup*, il a été reconnu *fragile*.

Cela montre que les résultats des essais effectués par coups successifs pourront souvent différer peu des résultats obtenus en effectuant le pliage statique.

Il a été proposé par plusieurs expérimentateurs de procéder différemment

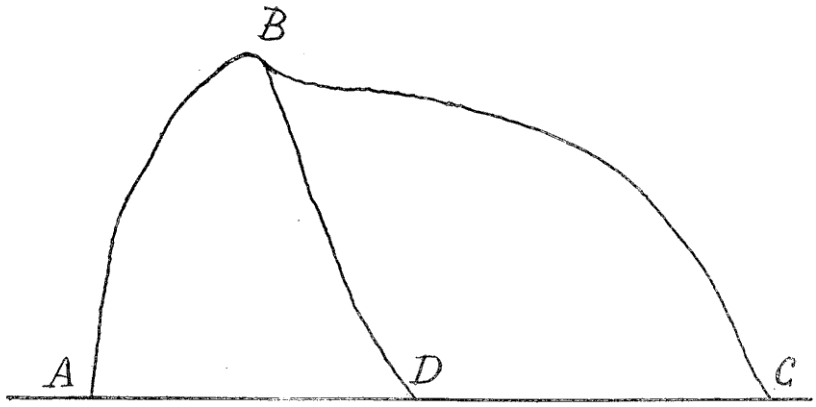


Fig. 1. — Diagrammes du pliage de deux aciers de qualités différentes, rompus sous le même angle de pliage.

et de demander au contraire que l'éprouvette essayée résiste à tel coup de mouton sans se rompre.

Ce procédé a deux inconvénients :

1° Il y a possibilité de contestation sur l'appréciation arbitraire du commencement de rupture;

2° On ne mesure pas la résistance vive totale du métal.

C'est à la suite de contestations de ce genre, à propos d'essais statiques de pliage, que je fis; le 22 février 1897, une communication à l'Académie des sciences proposant l'enregistrement du phénomène complet pour éviter les divergences d'appréciation.

On obtient ainsi des diagrammes de la forme représentée figure 1.

Soient A B C et A B D deux de ces diagrammes superposés.

Sur ces diagrammes l'origine de la rupture n'est plus douteuse; elle est au

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

point B, mais on ne peut pas obtenir de semblables diagrammes dans l'essai de choc, essai qui est d'ailleurs indispensable, et quand même on le pourrait, il resterait la seconde cause d'appréciation fausse : les aciers donnant les diagrammes A B C et A B D, l'essai étant arrêté au point B, paraîtraient semblables; ils sont en réalité très différents; car l'un a une résistance vive supérieure à celle de l'autre. Il faut trouver un autre critérium.

En outre l'arrêt juste au commencement de la rupture aurait un autre inconvénient, c'est que, ne renseignant pas sur la résistance vive complète du métal, il ne serait pas possible de juger le degré d'homogénéité de l'acier, ce qui est, sans contestation possible, de la plus grande importance.

L'essai au choc doit donc être effectué *d'un seul coup de mouton produisant la rupture.*

C'est pour répondre à cette condition *sine qua non* qu'on a depuis plusieurs années employé le procédé suivant :

Sur une barrette d'une assez grande longueur de l'acier à essayer on pratique une série d'entailles également espacées, on encastre dans un étau cette barrette en ne laissant dépasser que l'extrémité pour recevoir le choc du mouton, l'entaille étant à fleur de l'étau.

On laisse tomber le mouton d'une hauteur déterminée, si l'éprouvette choquée n'est pas rompue, on opère sur les suivantes en ne donnant *chaque fois qu'un seul coup*, mais en augmentant successivement la hauteur de chute jusqu'à ce qu'on ait obtenu la rupture. Si l'éprouvette s'est au contraire rompue au premier coup, on continue d'essayer les suivantes en diminuant chaque fois la hauteur de chute jusqu'à ce qu'il y ait une éprouvette non rompue.

La mesure de la résistance vive du métal est alors supposée être comprise entre deux coups successifs l'un ayant rompu, l'autre n'ayant pas rompu l'éprouvette.

Ce procédé a plusieurs inconvénients, en outre des tâtonnements quelquefois assez nombreux avant d'arriver à déterminer la rupture, il exige une assez grande quantité de métal puisqu'il ne donne le résultat qu'après l'essai de plusieurs barrettes; mais il suppose le métal homogène et enfin il ne décèle pas sûrement la fragilité, la vitesse du marteau au moment du choc n'étant pas toujours suffisante.

Tel acier qui se rompra avec un travail de N kilogrammètres produit d'un poids P tombant d'une hauteur H, se rompra avec une quantité de travail plus faible que N, mais produite par un poids plus faible tombant d'une hauteur plus grande.

La vitesse du marteau au moment du choc, ce qu'on appelle la vitesse d'impact, a donc une grande influence.

Il faut donc, dans l'essai de choc, donner au marteau une vitesse d'une cer-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

taine importance à déterminer par l'expérience, et comme il faut obtenir la rupture de l'éprouvette à chaque coup de mouton, car il ne serait pas pratique d'essayer sur une succession d'éprouvettes, avec des marteaux de 1, puis 2, puis 3 kilogrammes, etc.; il faut dès lors disposer d'un marteau dont le poids, sous la hauteur de chute déterminée, occasionne toujours la rupture, quelle que soit la qualité du métal. Cette hauteur ne doit pas être inférieure à 3 ou 4 mètres, car des aciers pour blindages dont les éprouvettes ont été reconnues non fragiles à l'essai de choc à cette vitesse, ont toujours été constatés non fragiles à un essai à vitesse très supérieure : aux essais au canon.

Mais pour pouvoir évaluer la quantité de travail absorbé pour produire cette rupture, il est indispensable de mesurer le travail résiduel que possède en force vive le marteau du mouton après rupture de l'éprouvette.

Aussi après de nombreux essais de choc, je fis, dès l'année 1895, un mouton basé sur le principe de la mesure de la force vive résiduelle; mes expériences m'ayant donné toute satisfaction, j'indiquai dans une communication à l'Académie des sciences du 4 octobre 1897, ce principe nouveau de mesure du choc dans un mouton construit de telle façon que le marteau porte-poinçon vienne frapper des crushers ou deux ressorts après avoir opéré la rupture de l'éprouvette; les crushers sont d'autant plus écrasés ou les deux ressorts d'autant plus comprimés par le choc du marteau qu'il reste plus de force vive (1).

En pratique, les crushers ne peuvent être employés que lorsqu'il ne s'agit d'essayer qu'une petite quantité d'éprouvettes, mais lorsque le nombre d'essais devient important, il faut employer les ressorts.

Le mouton que j'ai imaginé sur ce principe est représenté par la figure 2 qui donne la photographie de la partie inférieure.

Le mouton est à double effet, c'est-à-dire qu'il porte deux marteaux, ce qui a l'avantage d'équilibrer tout le système et de permettre à deux ouvriers d'essayer en même temps pour la production intensive d'essais au choc.

Il me suffira de décrire un des moutons.

La chabotte se compose de deux parties réunies par des boulons; entre ces deux parties se trouve serré le montant qui porte les guides; deux enclumes sont boulonnées sur les côtés opposés de la chabotte, l'ensemble pèse plus de 700 kilogrammes.

Le poids du marteau étant de 10 kilogrammes, on voit que la chabotte est 70 fois plus lourde.

L'enclume en fonte porte en avant et en arrière de la matrice deux trous

(1) Ce principe de mesure du choc par évaluation de la force vive résiduelle a, depuis, été employé par plusieurs expérimentateurs, M. Bent Russell a notamment fait à la Société des ingénieurs civils américains, le 5 janvier 1898, une communication sur des essais de choc effectués avec un pendule d'un hauteur de chute de 25 centimètres.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cylindriques et verticaux servant de logement à deux ressorts à boudin en acier trempé.

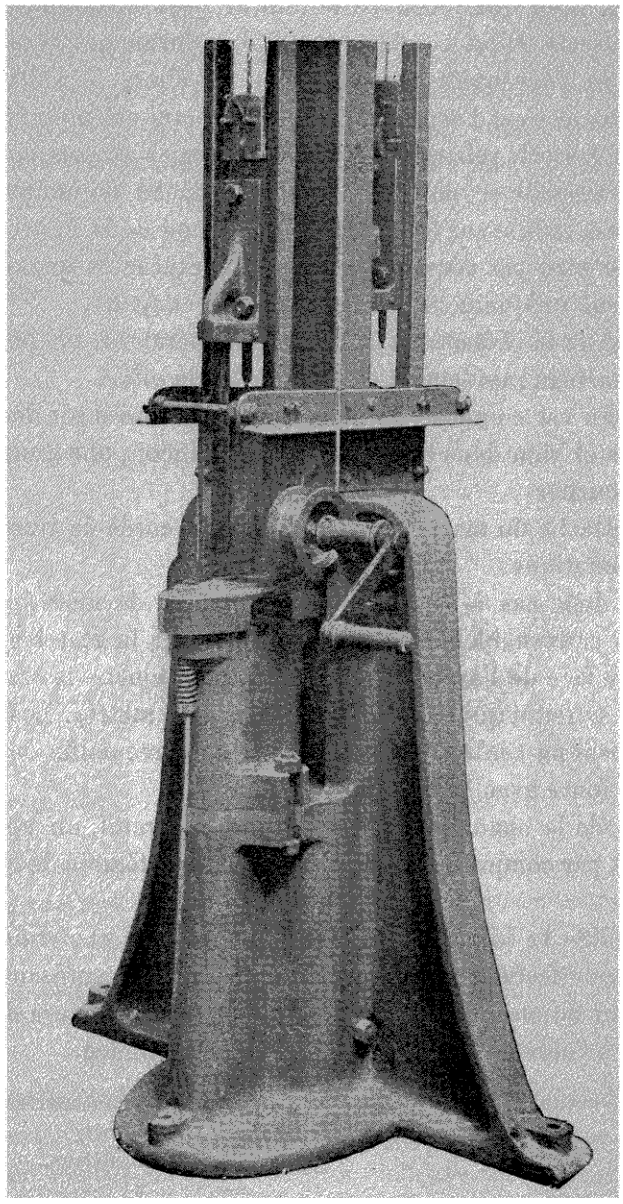


Fig. 2. — Mouton à double effet pour l'essai au choc.

Chacun de ces deux ressorts a un diamètre extérieur de 48 millimètres, une longueur totale de 30 centimètres avec 19 spires d'acier de 12 millimètres de diamètre, son poids est de $1^{kgr},900$.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La flèche à la compression statique est de 1 millimètre pour 25 kilogrammes de pression.

Un chapeau en acier dur recouvre le tout et pose directement sur la face supérieure des ressorts. C'est ce chapeau ou plate-forme qui reçoit le marteau après la rupture de l'éprouvette ; sous l'effet du choc, il s'abaisse en comprimant les ressorts et c'est l'espace ainsi parcouru qui est mesuré.

Et, comme les ressorts rebondissent après le choc, ils repoussent violemment ce chapeau ; pour amortir ce nouveau choc, le chapeau est maintenu par deux ressorts dont un est visible sur le devant de l'enclume de la figure 2.

Ces ressorts ne sont pas ceux qui servent à mesurer le travail résiduel du marteau, ils servent uniquement d'amortisseur au chapeau.

De chaque côté de la chabotte et à droite de l'opérateur, un petit treuil permet d'élever le marteau rapidement et avec un faible effort.

Chaque marteau est composé de deux flasques réunies par des boulons, au milieu en dessous et bien dans l'axe est le coin-poinçon, une goupille le retient et l'empêche de tourner.

Le crochet d'attache du marteau qui le relie à la corde de traction est à déclenchement automatique.

L'ouvrier n'a donc pas à s'occuper de la hauteur de montée du marteau, après avoir placé convenablement son éprouvette sur la matrice, l'entaille en dessous et bien en face de l'arête du coin-poinçon, il tourne le treuil et le marteau se déclenche aussitôt qu'il atteint la hauteur de 4 mètres. Les fragments de l'éprouvette tombent au centre de la matrice et sont recueillis dans une petite cuvette venue de fonte avec l'enclume,

Sur la gauche de la chabotte, du côté opposé au treuil, un appareil spécial suit l'affaissement par compression des ressorts et reste témoin de la course ainsi parcourue.

Un levier amplifie la compression réelle des ressorts et permet une lecture facile de la mesure effectuée avec une précision plus que suffisante.

En effet l'erreur de mesure de la hauteur de chute à la lecture de la compression des ressorts à l'aide de cet appareil spécial est moindre

de 1	centimètre	pour une hauteur de chute de	50 centimètres.
2	—	—	1 mètre.
3	—	—	2 mètres.
4	—	—	3 —
5	—	—	4 —

Dans la pratique des essais, la force résiduelle doit être celle qui correspond à une chute de 1 à 2 mètres, l'écart possible entre la lecture et la hauteur réelle de chute, c'est-à-dire l'erreur commise ne dépasse pas 3 centimètres, ce qui équivaut à un travail de : 10 kilogrammes $\times$ $0^{m},03 = 0,3$ kilogrammètres.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pour des aciers de bonne qualité, la mesure du travail résiduel permettra ainsi d'évaluer la mesure du travail exactement dépensé pour effectuer la rupture à environ 1/75 près.

Pour les aciers très fragiles qui donneront, par exemple, un travail de rupture de 2 ou 3 kilogrammètres au lieu de 20 kilogrammètres qu'ils devraient donner s'ils n'étaient pas fragiles, l'erreur pourrait être même de 1 kilogrammètre, que cela n'aurait aucune importance dans la pratique des recettes.

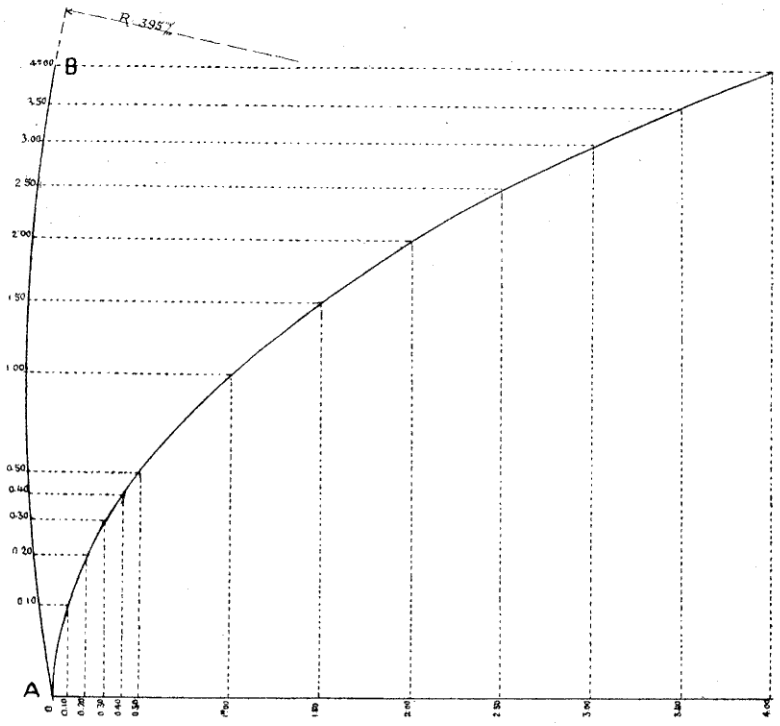


Fig. 3. — Graphique de la compression des ressorts en fonction de la hauteur de chute du marteau.

Pour connaître la hauteur de chute du marteau correspondant à la compression des ressorts, on trace expérimentalement le diagramme de cette compression en laissant tomber successivement le marteau de hauteur croissant jusqu'à 4 mètres; la ligne des abscisses marque les hauteurs de chute suivant une échelle arbitraire, par exemple, 4 centimètres d'abscisses pour une chute de 1 mètre, et les ordonnées marquent en vraie grandeur les compressions indiquées à l'extrémité de l'aiguille qui amplifie les courses réelles du ressort et obtenues à ces chutes diverses.

La figure 3 représente ce diagramme ainsi obtenu; sur l'arc AB décrit par

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'extrémité de l'aiguille on trace la position que celle-ci occupe après chacune des chutes successives du marteau de 10 centimètres en 10 centimètres, par exemple, ce qui correspond à un travail de kilogrammètre en kilogrammètre. La courbe des points de rencontre des parallèles menées par chacune des positions correspondantes des chutes de marteau et des ordonnées menées par les hauteurs de chute donne la courbe des compressions des ressorts, c'est une parabole.

La méthode renseigne en même temps sur la fragilité et sur l'homogénéité.

Un acier est homogène si toutes les éprouvettes prélevées sur lui donnent des résultats voisins; il est non fragile si l'essai de pliage par choc donne une résistance vive suffisante.

Exemple : Un acier ayant donné à la traction $42^{kgr},25$ et $43^{kgr},70$ de résistance avec 30,25 p. 100 et 30 p. 100 d'allongement sur éprouvettes de 20 centimètres, a donné dans les essais de pliage sur barrettes de $10 \times 8 \times 30$, entaillées à la scie de 1×1 et essayées au mouton de 10 kilogrammes tombant de 4 mètres, les résultats suivants :

	Sens en long.	Sens en travers.
	Kgm.	Kgm.
Pliages statiques	23 à 24,5	15 à 18
Pliages au choc	24,5	18
—	29,5	18,5
—	26,5	21
—	29,5	23,5
—	27,5	18,5
—	25	24
	26	19
—	26	18,5
—	26,2	21,5
—	29,5	23
—	30	21
Travail moyen au choc	27,3	20,3
— minima —	24,5	18
— maxima —	30	24

Ce métal destiné à la confection de chaudières peut donc être considéré comme non fragile et comme étant d'une homogénéité pratique très suffisante.

Une tôle de chaudière de locomotive a donné pour des essais semblables :

Essais de chocs.	Sens en long.	Sens en travers.
	Kgm.	Kgm.
Travail moyen	32	28,8
— minima	30	23,5
— maxima	35	32

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Dimensions de l'Éprouvette.

Après avoir choisi la méthode d'essai au choc il faut déterminer les dimensions de l'éprouvette.

Comme nous le verrons plus loin, il y a *tout intérêt* à prendre des éprouvettes *aussi petites que possible*, mais en ne perdant pas de vue que les essais de recette étant avant tout des essais d'atelier, la précision nécessaire à l'ajustage de l'éprouvette et à la méthode d'essai ne dépasse pas la précision que les ouvriers d'une habileté moyenne ont l'habitude d'apporter dans leur travail quotidien. Or les ouvriers mécaniciens, serruriers, constructeurs, etc., ont l'habitude d'ajuster au dixième de millimètre, on peut donc sans exagération leur demander de préparer les éprouvettes d'essai avec cette approximation habituelle.

Depuis plusieurs années j'ai eu l'occasion de faire exécuter dans beaucoup d'ateliers, par les ouvriers de professions les plus diverses, plus de dix mille éprouvettes prismatiques à la section de 10 millimètres de large sur 8 millimètres d'épaisseur, et jamais, dans aucun cas, l'ajustage n'a été au-dessous de cette précision ; très souvent même l'ajustage a été plus précis qu'il n'était nécessaire.

Pour rompre ces éprouvettes confectionnées avec les aciers industriels j'utilise le mouton que j'ai indiqué et dont le marteau est du poids de 10 kilogrammes ; c'est un type de mouton très employé dans les ateliers d'essai et l'approximation de la mesure peut être d'environ un tiers de kilogrammètre, ce qui est plus que suffisant pour les essais au choc.

J'ai été conduit à adopter cette section de $10^m \times 8^m$ à la suite de nombreux essais et de diverses considérations.

Les tôles pour chaudières, pour coques, — les larges plats employés dans la construction des ponts; — les cornières et les profilés divers n'ont souvent que 8 millimètres d'épaisseur.

Il est donc nécessaire, si l'on veut essayer la plupart des aciers employés dans la construction, de prendre pour épaisseur de l'éprouvette au plus cette épaisseur des métaux laminés à 8 millimètres.

Pour la largeur de l'éprouvette on a plus de latitude, mais il n'y a aucun avantage à l'exagérer, au contraire ; il est pratique de prendre un peu plus large qu'épais pour éviter la confusion sur le sens du pliage de l'éprouvette; si l'éprouvette avait une section carrée, il faudrait une marque particulière pour que l'ouvrier ne se trompe pas de sens au pliage; en prenant une section un peu plus large que haute, il est facile de faire de suite la distinction sans chercher une marque. J'ai pris 10 millimètres, parce que cette dimension décimale est suffisamment plus grande que l'épaisseur 8 millimètres.

J'ai pris pour longueur environ 30 millimètres, parce que cette dimension

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

découle directement de l'épaisseur choisie: 8 millimètres; en effet, pour plier l'éprouvette il faut donner au poinçon une épaisseur de 3 millimètres à l'extrémité et de 4 millimètres environ au corps.

L'éprouvette à la fin du pliage a ainsi une épaisseur totale de 8 + 4 + 8 = 20 millimètres; j'ajoute, pour le passage dans la matrice, 1 millimètre de jeu, l'écart entre les deux points d'appui est donc de 21 millimètres; la surface d'appui des deux extrémités doit avoir une portée de 3 à 4 millimètres, cela fait ainsi, pour la longueur totale, 27 à 29 millimètres. La longueur 30 millimètres convient donc très bien.

Un essai peut même se faire au besoin avec 25 millimètres de longueur d'éprouvette.

Comme je l'ai montré, ces dimensions sont d'un ajustage pratique par nos ouvriers habituels; une expérience de plusieurs années l'a confirmé. Il n'y a donc aucune objection sérieuse à l'emploi d'éprouvettes exécutées à ces dimensions.

Ces dimensions me permettent de faire *économiquement* de très grandes quantités d'essais.

Les frais de préparation de l'éprouvette sont peu élevés, il faut en moyenne une demi-heure à un ouvrier très ordinaire pour confectionner une éprouvette en opérant simplement avec une scie à main et une lime.

Dans un atelier installé pour une production intensive de ces éprouvettes, le temps nécessaire à la confection sera moindre, ainsi que le prix de revient.

Ces petites dimensions permettent d'extraire des éprouvettes de toutes les parties des tôles et au besoin de déchets produits au cours de la fabrication: chute de barres, parties découpées, débouchures, etc., de toutes les parties des barres profilées, dans le sens en long et dans le sens en travers du laminage: rails, bandages, cornières, etc.

Les essais répétés dans une même région ou dans les diverses parties d'une même tôle, d'une même barre, permettent d'évaluer le degré d'homogénéité, ce qui en pratique est de la plus grande importance.

Il ne suffit pas que la *moyenne* des essais de résistance vive d'un métal atteigne une quantité déterminée, il faut surtout que les écarts existant entre les divers essais effectués sur le même métal ne dépassent pas une certaine limite. Ainsi une tôle de chaudière en acier extra-doux (de 35 kil. à 40 kil., et 30 p. 100 à la traction) a été essayée au choc, par une éprouvette avec entaille aiguë dessus et dessous; le résultat de cet essai de choc correspondit à la moyenne acceptable.

J'ai pu, dans le morceau rompu de cette éprouvette, détacher six petites éprouvettes de 10 × 8 × 30. Ces éprouvettes entaillées d'un trait de scie ont donné au choc les résultats suivants: 20,5 kilogrammètres — 18,5 — 18,5 — 16 — 7 et 5 kilogrammètres.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cette tôle est donc *fragile dans certaines parties*, malgré un résultat indiquant une qualité suffisante à l'essai du morceau primitif d'où les six éprouvettes ont été extraites.

Il n'est pas exact de croire que les défectuosités locales sont sans importance. Il est nécessaire de les évaluer à leur juste valeur.

Ces essais, effectués dans diverses parties du métal, soulèvent la question de l'homogénéité; cette question est un objet de préoccupation pour les producteurs et les consommateurs et elle a motivé la nomination d'une commission spéciale de l'Association internationale pour l'essai des matériaux.

Les causes du manque d'homogénéité de l'acier sont complexes : les principales sont la liquation dans les lingots et l'inégale vitesse de refroidissement des couches inégalement éloignées. Mais je n'ai pas l'intention d'aborder ici un sujet qui demande de longues et méthodiques recherches; j'ai voulu seulement montrer que le mode opératoire auquel je me suis arrêté pour la détermination de la fragilité se prête facilement à son étude.

De la forme et des dimensions de l'entaille.

Pour déterminer la rupture dans les métaux ductiles comme les aciers durs, il est nécessaire de limiter la zone d'allongement; sans cette précaution, l'éprouvette se plierait le plus souvent à bloc sans se rompre.

J'ai effectué, au début de mes expériences, une série d'essais pour déterminer la forme et les dimensions de l'entaille.

J'ai commencé par pratiquer une entaille de 5 millimètres de largeur avec les angles arrondis, le pliage s'est effectué à bloc sans rupture; j'ai alors diminué progressivement la largeur de l'entaille, et je suis arrivé à un résultat pratique avec une entaille de 1 millimètre de largeur, et avec les angles arrondis, ce que l'on obtient convenablement par le trait de scie.

Il est indispensable, pour pratiquer ce sciage, d'employer les lames de scie ayant de la *voie*, afin d'obtenir les angles arrondis au fond de l'entaille.

La largeur de l'entaille dépendant de la scie est peu susceptible d'écarts, mais la profondeur peut varier sensiblement d'une éprouvette à l'autre, si l'ajusteur n'y prend pas soin.

Pour vérifier les dimensions de cette entaille, je me sers d'un compas représenté figure 4. Les deux becs ont 1 millimètre d'épaisseur, ce qui permet de constater de suite si l'entaille est bien de largeur voulue, et la pointe mobile du compas marque sur un arc gradué les dixièmes de millimètre, ce qui permet de mesurer exactement la profondeur.

Il est donc possible de vérifier rapidement et facilement les entailles des éprouvettes; néanmoins, comme il faut toujours admettre qu'en pratique indus-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

trielle il se peut qu'il y ait une petite différence dans l'ajustage, il est nécessaire de connaître quelle est l'influence qui peut en résulter sur les résultats de l'essai.

J'ai découpé dans un morceau d'acier non fragile, que je savais homogène, six éprouvettes semblables à mon type habituel; j'en ai entaillé deux exactement à 1 millimètre de large et 1 millimètre de profondeur; j'en ai entaillé deux autres en donnant une profondeur double : 2 millimètres, mais à la même largeur de 1 millimètre; enfin, les deux dernières ont été entaillées à la profondeur

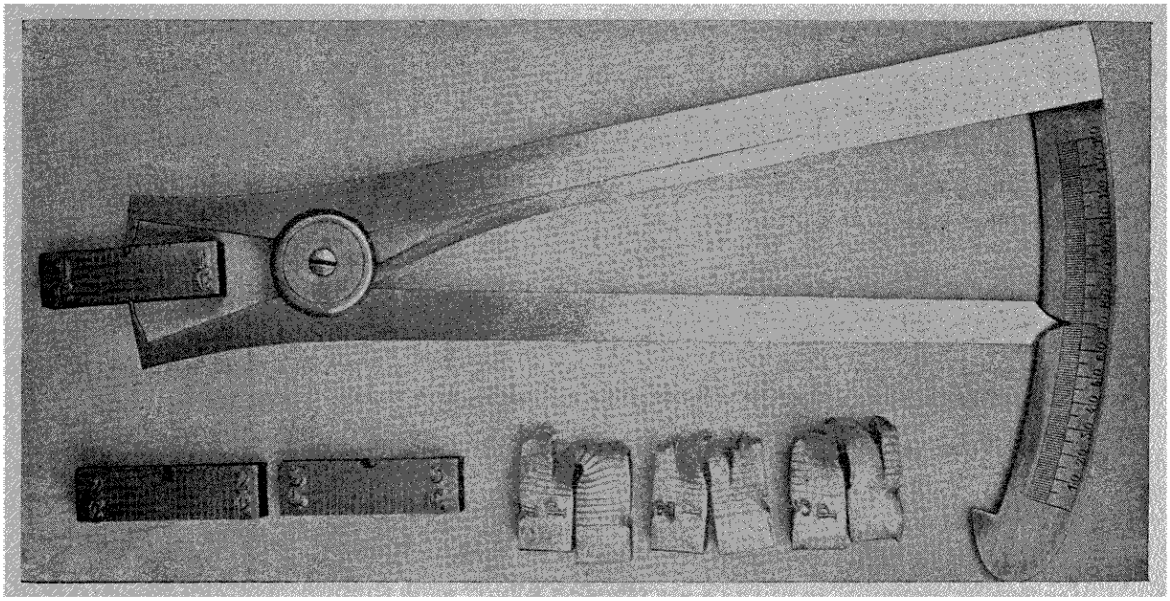


Fig. 4. — Compas de mesure pour permettre de calibrer la profondeur de l'entaille des éprouvettes.

habituelle de 1 millimètre, mais à une largeur double, en opérant avec deux lames contiguës.

Une éprouvette de chacune de ces trois sortes a été marquée d'un P, pour être essayée à la pression statique; l'autre éprouvette a été marquée d'un C, pour être essayée au choc.

Ces éprouvettes sont représentées sur la figure 4. Les éprouvettes marquées P ont été essayées au pliage statique, les éprouvettes marquées C n'ont pas encore subi l'essai.

On voit marquée 1 l'éprouvette à entaille habituelle, marquée 2 l'éprouvette à entaille deux fois plus profonde, et marquée 3 l'éprouvette à entaille deux fois plus large.

La figure 5 montre les diagrammes d'essai de pliage statique des éprouvettes

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

1 et 2. On voit que l'éprouvette qui porte une entaille d'une profondeur double a exigé un peu moins d'effort, mais sur une course un peu plus grande, de sorte que la quantité de travail n'est pas sensiblement différente.

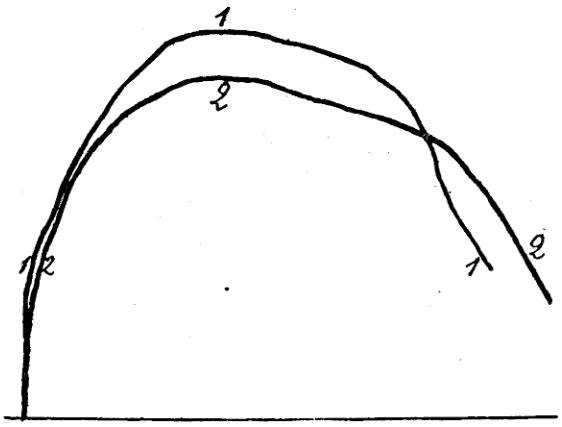


Fig. 5. — Diagrammes du pliage d'un acier non fragile.

N° 1. D'une éprouvette entaillée de 1 millimètre de large sur 1 millimètre de profondeur.
N° 2. — — 1 — — 2 — —

La figure 6 montre les diagrammes d'essai de pliage statique des éprouvettes 1 et 3. On voit que les deux éprouvettes ont exigé le même effort, ce qui est

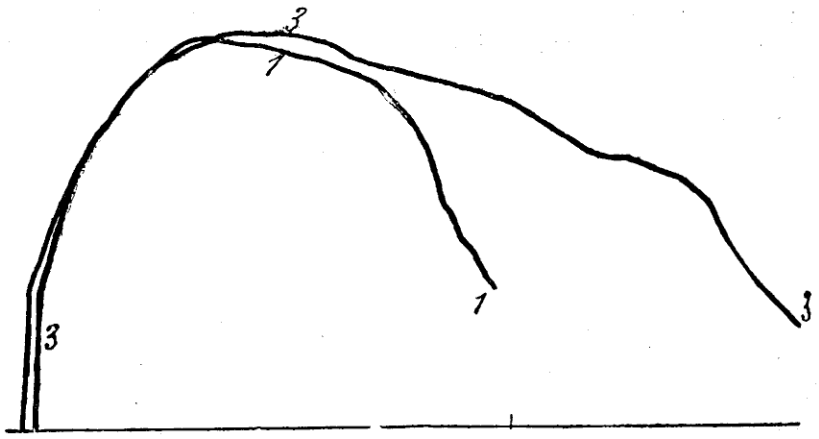


Fig. 6. — Diagrammes du pliage d'un acier non fragile.

N° 1. D'une éprouvette entaillée de 1 millimètre de largeur sur 1 millimètre de profondeur.
N° 3. — — 2 — — 1 — —

naturel, mais que celle qui a l'entaille la plus large a exigé l'effort sur une plus grande course au pliage, ce qui a nécessité une plus grande quantité de travail. Cela s'explique facilement; il suffit de remarquer que la partie de métal

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

intéressée est plus longue et, par conséquent, qu'il se produit un plus grand allongement des fibres.

Les essais au choc n'ont pas donné les mêmes résultats que les essais statiques.

L'éprouvette n° 1 a exigé	. . . . .	28 kgm.
— n° 2 —	. . . . .	27 —
— n° 3 —	. . . . .	30 —

Les trois chiffres sont presque égaux.

J'ai refait les mêmes expériences avec un acier fragile statiquement. Cet

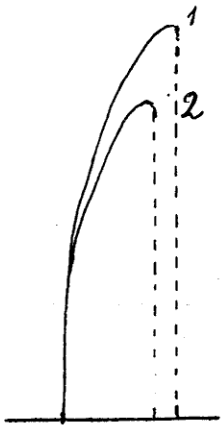


Fig. 7. — Diagrammes du pliage d'un acier fragile.

N° 1. D'une éprouvette entaillée de 1 millimètre de large sur 1 millimètre de profondeur.
N° 2. — — 1 — — 2 — —

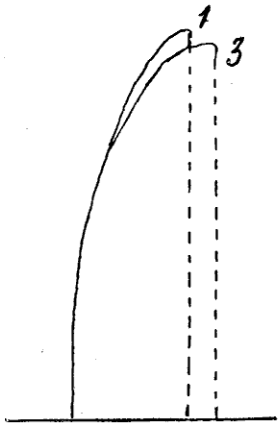


Fig. 8. — Diagrammes du pliage d'un acier fragile.

N° 1. D'une éprouvette entaillée de 1 millimètre de large sur 1 millimètre de profondeur.
N° 3. — — 2 — — 1 — —

acier ayant donné à la traction 45 kilogrammes, et 25 p. 100 d'allongement.

La figure 7 représente les diagrammes des pliages des deux éprouvettes

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

prises dans cet acier, et entaillées l'une (diagr. 1) du trait de scie habituel de 1 millimètre de large et de 1 milllimètre de profondeur, l'autre (diagr. 2) d'une entaille de même largeur, mais de 2 millimètres de profondeur.

La figure 8 représente comparativement le diagramme du pliage d'une éprouvette entaillée du trait de scie habituel (1 millim.), et celui du pliage d'une éprouvette entaillée d'un trait de scie d'une largeur double : 2 millimètres.

Les essais au choc ont donné les résultats suivants :

L'éprouvette n° 1	acier	fragile	a exigé	3 à 5,5	kgm.
— n° 2	—	—	. . . . .	3 à 4	
— n° 3	—	—	. . . . .	6,5	—

L'influence des dimensions de l'entaille paraît donc être peu importante surtout dans l'essai au choc.

Or, si l'on remarque que dans ces expériences il y a eu grande exagération

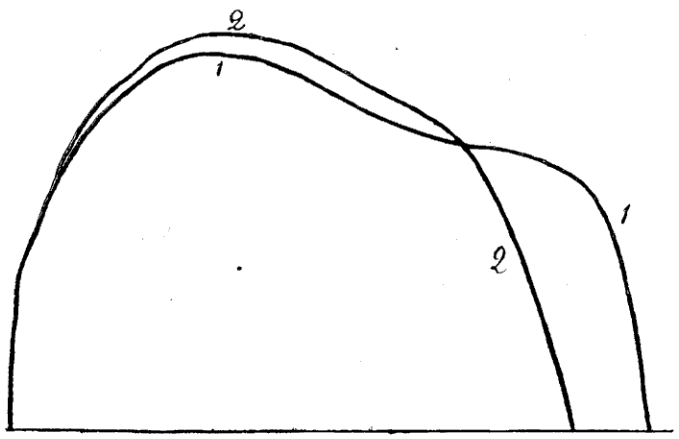


Fig. 9. — Diagrammes du pliage d'un acier non fragile.

N° 1. D'une éprouvette entaillée avec une lame de scie neuve.
N° 2. — — — très usée.

des différences possibles dans les dimensions du trait de scie, afin de mieux en constater les effets, on en conclura immédiatement qu'il n'y a pas lieu de tenir compte des petites différences qui peuvent survenir dans la pratique et qui ne dépassent guère 1 ou 2 dixièmes de millimètre.

La figure 9 représente les deux diagrammes de pliage statique effectués sur deux éprouvettes avec entailles de 1 millimètre de profondeur, mais l'une, le numéro 1, pour une éprouvette entaillée avec une scie neuve; et l'autre, le numéro 2, pour une éprouvette entaillée avec une scie complètement usée. La différence dans le travail n'est pas très différente.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

J'ai effectué, au choc, une série d'essais sur des éprouvettes entaillées avec une très vieille lame de scie complètement usée, et parallèlement une autre série d'essais sur des éprouvettes entaillées avec une lame neuve.

Un acier *fragile* pour lequel l'influence devait être le plus sensible, m'a donné aux essais :

		Kilogrammètres.			
Entailles avec la vieille lame.	1	1,5	2	3	1
— lame neuve.	5	1	1	1,5	

Pour un acier non fragile :

	Kgm.
Entaille avec la vieille lame.	30
— lame neuve.	27,5

Les écarts sont ceux que l'on rencontre avec une lame ordinaire, ils ne sont dus qu'à l'hétérogénéité du métal et, par conséquent, on peut affirmer que les résultats sont sensiblement les mêmes, que la lame soit neuve ou qu'elle ait déjà notablement servi.

On a émis diverses objections relativement à l'emploi de l'entaille de la scie.

Ainsi on a craint que les légères stries longitudinales que laisse la lame dans le fond de l'entaille soit une cause occasionnelle de rupture, surtout pour les aciers fragiles.

Or, la figure n° 10 montre la photographie au grossissement de 5 diamètres des cassures de six éprouvettes d'acier *prises au hasard* et sur lesquelles cinq sont en acier fragile et une en acier non fragile ; il est facile de constater que les ruptures n'ont pas suivi une génératrice rectiligne du fond de l'entaille.

On peut constater, sur toutes les éprouvettes qui ont été entaillées avec une lame de scie ayant de la voie, qu'elles se rompent toujours *vers le milieu* de l'entaille, jamais dans les angles qui sont alors arrondis, et jamais suivant une génératrice rectiligne. Il en est autrement dans les ruptures en porte-à-faux, où l'angle de l'entaille le plus voisin de l'encastrement subit un effort plus considérable.

D'ailleurs, pour connaître exactement la valeur des défectuosités apparentes de l'entaille par trait de scie, j'ai effectué parallèlement sur les mêmes aciers des éprouvettes entaillées les unes à la scie et les autres avec une fraise circulaire à très petites dents et à contour arrondi.

Les résultats des essais au choc que je donne ci-dessous, montrent très nettement qu'il n'y a pas de différence sensible, que l'éprouvette soit entaillée avec la lame de scie ou avec la fraise, les écarts constatés sont dus à l'hétérogénéité des aciers, car ils sont *tantôt dans un sens et tantôt dans un autre*, sans

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

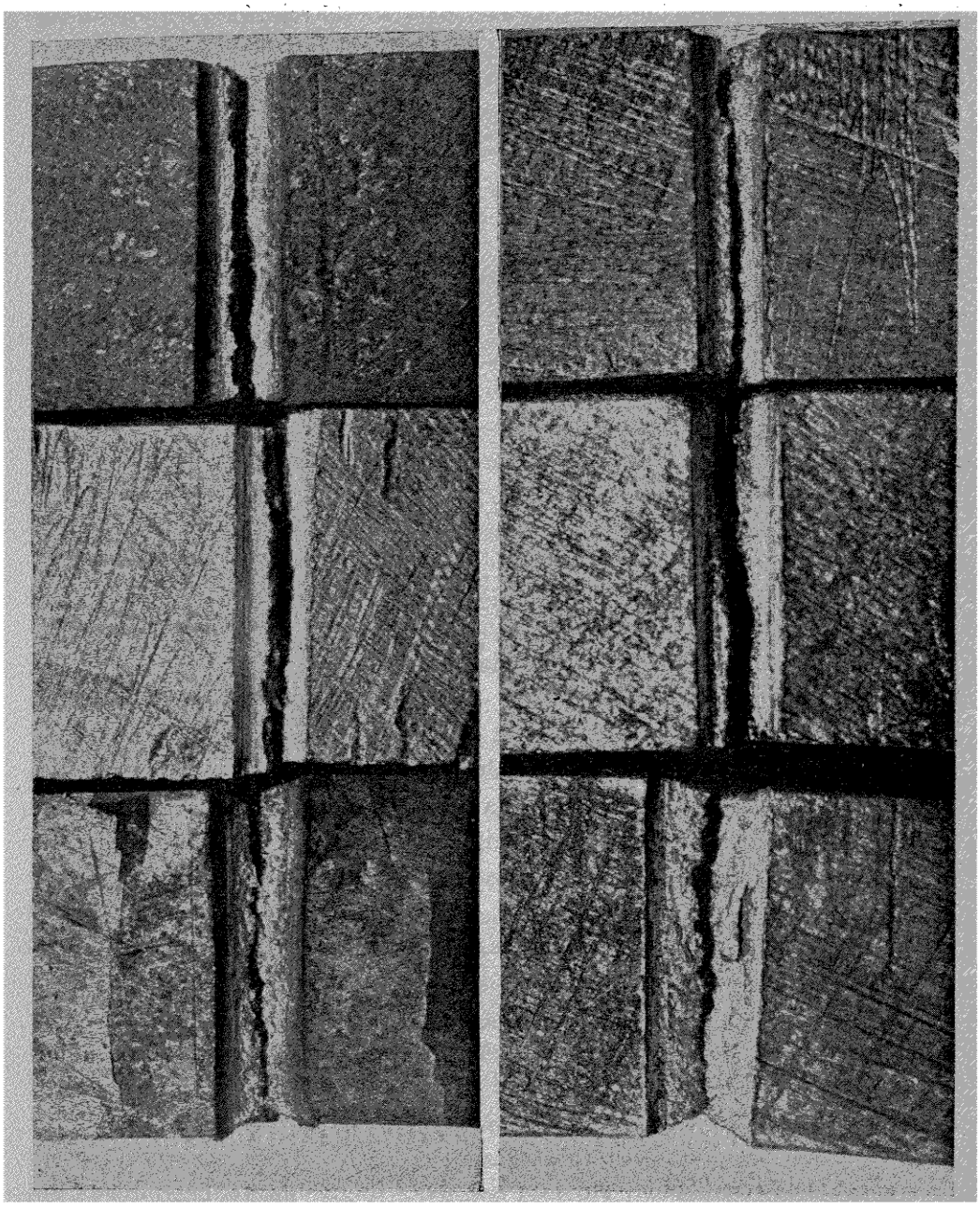


Fig. 10. — Photographie de six cassures d'éprouvettes permettant de constater que la déchirure se fait selon une ligne sinueuse.

(Grossissement : 5 diamètres.)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

jamais dépasser comme importance ceux qui ont été relevés dans les autres essais par série sur ces aciers :

Essais à la traction.		Pliages statiques.		Pliage au choc. Entailles à la scie.		Pliage au choc. Entailles à la fraise.	
Résistance.	Allong. sur 20 cent.	En long.	En travers.	En long.	En travers.	En long.	En travers.
Kilog.	P. 100.	Kgm.	Kgm.	Kgm.	Kgm.	Kgm.	Kgm.
47	24	9,5	8	13	6	10	6,5
60	25	4,5	2,5	4,5	4	6	6
44	28	12,5	10	6	6	6,5	4,5
37	30	22	20	9	7	1	7,5
33	25	12,5	2	9	3	3	2
33	32	21	20	5,5	3	4	3,5
45	27	5,5	6	3	4	5,5	4,75
60	22	15,5	4	7	3,5	6,75	3
50	20	5,5	12	7	5	6	4
40	23	22,5	17,5	22	13	21	19
53	23	4	3	5	2,5	5,2	3
49	27	20,5	6	22 19,5 21,5 21,5	5	24 21,5 21,5 24	4
46	27	25	12	30,5 29 29 26	17,5 18,5	26,5 26 30 16	17,5 17
43	28	22	19	24,5 25 25,5 30	22,5 19 21,5	22,5 23 24 19,5	23 23,5
50	26	24,5	6,5	20 22 22,5 23	5 5	22,5 22,5 21,5	4,5

Conditions de réception.

Le choix de la nuance d'acier étant basé sur la résistance à la traction par cette raison que celle-ci sert au calcul des résistances de la construction, il est clair que la première condition portée au cahier des charges sera l'indication de la résistance à la traction, mais on évitera de resserrer les limites de cette résistance et on donnera au contraire, autant qu'il sera possible, de la latitude au métallurgiste.

La résistance à la traction ayant une approximation plus large, dans beaucoup de cas, la précision de la mesure n'aura plus la même rigueur qu'on est tenté d'exiger actuellement.

Dans la pratique des recettes, pour être renseigné rapidement et économiquement sur la résistance à la traction d'un acier, il suffira de pratiquer un *essai de cisaillement*. C'est ainsi que je procède depuis plusieurs années sans avoir jamais constaté d'erreur sensible.

J'effectue le cisaillement sur l'un des deux fragments de l'éprouvette qui m'a servi à l'essai de pliage au choc.

Lorsque je peux prendre 40 millimètres pour longueur de l'éprouvette, je la réduis à 30 millimètres en donnant successivement deux coups de cisaille.

Si je suis suffisamment approvisionné d'éprouvettes de 30 millimètres du même acier à essayer, j'utilise une de ces éprouvettes pour effectuer alors

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

quatre cisaillements successifs, j'ai la résistance à la traction et une indication du degré d'homogénéité à la traction.

Dans ces conditions, l'essai de cisaillement donnant indirectement la résistance à la traction a les avantages suivants :

Il ne coûte rien puisqu'il peut être effectué avec les débris de l'éprouvette essayée au pliage.

Il permet de déduire la résistance à la traction dans le sens en long et dans le sens en travers du laminage.

Il est au moins aussi exact que l'essai habituel de traction, comme je le montrerai plus loin.

Dans une note à l'Académie des sciences, du 10 décembre 1894, j'ai indiqué la similitude des diagrammes obtenus par les cisaillements effectués dans le même morceau de métal et les changements appréciables dans les diagrammes au moindre changement de qualité du métal.

Dans une autre note à l'Académie, du 4 octobre 1897, je rappelai cette propriété qui permet de déduire la ténacité ou résistance à la traction du métal cisaillé.

Pour l'application pratique de ce procédé, il me reste à faire connaître la loi qui permet de déduire la résistance à la traction de la résistance au cisaillement effectué entre deux *lames parallèles*.

Si, après avoir choisi une collection d'échantillons d'aciers industriels donnant la gamme des résistances allant des plus doux aux plus durs, par exemple de 32 kilogrammes à 95 kilogrammes de résistance à la traction et qu'on trace un graphique en portant en abscisses les résistances à la traction et en ordonnées les résistances au cisaillement correspondant aux résistances à la traction, on obtient pour lieu géométrique du cisaillement une ligne droite (fig. 11) et on constate que les écarts, soit en dessus, soit en dessous de cette droite, sont plutôt moindres que les écarts constatés entre les essais de traction effectués sur le même métal.

On sait qu'il n'est pas rare de trouver dans les essais de traction effectués sur une même barre d'acier, des écarts de 3, 4 et 5 kilogrammes par millimètre carré de section.

Or, les écarts constatés dans les essais de cisaillement sont du même ordre, toute proportion gardée, et témoignent des mêmes divergences dans l'homogénéité.

Un acier donne des écarts à la traction et au cisaillement d'autant plus faibles qu'il est plus homogène.

On peut donc employer le cisaillement pour en déduire la résistance à la traction.

Dans les cas de contestation qui seront certainement très rares, ou simplement dans le doute, il suffira de faire l'essai habituel de traction.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Si on appelle C la résistance maximum au cisaillement et T la résistance maximum à la traction par millimètre carré, on a :

$$C = (T \times 0{,}35) + 6^{kg},5.$$

$$T = \frac{(C - 6{,}5)}{0{,}35}$$

La limite élastique du cisaillement d'un acier permet d'avoir, avec une certaine approximation, la limite élastique à la traction de cet acier, car le rapport

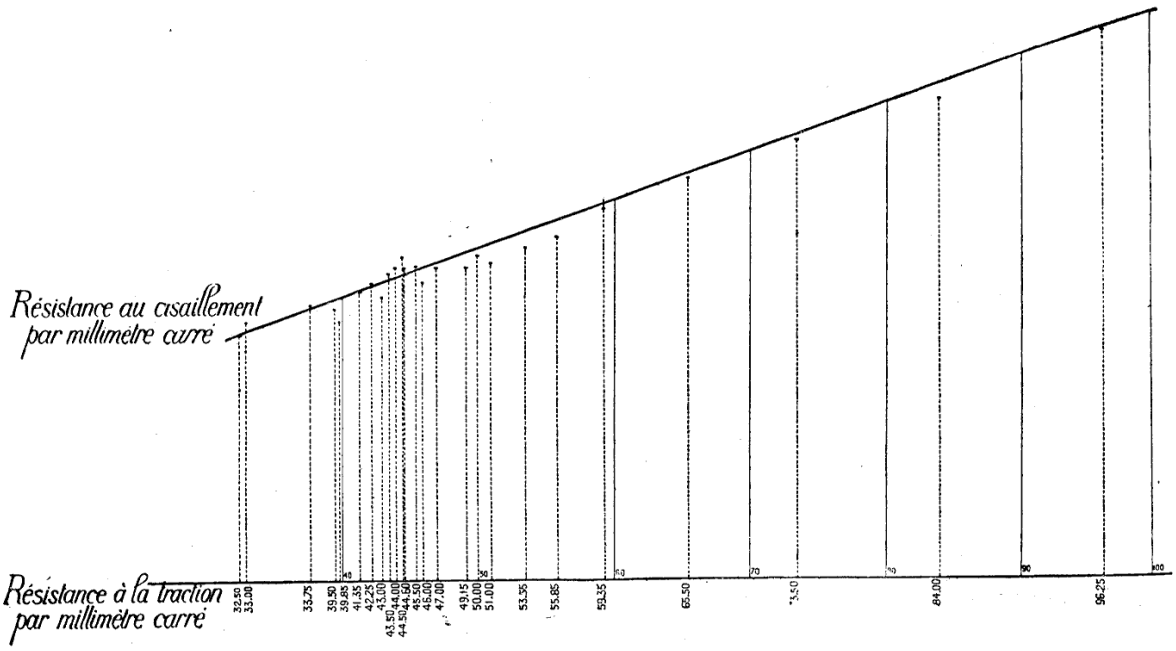


Fig. 11. — Graphique donnant la résistance à la traction d'un acier, en fonction de la résistance au cisaillement.

(Échelle : 2 millimètres pour 1 kilog. de résistance.)

entre la limite élastique et la résistance maximum de rupture d'un acier paraît être le même pour le cisaillement et pour la traction.

Mais, en pratique, il est souvent difficile de déterminer exactement sur les diagrammes de cisaillement et de traction la position de la limite élastique.

Pour vérifier la concordance du rapport de la limite élastique à la rupture du cisaillement avec le même rapport de l'essai de traction, j'ai relevé la limite élastique apparente sur les diagrammes de cisaillement de 22 échantillons d'acier dont les résistances à la traction variaient de 33 kilogrammes à 96 kilogrammes; et, en comparant le résultat ainsi trouvé avec le chiffre déduit de l'essai de traction, j'ai constaté de faibles écarts.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Après l'essai de résistance, le cahier des charges devra indiquer la méthode à employer pour essayer la fragilité.

Elles ont été décrites plus haut et se résument en une ligne : rupture d'un *seul coup de mouton* et avec une hauteur de chute de 4 mètres.

Pour la quantité de travail que devra nécessiter la rupture de l'éprouvette aux dimensions indiquées 10 × 8 × 30, entaillée d'un trait de scie, cette quantité, à mon avis, ne devra pas être inférieure, pour les aciers au-dessous de 50 kilogrammes de résistance, à 18 kilogrammètres, pour les éprouvettes prises en long, et à 16 kilogrammètres, pour les éprouvettes prises en travers.

Voilà, en effet, les quantités de travail absorbées pour la rupture de quelques aciers non fragiles; les chiffres obtenus résultent d'au moins 8 essais par acier :

Travail dépensé pour rupture d'éprouvettes en acier non fragile.

Éprouvettes prises dans le sens *en long :*

Essai de traction.		Pliage par choc.		
Résistance.	Allong. sur 20 cent.	Travail moyen.	Travail maximum.	Travail minimum.
Kilog.	P. 100.	Kgm.	Kgm.	Kgm.
39	30	28,80	32	23,50
42	28	25	30	22,50
43	30	27,30	30	24,50
45	22	25,40	29	22,50
46	28	25,40	30,50	26
49	27	21,50	24	19,50
50	25	22,35	25	20

Éprouvettes prises dans le sens *en travers :*

37	»	21,43	23,50	19
38	»	20,50	24	18
40	»	21,7	23	19,50

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

NOTES DE MÉCANIQUE

LA MACHINERIE MARINE PENDANT CES DIX DERNIÈRES ANNÉES D'APRÈS M. *J. Mac Kechnie* (1).

Économie de combustible. — Cette économie a été, comme l'indiquent les chiffres du tableau ci-dessous, moins accentuée pendant la dernière décade que pendant les précédentes; on n'a gagné, sur la précédente décade, que 10 grammes environ de charbon par cheval-heure indiqué, et 220 grammes pendant ces 20 dernières années, et ce résultat a été obtenu sans compliquer la machinerie.

Cette économie est due, en très grande partie, à l'augmentation des pressions, qui atteignent aujourd'hui 14 kilogrammes avec les machines à triple expansion et 15 kilogrammes avec les quadruples; cette haute pression permet d'obtenir des chaudières une plus grande puissance par mètre carré de chauffe; elle est passée, pendant cette décade, de $0^{m2},30$ à $0^{m2},28$ par cheval; la vitesse des pistons s'est accrue de $2^{m},60$ à $4^{m},45$, et même $4^{m},80$ par seconde.

TABLEAU I. — **Résultats moyens de machines marines, 1872, 1881, 1891, 1901.**

Chaudières, Machines, Charbon.	Résultats moyens.			
	1872	**1881**	**1891**	**1901**
Pression de la chaudière.	$3^{k},60$	$5^{k},5$	11^{k}	14^{k}
Chauffe par m^2 de grille.	»	30,4	31	38 et 43 *
Chauffe par cheval indiqué.	$0^{m2},4$	0,37	0,30	0,28
Charbon par m^2 de grille.	»	68^{k}	73^{k}	88 et 137 *
Tours par minute.	55,67	59,76	63,75	87
Vitesse du piston en mètres par seconde.	$1^{m},90$	2,35	2,65	3,30
Charbon par cheval heure indiqué. . . .	$0^{k},95$	0,83	0,70	0,68
Moyenne en long voyage	»	$0^{k},91$	0,80	0,70

* Aux tirages naturel et forcé.

On a aussi considérablement amélioré l'économie par tonne mile des grands cargos, dont la dépense de combustible croît moins vite que le tonnage; le diagramme (fig. 1) montre comment cette dépense diminue avec la dimension des cargos, dont le poids mort augmente moins vite que la capacité, ainsi que la section immergée, un cargo de 5 000 tonneaux exige une machine de 3 475 chevaux pour une vitesse de 13 nœuds, tandis qu'un cargo de capacité triple ne demanderait qu'une puissance double; il dépensera 2 kilogrammes de charbon au lieu de 3 kil. 6 par 100 tonnes mile; la dépense de charbon par cheval-heure est, en moyenne, de 680 grammes; en outre, la dépense de

(1) *Institution of Mechanical Engineers*, London, Meeting de juillet 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

construction est plutôt diminuée, ainsi que celle du personnel, par suite de l'amélioration des appareils de manutention.

TABLEAU II. — **Résultats moyens des paquebots Cunard 1899-1900.**

Nom du navire.	Voyage.	Vitesses en nœuds.	I. H. P.	Tours par minute.	Course en millim.	Vit. du piston en mètres par seconde.	Dépense de charbon. Tonnes par jour.	Dépense de charbon. Kil. par I.H.P. par hre.
Saxonia.	Liverpool à Boston.	14,5	10,078	76	1m,37	3,45	138	0,60
	Boston à Liverpool.	15,0	10,230	77	1m,37	3,50	136	0,60
Ultonia.	Liverpool à Boston.	11,5	3,997	60	1m,22	2,75	66	0,68
	Boston à Liverpool.	11,8	4,292	71	1m,22	2,80	62	0,65

Cette économie est la principale raison de l'augmentation du tonnage des paquebots, dont un grand nombre dépasse aujourd'hui 10000 et même 13000 tonneaux, tandis que, il y a dix ans, on ne dépassait que rarement 5 000 tonneaux. On remarquera (tableau V et VI) que, en matière de grands navires, l'Allemagne arrive à égaler l'Angleterre.

Pressions aux chaudières. — En général, on préfère, comme chaudières cylindriques,

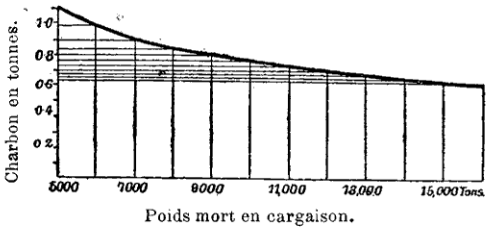


Fig. 1. — Dépense de charbon nécessaire par 100 tonnes et 24 heures à la vitesse de 13 nœuds.

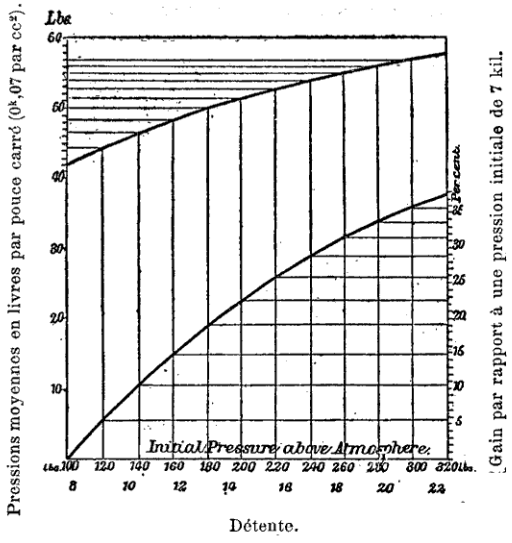


Fig. 2.
Économie théorique des hautes pressions.

les chaudières simples. La pression la plus élevée atteinte avec ces chaudières a été de 19 kilogrammes, mais, dans la marine de guerre, on atteint souvent 21 kilogrammes avec les chaudières à tubes d'eau, pression supérieure de 24 p. 100 à celle de la marine marchande, et de 100 p. 100 aux pressions admises il y a dix ans.

Il semble que la limite soit atteinte avec les chaudières cylindriques, car, pour une pression de 20 kilogrammes, et pour un diamètre de 3m,90 seulement, l'épaisseur des tôles est de 40 millimètres; on retrouve cette épaisseur dans la chaudière de l'Ortona (fig. 3), de 5m,25 de diamètre, mais dont la pression n'est que de 14 kilogrammes.

Tirage et vaporisation. — On emploie de moins en moins, dans la marine marchande, le tirage en chambre de chauffe fermée; on préfère employer de l'air préalablement chauffé soit par le système du vent forcé avec cendrier fermé, comme dans le type Howden, soit avec le tirage par aspiration forcée; dans les deux cas, on utilise

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

une partie de la chaleur perdue des gaz. La puissance totale des navires pourvus du système à vent forcé est de 3 406 000 chevaux, et il s'est montré des plus économiques : 620 grammes de charbon par cheval-heure indiqué en voyage transatlantique des Cunard : *Saxonia* et autres. On peut, avec ce système, augmenter la combustion par mètre carré de grille et la vaporisation par mètre carré de chauffe. Le rapport de la surface de chauffe S à celle G de la grille, qui s'abaisse parfois à 30, est ordinairement de 42 à 43 au lieu de 38,3 pour le tirage naturel ; en un mot, la surface de chauffe des chaudières cylindriques s'est ainsi accrue de 30 p. 100 environ de ce qu'elle était il y a 10 ans par mètre carré de grille ; on brûlait, par mètre carré de grille et par heure : 68 kilogrammes en 1881, 73 en 1891, et on brûle aujourd'hui 88 kilogrammes au tirage naturel et 137 au tirage forcé ; la surface de chauffe par cheval est tombée de $0^{m2},3$ à $2^{m2},7$, et la puissance par tonne de chaudières s'est élevée de 16 chevaux, 5 à

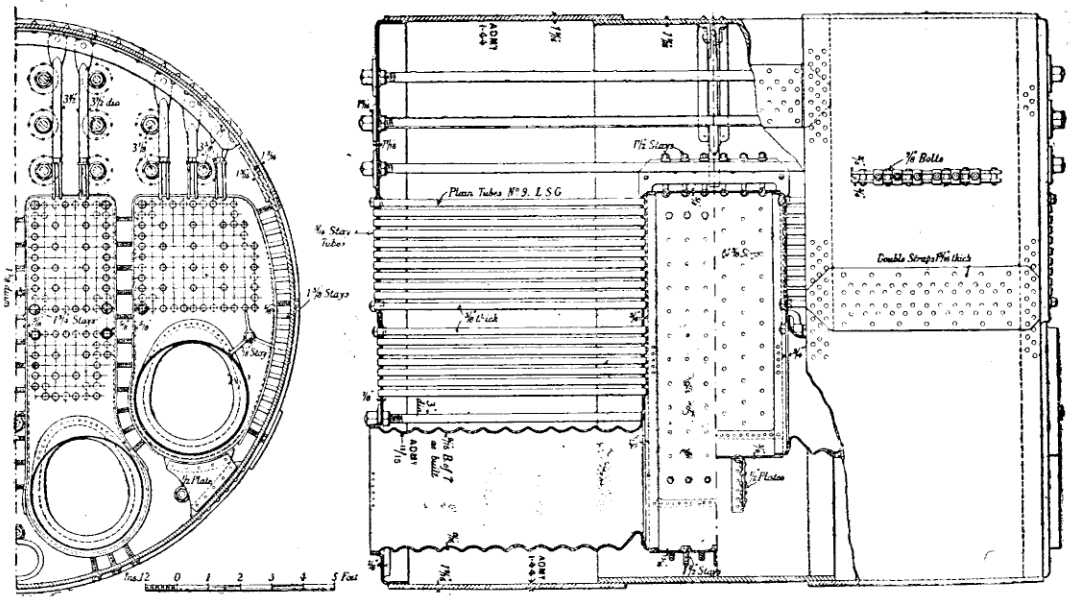


Fig. 3 et 4. — Chaudières du paquebot *Ortonia*.

20 et 23 dans les transatlantiques et même à 30 dans certains paquebots du Pas de Calais.

Emploi du pétrole. — L'on n'a pas fait de grands progrès dans cette voie ; le prix du navire à pétrole, avec ses soutes étanches, augmente facilement de 50 000 fr. pour un bateau de moyenne taille. Les avis sont encore partagés sur le meilleur système de bruleur ; le pulvérisateur mécanique exige une garniture en briques au foyer pour en maintenir la température ; le pulvérisateur à vapeur entraîne une perte d'eau de 100 à 150 litres pour une machine de 1 000 chevaux ; avec l'injecteur à air, il faut dépenser aux compresseurs autant de vapeur que pour le pulvérisateur à vapeur.

La vaporisation est de 12 à 15 kilogrammes par kilogramme de pétrole et même plus, ramenée à 100°. L'emploi du pétrole préalablement volatilisé par de la vapeur surchauffée dans une cornue paraît présenter de grands avantages, et donner une vaporisation encore plus grande. Dans la marine de guerre, on semble avoir difficile-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU III. — **Performances de navires construits en 1889-1893.**
(Données fournies par la *British and African Steam Navigation Company, Limited.*)

Nº DU VOYAGE.	PORTS ET DATES.	DURÉE DU TRAJET.	LONGUEURS DU TRAJET EN MILES.	NOMBRE DE TOURS.	TOURS PAR MINUTE.	VITESSE d'après l'hélice.	VITESSE réelle.	RECUL POUR CENT.	TIRANT MOYEN.	DÉPLACEMENT MOYEN.	POIDS MOYEN.	I. H. P. MOYENNE.	CHARBON PAR JOUR.	CHARBON PAR I. H. P.
		j. h. m.				nœuds.	nœuds.		mèt.	tonnes.	tonnes.		tonnes.	kil.
14	*Boma*, 1889. — Liverpool à Ténériffe, oct. 1893. . .	7 13 0	1660	608,430	56,0	9,67	9,16	5,3	5,20	4264	2486	950	16,55	0,73
29	Liverpool à Ténériffe, fév. 1898.	6 22 45	1660	602,760	60,2	10,39	9,95	4,2	5,64	4673	2895	1110	22,00	0,85
33	Liverpool à Ténériffe, mai 1899.	6 22 0	1660	599,210	60,1	10,37	10,00	3,5	6,00	5047	3269	1160	23,10	0,86
39	Liverpool à Madère, fév. 1901	6 9 0	1440	511,960	55,7	9.61	9,41	2,0	5,90	4897	3119	1100	22,60	0,86
9	*Loanda*, 1891. — Liverpool à Madère, sept. 1893. .	5 23 30	1440	536,010	62,2	10,20	10,03	1,6	5,10	4686	2726	870	15,75	0,77
10	Liverpool à Madère, déc. 1893.	6 6 17	1440	554,680	61,5	10,08	9,58	4,9	5,70	5352	3389	860	16,20	0,8
12	Liverpool à Grand Canary, juill. 1894	7 3 0	1660	611,950	59,6	9,78	9,70	0,8	5,43	4756	2793	780	16,70	0,9
36	Liverpool à Grand Canary, *via* Madère, juin 1900.	7 10 15	1700	660,350	61,7	10,11	9,53	5,73	5,26	4888	2925	860	17,55	0,86
2	*Batanga*, 1893.—Liverpool à Grand Canary, mars 1894.	6 20 0	1660	640,840	65,1	10,67	10,12	5,1	5,00	4679	2549	950	18,65	0,83
6	Liverpool à Grand Canary, *via* Ténériffe, mars 1895.	6 22 50	1700	643,670	64,3	10,54	10,18	3,4	5,10	4810	2680	950	19,00	0,85
11	Liverpool à Grand Canary, juin 1896.	6 14 30	1660	624,020	65,6	10,75	10,47	2,6	5,00	4653	2523	990	21,50	0,87
28	Liverpool à Grand Canary, *via* Madère, juill. 1900. .	7 1 30	1700	675,900	66,4	10,89	10,03	7,9	5,46	5180	3050	1050	21,70	0,86

TABLEAU IV. — **Performances de navires marchands avec machines compound, puis à triple expansion.**
(*Renseignements fournis par Cayzer, Irvine and Cº.*)

		LONGUEUR DE CHAQUE VOYAGE EN NŒUDS.	DIMENSIONS DU NAVIRE. Longueur.	Largeur.	Profondeur.	POIDS MORT.	DIAMÈTRES ET COURSE DES MACHINES.	PRESSION.	I. H. P. MOYENNE.	VITESSE MOYENNE.	DÉPENSE DE CHARBON. Tonnes par jour.	Kil. par I.H.P. heure.	NŒUDS PAR TONNE DE CHARBON.	TIRAGE.
			mèt.	mèt.	mèt.	tonnes.	millimètres.	kil.		nds.				
"A" 1878	Résultats de 6 steamers avec machines compound (moyenne de 7 voyages).	20 416	93	10,50	7,40	3000	$\frac{860 \quad 1,60}{1,07}$	5,6	700	8,2	16,5	1,0	12,0	Naturel.
"A"	Résultats des mêmes steamers avec mach. à triple expansion (7 voyages).	20 504	93	10,50	7,40	3000	$\frac{560 \quad 860 \quad 1,50}{1,07}$	11,2	1000	9,5	15,0	0,635	14,8	Howden forcé.
"B" 1880	Résultats de 6 steamers avec machines compound (10 voyages.	20 973	100	12,20	8,00	4200	$\frac{990 \quad 1,90}{1,22}$	6,0	1230	9,45	27,17	0,92	8,33	Naturel.
"B"	Résultats des mêmes steamers avec mach. à triple expansion (10 voyages).	20 478	100	12,20	8,00	4200	$\frac{620 \quad 1 \quad 1,70}{1,22}$	12,6	1650	10,4	24,25	0,630	10,2	Howden forcé.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ment obtenu, avec les chaudières à tubes d'eau, la même vaporisation au pétrole qu'au charbon; on a pu, dans un essai de trois heures, brûler jusqu'à 440 kilogrammes de charbon par mètre carré de grille et par heure, et l'on n'a pas pu atteindre l'équivalent avec le pétrole; en fait, la puissance maxima obtenue avec le pétrole par l'Amirauté, sur la chaudière à petits tubes du *Surley*, est la moitié environ de celle donnée par le charbon. Comme auxiliaire du charbon, le pétrole présente de grands avantages; mais, dans tous les cas, son emploi présente des risques spéciaux, comme l'a montré l'accident récent survenu sur un vaisseau allemand.

Grilles mécaniques. — Les grilles mécaniques, très répandues à terre, ne le sont que très peu à la mer, où il semble qu'elles ont un bel avenir, principalement avec les grandes grilles des chaudières à tubes d'eau pour la marine marchande, car il faut, pour y réaliser une combustion économique, distribuer le charbon en charges fréquentes et uniformes. Aux États-Unis, on a adopté, sur quelques navires des lacs, des grilles mécaniques à chaînes, qui ont dépensé $0^{kg},90$ et $0,^{kg}70$ par cheval, avec des feux de 165 et 123 kilogrammes de charbon par mètre carré de grille.

Vapeur surchauffée. — On a pu, à la pression de 19 kilogrammes, et avec une surchauffe de 32°, arriver à ne dépenser que 450 grammes de charbon par cheval; mais il faut craindre la multiplicalion des pièces du surchauffeur en des endroits inaccessibles, difficiles à inspecter, et qui ne le seront que si l'on donne une prime d'économie de charbon.

Économie théorique des hautes pressions. — Cette économie théorique est représentée par le diagramme (fig. 2), dont la courbe du bas donne les économies réalisables, par rapport à une pression initiale de 7 kilogrammes par centimètre carré, avec des pressions allant jusqu'à $22^{kg},5$ et des détentes allant jusqu'à 22; on voit que ce bénéfice augmente moins vite que la presssion.

L'avantage de la quadruple expansion pour des pressions inférieures à une vingtaine de kilogrammes est encore discutée, de sorte qu'elle ne s'est pas répandue aussi rapidement qu'on l'avait espéré; parmi les vapeurs enregistrés au Lloyd pendant ces neuf derniers mois, il n'y en a que 3 p. 100 à quadruple expansion, et ce fait ne saurait être attribué à la crainte de multiplier les mécanismes, car la pratique de doubler le cylindre de détente des triples expansions s'est très répandue, même avec des pressions de 14 kilogrammes.

Difficultés de hautes pressions : tuyaux et joints. — Les hautes pressions ont amené, tout d'abord, l'abandon de certains matériaux pour la tuyauterie des chaudières; les tubes en acier étiré sans soudure ou soudés sans recouvrement ont remplacé ceux en cuivre; pour les grandes valves et les coudes, on emploie souvent le bronze, mais on leur préférerait l'acier coulé si on pouvait donner à ses fontes la légèreté voulue; son emploi est retardé par la presque-impossibilité de fournir des pièces sûres en fonte d'acier mince. Dans la marine militaire, tous les tuyaux sont en acier, à partir d'un diamètre de 75 millimètres pour des pressions de 18 kilogrammes, et de 40 millimètres pour 21 kilogrammes; les tuyaux en acier sont, jusqu'à 150 millimètres de diamètre, en acier étiré avec brides en acier sans soudure vissées; au delà ils sont en acier soudé, avec couvre-joint sur la soudure et brides soigneusement rivées. On peut courber les tubes d'acier jusqu'au diamètre de 100 millimètres, et l'on espère pouvoir aller au delà de manière à diminuer le nombre des boîtes d'expansion. Les joints des tuyauteries ont aussi dû subir des modifications; les figures 5 à 7 en donnent quelques-unes. Dans le type du *Powerfull* (fig. 5) le joint est fait par un fil de cuivre de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

section triangulaire; ce joint, qui résiste parfaitement à l'essai hydraulique, ne tarde pas à se piquer par l'action galvanique et à fuir; en outre, les dilatations et contractions de la ligne de tuyauterie déplacent l'anneau de cuivre et le sortent de son logement. Pour éviter cet inconvénient, on essaya le joint fig. 6, mais sans éviter les

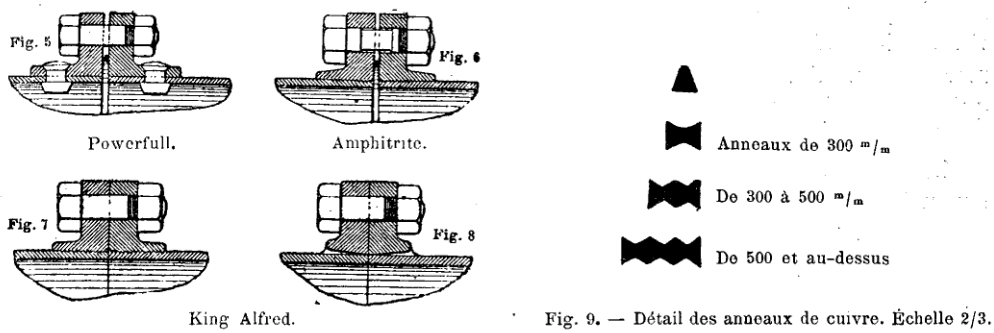


Fig. 9. — Détail des anneaux de cuivre. Échelle 2/3.

Fig. 5 à 9. — Types de joints à brides.

corrosions inséparables du contact du fer et du cuivre. Les joints fig. 7 et 8 sont l'un en acier sur tube d'acier, l'autre en cuivre avec brides en métal brasé, dressées à la main, avec joint sur peinture au minium; l'auteur pense qu'il serait plus simple et moins coûteux de faire ce joint avec brides non dressées sur carton mince d'amiante imbibé d'huile, matière qui, dans certains joints de tuyaux d'alimentation, a supporté des pressions allant jusqu'à 42 kilogrammes.

TABLEAU V. — **Cargos du Nord Atlantique.**

Dimensions.	Tirant.	Déplacement.	Coefficient de déplacement.	Poids mort.	Vitesse.	I.H.P.	Charbon par 100 tonnes.
mèt. mèt. mèt.	mèt.	tonnes.		tonnes.	nœuds.		kil.
120 × 14,0 × 8,9	7,47	8 640	0,69	5 000	13	3 475	3,63
126 × 14,5 × 9,5	7,80	10 240	0,696	6 000	13	3 725	3,22
135 × 16,0 × 10,0	8,00	11 870	0,702	7 000	13	3 970	2,95
140 × 16,3 × 10,4	8,23	13 500	0,71	8 000	13	4 225	2,75
145 × 17,0 × 10,8	8,50	15 400	0,715	9 000	13	4 475	2,60
150 × 17,7 × 11,0	8,70	16 750	0,72	10 000	13	4 725	2,45
160 × 18,7 × 11,5	9,14	19 850	0,728	12 000	13	5 200	2,20
165 × 19,9 × 12,0	9,35	21 470	0,732	13 000	13	5 430	2,10
167 × 19,6 × 12,4	9,55	23 070	0,736	14 000	13	5 675	2,18
174 × 20,4 × 13,0	9,86	26 150	0,742	16 000	13	6 130	2,00

TABLEAU VI. — **Tonnage des navires lancés en Angleterre de 1892 à 1900.**

Tonnage.	1892	1893	1894	1895	1896	1897	1898	1899	1900
2 000 à 2 999	104	75	100	88	89	73	79	57	47
3 000 à 3 999	67	63	90	75	83	74	141	129	119
4 000 à 4 999	23	18	25	30	23	23	28	39	56
5 000 à 5 999	8	5	14	9	35	15	23	27	26
6 000 à 6 999	5	6	4	6	6	5	13	15	17
7 000 à 7 999	»	1	2		4	8	13	9	12
8 000 à 8 999	»	»	»	4			2		2
9 000 à 9 999	»	»	»		2	2		4	4
10 000 à 10 999	»	»	»	»	»				
11 000 à 11 999	»	»	»	»	1	3	4	9	4
12 000 et plus.	»	»	»	1	»				4

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Disposition des cylindres. — On peut dire que, en tant qu'il s'agit de machines à grandes vitesses, la pratique a sanctionné (tableau VIII), d'une façon presque universelle, l'emploi des machines quatre manivelles commandées par quatre cylindres à triple ou quadruple expansion et disposés suivant le système Yarrow-Schlick-Tweedy; il y a dix ans, la plus grande puissance était de 20000 chevaux indiqués et la plus grande vitesse de 20,7 nœuds, actuellement on dépasse 36000 chevaux et 23,5 nœuds en marche courante, et ce résultat est dû à la compagnie allemande Vulcain, de Stettin, qui a construit les deux transatlantiques les plus rapides et est en train d'en construire deux autres plus rapides encore.

Il y a dix ans, on divisait très rarement le cylindre de basse pression des triples expansions, et le plus grand diamètre ne dépassait pas 3 mètres; on opéra cette

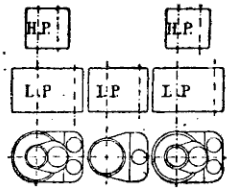


Fig. 10.
Campania (1893), 30 000 chev.

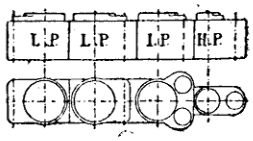


Fig. 11.
Kaiser Wilhelm der Grosse (1898), 28 000 chevaux.

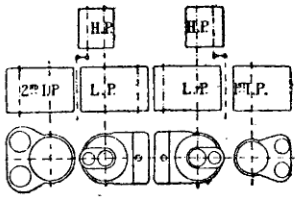


Fig. 12.
Deutschland (1900), 30 000 chev.

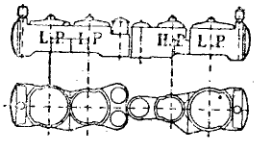


Fig. 13.
H. M. S. King Alfred (1901), 30 000 chevaux.

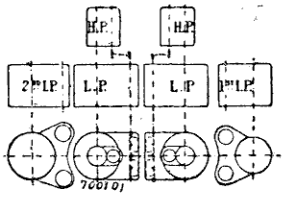


Fig. 14.
Kronprinz Friedrich (1901).

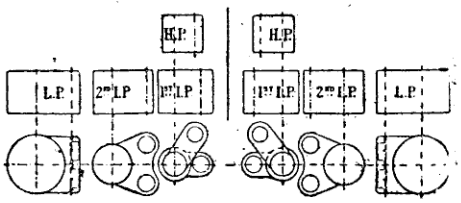


Fig. 15.
Kaiser Wilhelm II (1902).

duplication sur la *Campania*, où l'on obtint, avec deux cylindres de basse pression de $2^m,50$, une puissance supérieure de 50 p. 100 à celle de la machine à cylindre de 3 mètres. Le très grand avantage d'un bon équilibrage et de l'atténuation des vibrations n'a fait qu'encourager cette pratique du dédoublement du cylindre de basse pression, en triple et quadruple expansion, avec les cylindres en tandem disposés par paires de manière à s'équilibrer. Grâce à ce dédoublement, même dans des machines de 18000 chevaux, le diamètre des cylindres de basse pression ne dépasse pas $2^m,60$, au lieu de 3 mètres avec un cylindre unique, pour 10000 chevaux avec des pressions d'admission respectives de $15^{kg},40$ et $10^{kg},35$; il n'y a pas lieu de chercher à agrandir ces cylindres, mais on aurait peut-être avantage, avec des pressions encore plus élevées, à multiplier encore les expansions et les cylindres parce que toute augmentation du nombre des manivelles tend à diminuer les vibrations. Les diagrammes (fig. 10 à 15) montrent que l'on peut disposer les manivelles multiples et leurs contrepoids de manière à réduire les vibrations au point que, sur le *Deutschland*, par

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

exemple, les vibrations, mesurées aux extrémités de ce navire de 206 mètres de long, ne dépassent pas 5 millimètres.

Rapports des volumes des cylindres. — Les hautes pressions ont conduit à augmenter le rapport des volumes des cylindres de basse (LP) et de haute pression (HP). Il y a dix ans, avec des pressions de $11^{kg},5$ environ, ces rapports étaient, en moyenne, les suivants :

$$LP/HP = 6,77 \qquad IP/HP = 2,56 \qquad LP/IP = 2,64$$

actuellement, avec des pressions de $12^{kg},60$, ils sont de

$$LP/HP = 7,55 \qquad IP/HP = 2,74 \qquad LP/IP = 2,76.$$

Le rapport LP/HP ne s'écarte presque pas de la moyenne 7,55, tandis que les autres rapports varient considérablement. Sur les paquebots du Pas de Calais, à traversées rapides et courtes, on se rapproche de la pratique des contre-torpilleurs, où l'on recherche plutôt la réduction du poids des machines que leur économie; avec des pressions de $11^{kg},5$ à $12^{kg},6$, le rapport LP/HP tombe à 5,25 et 5,93. Dans les grands paquebots et cargos, où l'économie de combustible est très importante, l'on n'a pas, en général, augmenté la détente proportionnellement à la pression, car on n'y considère pas les très grandes détentes comme avantageuses au total. Sur les croiseurs à triple expansion, avec des pressions de 15 kilogrammes, le rapport LP/HP est passé, de 5 qu'il était aux pressions de 11 kilogrammes, à 5,66, puis il s'est élevé à 7,1 pour les pressions de $17^{kg},5$. Avec les quadruples expansions, ces rapports sont plus grands qu'avec les triples, et, en moyenne, de

$$LP/HP = 10,25 \qquad 2^{e}\ IP/HP = 4,40 \qquad 1^{re}\ IP/RP = 1,96$$

Il serait très désirable que l'on fît, sur cette question des rapports des cylindres, une série d'expériences comparatives, mais leur exécution présente les plus grandes difficultés; à leur défaut, la pratique et quelques essais isolés semblent indiquer que, en triple et quadruple expansion, l'on n'a pas intérêt à pousser très loin la détente, au point de vue de l'économie de charbon par cheval effectif, économie qui ne se confond pas toujours avec celle par cheval indiqué.

Enveloppes de vapeur. — Avec les hautes pressions, et surtout avec la vapeur surchauffée, l'utilité de ces enveloppes est discutable aux cylindres d'admission; dans bien des cas, on conserve l'enveloppe avec cylindre intérieur constitué par une virole séparée, qui assure un frottement très doux, plus doux que celui de la fonte même du cylindre, mais sans y envoyer de la vapeur; les essais des croiseurs *Argonaut* et *Hyacinthe* paraissent favorables à la suppression de l'enveloppe; elle est encore utile dans les machines lentes et à grande détente de la marine marchande, mais fort peu, et disparaîtra probablement avec les hautes pressions.

Équilibrage des tiroirs. — Les hautes pressions ont nécessité l'emploi d'anneaux ou cadres d'équilibrage aux tiroirs de basse et intermédiaire pression; les types représentés par les figures 16 à 18 sont ceux adoptés avant les chaudières à tubes d'eau, pour des pressions de 12 kilogrammes. En figure 16, l'anneau en bronze A est rendu étanche par deux garnitures d'amiante pressées par un second anneau à ressorts; en figure 17, la garniture d'amiante est remplacée par un segment métallique Ramsbottom; il en est de même en figure 18, avec un perfectionnement : la faculté de régler les ressorts de poussée du cadre par des boulons. Le dispositif fig. 19 était

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU VII. — **Nombre des grands navires des différentes nations en 1891 et 1901.**

TONNAGE.	ENSEMBLE.		GRANDE-BRETAGNE.		ALLEMAGNE.		FRANCE.		ÉTATS-UNIS.		RUSSIE.		ESPAGNE.		BELGIQUE.		ITALIE.		JAPON.		HOLLANDE.		AUTRICHE.	
	1891	1901	1891	1901	1891	1901	1891	1901	1891	1901	1891	1901	1891	1901	1891	1901	1891	1901	1891	1901	1891	1901	1891	1901
Au-dessus de 13 000. .	»	10	»	4	»	6	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
— — 12 000. .	»	8	»	5	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
— — 11 000. .	»	12	»	7	»	»	»	2	»	3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
— — 10 000. .	2	21	2	6	»	13	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
— — 9 000. .	2	10	2	8	»	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
— — 8 000. .	4	22	3	18	1	3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
— — 7 000. .	9	52	2	36	2	10	4	3	»	1	»	2	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»
— — 6 000. .	15	118	10	71	2	9	3	12	»	6	»	1	»	1	»	1	»	»	»	16	»	»	»	1
— — 5 000. .	59	252	37	153	12	59	3	3	1	16	»	9	3	4	2	3	1	»	»	1	»	1	»	3

TABLEAU VIII. — **Dimensions et poids de la machinerie des navires-types modernes.**

Nom du navire.	*Deutschland.*	*Kaiser Wilhelm der Grosse.*	*H. M. S. King Alfred.*	*Celtic.*	*Duke of Cornwall.*	*Juno* et *Doris.*	*Indrani.*
Constructeurs	Vulcan Co., of Stettin.	Vulcan Co., of Stettin.	Vickers, Sons, & Maxim, Limited Barrow.	Harland et Wolf, Belfast.	N. C. and A. C.	N. C, and A. Co.	N. C. and A. Co.
Propriétaires.	Hamburg-American.	North German Lloyd.	Amirauté anglaise.	White Star.	L. and N. W. Ry. Co.	Amirauté anglaise.	T. B. Royden and Co.
Date de livraison.	1900	1898	1901	1901	1898	1896	1894
Longueur totale	210m	197m	160m	212m	98m	113m	126m
Entre perpendiculaires.	208	190	152	207	95	107	121
Largeur	20,40	20,10	21,70	23	11,28	16,46	14,60
Profondeur.	13,40	13,10	12	14,70	5,35	10,40	9,80
Tonnage brut.	16 502 tonneaux.	14 349 tonneaux.	8 700 tonneaux.	20 880 tonneaux.	1 540 tonneaux.	3 773 tonneaux.	4 994 tonneaux.
Tirant	8m,84	8,54	7,90	10	4,65	6,25	7m,62
Déplacement.	23 620 tonneaux.	20 880 tonneaux.	14 200 tonneaux.	33 550 tonneaux.	2 830 tonneaux.	5 600 tonneaux.	10 930 tonneaux.
Type de machine.	6 cylindres, quadruple expansion, système Schlick.	4 cylindres, triple expansion système Schlick.	4 cylindres, triple expansion Yarrow, Schlick et Tweedy.	4 cylindres, quadruple expansion.	4 cylindres, triple expansion Yarrow, Schlick et Tweedy.	3 cylindres, triple expansion.	3 cylindres, triple expansion.
Nombre de manivelles.	4	4	4	4	4	3	3
Diamètre des cylindres de chaque machine.	925 925 2m,64 2,64 2,70 1,87	1m,32 2,28 2,45 2,45	2m,07 1,10 1,80 2,07	840 1m,20 1m,73 2,49	560 863 967 967	838 1m,25 1,88 990	686 1m,12 1m,83 1,22
Course.	1,85	1,75	1,22	1,60	838		
Vitesse du piston en mètres par seconde	»	4,43	4,80	»	4,40	4,55	3,20
Nombre et type des chaudières.	12 doubles et 4 simples.	12 doubles et 2 simples.	13 Belleville avec économiseurs.	8 doubles.	4 simples cylindriques.	8 simples cylindriques.	2 doubles cylindriques.
Nombre des foyers	112	104	43	48	16	24	8
Pression.	15k,4	12,6	Chaud. 21, mach. 17,5	15	13	11	13
Surface de chauffe totale. . . .	7 940m2	7 830	6 689	3 877	1 020	1 630	567
— de grille totale. . . .	195m	242	214	93	29,5	55,7	17,7
Tirage.	Howden.	Cendrier ouvert.	Naturel.	Forcé.	Cendrier fermé forcé.	Cendrier fermé forcé.	Naturel.
Puissance indiquée totale. . . .	35,000	30 000	30 000	13,000	5 520	9 830	2 120
Vitesse moyenne maxima. . . .	23,51 knots.	22,79 knots.	23 knots.	16,0 knots.	19,75 knots.	20 knots.	10,75 knots.
Encombrement superficiel des machines et chaudières par I. H. P	0m2,40	0,39	0,32	0,90	0,38	0,41	0,46
Poids total de la machinerie et de l'eau.	5 670 tonnes.	4 460 tonnes.	2 500 tonnes.	2 975 tonnes.	612 tonnes.	904 tonnes.	455 tonnes.
I. H. P. par tonne de machinerie.	6,35	6,71	12	4,37	9,02	10,88	4,66

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

destiné à une petite machine marchant à $15^{kg},5$; le type de Vickers (fig. 20), pour pressions de 21 kilogrammes, avec garniture métallique à coins, a donné pleine satisfaction; la tension des ressorts y est réglée par des boulons, comme en figure 18, mais avec addition d'un arrêt empêchant le tiroir de se soulever plus qu'il ne le faut pour céder aux coups d'eau; dans la variété de ce type représenté par la figure 21, cette levée est limitée par des taquets logés dans les boulons mêmes de serrage des ressorts.

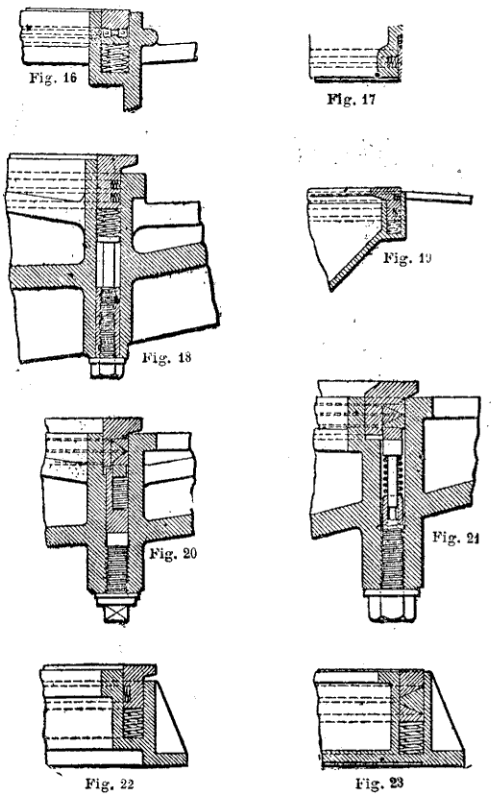


Fig. 16 à 23.
Anneaux d'équilibrage des tiroirs.

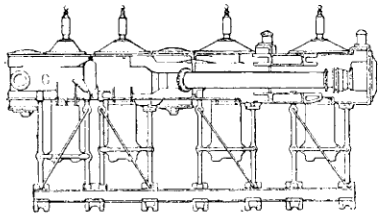


Fig. 24. — Machine de contre-torpilleur de 3 000 chevaux.

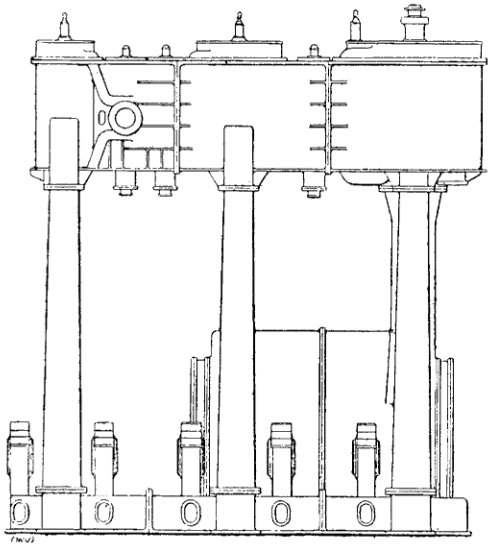


Fig. 25.
Machine de navire marchand de 30 000 chevaux à la même échelle que la fig. 24.

Les types fig. 22 et 23 sont adoptés par la marine marchande pour des pressions de 12 à 14 kilogrammes.

Vitesse du piston. — Cette vitesse s'est, comme nous l'avons dit, considérablement accrue; en voici la moyenne pour différents types de navires :

	Vitesse du piston par seconde.	Course.
Paquebots océaniques à grande vitesse.	$4^m,70$	$1^m,70$
Paquebots océaniques à vitesse moyenne	$3^m,75$	$1^m,40$
Cargos	$2^m,55$	$1^m,20$
Paquebots rapides du Pas de Calais	$4^m,45$	$0^m,85$

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ces grandes vitesses exigent un graissage plus soigné, principalement aux portées des manivelles et au bas des paliers principaux, dans lesquelles il faut ménager de larges saignées pour y assurer une libre circulation de l'huile, mais ces vitesses n'ont pas accru le nombre des accidents, faciles à éviter par une construction plus soignée et l'emploi de meilleurs matériaux.

Diamètre et résistance des arbres. — Les accidents aux bouts des arbres d'hélices sont fréquents, dus principalement aux corrosions; le tableau ci-dessous donne les dimensions proposées par différentes autorités pour les arbres d'une machine à triple expansion, à pression de 12 kilogrammes, et avec cylindres de 585, 965 et $1^{m},60 \times 1^{m},14$.

Efforts supportés par les pièces des machines dans les cargos et les contre-torpilleurs. — Les figures 24 et 25 font bien ressortir le contraste entre les machines de ces deux types extrêmes, dont le tableau ci-dessous donne les fatigues, doubles, en moyenne, dans la machine du torpilleur.

Fatigue en kilogrammes par millimètre carré.

	Cargo. 80 tours. 7 500 chevaux.	Contre-torpilleur. 390 tours. 6 000 chevaux.
Arbre	2,10	4,4
Tige de piston	1,7	3,7
Boulons des grosses têtes de bielles	3,6	6,0
Filetage de la tige de piston	2,9	6,4
Cylindre de haute pression	2,9	3,0
— intermédiaire	2,15	3,4
— de basse pression	1,8	1,6
Facteur de sûreté, boulons de bielles	12,0	7,575
— tige de piston	26,4	12,75
— filetage	13,2	7,35
Résistance minimum acier	$45^{k},0$	$48^{k},0$
— fonte	13,0	15,0

Types de machines de la pratique courante (fig. 26 à 38). — Les paquebots *Duke of Lancaster* et *Duke of Cornwall*, construits en 1894 et 1898, pour la Compagnie du London and North Western Ry, service de Fleetwood et Belfast, sont presque identiques, à deux hélices, avec machines construites de manière à pouvoir donner à l'occasion un fort coup de collier, faire le trajet en 5 heures et demie au lieu de 6 heures et demie pour rattraper la marée. Le premier de ces paquebots avait deux machines à triple expansion, avec cylindres de 610, 914 et $1^{m},40 \times 840$, pression $11^{kg},5$, vitesse 150 tours, puissance 5 400 chevaux; les machines du second, également à triple expansion, mais à quatre manivelles, avaient des cylindres de 560, 865, 970 et 970×840, puissance 5 700 chevaux, vitesse 160 tours, pression $12^{kg},60$; on remarquera l'augmentation corrélative de la pression de la vitesse et de la puissance.

On peut faire une comparaison analogue entre les machines des cargo *Volta* et *Sokoto*, construits, l'un en 1892 et l'autre tout récemment, pour le même service: le *Volta* a une seule machine à triple expansion, avec cylindres de 585, 965 et $1^{m},57 \times 1^{m},07$, pression $11^{kg},12$, puissance 1 400 chevaux à 70 tours, vitesse des pistons $1^{m},50$ par seconde; les machines du *Sokoto* (fig. 38) ont des cylindres de 585, 965, $1^{m},60 \times 1^{m},14$, puissance 1 800 chevaux à 85 tours, vitesse des pistons $3^{m},25$, pression

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

$12^{kg},60$. On y a en outre ajouté un réchauffeur d'alimentation et remplacé l'hélice en fonte par une hélice à moyeu en acier et ailes en bronze.

Le paquebot *Ortona*, construit en 1898 pour la *Pacific Steam Navigation C°*, peut être considéré comme un excellent type de paquebot moderne à très longues traversées, avec une cargaison payante bien plus profitable que celle des transatlantiques de luxe; ses machines ont (fig. 32 et 33) des cylindres de 760, $1^{m},26$ et $2^{m},11 \times 1^{m},37$, puissance 85 550 chevaux à 82 tours.

Les machines du *King Alfred* (fig. 34 à 38) peuvent être considérées comme repré-

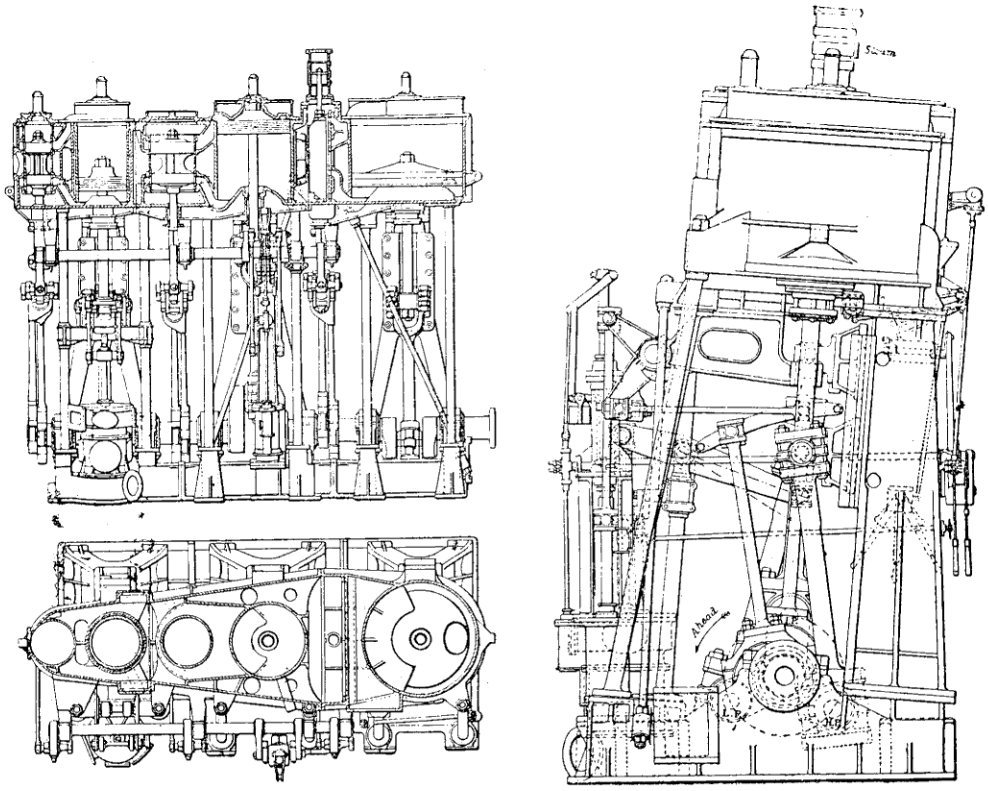


Fig. 26 à 28. — Machines du paquebot *Duke of Lancaster*.

sentatives de celles des navires de guerre modernes; leurs dimensions comparatives sont données aux tableaux VIII et IX.

Machines enfermées. — Les machines des contre-torpilleurs, qui marchent à de très grandes vitesses : 420 tours par minute, ont rendu presque nécessaire l'adoption de types fermés, avec graissage forcé, très avantageux, car l'espace laissé entre les deux machines ne dépasse pas, sur ces bâtiments, $1^{m},05$. La figure 39 représente une machine Yarrow, qui contraste avec le type ouvert correspondant (figures 40 et 41); ces machines fermées fonctionnent parfaitement bien sur des contre-torpilleurs à 30 nœuds, et peuvent inspirer autant de confiance que si elles étaient parfaitement visibles.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU IX. — **Encombrement de la Machinerie dans les navires de guerre et marchands modernes.**

TYPE DU NAVIRE.	NOMS.	TYPE DES CHAUDIÈRES.	PRESSION. chaudières. machines.	I. H. P. (*a*) en pleine marche tirage forcé. (*b*) en pleine marche tirage naturel. (*c*) marche normale.	ENCOMBREMENT HORIZONTAL. MACHINES longueur × largeur.	MACHINES mètres carrés par I. H. P.	CHAUDIÈRES longueur × largeur.	CHAUDIÈRES mètres carrés par I. H. P.	TOTAL des mètres carrés par I. H. P.
			kil.		mèt. mèt.		mèt. mèt.		
Cuirassé, 1895. . .	*Majestic.*	Cylindriques.	10,9 10,3	(*a*) 12,000 (*b*) 10,000 (*c*) 6,000	13,20 × 14	(*b*) 0,019	24,2 × 13,8	(*b*) 0,034	(*b*) 0,053
Cuirassé, 1900. . .	*Duncan.*	Belleville.	21 17,5	(*b*) 18,000	15,85 × 14,10	(*b*) 0,012	28,6 × 13,8	(*b*) 0,022	(*b*) 0,034
Croiseur, 1892 . .	*Crescent.*	Cylindriques.	10,9 10,3	(*a*) 12,000 (*b*) 10,000 (*c*) 6,000	12,20 × 14	(*b*) 0,017	28,5 × 11,28	(*b*) 0,032	(*b*) 0,049
Croiseur, 1909 . .	*Hogue.*	Belleville.	21 17,5	(*b*) 21,000 (*c*) 16,000	12,3 × 14,5	(*b*) 0,013	30 × 13,4 10 × 10,3	(*b*) 0,024	(*b*) 0,037
Croiseur, 1901 . .	*King Alfred.*	Belleville.	21 17,3	(*b*) 30,000 (*c*) 22,500	20,50 × 14,35	(*b*) 0,009	27,4 × 13,4 13,7 × 12,3 13,7 × 9,7	(*b*) 0,022	(*b*) 0,031
Croiseur, 1901 . .	*Monmouth class.*	Belleville et Niclausse.	21 17,3	(*b*) 22,000	18 × 12,3	(*b*) 0,01	27,4 × 11,9 13,7 × 10,4	(*b*) 0,020	(*b*) 0,030
Croiseur, 1896 . .	*Pelorus.*	Normand.	21 17,3	(*a*) 7,000 (*b*) 5,000 (*c*) 3,500	11,4 × 10,4	(*b*) 0,024	24,4 × 7,30	(*b*) 0,037	(*b*) 0,061
Contre-torpilleur, 1900	*Vixen.*	Vickers Express.	17,4 17	(*a*) 6,000	8,80 × 5,50	0,008	20,20 × 4,25	0,014	0,022
Paquebot du canal.	*Duk of Cornwall.*	Cylindriques.	10,5	(*a*) 5,517	8,23 × 10,30	(*a*) 0,015	12,20 × 10	(*a*) 0,022	(*a*) 0,035
Cargo	*Indrani.*	Cylindriques.	10,5	(*b*) 2,120	8,60 × 9,90	0,04	9,75 × 10,35	0,047	0,051
Transatlantique. .	*Kaiser Wilhelm der Grosse.*	Cylindriques.	12,5	(*b*) 28,000	21,90 × 16,8	0,013	22,3 × 16,5 22,3 × 16,5	(*b*) 0,026	(*b*) 0,039
Transatlantique. .	*Deutschland.*	Cylindriques.	15,4	(*a*) 35,000	26,5 × 17,07	0,013	24,4 × 16,7 24,4 × 16,5 18,9 × 6,40	0,027	0,040
Moyen	*Celtic.*	Cylindriques.	15	(*b*) 13,000	—	—	—	—	0,09
Transatlantique. .	*Campania.*	Cylindriques.	11,5	(*b*) 30,000	15,20 × 17	0,009	25 × 16,9 20,5 × 16,9	0,026	0,035

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Machines auxilières; garnitures de pistons. — A l'origine des hautes pressions, on perdait beaucoup par les fuites aux garnitures des pistons et des tiges, tant aux

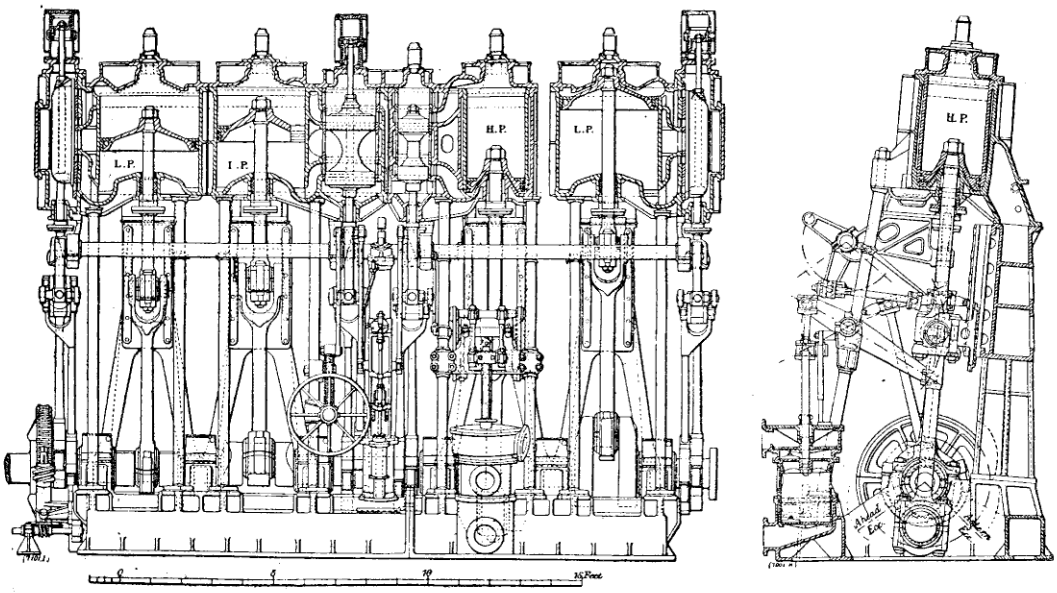


Fig. 29 et 30. — Machines du paquebot *Duke of Cornwall.*

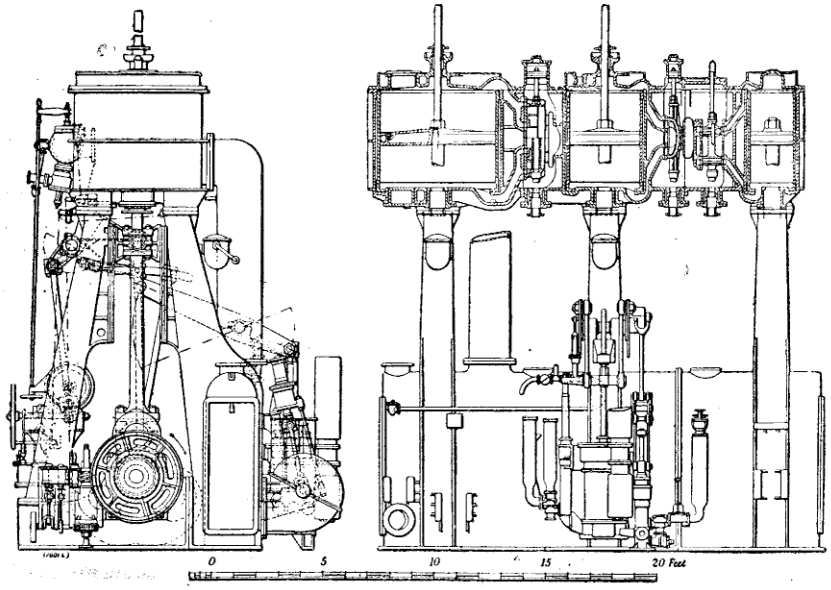


Fig. 31 et 32. — Machines des cargo *Bornu* et *Sokoto.*

machines principales qu'aux auxiliaires. On a essayé avec succès des garnitures de tiges en un mélange de métal antifriction en poudre, de graphite et de pétrole, serré entre deux bagues de vulcanite ou de métal, ce qui est préférable. Tout récemment,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

on a constaté que les garnitures métalliques sont inutiles pour les pistons et les tiges des cylindres de basse pression ; dans la marine de guerre, les garnitures non métalliques sont préférées pour les cylindres de basse pression.

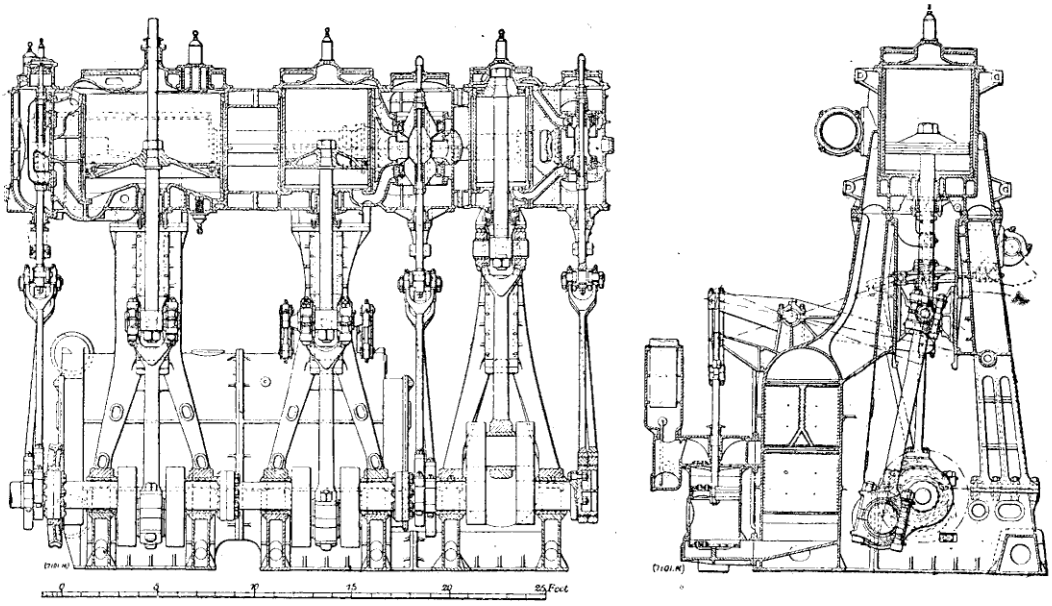


Fig. 33 et 34. — Machines du transpacifique *Ortona* à 2 hélices.

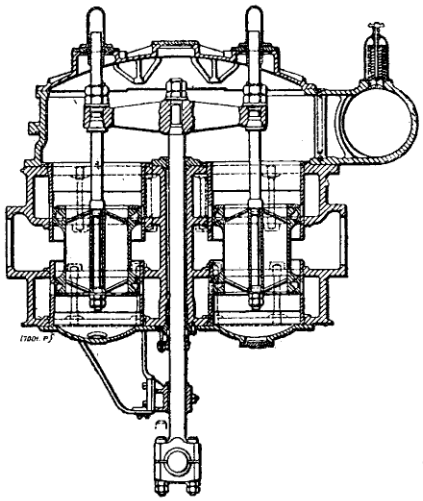


Fig. 35.

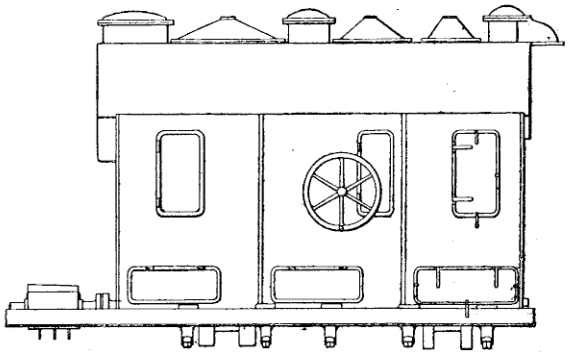


Fig. 35. — Coupe par le cylindre intermédiaire IP de la machine figure 36.

Fig. 39. — Machine enfermée de torpilleur Yarrow.

On pourrait diminuer la dépense de vapeur considérable des auxiliaires en compoundant la plupart de leurs machines ; mais le surcroît de poids qui en résulterait est, dans la marine de guerre du moins, une objection à cette mesure. On devrait remplacer par des tiroirs plats équilibrés les tiroirs-pistons des machines auxiliaires, la plupart sans garnitures, et qui ne tardent pas à fuir considérablement ; actuellement,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ces tiroirs-pistons sont garnis de segments analogues à ceux des pistons des machines principales.

Le système d'échappement fermé de Sir *John Duston* consiste à relier tous les échappements des machines auxiliaires aux vaporisateurs et aux boîtes des tiroirs de basse pression des machines principales par des valves spéciales, et à leurs conden-

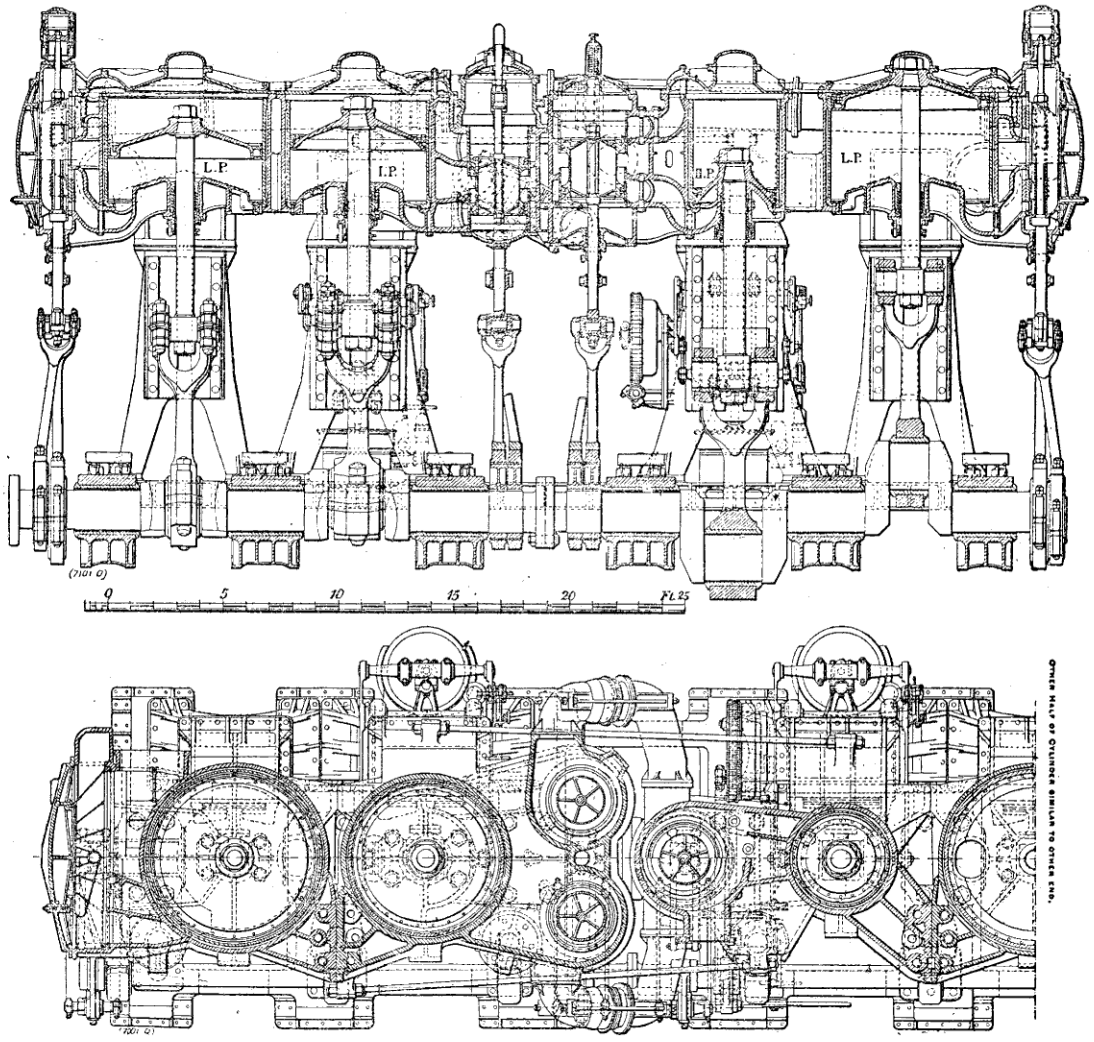


Fig. 36 et 37. — Machines du croiseur *King Alfred*.

seurs auxiliaires par des valves qui s'ouvrent dès que la pression dépasse 2 kilogrammes au-dessus de celle de l'atmosphère, de sorte que ces condenseurs ne reçoivent que la vapeur inutilisable par les vaporisateurs. Les connexions avec les boîtes des tiroirs de basse pression permettent, quand on les ouvre, d'y utiliser l'échappement des auxiliaires. Avec ce système, la contre-pression est augmentée aux machines auxiliaires; mais, comme elles sont presque toujours des compound à double détente

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

seulement, cette contre-pression leur laisse encore une marge suffisante et en régularise la marche; le grand avantage du système est de permettre l'utilisation de la chaleur latente de la vapeur d'échappement des machines auxiliaires au lieu de l'envoyer au condenseur.

On a proposé d'actionner une partie des machines par l'électricité, et ce serait

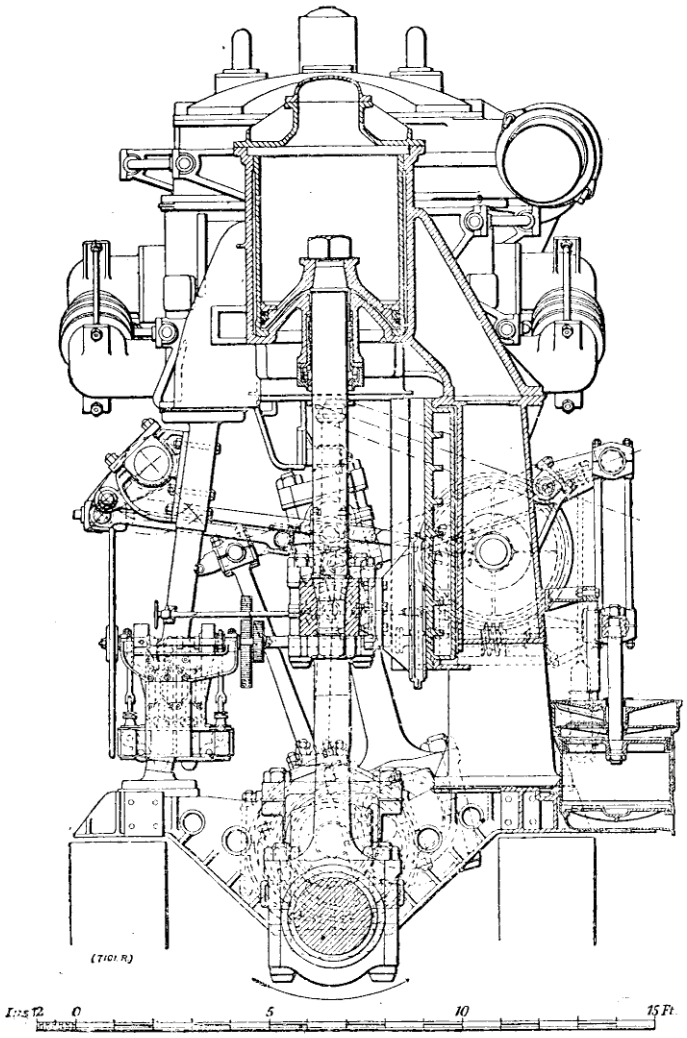


Fig. 38. — Machines du croiseur *King Alfred*.

avantageux comme emploi d'une partie de l'énergie d'un système considérable de distribution d'électricité engendrée d'une façon économique, principalement pour la commande des ventilateurs et autres appareils très éloignés des tuyauteries principales. Néanmoins, l'emploi général de l'électricité, principalement dans la marine américaine, ne s'est pas montré très favorable, en raison surtout de la difficulté avec laquelle les dynamos se prêtent aux coups de collier, comme dans le cas du levage

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'une ancre, où il faut développer très vivement un effort considérable; on ne doit pas, d'autre part, employer l'électricité pour les auxiliaires indispensables à la marche des machines principales, et pour lesquelles la question de la sûreté du fonctionnement prime celle de l'économie.

Pompes à action directe. — Le tableau XI donne quelques résultats d'essais avec des pompes à action directe et à manivelles; on y voit que la dépense de vapeur des pompes directes est très inférieure, en simple et en compound, et que leur rendement mécanique est supérieur d'environ 10 p. 100.

Le propulseur. — La question du propulseur n'a guère fait de progrès; on emploie de plus en plus deux hélices, en raison surtout de la sécurité que ce système procure en cas d'accident à l'une des hélices; on a aussi, sur un ou deux navires de faible tirant d'eau, adopté trois hélices, commandées chacune par une machine à triple

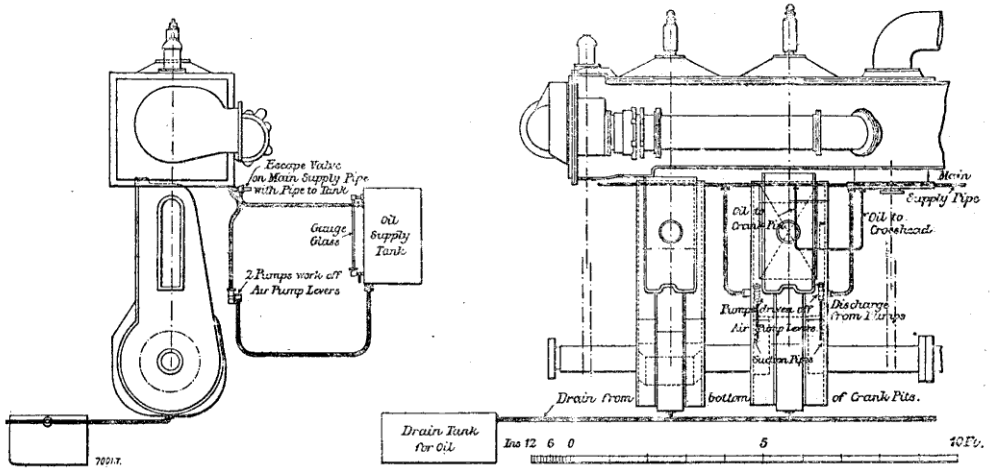


Fig. 40 et 41. — Machine de contre-torpilleur de 600 chevaux (détail du graissage).

expansion, ce qui présentait l'avantage de marcher avec l'hélice centrale seule en allure lente, les deux autres tournant folles; on obtient ainsi une marche en croisière économique; mais le système des trois hélices n'est peut-être pas économique en lui-même. On a, pour obtenir un résultat analogue, pourvu la machine du croiseur russe *Olga* d'un quatrième cylindre qui, en pleine marche, ne sert qu'à déplacer de la vapeur, avec son piston toujours en équilibre, tandis qu'en marche à petite vitesse, il sert de quatrième en détente; mais on ne possède encore aucune donnée expérimentale sur le fonctionnement de cette machine.

Vitesse des navires. — On a, pendant ces dix dernières années, réalisé, de ce chef, de très grands progrès, comme le montre le tableau X; le torpilleur à turbo-moteur *Viper* a atteint 37 nœuds; le grand transatlantique *Deutschland* fait 23ⁿ,51, et le *City of Dublin*, paquebot de 3 096 tonneaux pour la traversée du canal, 23ⁿ,62, avec une machine à triple expansion, quatre cylindres et une pression de 12 kilogrammes, fournie par quatre chaudières cylindriques doubles à vent forcé.

Comparaison des vitesses; poids et encombrement. — Ainsi que le montre le tableau VIII, dans la marine militaire, on dispose de moins de poids et d'espace pour les machines que dans la marine marchande; la puissance, par tonne de machinerie,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU X. — **Navires rapides des principales nations maritimes en 1890 et 1901.**

NAVIRES.	ENSEMBLE.		GRANDE-BRETAGNE.		ALLEMAGNE.		FRANCE.		ÉTATS-UNIS.		BELGIQUE.		RUSSIE.		HOLLANDE, AUTRICHE, ITALIE, JAPON ROUMANIE, CHILI, ESPAGNE, SUÈDE ET DANEMARK.	
	1891	1901	1891	1901	1891	1901	1891	1901	1891	1901	1891	1901	1891	1901	1891	1901
20 nœuds et au-dessus. .	8	58	8	32	»	5	»	7	»	4	»	6	»	1	»	3
19 et 19 1/2.	17	34	8	21	6	2	»	3	»	»	3	3	»	4	»	1
18 1/2.	6	8	5	5	1	3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
18.	13	39	12	33	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	1	4
17 1/2.	24	26	11	13	3	1	10	12	»	»	»	»	»	»	»	»
17.	18	64	13	42	4	1	1	5	»	5	»	3	»	»	»	8
16 1/2.	24	23	»	15	»	1	»	5	»	1	»	»	»	»	»	1
16.	9	70	17	41	2	7	1	3	1	10	»	»	»	»	3	9
15 1/2.	43	34	5	13	»	8	1	1	»	9	»	»	»	»	3	3
15.	41	121	38	78	»	4	3	8	»	16	1	1	»	2	1	12

TABLEAU XI. — **Dépense de vapeur des pompes directes et à manivelles.**

	SANS CONDENSATION.			SANS CONDENSATION.				
TYPES DES POMPES.	A MANIVELLES.			DIRECTES.			DIRECTES.	
Simples ou compound	Simples.	Compound.	Compound.	Simples.	Simples.	Double Compound.	Simples.	
	A	B	C	D	E	F	G	H
Durée de l'essai. . . . . min.	30	30	30	120	30	30	30	30
Pression de vapeur à la pompe. . . kil.	9,1	11,4	7	7,2	10,3	10	7,3	7
Tours par minute.	12,76	20,63	9,4	12,45	24,43	10,26	11,93	6,3
Déplacement par tour	25	25	25	13	95	105	54	54
Charge de l'eau. . . . . kil.	12,6	3,64	2,40	11,2	5,1	13,6	13,5	13,6
Kil. d'eau par kil. de vapeur	57,9	277	287,5	87,7	288	135,75	86,5	76,4
Vapeur par cheval indiqué.	30,5	21,7	33	24	17,2	14	22,5	24,7
Vapeur par cheval effectif	38	27	39	27,6	18	15	25	27
Rendement mécanique.	0,824	0,802	0,844	0,873	0,941	0,926	0,908	0,919

A, pompe Weir à deux cylindres à vapeur de 216 millimètres, et deux pompes de 165 × 305 de course. — B et C, pompe Weir à deux cylindres à vapeur de 127 × 246 de diamètre et 2 corps de pompe de 165 × 305. — D, pompe Weir alimentaire, cylindre à vapeur de 200 mm. de diamètre, pompe de 130 × 380 de course. — E, pompe Weir de ballast, cylindre de 254 mm. de diamètre, pompe de 315 × 610 de course. — F, pompe Weir, cylindre de 355 × 660 mm. de diamètre, pompe de 241 × 610 de course. — Essais G et H, avec la partie haute pression de la pompe F.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

est presque double et l'encombrement en plan réduit de 25 p. 100. Le rapport de la surface de chauffe à celle de la grille, qui est de 39 avec le tirage forcé Howden, tombe à 32 avec le tirage ordinaire, et à 31 avec les chaudières Belleville. Sur les paquebots transatlantiques d'il y a dix ans, la puissance par tonne de machinerie était de $6^{ch},75$ environ, à peu près la même qu'aujourd'hui, et l'encombrement superficiel de $0^{m2},5$ par cheval, un peu plus que de nos jours. D'autre part, sur le cargo moyen *Indrani* et sur le *Celtic*, la puissance par tonne est inférieure de 50 p. 100 et l'encombrement par cheval presque double. Si l'on compare le paquebot du canal *Duke of*

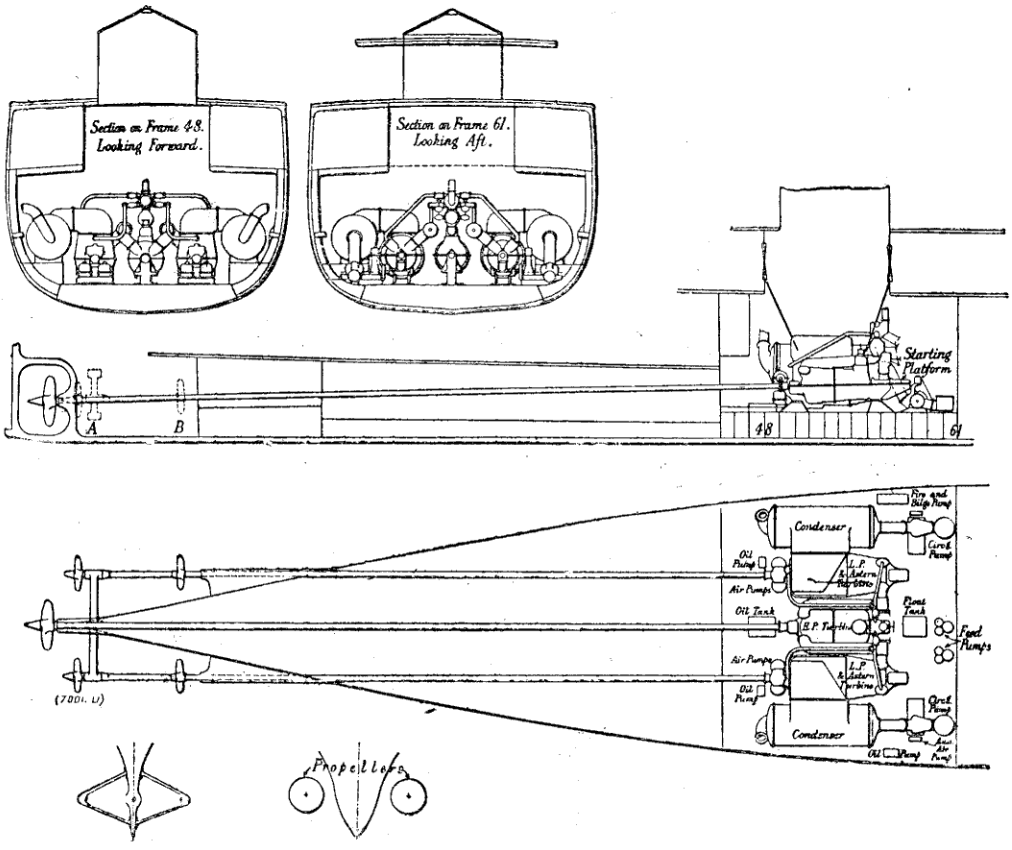


Fig. 42. — Disposition des turbines à vapeur. Projet pour un navire de 7 000 chevaux.

Cornwall et le croiseur de seconde classe *Doris*, tous deux à chaudières cylindriques et vent forcé, le croiseur, bien que marchant à une plus faible pression, a l'avantage d'une plus grande vitesse de piston, et développe $10^{ch},88$ par tonne, au lieu de 9 chevaux sur le paquebot.

Quant au poids des machines, en 1881, la moyenne, pour les navires marchands, était de $4^{ch},66$ par tonne; en 1891, elle était de $4^{ch},8$ pour les cargo, et aujourd'hui de $4^{ch},4$; pour les transatlantiques rapides, elle reste, depuis dix ans, à peu près constante et de $6^{ch},7$; dans la marine de guerre, elle est passée de 6 chevaux 1/4, en 1881, à 10 chevaux en 1891, et actuellement à 12 chevaux, tous au tirage naturel.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On voit, par le tableau IX, que le plancher de la salle de chauffe est, par cheval, et sur les transatlantiques, plus grand avec les chaudières cylindriques qu'avec les Belleville : $0^{m2},26$, au lieu de $0^{m2},22$, tandis que, sur les navires de guerre, les chaudières

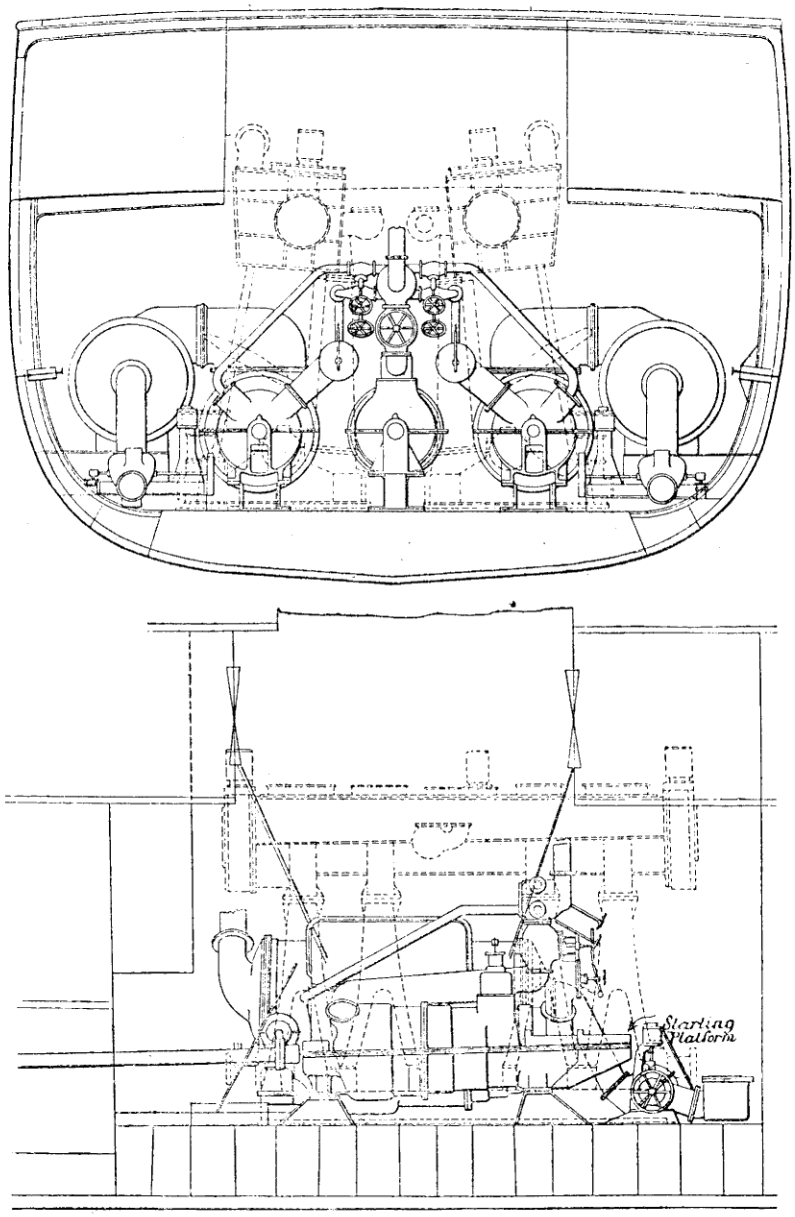


Fig. 43 et 44. — Comparaison entre les turbines et les machines ordinaires du projet fig. 42.

marines cylindriques exigent $0^{m2},325$; sur le *Pelorus*, à chaudières express à petits tubes, cet encombrement est de $0^{m2},36$. En ce qui concerne l'encombrement horizontal de la machine proprement dite, il varie beaucoup; il est plus grand sur les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

croiseurs que sur les navires marchands, où la hauteur, pratiquement illimitée, permet les cylindres verticaux en tandem, et il faut, sur ces derniers navires, mesurer très strictement l'espace aux machines, en raison de la très grande valeur du fret; on peut évaluer, en effet, à 5 000 francs par an le rapport de chaque mètre carré sauvé aux machines sur les quatre ponts.

Les turbines à vapeur. — La dépense de vapeur des turbines à vapeur employées pour l'électricité est, en moyenne, de 6 kilogrammes par cheval-heure, pour des puissances de 1 000 chevaux environ, et cette économie serait considérable sur un navire marchand allant presque toujours longtemps en pleine puissance; elle serait moindre pour les navires de guerre, à marche très variable; mais leur légèreté les rend très avantageuses en bien des cas, et il semble qu'elles ont un très bel avenir. La figure 42 donne le schéma d'une installation de turbines de 7 000 chevaux, avec trois turbines, dont deux à vapeur à basse pression, et celle du milieu à haute pression pour la marche avant, et qui tourne à vide quand les deux autres marchent en arrière; la commande de ces diverses turbines se fait facilement par des valves disposées de manière qu'elles ne puissent interférer; pour 7 000 chevaux, l'encombrement comparatif des turbines et des machines ordinaires est donné par le tableau ci-dessous :

	Machines ordinaires.	Turbines.
Poids, machines et cheminées.	270 tonnes	190 tonnes
Encombrement horizontal.	85^{m2}	85^{m2}
Volume.	400^{m3}	300^{m3}

Résumé et conclusions. — La pression aux chaudières est, dans ces dix dernières années, passé de 11 à 14 et 19 kilogrammes dans la marine marchande, et 21 kilogrammes dans la marine de guerre; la vitesse des pistons est passée de $2^{m},75$ à $3^{m},05$, et même $4^{m},50$ dans la marine marchande, $4^{m},80$ dans la marine de guerre, et même $6^{m},60$ sur les contre-torpilleurs. La puissance par tonne de machinerie est passée de 6 à 7 chevaux; la vitesse des navires marchands est passée de $20^{n},7$ à $23^{n},38$; pour les grands cuirassés, elle est passée de 22 à 23 nœuds. La dépense de charbon est tombée, pour les navires océaniques, de $0^{kg},8$ à $0^{kg},7$ par cheval-heure; il y a dix ans, il fallait dépenser $4^{kg},5$ pour transporter une tonne à 100 miles, et aujourd'hui $1^{kg},8$ seulement.

LES MACHINES A VAPEUR SURCHAUFFÉE, D'APRÈS M. *R. Lenke* (1).

L'économie due à la surchauffe est très considérable; mais, pour en retirer tout le profit, il faut la pousser jusqu'à des températures de 350 à 380°, ce qui exige des précautions spéciales, même avec le graissage à l'huile minérale. Ces températures très élevées accentuent considérablement les déformations des cylindres par l'inégalité de l'échauffement de leurs diverses parties, dont les épaisseurs sont inégales ainsi que les obstacles opposés à leur libre dilatation; les chemises rapportées se resserrent aux extrémités et coincent les pistons si l'on n'y a pas ménagé le jeu nécessaire; avec des enveloppes de vapeur à 260°, le graissage devient impossible, il faut renoncer à ces enveloppes. Les segments des pistons doivent être en fonte, jamais, ainsi que

(1) Mémoire lu à l'*International Congress of Engineering*. Glasgow.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

toutes les parties frottantes en contact avec la vapeur surchauffée, en acier coulé ni en bronze. Le cuivre perd 40 p. 100 de sa résistance à ces températures, on ne doit pas l'admettre pour les coudes des tuyauteries ; la meilleure matière, pour ces tuyauteries, est le fer ou l'acier en tuyaux le plus longs possible afin de réduire le nombre des brides ; de 0° à 380°, le fer se dilate des 0,0037 de sa longueur, et il faut assurer le libre jeu de cette dilatation.

Les garnitures des stuffing box supportent parfaitement la surchauffe, mais il faut les placer aussi loin que possible des parties chaudes du cylindre, leur réserver le jeu nécessaire pour la dilatation des tiges et n'y pas employer de métaux fondant à la température de la surchauffe.

Les distributeurs à nombreuses nervures, comme les tiroirs plats et les robinets Corliss ordinaires, ne supportent pas facilement la surchauffe au delà de 250° environ, même s'ils sont petits, et les grands tiroirs sont rebelles même aux faibles surchauffes, à moins de les graisser par une circulation forcée. Les tiroirs-pistons conviennent parfaitement en raison de la répartition uniforme de leur métal, mais ils exigent néanmoins certaines précautions ; les ailettes qui relient le pourtour de ces tiroirs au moyeu ne doivent pas, dans les tiroirs ajustés par rodage et sans garnitures, se prolonger jusqu'aux surfaces frottantes, qu'elles rendraient polygonales par leur dilatation ; et on doit roder ces tiroirs dans des manchons plus petits que ceux dans lesquels ils doivent travailler afin de tenir compte de la dilatation des tiroirs. Comme le cylindre du moteur se dilate plus ou moins que sa boîte à tiroirs, il faut munir cette boîte d'un manchon dans lequel travaille le tiroir, et disposé de manière à ne pas se déformer par ces dilatations inégales. Les joints entre ces manchons et leurs boîtes doivent, afin d'en assurer l'étanchéité, être étagés et à garnitures en minces anneaux d'amiante ; le manchon est pressé sur ces anneaux par des vis, et l'étanchéité est assurée par l'élasticité de l'amiante. Les longs tiroirs, rafraîchis ou non par la vapeur d'échappement, se grippent, il faut les faire le plus courts possible ; il ne faut pas y employer de segments, la vapeur passe derrière eux, augmente leur pression et les frottements ; comme on ne peut pas garantir l'étanchéité des tiroirs-pistons, il faut les faire du plus petit diamètre possible. La vapeur surchauffée peut passer dans les conduites 30 à 40 p. 100 fois plus vite que la vapeur saturée, et il faut en tenir compte dans l'établissement de la distribution. Les tiroirs-pistons glissant l'un dans l'autre, comme ceux des distributions Rider et Meyer, sont impraticables avec la surchauffe.

Les soupapes à double siège peuvent aussi se recommander, mais aussi avec certaines précautions ; il arrive souvent, quand on chauffe les machines pour leur mise en train, que les tiges des soupapes s'échauffent plus que leurs stuffing box, ce qui les y fait frotter au point que leurs ressorts ne peuvent pas les refermer, il convient que cette fermeture soit desmodromique.

Une machine construite en tenant compte des remarques qui précèdent marchera, même à double effet, avec une forte surchauffe, aussi régulièrement et sûrement qu'avec de la vapeur saturée.

La dépense de vapeur surchauffée par cheval-heure indiqué est, en outre, presque indépendante de la puissance de la machine : $4^{kg},60$, avec de la vapeur à $11^{kg},5$, pour une machine de 80 chevaux, et 4 kilogrammes pour une de 1 000 chevaux. Avec la vapeur très surchauffée, les très hautes pressions sont inutiles ; il n'est pas besoin de dépasser 11 à 12 kilogrammes ; l'influence des parois du cylindre est bien moindre

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

avec la vapeur surchauffée, de sorte que l'emploi des triple et quadruple expansions n'y amène aucune économie; mais, pour les grandes puissances, les machines à détentes multiples conservent néanmoins tous leurs avantages organiques. La raison de l'économie de la vapeur surchauffée est l'augmentation de son volume spécifique et la diminution de la condensation dans les cylindres.

Les bonnes machines monocylindriques et à condensation, dépensent, par cheval indiqué, $8^{kg},60$ à $11^{kg},30$ de vapeur saturée et à 6 et 7 kilogrammes, dépense qui s'abaisse à 6 et 7 kilogrammes avec la vapeur surchauffée, parce que l'on évite, avec cette vapeur, les condensations dues aux grandes différences de température entre l'admission et l'échappement; en calories par cheval indiqué, la dépense tombe ainsi de 100 et 125 calories à 75 et 85.

La dépense des machines à simple effet et sans condensation est, avec la vapeur surchauffée, de 7 à 8 kilogrammes par cheval indiqué, la même que pour une compound à condensation avec de la vapeur saturée; les compound sans condensation consomment de 6 à 7 kilogrammes de vapeur surchauffée; les compound à condensation ne dépensent guère que $4^{kg},50$ à la pression de 10 kilogrammes, et parfois moins : $3^{kg},80$. Pour améliorer le rendement en charges très variables, M. Schmidt a introduit un réchauffeur intermédiaire à soupape automatique de manière à maintenir la température des parois des cylindres assez basse pour assurer le graissage aux différents degrés de détente.

En ce qui concerne le prix des installations à vapeur surchauffée, comme elles dépensent de 30 à 40 p. 100 moins de vapeur que celles à vapeur saturée, on peut diminuer d'autant les chaudières, ce qui compense la dépense d'installation du surchauffeur. A dépense de vapeur égale, la machine à vapeur surchauffée est moins coûteuse que celle à vapeur saturée, plus simple, et marche à une pression moins élevée; ainsi une machine monocylindrique est aussi économique avec de la vapeur surchauffée que la compound avec la vapeur saturée; la dépense d'huile n'est pas augmentée.

Les quelques insuccès de surchauffeurs mal établis ne doivent pas décourager les mécaniciens; la vapeur surchauffée est toujours économique, et permet d'obtenir avec des machines très simples et petites la même économie qu'avec de grandes machines à distributions compliquées. L'emploi de la surchauffe est donc à recommander avec toutes les machines, mais le degré de surchauffe doit varier avec les circonstances et la nature de la machine, son choix doit être laissé à l'expérience et au jugement de l'ingénieur.

SUR LES PRINCIPES GÉNÉRAUX DES MÉCANISMES et ESQUISSE D'UNE THÉORIE GÉNÉRALE DES MÉCANISMES (1). Notes de *M. G. Kœnigs.*

Reuleaux a su échapper à la préoccupation de ses devanciers : d'instituer *a priori* une classification générale. Pour lui, si une telle classification est possible, elle ne saurait résulter que d'une étude préalable approfondie. C'est cette étude qu'il se propose, avec l'espoir d'arriver à dégager et à mettre en lumière des principes généraux qui se trouvent mis en œuvre dans tout mécanisme. Il entrevoit comme but suprême la constitution d'une doctrine déductive, car, dit-il expressément, *la théorie des machines doit être fondée sur la déduction.* Armé d'une telle méthode, on peut espérer devenir assez maître du sujet pour y obtenir, par la voie

(1) Comptes rendus de l'Académie des sciences, 19 août et 2 septembre, et *Bulletin* d'août 1901, p. 298.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

synthétique, des progrès, peut-être même des découvertes, dus jusqu'ici au hasard et à la merveilleuse divination de quelques hommes de génie; on aura réussi à *frayer la voie à l'invention*.

Le point de départ de Reuleaux est sa définition de la machine, définition dont il discute lui-même chaque terme :

Une machine, dit-il, est un assemblage de corps résistants, disposés de manière à obliger les forces mécaniques naturelles à agir en donnant lieu à des mouvements déterminés.

Nous nous arrêterons à ces termes : *mouvements déterminés*. Reuleaux, en effet, conçoit la machine comme *desmodromique*, c'est-à-dire à liaisons complètes.

Nous considérons, écrit-il, comme perturbateur tout mouvement qui diffère de celui que l'on s'est proposé d'obtenir, et nous cherchons à prévenir la production de tout mouvement de ce genre, en déterminant convenablement les corps dans lesquels doivent se développer les forces latentes (les forces de liaison), ce qui revient à donner aux corps que nous faisons entrer dans la composition de la machine une disposition, des formes et une résistance telles que chacun des corps mobiles ne puisse prendre qu'un mouvement *unique*, et précisément celui qui est nécessaire.

Il se trouve ainsi amené à opposer l'un à l'autre le système machinal, où tous les mouvements sont imposés d'avance par la constitution même de la machine, et le système cosmique, où les mouvements résultent, au contraire, de la nature des forces.

Ce premier point posé, Reuleaux observe que les corps de toute machine agissent les uns sur les autres par contacts directs. Le siège de ces contacts est le *couple d'éléments cinématiques*, lequel se compose d'un profil S pratiqué sur le corps A et d'un second profil S′ pratiqué sur le second corps A′; ce profil S′ est l'enveloppe du profil S dans le mouvement *déterminé* que doit prendre A par rapport à A′.

Un ensemble de corps unis ainsi les uns aux autres par des couples d'éléments constitue une *chaîne cinématique*. La chaîne est essentiellement *desmodromique*, c'est-à-dire que sa déformation ne dépend que d'un seul paramètre variable.

Une chaîne cinématique desmodromique (Reuleaux dit aussi *fermée*), dont on a fixé un membre, constitue un mécanisme.

En résumé, *le mécanisme est une chaîne cinématique fermée; il est composé de couples d'éléments; ces derniers portent en eux-mêmes les formes enveloppes des mouvements que les corps en contact doivent avoir les uns par rapport aux autres, de telle sorte que tous les mouvements autres que ceux qu'on désire réaliser se trouvent forcément exclus du mécanisme.*

Mais, en fait, il arrive souvent que les mécanismes, même les plus courants, ne sont pas à liaisons complètes; plus souvent encore, les couples d'éléments, même dans le cas d'une chaîne desmodromique, ne sont pas eux-mêmes desmodromiques. Reuleaux ne pouvait manquer de se heurter à cette difficulté. Pour la résoudre, il introduit la notion de *clôture*. Voici, du reste, comment s'exprime Reuleaux à ce sujet :

Dans l'étude des couples d'éléments, nous avons supposé jusqu'ici que l'appui réciproque des deux éléments cinématiques combinés pour former un couple avait lieu d'une manière complète, c'est-à-dire que chacun des deux corps, en raison de sa faculté de résistance, enveloppait l'autre, de manière à rendre le couple desmodromique par lui-même... Dans certaines circonstances, cependant, on peut se dispenser de satisfaire en toute rigueur à une semblable condition; c'est ce qu'on peut faire, par exemple, lorsqu'on a pris la précaution d'éliminer du couple les forces sensibles agissant suivant certaines directions.

Pour arriver à ce résultat, en supposant, par exemple, qu'une force P soit capable de provoquer un mouvement *perturbateur*, on applique préventivement une force directement opposée, mais d'intensité supérieure, égale à (P + Q). On aura ainsi réalisé la *clôture par force*. Reuleaux introduit aussi la *clôture par chaîne*, où il est fait appel à des procédés cinématiques au lieu des procédés dynamiques.

Dans tous les cas, pour Reuleaux, clore un couple non desmodromique, c'est suppléer à ce

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qui lui manque pour qu'il fonctionne *comme s'il était desmodromique*, en produisant, par conséquent, ce mouvement nécessaire qu'il doit prendre dans la chaine totale dont il fait partie. C'est en quelque sorte ce mouvement nécessaire qui définit le couple aux yeux de Reuleaux, plus encore que les profils physiquement réalisés.

Pour s'en rendre entièrement compte, examinons la théorie qu'il propose pour le plan incliné.

> On désigne ainsi une surface plane inclinée à l'horizon, sur laquelle tend à glisser un corps qui est en contact avec elle par une section plane et qui est soumis à l'action de la gravité... Ordinairement on omet de dire que le corps ne peut glisser que parallèlement à la direction du plan (lisez : parallèlement aux lignes de plus grande pente), c'est-à-dire qu'il doit être appuyé convenablement pour obtenir ce résultat et, en second lieu, qu'il doit être disposé de manière à ne pas pouvoir se séparer de ce plan. En d'autres termes, on suppose implicitement que le corps est accouplé avec la surface sur laquelle il repose, de manière à fournir un mouvement rectiligne; le couple considéré n'est donc pas autre chose, en définitive, qu'un couple de prismes (*glissière prismatique* ou *rectiligne*).

Rien n'est plus faux. En tant que mécanisme, le plan incliné est une réalisation du cas de deux corps en contact par une face plane. L'inclinaison sur l'horizon du plan de contact est une relation purement dynamique. Le mouvement suivant les lignes de plus grande pente est le fait des forces appliquées et des conditions initiales. Par la confusion qu'il établit, Reuleaux s'écarte de la distinction édictée par Ampère entre la Cinématique et la Dynamique, distinction à laquelle il souscrit du reste hautement dans d'autres parties de son Traité.

La raison de cette erreur, c'est, qu'après s'être affranchi du préjugé de la classification, Reuleaux eût dû aussi s'affranchir de cet autre, qui consiste à ne voir dans un mécanisme qu'un moyen de transformer ou de produire un mouvement. En réalité, un mécanisme ne réalise pas autre chose qu'un certain état de liaisons entre des corps résistants, et le mouvement qui est appelé ou non à s'y produire dépend des forces appliquées. La théorie des mécanismes, c'est l'étude des liaisons dans les machines.

Toute machine comporte un ensemble de corps matériels résistants, soumis à des liaisons réciproques, sur lesquels on amène les forces naturelles à agir en vue d'un effet voulu, cet effet pouvant consister en un état d'équilibre ou en un état de mouvement.

Il faut ainsi distinguer dans une machine deux éléments bien distincts. D'abord l'ensemble des corps qui la composent et le système des liaisons établies entre ces corps; c'est cela qui constitue le *mécanisme*. En second lieu, viennent les forces que l'on fait agir sur le mécanisme. La nature et la distribution de ces forces achèvent de définir la *machine*, en sorte qu'un même mécanisme donnera lieu à autant de machines qu'il existera de systèmes différents de forces, susceptibles de lui être appliqués.

Considérons dès lors un mécanisme, et appliquons-lui un certain système de forces; trois cas peuvent se présenter :

1° Les forces se feront équilibre sur le mécanisme considéré et nous aurons alors réalisé une *machine statique*.

2° Les forces produisent un certain mouvement de l'ensemble; nous aurons alors une *machine* fonctionnant à l'état *cinétique*. Il convient d'observer que le mouvement dépendra, non seulement de l'état constructif du mécanisme, *mais aussi* de la nature et de la distribution des forces; l'état initial pourra également être appelé à jouer un rôle, malgré que l'on s'arrange ordinairement pour que l'influence de cet état initial se trouve éliminée au bout d'un certain temps de marche.

3° Enfin, il pourra arriver que les forces appliquées aient pour effet de rompre l'état des liaisons existantes et de *dissocier* le mécanisme.

Cette dernière hypothèse est habituellement passée sous silence; elle a pourtant une importance considérable.

Observons en effet, d'une part, qu'il serait impossible de démonter un mécanisme et que

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

par conséquent, il eût été impossible d'effectuer l'opération inverse, à savoir, le montage, sans l'existence de certains déplacements *dissociatifs*, c'est-à-dire qui provoquent la rupture de l'état des liaisons. Les forces capables d'opérer ces déplacements dissociatifs seront directement utiles chaque fois que l'on voudra procéder au démontage, soit total, soit partiel. Or, en dehors des cas où le démontage est rendu nécessaire par des considérations accessoires telles que les réparations ou le nettoyage, il faut observer que, dans bien des cas, le démontage d'un mécanisme rentre dans son mode normal de fonctionnement : exemple, un verrouillage, une serrure, un déclenchement.

Dans les cas, au contraire, où la production du démontage doit être l'exception, il faudra s'attacher à éviter ces déplacements dissociatifs. Le champ des forces qu'il est possible d'appliquer à un mécanisme se trouve limité par cette nécessité.

Les cinématiciens ont été et sont encore en désaccord (*voir* Willis, Reuleaux, Laboulaye) sur le rôle que les forces peuvent bien être appelées à jouer dans la théorie des mécanismes considérés au point de vue purement cinématique.

Il semble au premier abord que, d'après la conception même de la cinématique selon Ampère, ce rôle doive être nul. Mais les remarques précédentes nous amènent naturellement à faire une réserve, en nous permettant, en même temps, de donner une mesure exacte du rôle des forces dans la théorie des mécanismes. *Il ne faut pas que les forces appliquées provoquent la dissociation du mécanisme.* On conçoit que la description d'un mécanisme se complète par l'examen de ces déplacements dissociatifs et par celui des forces susceptibles de provoquer ces déplacements.

Cette remarque si simple et parfaitement évidente, appliquée à propos, fournit la clef de diverses questions fondamentales et, en particulier, suggère la notion qu'il convient de substituer à la notion de *clôture par force* imaginée par Reuleaux.

Nous avons appelé *mécanisme* un ensemble de corps résistants, soumis à des liaisons réciproques. Nous supposerons d'abord, pour simplifier, que ces corps sont des solides rigides. Nous étendrons ensuite nos considérations au cas où il existerait des corps déformables, tels que membranes, cordes, fluides.

Les liaisons se trouvent réalisées par le contact direct de chaque corps du mécanisme avec certains autres. Nous appellerons *contigus* deux membres qui se touchent.

Soient A et B deux membres contigus. Un certain système S de profils géométriquement définis se trouve pratiqué sur le corps A; ces surfaces S sont le lieu géométrique des points par où le corps A touche ou est appelé à toucher le corps B. Ce système S sera appelé, suivant la locution de Reuleaux, un *élément cinématique*. Le corps B porte un système S′ analogue à S; S′ est le lieu des points par où B touche ou est appelé à toucher le corps A; S′ est l'*élément cinématique conjugué de* S. L'ensemble des éléments conjugués S et S′ constitue un *couple d'éléments cinématiques*.

Dans une prochaine communication, nous nous proposons d'examiner l'état des liaisons qui peuvent résulter, entre deux corps, de l'établissement, entre ces corps, d'un couple d'éléments cinématiques.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

LITTÉRATURE

DES

PÉRIODIQUES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE DE LA SOCIÉTÉ

Du 15 Août au 15 Septembre 1901

DÉSIGNATIONS ABRÉGÉES DES PUBLICATIONS CITÉES

Ag. . . . Journal de l'Agriculture.
Ac. . . . Annales de la Construction.
ACP. . . . Annales de Chimie et de Physique.
AM. . . . Annales des Mines.
AMa . . . American Machinist.
Ap. . . . Journal d'Agriculture pratique.
APC. . . . Annales des Ponts et Chaussées.
Bam. . . . Bulletin technologique des anciens élèves des écoles des arts et métiers.
BMA . . . Bull. du ministère de l'Agriculture.
CN. . . . Chimical News (London).
Cs. . . . . Journal of the Society of Chemical Industry (London).
CR. . . . Comptes rendus de l'Académie des Sciences.
DoL. . . . Bulletin of the Department of Labor, des États-Unis.
Dp. . . . Dingler's Polytechnisches Journal.
E. . . . . Engineering.
E'. . . . . The Engineer.
Eam. . . . Engineering and Mining Journal.
EE. . . . . Eclairage électrique.
Elé. . . . L'Électricien.
Ef. . . . . Économiste français.
EM. . . . Engineering Magazine.
Es. . . . . Engineers and Shipbuilders in Scotland (Proceedings).
Fi . . . . Journal of the Franklin Institute (Philadelphie).
Gc. . . . . Génie civil.
Gm. . . . Revue du Génie militaire.
IC. . . . . Ingénieurs civils de France (Bull.).
Ie. . . . . Industrie électrique.
Im . . . . Industrie minérale de St-Étienne.
IME. . . . Institution of Mechanical Engineers (Proceedings).
IoB. . . . Institution of Brewing (Journal).
La . . . . La Locomotion automobile.
Ln . . . . La Nature.
Ms. . . . . Moniteur scientifique.
MC. . . . Revue générale des matières colorantes.
N. . . . . Nature (anglais).
PC . . . . Journal de Pharmacie et de Chimie.
Pm. . . . Portefeuille économ. des machines.
RCp . . . Revue générale de chimie pure et appliquée.
Rgc. . . . Revue générale des chemins de fer et tramways.
Rgds. . . . Revue générale des sciences.
Ri . . . . Revue industrielle.
RM. . . . Revue de mécanique.
Rmc. . . . Revue maritime et coloniale.
Rs. . . . . Revue scientifique.
Rso. . . . Réforme sociale.
RSL. . . . RoyalSocietyLondon(Proceedings).
Rt. . . . . Revue technique.
Ru. . . . . Revue universelle des mines et de la métallurgie.
SA. . . . . Society of Arts (Journal of the).
SAF . . . Société des Agriculteurs de France (Bulletin).
ScP. . . . Société chimique de Paris (Bull.).
Sie. . . . . Société internationale des Électriciens (Bulletin).
SiM. . . . Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse.
SiN. . . . Société industrielle du Nord de la France (Bulletin).
SL. . . . . Bull. de statistique et de législation.
SNA. . . . Société nationale d'agriculture de France (Bulletin).
SuE. . . . Stahl und Eisen.
USR. . . . Consular Reports to the United States Government.
VDI. . . . Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure.
ZOI. . . . Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieure und Architekten-Vereins.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

AGRICULTURE

Beurre et margarine. Composition des. *Ap.* 12 *Sept.*, 330.

Bétail. (Pain pour le). *Ag.* 24 *Août*, 288.

— Race bovine gasconne. *Ap.* 5 *Sept.*, 308.

Blé et seigle. Culture au Parc des Princes. *Ap.* 5 *Sept.* 298; de Riéti, *Ag.* 7 *Sept.*, 384.

Chanvre. Culture dans l'Ouest. *Ap.* 29 *Août.* 5 *Sept.* 270, 306.

Constructions rurales. Fondation des. Ringelmann. *Ap.* 22, 29 *Août.* 241, 275.

Cidreries industrielles. Ap. 5 *Sept.*, 303. Clarification des cidres (Vincent). *RCp.* 8 *Sept.*, 454.

Faucheuse automobile à pétrole Deering. *Gc.* 3 *Août*, 281.

Fermes expérimentales au Canada. *Ap.*, 22 *Août*, 238.

Fraisier. Culture aux environs de Paris. *Ap.*, 22 *Août*, 246.

Friches. Avantages et inconvénients. *Ag.* 14 *Sept.*, 414.

Greffes. Éducation en Champagne. *Ag.* 14 *Sept.*, 419.

Irrigation de la vallée du Nil. E. 6 *Sept.*, 336.

Lait et industrie laitière en basse Normandie. *Rs.* 7 *Sept.* 300.

— Ferme laitière du Lauraguais. *Ap.* 12 *Sept.*, 332.

Maïs (le). *Ag.* 31 *Août*, 335.

Pommes de terre de Puisaux. *Ap.* 29 *Août*, 268.

— Maladie bactérienne (Delacroix). *CR.* 26 *Août.*, 417.

— (Gangrène de la). *Ap.* 5 *Sept.*, 302. *Ag.* 7 *Sept.*, 367. *Ap.*; 2 *Sept.*, 342, 347.

Prairies humides. Transformation des. *Ag.* 7 *Sept.*, 376.

Rizières. Aménagements aux États-Unis. *Ap.* 22 *Août*, 247.

Sauterelles. Invasion dans les Deux-Sèvres. *Ag.* 31 *Août*, 346.

Sécheresse de 1901 et les cultures intercalaires (Grandiais). *Ap.* 22 *Août*, 233.

Semoir en ligne nouveau. *Ag.* 24 *Août*, 299.

Silos à ventilation. *Ap.* 12 *Sept.*, 339.

Tomate (Culture de la). *Ag.* 14 *Sept.*, 412.

Vigne. Égrappage des vendanges. *Ag.* 17 *Août*, 239.

— Destruction de la cochylis et de l'eudémis. *Ag.* 31 *Août*, 342.

Vigne. Pépinières de vignes. *Ap.* 12 *Sept.* 337.

CHEMINS DE FER

Chemins de fer. Métropolitain de Vienne. *Rgc. Août*, 103.

— Militaire au Soudan. *E.* 13 *Sept.*, 385.

— Français en 1900. Statistique. *Rgc. Août*, 156.

— En Chine. *Rgc. Sept.*, 258-262.

— Australiens. *E.* 13 *Sept.*, 386.

Électriques (Les) (C. Wilson). *E.* 6 *Sept.*, 334.

— Ligne des Invalides à Versailles. *Rgc. Août*, 169. *Gc.* 14 *Sept.*, 313.

— Berthoud à Thoune. *Rgc. Sept.*, 181. De Boston. *Id.*, 267.

— Exposition de 1900. *EE.* 7 *Sept.*, 353.

— Box. Gryon Villars. *Gc.* 17 *Août*, 249.

— Locomotive à crémaillère de l'Ouest Lyonnais. *Gc.* 31 *Août*, 386.

— Voitures automotrices de l'Allgemeinen. *VDi.* 7, 14 *Sept.*, 1261, 1303.

Freins Schortt, Christensen. *RM. Août*, 223. Bruggmann. *Id.*, 226.

Locomotives à l'Exposition, *VDI.* 31 *Août.* 1225. 7, 14 *Sept.*, 1273, 1319. Anglaises *Rgc., Sept.*, 197.

— A grandes vitesses. *RM. Août*, 213.

— Théorie (Nadal). *Rgc. Sept.*, 211.

— Russes à l'Exposition de 1900. *Rgc. Août*, 145.

— Américaines en Angleterre. *E'.* 30 *Août*, 220; 6 *Sept.*, 237.

— Compound Chemins hongrois. *E'.* 13 *Sept.*, 265.

— à 6 roues couplées express. *E'.* 23 *Août*, 202.

— à 8 roues couplées, Caledonian. *Ry. E.* 30 *Août*, 275, du Great Northern. *E'.* 6 *Sept.*, 251.

— Articulée Hagans. *RM. Août*, 211.

— Alimentation en marche. *Dp.* 17 *Août*, 527.

— Influence des incrustations. *Rt.* 25 *Août*, 369.

— Distributions Marshall, Younghursband, *RM. Août*, 218,

— Pare-étincelles. *E'.* 6 *Sept.*, 255.

— Remplacement des tubes. *RM. Août*, 218.

— Surchauffeur Konig. *RM. Août*, 221

— Voie étroite (0m, 75). Delta, *Ry. E.* 6 *Sept.*, 321.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Rotonde pour locomotives du chemin de fer de l'Est. *E.* 13 *Sept.*, 354.

Signaux. Répétiteur Marin des signaux optiques sur la machine. *Ri.* 34, 31 *Août*, 334-342.

Wagons italiens à châssis tubulaires. *Rt.* 10 *Août*, 351.

— Attelages américains. *RM. Août*, 220.

— Éclairage à l'acétylène (Chaperon et Moreau). *RCp.* 8 *Sept.*, 470.

TRANSPORTS DIVERS

Automobiles. Essais de durée. *E'.* 13 *Sept.*, 277.

— *Au pétrole* (Les moteurs) (Lavergne). *Ri.* 14 *Sept.*, 364. Hertell. *RM. Août*, 227.

— *A vapeur* de 6 tonnes. *E.* 6 *Sept.*, 313.

— *Électriques*. (Moteurs pour) (Garnier). *Ie*, 10 *Août*, 342. Moteurs et combinateurs (Rosset). *Pm. Sept.*, 133. Electricia. *Rt.* 10 *Août* 343.

— Changement de marche Stearns. Iden. *RM. Août.*, 229.

— Fonctionnement des freins. (Petot). *CR.* 26 *Août* 410.

Tramways *électriques*. Exploitation à New-York. *Rgc. Août*, 176.

— de Cassel, au gaz pauvre. *Rt.* 10 *Sept.*, 389.

— Traction multiple. *E'.* 6 *Sept.* 256.

— Supports pour lignes aériennes à grande portée. *EE.* 31 *Août*, 330.

— Appareil de sûreté Schonberger, pour lignes aériennes. *EE.* 31 *Août.* 332.

— Appareils portatifs pour l'éclissage électrique des rails. *EE.* 31 *Août.* 333.

— à contacts Schuckert. *Elé.* 7 *Sept.*, 153.

— Chasse-corps (Blanc), *Gc.* 7 *Sept.*, 305.

— Joint (Falk). *Elé.* 14 *Sept.* 167.

Bicyclettes. (Roues libres de) (Bourlet). *Gc.* 7, 14 *Sept.*, 303, 318.

— à 2 chaînes. *Ln.* 14 *Sept.*, 251.

CHIMIE ET PHYSIQUE

Acétylène brut. Sa purification pour l'éclairage. *Ms. Sept.*, 569. Éclairage des trains. *Rcp.* 8 *Sept.*, 470.

Acoustique. Fonctionnement des petits tuyaux d'orgue fermés (Davis). *American Journal of Science, Sept.*, 185.

Acide sulfurique. Procédé Kessler. *Cs. Août*, 807.

Arsenic. (Industrie de l'). *E.* 16 *Août*, 223.

Brasserie. Divers. *Cs. Août*, 824.

— Examen des combustibles employés en malterie au point de vue de leur arsenic (Ling). *IoB, Mai*, 314.

— Micoderma Cerevisiæ (von Laer). *Id.*, 337.

Chaux et Ciments. Fabrication des mortiers chez les Romains. *Le Ciment, Août*, 117.

Conserves alimentaires. Divers. *Ms. Sept.*, 597-615. (Industrie des), en France. *Rgds.* 15, 30 *Août*, 700, 751.

Cœsium-tellure (fluorure de) (Wells et Willis). *American Journal of Science. Sept.*, 190 et Thorium (chlorures). *Id.*, 191.

Dissolvants (Pouvoir dissociant des) (Jones). *CN.* 13 *Sept.*, 136.

Distillerie (Emploi des mucédinées en) (Boullanger). *Rgds.* 15 *Août*, 690.

Eau oxygénée commerciale (analyse de l'). (Sisley). *Mc.* 1er *Sept.*, 209.

— Fabrication par l'acide oxalique (Nicolle). *Ms. Sept.*, 576.

Émaillage (l'). *E'.* 23 *Août*, 194; 6, 13 *Sept.*, 238, 264.

Équilibres chimiques (Recherches sur les). (Boudouard). *ACP. Sept.*, 5.

Essences et parfums. Écorce d'orange, de rose allemande. *Ms. Sept.*, 577, 581.

Explosifs (Rapport annuel sur les). *E'.* 23 *Août*, 195,

— Essai de la chaleur (Tullen). *Ms. Sept.*, 592.

Fermentation. Théorie géométrique (Pope). *SA.* 16, 23 *Août*, 701-713.

Gaz. Séparation centrifuge. Marra. *Ri.* 17, 3 *Août*, 323, 341; 14 *Sept.*, 368.

Gaz d'éclairage. Becs incandescents. Théorie. *Cs. Août*, 790.

Graisses diverses. *Cs. Août*, 816.

Laboratoire. Divers. *Cs. Août*, 837.

— Acidimétrie de l'acide phosphorique par l'eau de baryte (Cavalier). *ScP. Sept.*, 796.

— Calcium-strontium et barium, dosage en oxalates (Peters). *American Journal of Science. Sept.*, 216.

— Détermination des phosphates dans les eaux potables. *CN.* 16 *Août*, 78.

— de l'acide carbonique dans l'eau (*Id.*), 16, 30 *Août*, 80, 101.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Laboratoire. Pouvoir dissociant de différents dissolvants (Jones). *CN.* 30 *Août*, 106.
— Analyseur d'air (Woodman Richards). *Technology Quarterly. Juin*, 92.
— Essais d'or. *Cs. Août*, 839.
— Recherche des poisons minéraux (Denigès). *PC.* 15 *Sept.*, 241.

Industries chimiques en Allemagne. *E.* 16 *Août*, 221.

Nitrocelluloses (les) (Lunge et Bebie). *CN.* 16, 23, 30 *Août*, 76, 88, 100; 13 *Sept.*, 133.

Optique. Polissage des lentilles (Raleigh). *N.* 15 *Août*, 383.
— Constitution de la lumière blanche (Corbino). *CR.* 26 *Août*, 412.
— Télémètre Pouech. *Ln.* 17 *Août*, 186.
— Platoscope Berger. *Ln.* 24 *Août*, 203.

Papier. Divers. *Cs. Août*, 830.
— Les piles. *Dp.* 17, 24, 3 *Août*, 522, 541, 556; 7, 14 *Sept.*, 576, 589.
— A l'Exposition de 1900. *VDI.* 7 *Sept.*, 1280.

Poids moléculaires à la température de l'ébullition (de Forcrand). *CR.* 12 *Août*, 368.

Photographie. Jumelle Bellieni. *Ln.* 7 *Sept.*, 237.
— Divers. *Cs. Août*, 833.

Produits chimiques à l'Exposition de 1900 (Bernard). *Ms. Sept.*, 545.

Sucrerie. Industrie dans l'Inde. *E'.* 23, 30 *Août*, 189, 217.
— Divers. *Cs. Août*, 820, 842.
— Sucre en briques Dunierewski. *Cs. Août*, 823.
— *Sulfure de mercure.* Action de l'hydrogène (Pélabon). *ScP. Sept.*, 177.

Tannage. Divers. *Cs. Août*, 819.

Teinture. Divers. *Cs. Août*, 796. Théorie de la. *Id.*, 804.
— Progrès dans l'impression des tissus. (Noelting et Blum). *MC.* 1er *Sept.*, 215.
— Indigo. Fabrication, etc. *Cs. Août*, 802.

Tungstène et molybdène. Chaleur spécifique. (Defacqz et Guichard). *ACP. Sept.*, 139.

Verre. Divers. *Cs. Août*, 809.

Zéro absolu. Moyen de l'atteindre (Martin). *CN.* 16 *Août*, 73.

COMMERCE ET ÉCONOMIE POLITIQUE

Accidents du travail. Législation en Hollande et Suède. *Ef.* 24 *Août*, 263.

Accidents du travail. Assistance par le travail en France. *Ef.* 14 *Sept.*, 365.

Alcoolisme. (La femme et la lutte contre l') (Keclhoff). *Rso.* 16 *Sept.*, 409.

Bière. Production et consommation. *Ef.* 7 *Sept.*, 332.

Change. Dépréciation dans les pays à finances avariées. *Ef.* 24, 30 *Août*, 257-289.

Coopératives aux États-Unis (Kent). *DoL. Juillet*, 563.

Corporations et syndicats. Ef. 7 *Sept.*, 327.

Femmes belges, travail dans la grande et la petite industrie (Julin). *Rso.* 16 *Sept.*, 385.

France. Recensement en 1901. *Ef.* 24 *Août*, 262.
— Commerce extérieur au XIXe siècle (Bichon). *Rgds.* 30 *Août*, 759.

Industrie salicole dans l'Ouest. Crise actuelle. *Ef.*

Journée de 8 heures. Rso. 16 *Août*, 346.

Liberté religieuse. Son action féconde (Mgr Ireland). *Rso.* 6 *Sept.*, 440.

Marines marchandes. et navigation commerciale. *Ef.* 17 *Août*, 227.

Métaux. Consommation et prix dans les 10 dernières années. *Ef.* 17 *Août*, 229.

Œuvres sociales pour femmes et jeunes filles. 16 *Août. Ef.* 31 *Août*, 293.

Ouvroirs de Paris (Travail dans les). *Rso.* 4 *Sept.*, 278.
— Les maisons du Bon-Pasteur. *Id.*, 287.

Paris. Administration de la ville. Budget en 1902. *Ef.* 14 *Sept.*, 363.

Périodes prospères et leurs liquidations. Ef. 24 *Août*, 259.

Pensions de vieillesse. Loi belge de 1900. *Rs.* 17 *Août*, 207.

Retraites ouvrières. Projet de loi et consultation des intéressés. *Ef.* 14 *Sept.*, 361.

Settlements sociaux (Escard). *Rso.* 16 *Sept.*, 416.

Sociétés par actions en France. *Ef.* 17 *Août*, 225.

Successions. Lois et coutumes dans le Sud-Ouest de la France. *Rso.* 16 *Août.* 321.

Trades Unions (Congrès des). *E.* 10 *Sept.*, 367.

Trust en Allemagne. E'. 23 *Août*, 201.

CONSTRUCTION ET TRAVAUX PUBLICS

Ciment et béton armés. Pont de Porto-Rico. *Le Ciment. Août*, 113.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ciment. (Considération sur les ouvrages en) (*Id.*), 119.

Fermes de charpentes (Calcul des). (Haller). *Bam. Août*, 807.

Planchers divers. *Dp.* 14 *Septembre*, 581.

Ponts de Halle. *VDI.* 17 *Août*, 1161.

— Redheugh. *E'.* 30 *Août*, 223 ; 6 *Septembre*, 242.

— Passerelle de l'Exposition. *E.* 6 *Septembre*, 320.

— de Brooklyn (Accident). *Rt.* 10 *Sept.*, 385.

Tunnels des tramways de Boston. *E'.* 23 *Août*, 196.

— du Métropolitain de New-York. *Gc.* 24 *Août*, 273. De Paris. *Ac. Septembre*, 130.

— Entre l'Angleterre et l'Irlande. *E.* 7 *Septembre*, 335.

Voûtes (Résistance des). (Cosyn). *Ac. Septembre*, 143.

ÉLECTRICITÉ

Accumulateurs Edison. *Ri.* 31 *Août*, 349. Lugard, Wiegand, Mac-Rae, Bowker, Goldstein, Bary. *EE.* 14 *Septembre*, 392.

— Union. *Ie.* 10 *Septembre*, 401-404.

— Théorie. (Abel). *EE.* 14 *Septembre*, 406.

Champ électrique produit par des variations magnétiques (Crémieu). *AcP. Septembre*, 85.

Courants polyphasés (Distributions par). (Eborall). *SA.* 13, 20 *Septembre*, 749, 761.

Dynamos. Fabrication méthodique (Lasche). *E.* 16, 23, 30 *Août*, 205, 241, 277.

— Groupe électrogène à double courant Siemens et Halske. *EE.* 31 *Août*, 309. De 132 Kw. Sautter Harlé. *EE.* 7 *Septembre*, 349.

— Alternateurs de la Société alsacienne. *EE.* 17 *Août*, 250 de 122 Kw. Siemens et Halske. *EE.* 14 *Septembre*, 397.

— Commutatrice de 500 Kw. Siemens et Halske. *EE.* 31 *Août*, 318.

— Génératrices asyonchrones. *EE.* 17 *Août*, 255. Polyphasées Gasnier. *EE.* 6 *Septembre*, 381.

— Marche en parallèle dans les systèmes alternatifs (Meyer). *Ie.* 25 *Août*, 635.

Dynamos. Isochronateurs Breguet pour le couplage des dynamos compound en quantité. *EE.* 17 *Août*, 253.

— Commutatrices (Calcul des). (Meyer). *EE.* 14 *Septembre*, 316.

— Représentation stéréométrique des potentiels dans les circuits parcourus par les courants triphasés (Corbino). *EE.* 17 *Août*, 256. *Sie. Juillet*, 339.

— Essais des (règles des ingénieurs allemands). *Élé.* 17 *Août*, 105.

— Moteurs asynchrones Alioth à courants triphasés. *EE.* 31 *Août*, 322. Heyland avec facteur de puissance égale à l'unité. *Ie.* 10 *Septembre*, 389. Théorie graphique (Verhoeckx). *EE.* 14 *Septembre*, 399.

Éclairage (Progrès d'). Janet. *Rs.* 31 *Août*, 257.

— *Arc.* Lampe Bremer. Essais. *Sie. Juillet*, 360.

— — (Mécanisme de l') (Ayrton et Perry). *RSL.* 12 *Septembre*, 410

— *Incandescence* Nerst. *Su.* 24 *Août*, 195.

Électro-chimie. Divers. *Cs. Août*, 815.

— Les fours électriques (G. Richard). *EE.* 17 *Août*, 229.

— Situation en Allemagne. *Élé.* 7 *Septembre*, 145. En Europe. *Ri.* 14 *Septembre*, 367.

— Nickelage au tonneau. *Éle.* 17 *Août*, 101.

— Préparation des membranes osmotiques par l'électrolyse (Morse et Horn). *CN.* 30 *Août*, 106.

Interrupteur rapide pour bobines d'induction. Contremoulins et Gaiffe. *Ie.* 10 *Septembre*, 397.

Mesures (Appareils de) (Armagnat). *EE.* 24 *Août*. 14 *Septembre*, 269, 389.

— Compteurs Blathe-Japy. *Ie.* 10 *Août*, 347. Frank Holden. *Élé.* 7 *Septembre*, 148. A paiement préalable. *Élé.* 14 *Septembre*, 165.

— Mesure des courants alternatifs et polyphasés (Addenbrooke). *EE.* 24 *Août*, 283. Des ondes de courants alternatifs (Laws). *Technology Quarterly. Juin*, 105.

— Ampèremètre périodique Atkinson. *Élé.* 31 *Août*, 136.

— Wattmètre thermique Bauch pour cou-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rants continus et alternatifs. *Ie.* 10 *Septembre*, 391.

Orgue électrique Védovelli. *Élé.* 17 *Août*, 97.

Stations centrales. Barrage de Poses. *Gc.* 24 *Août*, 265.

— Sur la Tyne. *E'.* 13 *Septembre*, 378.

Télégraphie sans fil. Perfectionnements. *EE.* 17 *Août*, 262. Télégraphe Rowland. *EE.* 31 *Août*, 335. Marconi et Wireless C°. *EE.* 7 *Septembre*, 383.

— Rôle des antennes (Turpain). *EE.* 17 *Août*, 256. Étude des cohéreurs (Guthe). *EE.* 17 *Août*, 261.

— Tétotographie Ritchie. *Elé.* 24 *Août*, 113.

Téléphonie. Arc électrique employé comme récepteur. *SiE. Juillet*, 371.

— Poste multiple Dardeau. *EE.* 24 *Août*, 281. Tableau sans cordons pour petits postes (Mix et Genest). *Élé.* 31 *Août*, 129.

— Constantes acoustiques et optiques du téléphone (Wien). *EE.* 24 *Août*, 292.

— A grande distance. Pupin Thomson et Reed. *EE.* 31 *Août*, 325; 7 *Septembre*, 374.

— Transmetteur de l'administration des postes. *Élé.* 14 *Septembre*, 161.

Transformateurs à courants alternatifs. Facteur de résistance. *Ie.* 25 *Août*, 369.

— rotatifs Sauter-Harlé. *EE.* 17 *Août*, 253.

— Électrolytique Pollak. *Sie. Juillet*, 323.

HYDRAULIQUE

Bornes-fontaines à débit limité. *Gc.* 17 *Août*, 260.

Distributions d'eau des villages. *E'.* 23 *Août*, 192.

— de Merthyr Tydwill. *E'.* 6 *Sept.*, 239.

Multiplicateurs de pression. AMa. 7 *Sept.*, 939.

Pompes des égouts de Barking. *E'.* 16 *Août*, 171.

— Oddie, May, Siemens. *RM. Août*, 231.

— Belier Dorming. *RM. Août*, 234.

Turbines centripètes Hemmer. *E'.* 16 *Août*, 163.

— Escher-Wyss. *VDI.* 24 *Août*, 1189.

— du Niagara. *Id.* 31 *Août*, 1239.

— Régulateur Ganz. *EE.* 24 *Août*, 278. Goodwin. *RM. Août*, 234.

MARINE, NAVIGATION

Canal Dortmund-Ems. E. 6, 13 *Sept.*, 338, 377.

Cargo Doxford. *VDI.* 14 *Sept.*, 1313.

Constructions navales. Ateliers de la Clydebank C°. *E.* 23, 30 *Août*, 243, 275.

— Déplacements et dimensions des navires. (Normand.) *E.* 6 *Sept.*, 343.

Docks de Barrow. (Stillmann.) *E.* 30 *Août*, 285.

Hélices (Recul des). *E'.* 30 *Août*, 225.

— Parsons. *RM. Août*, 253.

Machines marines Simpson-Strickland. *E.* 16 *Août*, 212.

— Duncan. *E'.* 13 *Sept.*, 263.

— Progrès dans les dix dernières années. (Mac Kechnie.) *E'.* 23 *Août*, 206.

— (Fabrication des). (Thomson.) *E.* 13 *Sept.*, 379.

Marines de guerre. Contre-torpilleurs (Les). *E'.* 16 *Août*, 176.

— allemande. *Rmc. Août*, 1752.

— anglaise. (L'Ingéniorat.) *E'.* 6 *Sept.*, 237. *Rmc. Août*, 1745.

— États-Unis. Transport « Summer ». *E.* 16 *Août*, 214.

— Blindages, plaques Brown. Essais. *E.* 23 *Août*, 204.

Marines marchandes. États-Unis. *Rmc. Août*, 1770.

— Angleterre. *Rmc. Août*, 1789.

Paquebot. Kronprinz Wilhelm. *E.* 13 *Sept.*, 370.

Pas de Calais. Histoire de sa navigation. *E'.* 6 *Sept.*, 240.

Propulsion hydraulique. Théorie et pratique. (Marchand Bey.) *RM. Août*, 163.

Régularisations du Nil. *E.* 6 *Sept.*, 329.

— du Mississipi. (Ockerson.) *E.* 13 *Sept.*, 381.

— Estuaire de la Clyde. (Stevenson.) *E.* 13 *Sept.*, 382.

MÉCANIQUE GÉNÉRALE

Aérostation. Le Santos Dumont. *Ln.* 17 *Août*, 185. (Espitalier.) *Rs.* 14 *Sept.*, 333.

— Emploi de l'électricité. (Hospitalier.) *Ie.* 10 *Août*, 341.

Air comprimé. Vanne de la Compagnie des omnibus. *RM. Août*, 259.

Balance automatique Clarke. *AMa.* 24 *Août*, 893.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Changement de marche Seeley. *RM. Août*, 258.
— Dehaitre. *Ri.* 14 *Sept.*, 365.
Chaudières.
— *à tubes d'eau.* Thornycroft. *E.* 16 *Août*, 213.
— — Robinson, Shultz, Solomiac, Yarrow, Musher. *RM. Août*, 200.
— — Wigzell. *E.* 6 *Sept.*, 316.
— — Lagosse. *Rt.* 25 *Août*, 363. *Pm. Sept.*, 143.
— — Essais du *Minerva* et du *Hyacinth.* *E.* 30 *Août*, 283, 291. *E'.* 30 *Août*, 225 ; 6 *Sept.*, 249.
— Alimentateur Lindemann. *RM. Août*, 203.
— — pompes Lamond. *E.* 6 *Sept.*, 317.
— Gazogènes Duff. *E'.* 16 *Août*, 165. Faugé. *Gc.* 14 *Sept.* 323.
— Grilles mécaniques diverses. *Dp.* 31 *Août*, 549; 7, 14 *Sept.*, 373, 386.
— — Vicar. *RM. Août*, 204.
— *Foyers* à paille Conner. *RM. Août*, 206.
— — ondulé Brown et Nodder. *Id.*, 206.
— — à vent forcé Brown et Wallace. *Id.*, 207.
— — Meldrum. *E'.* 13 *Sept.*, 272.
— — à pétrole Clarkson. *Id.*, 206.
— — Porte Durr. *Id.*, 205.
— — Chargeuse-peseuse Ingray. *E.* 6 *Sept.*, 324.
— Niveau d'eau Todd. *RM. Août*, 207.
— Surchauffeur Davey Paxmann. *RM. Août*, 209.
Compteur de vapeur Gehre. *Gc.* 31 *Août*, 288.
Courroie différentielle Scholtz. *Ri.* 14 *Sept.*, 365.
Freins hydrauliques. Théorie. (Vallier.) *RM. Août*, 152.
Froid. Liquéfaction de l'air. (Pictet.) *E.* 10 *Sept.*, 368.
Imprimerie. Presse Hoe. *E.* 23 *Août*, 256.
Indicateur de vitesse Carlier. Gc. 31 *Août*, 293.
Levage (Appareils de) à l'Exposition. *VDI.* 24 *Août*, 1197.
— Manutention des minerais aux États-Unis. *SuE.* 15 *Sept.*, 953.
— Transporteur Mackrow et Cameron. *RM. Août*, 236.
— Porte-blocs Fidler. *Ri.* 7 *Sept.*, 355.
Machines-outils. Ateliers, méthodes (Weir et Richmond). *E.* 13 *Sept.*, 377.
— Premium system (Rowan). *Id.* 383.
Machines-outils. Affûteuse Panhard-Levassor. *RM. Août*, 238.
— Forge à l'étampe (Horner). *E.* 6 *Sept.*, 305.
— Fraiseuses Dubosc. *RM. Août*, 239. Bouhey. *Pm. Sept.*, 130.
— Laminoir à tubes Stiefel. *RM. Août*, 250
— Machine à tailler les pignons Fellows. *RM. Août*, 193.
— Limeuse à levier Jacquot et Taverdon, *Ri.* 14 *Sept.*, 362.
— Riveuses à air comprimé Allen, Carlisle. *RM. Août*, 248.
— Marteau Cochrane. *E'.* 16 *Août*, 172.
— — Yeakley. *Ri.* 14 *Sept.*, 361.
— — pneumatiques Ross. *E.* 23 *Août*, 249.
— Meule universelle Bath. *AMa.* 24 *Août*, 898.
— — Roper. 242.
— Tours Springfield. *AMa.* 31 *Août*, 916.
— — Brophy. *RM. Août* 249.
— — à arbres coudés Schiess. *AMa.* 14 *Sept.*, 961.
— — vertic-al Hetherington. *E.* 13 *Sept.*, 374.
— Polisseuse Nash. *RM. Août*, 247.
— Perceuses, portatives (Capitaine). *VDI.* 24 *Août*, 1203.
— — électriques Lorenz. *E'.* 13 *Sept.*, 279.
— — Helme et Wickham pour chaudières. *RM. Août*, 243.
— — radiale Mill. *RM. Août*, 245.
— *Machines à bois* à l'exposition de Glasgow. *E.* 30 *Août*, 283.
— — ébarbeur pour pavés en bois. *Gc.* 24 *Août*, 276.
Métrologie. Mesure en longueur d'onde de quelques étalons à bout (Perot et Fabry). *ACP. Sept.*, 119.
Moteurs à vapeur. Théorie (Hermann). *Dp.* 17, 24 *Août*, 517, 536.
— à détentes multiples (Lelong). *AM. Mai*, 455.
— à vapeurs combinées. *Gc.* 13 *Sept.* 321.
— Expériences sur une machine Weyer et Richmond (Hirsch). *RM. Août*, 133.
— Corliss Cochrane. *E'.* 16 *Août*, 170.
— 100 chevaux Beer. *Ri.* 7 *Sept.*, 354.
— Verticale, triple expansion Macther et Platt. *E'.* 30 *Août*, 216.
— (Essais de) Règles de l'*American Society* of *Mechanical Engineers. RM. Août*, 178.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Moteurs à vapeur. Distributions Davey-Paxmann, Weighton et Barns. *RM. Août*, 264. Kienast. *VDI.* 7 *Sept.*, 1295.
— Régulateur Mac Laren. *RM. Août*, 262.
— Stuffing Box Ward. *RM. Août*, 263.
— surchauffe (avantage de la) (Lenke). *E.* 6 *Sept.*, 342; *E'.* 13 *Sept.*, 275.
— *Turbines* Parsons. Essais. *E.* 6 *Sept.*, 339.
— **à Gaz** à l'Exposition (Lavergne). *Gc.* 17, 31 *Août*, 258, 283.
— (Étude des) au laboratoire de l'université de Göttingue (Meyer). *VDI.* 14 *Sept.*, 1297.
— Schwartz. *RM. Août*, 265.
— à gaz de hauts fourneaux (Osmann). *SuE.* 1er *Sept.*, 905; *Im.* XV, 485, 493. Hamilton. *RM. Août*, 265.
— Gazogène à bois Faugé. *Gc.* 14 *Sept.* 323.
— Allumage Croissant. *La.* 29 *Août*, 550.
— **à pétrole** à l'Exposition de 1900. *Dp.* 7 *Sept.*, 565.
— Duplex. *RM. Août*, 266.
— — Carburateurs Quéry. *Ln.* 17 *Août*, 192. De Lesly, Pinckney. *RM. Août*, 267. Divers. *Ri* 24, 31 *Août*, 335, 345; 7 *Sept.*, 356. Ké cheur. *La.* 12 *Sept.*, 562.
— — Locomobile Ruston Proctor. *Ri.* 24 *Août*, 333.

Résistance des matériaux. Fragilité de l'acier (Pourcel). *Gc.* 17 *Août*, 254.
— Machine à essayer de 25 tonnes (Chauvin). *Bam. Août*, 791. De 100 tonnes. Université de Glasgow. *E'.* 13 *Sept.*, 283.
— Conservation des bois (Berson) *RCp.* 8 *Sept.* 456.

Ventilateurs. (Rendement des). *E'.* 16 *Août*, 176.
Transmission par poulies variables Wacke et Krieger. *RM. Août*, 259.
Ventilateur Farcot pour tunnels. *La.* 14 *Sept.*, 241.

MÉTALLURGIE

Aluminothermie en métallurgie (Clerc). *Im.* XV, 573.
Cuivre. Développement de sa métallurgie. *E.* 23 *Août*, 269.
Fer et acier. Organisation d'une petite aciérie (Lurmann). *Gc.* 24 *Août*, 275.
— Hauts fourneaux de Mariupolsk. *SuE.* 1er, 14 *Sept.*, 914, 984.
— Machines soufflantes des forges d'Askam. *E.* 13 *Sept.*, 363.
— Moulages d'acier. *Im.* XV, 493.
— Fonderie. Cubilot Barrett. *E.* 6 *Sept.*, 324.

Fours Siemens nouveaux. *Rt.* 10 *Sept.* 391.
Mercure en Italie. *Cs. Août*, 831.
Or. Essais des minerais complexes (Smit). *CN.* 16, 23, 30 *Août*, 74, 89, 98; 13 *Sept.*, 134.
— (Métallurgie de l'). *Im.* XV, 627.
— Tellurures de la région de Kalgoorlie. *AM. Mai*, 531.
— Progrès en 1899-1900 (Gautier). *Pm. Sept.*, 137.

MINES

Électricité. Emploi dans les mines de la Californie du Nord. *Eam.* 31 *Août*, 271; 9 *Sept.*, 300.
Exploitation des gros filons (Godfrey). *Eam.* 17, 31 *Août*, 199, 269.
Houille. Son origine. *E.* 23 *Août*, 243.
Or. Exploitation des placers par draguage. *Im.* XV, 692.
Pétrole. En Californie. *Eam.* 24 *Août*, 227.

Le Gérant : Gustave Richard.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

100e ANNÉE. OCTOBRE 1901.

BULLETIN

DE

LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

MÉTROLOGIE

LA CONVENTION DU MÈTRE ET LE BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

PAR **Ch.-Éd. Guillaume** (1).

ÉTUDES THERMOMÉTRIQUES

Les résolutions de la Commission du mètre, dont l'une était que les thermomètres à mercure, seraient comparés de temps à autre au thermomètre à air reflètent le discrédit dans lequel était tombé le thermomètre à mercure au moment des délibérations de 1872. On vivait alors sur une opinion du grand métrologiste Regnault, qui avait trouvé, dans les variations du verre, un obstacle insurmontable à la mesure précise des températures au moyen de cet instrument.

Une sous-commission présidée par Edmond Becquerel, et dont M. J. Bosscha fut le rapporteur, avait déclaré que « dans les thermomètres à mercure, l'influence de la dilatation de l'enveloppe de verre, dont la composition et la structure moléculaire peuvent varier considérablement d'un thermomètre à l'autre, rend presque entièrement illusoire l'avantage que fournit l'emploi d'un corps thermoscopique, liquide ou gazeux, exactement défini dans toutes ses propriétés. La dilatation de l'enveloppe étant le septième environ de celle du mercure, il en résulte que les thermomètres à mercure, bien calibrés et dont les points fixes ont été rigoureusement déterminés, peuvent présenter entre eux, aux températures ordinaires, des écarts de quelques dixièmes de degré. »

(1) Voir le *Bulletin* d'août 1901.

(2) Voir, pour les détails, de nombreux mémoires insérés dans les tomes I à VI des *Travaux et Mémoires*, et leur résumé dans Ch.-Ed. Guillaume : *Traité de Thermométrie* (Paris, Gauthier-Villars).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cette appréciation était-elle sans appel? C'est la première question dont eut à s'occuper le Bureau international. Jusque-là, les déplacements de l'échelle du thermomètre à mercure avaient paru se soustraire à toute loi; tantôt une élévation de température déprimait le zéro, tantôt elle le relevait; ou encore, dans des expériences successives, on pouvait observer des mouvements de sens inverse. Cependant une étude minutieuse du phénomène, à laquelle plusieurs physiciens prirent part, mais dont le principal honneur revient sans doute à M. J. Pernet, avait appris à distinguer entre plusieurs causes des mouvements d'abaissement et de relèvement. Elle avait montré, de plus, que, lorsque le zéro varie, l'échelle entière se déplace, au moins en première approximation, d'un mouvement parallèle, et que, lorsqu'on rapporte chaque température au zéro mesuré immédiatement après sa détermination, les indications d'un thermomètre à diverses époques deviennent comparables.

Quant aux mouvements inverses, pour une même cause apparente, ils sont dus, comme on pouvait s'y attendre, à deux phénomènes distincts. L'un, consistant dans le relèvement du zéro par l'action d'une température élevée, est attribuable au recuit, et, lorsqu'il est accompli, ne se reproduit plus. C'est le phénomène propre aux thermomètres neufs, et que l'on observe même aux températures ordinaires, par un déplacement très lent du zéro. L'autre est une lente mise en équilibre du verre chaque fois qu'on en modifie la température. Si l'on porte brusquement une tige de verre de 0° à 100° par exemple, elle s'allonge subitement d'une certaine quantité, mais la déformation complète n'est atteinte qu'au bout d'un temps plus ou moins long. Dans le passage inverse, le même phénomène se produit, avec cette différence qu'il est beaucoup plus lent.

Mis en possession du mode opératoire très simple, indiqué par M. Pernet, et de la loi reliant les positions successives définitives du zéro avec la température, que M. Pernet avait trouvée exprimée par le carré des températures, comptées à partir du zéro ordinaire, on reconnut bien vite que l'opinion de la Commission n'était pas l'expression définitive des faits, et les concordances satisfaisantes trouvées entre des thermomètres divers firent espérer que l'on aurait mieux encore si l'on choisissait le verre des thermomètres de telle sorte que les variations du zéro fussent réduites au minimum.

Au commencement du siècle, on se servait d'un verre assez dur pour la fabrication des thermomètres; puis les constructeurs, autant pour la facilité du travail qu'en raison de la grande transparence des verres plombeux, adoptèrent peu à peu ces derniers pour cette fabrication. En Angleterre, le recul fut moins accentué qu'en France; en Allemagne, il le fut plus; et, comme les déplacements du zéro augmentent avec la fusibilité du verre, il advint que, à mesure que l'on recherchait une plus grande précision, les thermomètres, considérés au point de vue de leurs déformations, devenaient plus mauvais. Un thermomètre

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

français, construit il y a une vingtaine d'années, dont on déterminait le zéro après un long repos à la température ordinaire, et que l'on chauffait ensuite à 100°, éprouvait un abaissement de toute l'échelle de 4 dixièmes de degré environ. Avec des thermomètres allemands, le déplacement était parfois double. Les variations avec le temps atteignaient souvent un degré ou plus. Quant à celles que produisait un séjour prolongé à une température élevée, comprise par exemple entre 300° et 350°, elles étaient si considérables qu'elles détruisaient

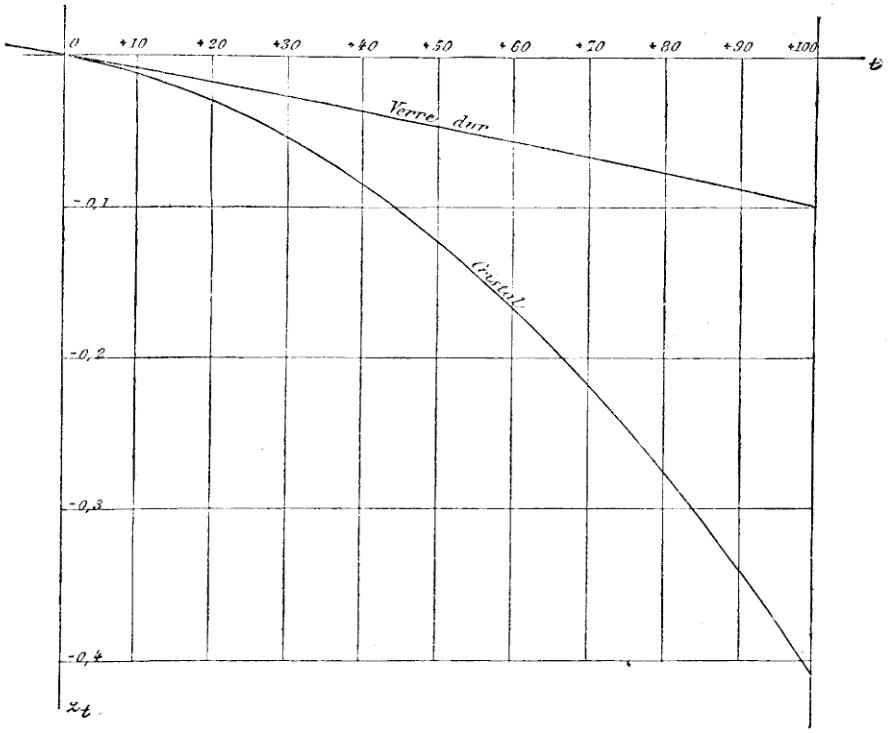


Fig. 8. — Positions successives du zéro d'un thermomètre en verre dur ou en cristal amené graduellement de 0° et 100°.

tout espèce d'accord entre l'échelle et les températures. M. Crafts a trouvé des ascensions atteignant 26 degrés. Des déplacements de 10 à 15 degrés n'étaient pas rares dans les instruments couramment employés dans des laboratoires.

A la suite d'études exécutées au Bureau international, par MM. Pernet, Benoît et Marek, et au cours desquelles diverses sortes de verre ou de cristal avaient été expérimentées, on fut conduit à rechercher des verres de plus en plus durs, et, finalement, on proposa l'emploi d'un verre très dur, assez semblable au verre à vitres, que fabriquait M. Guilbert-Martin, à Saint-Denis. Chargé par le Dr Broch, alors directeur du Bureau international, d'étudier, sous la direction de M. Benoît, les propriétés thermométriques de ce

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

verre sur des thermomètres fabriqués par Tonnelot, je reconnus, dès l'année 1883, que variations ses étaient inférieures à cel'es de tous les verres employés depuis plus de cinquante ans. Les variations entre 0° et 100° pour le verre dur et le cristal étudiées vers cette époque sont indiquées dans la figure 8.

La figure 8 *bis* établie par des observations commencées en 1885 et poursuivies jusqu'à ces derniers temps contient, à titre d'indication, les positions moyennes successives du point zéro observé sur huit thermomètres en verre dur, à partir d'une date très peu postérieure à leur construction. Après peu d'années, l'ascension devient presque insensible.

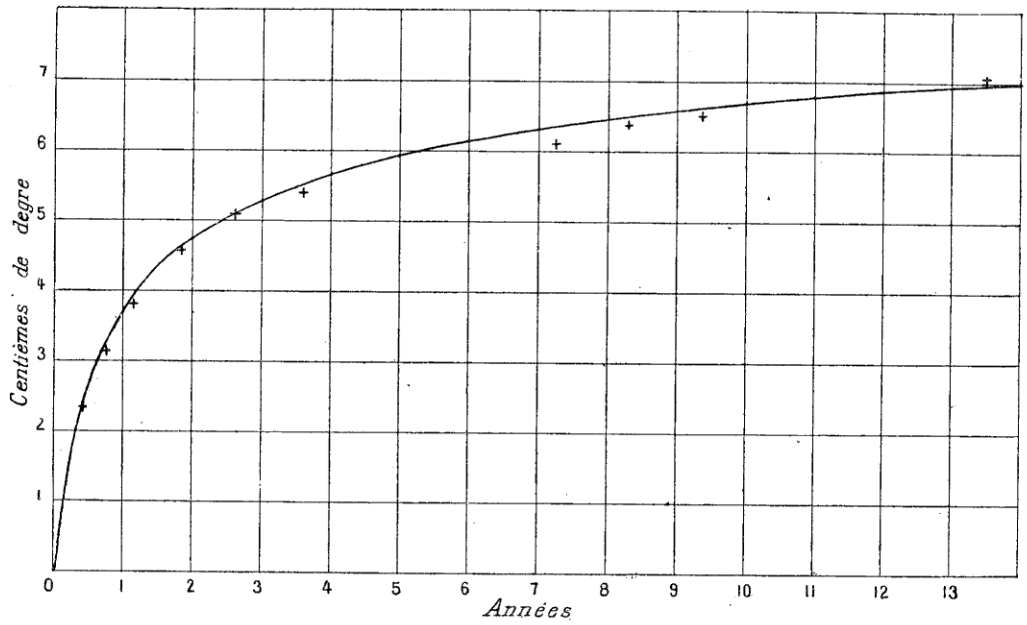


Fig. 8 *bis*. — Diagramme de l'ascension graduelle du zéro, observée sur huit thermomètres en verre dur.

A la même époque, des études poursuivies en Allemagne, notamment par M. R. Weber et M. H.-F. Wiebe, avaient conduit à formuler des lois reliant les variations du verre à sa composition chimique. On avait trouvé, en particulier, qu'une des conditions de modifications très faibles était la présence d'un seul alcali, alors que le mélange de la soude et de la potasse en quantités équivalentes donnait des variations très considérables. L'analyse du verre Guilbert-Martin remplissait cette condition, et, comme il était industriel et d'une fabrication uniforme, on l'adopta pour la construction des thermomètres de premier ordre du Bureau international, ainsi que pour ceux qui étaient destinés à accompagner les mètres. Beaucoup plus tard, les recherches qui, de Berlin, avaient été transportées à Iéna, dans le beau laboratoire que dirige M. Schott, firent

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

trouver un verre encore sensiblement plus invariable, qui a été adopté en Allemagne pour la thermométrie. Malheureusement, ce verre, qui est un silico-borate, est difficilement attaqué par l'acide fluorhydrique, qui ronge à la fois la tige du thermomètre et le vernis servant à la protéger en dehors des traits, de telle sorte que ces derniers sont généralement un peu empâtés. Ces difficultés n'ont pu être surmontées que récemment.

Les études préliminaires une fois terminées, on commença, au Bureau international, l'examen régulier des nombreux thermomètres, d'un modèle uniforme, destinés à servir dans les instruments du Bureau, ou à être livrés aux États signataires de la Convention, en même temps que les mètres étalons; puis, ce service, une fois organisé, se perpétua en vue de la fourniture de thermomètres de premier ordre aux établissements scientifiques; nous verrons plus loin que ces études ont été fort utiles pour l'unification de la mesure scientifique des températures. Grâce à l'examen constant et sévère des instruments livrés par les premiers constructeurs, M. Tonnelot au début, M. Baudin plus tard, la fabrication du thermomètre à mercure n'a cessé de progresser, et a atteint aujourd'hui un degré de perfection qu'il sera bien difficile de jamais dépasser sensiblement.

ÉTUDE DU THERMOMÈTRE A MERCURE

La température que définit le thermomètre à mercure est donnée par la dilatation relative du mercure dans le verre, rapportée à la dilatation mesurée entre la température de la glace fondante et la température de la vapeur d'eau en ébullition sous la pression atmosphérique normale.

Lorsqu'on applique cette définition théorique à un instrument réel, on fait implicitement les hypothèses suivantes : les points marqués 0 et 100 correspondent aux températures 0° et 100°; les divisions gravées sur l'échelle indiquent des fractions du volume du tube proportionnelles à leur rang; le réservoir et le mercure n'éprouvent pas d'autres variations que celles qui sont dues au changement de la température; en d'autres termes, les pressions agissant à l'intérieur et à l'extérieur du réservoir sont constantes.

En pratique, aucune de ces conditions n'est remplie, et l'étude du thermomètre consistera à déterminer toutes les corrections qui, appliquées aux lectures, les amènent à ce qu'elles seraient si l'instrument était théoriquement parfait.

La façon dont on doit entendre la dilatation du verre est indiquée par le précepte donné plus haut sur la série des opérations, consistant à déterminer le zéro *après* la température mesurée.

Les quatre causes d'erreur qui viennent d'être indiquées imposent un nombre égal d'études distinctes : calibrage, détermination de l'intervalle fondamental,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

détermination de l'action des pressions extérieures et intérieures. Nous allons les passer en revue.

Calibrage. — Le thermomètre étant complètement terminé et pourvu d'une division équidistante faite à la machine à diviser, on commence par isoler, à l'intérieur du tube, par une opération qui demande une certaine pratique, une colonne de mercure ayant une longueur approximativement déterminée d'avance, et prescrite par un diagramme particulier. On place le thermomètre sur l'appareil représenté figure 9, et, à l'aide de viseurs, on détermine la longueur de la colonne en divers points du tube, en la rapportant à la division du thermomètre. Cette opération est faite à l'aller et au retour pour éliminer les variations de la

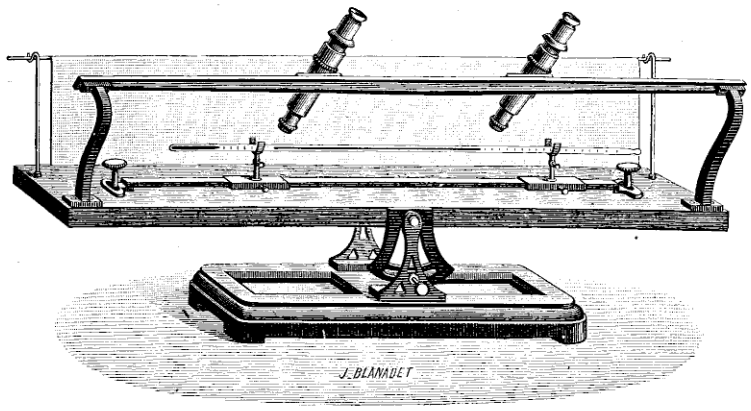


Fig. 9. — Appareil pour le calibrage des thermomètres.

température, et dans les calibrages importants, elle est répétée plusieurs fois. A la rigueur, ces observations suffiraient pour donner les corrections en des points distants de la longueur de la colonne, mais elles seraient sans contrôle. Pour en créer un, on répète les mesures avec une colonne de longueur double, puis avec une de longueur triple, etc., et toutes les observations sont ensuite combinées entre elles. Puis, pour terminer, on subdivise le plus souvent en un certain nombre de parties, par un calibrage serré, les sections dont les corrections extrêmes ont été ainsi déterminées.

Par exemple, lorsqu'un thermomètre porte une division non interrompue de 0 à 100, on isole d'abord une colonne de 20 degrés, puis une de 40, etc., et on effectue les observations dans les positions suivantes :

Colonne de 20.	Colonne de 40.	Colonne de 60.	Colonne de 80.
0.20	0.40	0.60	0.80
20.40	20.60	20.80	20.100
40.60	40.80	40.100	
60.80	60.100		
80.100			

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On obtient, de cette façon, les corrections des points 20, 40, 60, 80, celles des points 0 et 100 étant supposées connues.

Ensuite, on isole des colonnes de 2 degrés, 4 degrés, etc., qui servent aux observations indiquées ci-après :

Colonne de 2.	Colonne de 4.	Colonne de 6.	Colonne de 8.
0.2	0.4	0.6	0.8
2.4	2.6	2.8	2.10
4.6	4.8	...	...
6.8	...		...
...	16.20	14.20	
18.20			
20.22	20.24	20.26	....
22.24	22.26	22.28	
...	...	...	

Lorsque, de cet important ensemble d'observations, on a tiré les valeurs des corrections de 2 en 2 degrés, on trace une courbe qui les réunit d'un trait continu, et sur laquelle on lit les corrections de toutes les divisions, généralement en dixièmes de degré.

Un thermomètre du modèle que nous venons de supposer est forcément d'assez notables dimensions ; il est d'un maniement difficile et dangereux pour un opérateur peu exercé. Aussi, lorsqu'on n'a en vue qu'une région restreinte de températures à mesurer, il convient d'y adapter le thermomètre en supprimant les parties superflues de l'échelle. Dans l'établissement des modèles adaptés à chaque cas particulier, il ne faut pas perdre de vue que le thermomètre, s'il est destiné à constituer un instrument indépendant, doit porter les points 0 et 100, et toutes les parties de l'échelle qui sont nécessaires pour rapporter à ces points fixes la portion que l'on veut utiliser. Les portions supprimées sont remplacées par des ampoules, que les constructeurs habiles arrivent à ajuster avec une surprenante exactitude.

Ainsi, un thermomètre peut porter une division continue de 0 à 50, puis une ampoule, et immédiatement au-dessus le point 100. On déterminera, avec des colonnes ayant approximativement 50 degrés, la différence entre les sections (0. 50), (50. 100), d'où on déduira la correction du point 50. Puis on calibrera la partie inférieure comme on l'a vu faire pour le thermomètre continu. La figure 10 donne un certain nombre de modèles de thermomètres à division réduite, susceptibles d'être calibrés.

La précision d'un calibrage bien fait est très grande, comme l'indiquent les écarts entre les résultats directement observés et les résultats calculés par des observations en très grand nombre, et se contrôlant mutuellement. Dans un

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

problème physique aussi simple, qui se réduit, à proprement parler, à une question de géométrie, les erreurs probables ont une signification réelle, et

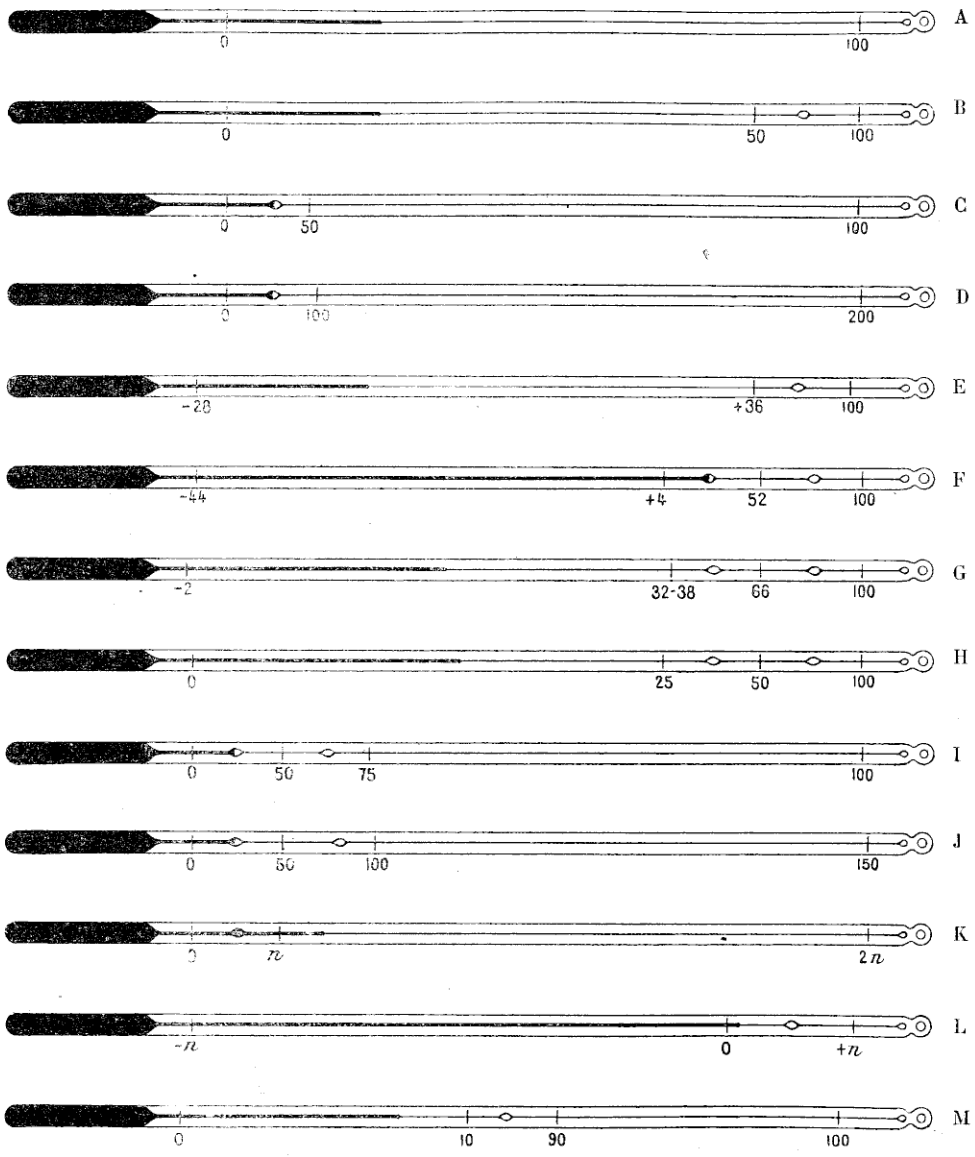


Fig. 10. — Thermomètres à mercure de divers modèles.

A à J, Thermomètres-étalons susceptibles d'être entièrement corrigés par une étude individuelle.
K à M, Thermomètres exigeant une comparaison.

donnent une limite vraie de la précision des résultats. Mais, par surcroît, de nombreux calibrages ont été répétés par des observateurs différents, et il est

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

devenu certain que, dans un thermomètre très bien fait, divisé en dixièmes de degré, calibré par une bonne méthode et par un observateur exercé, aucune

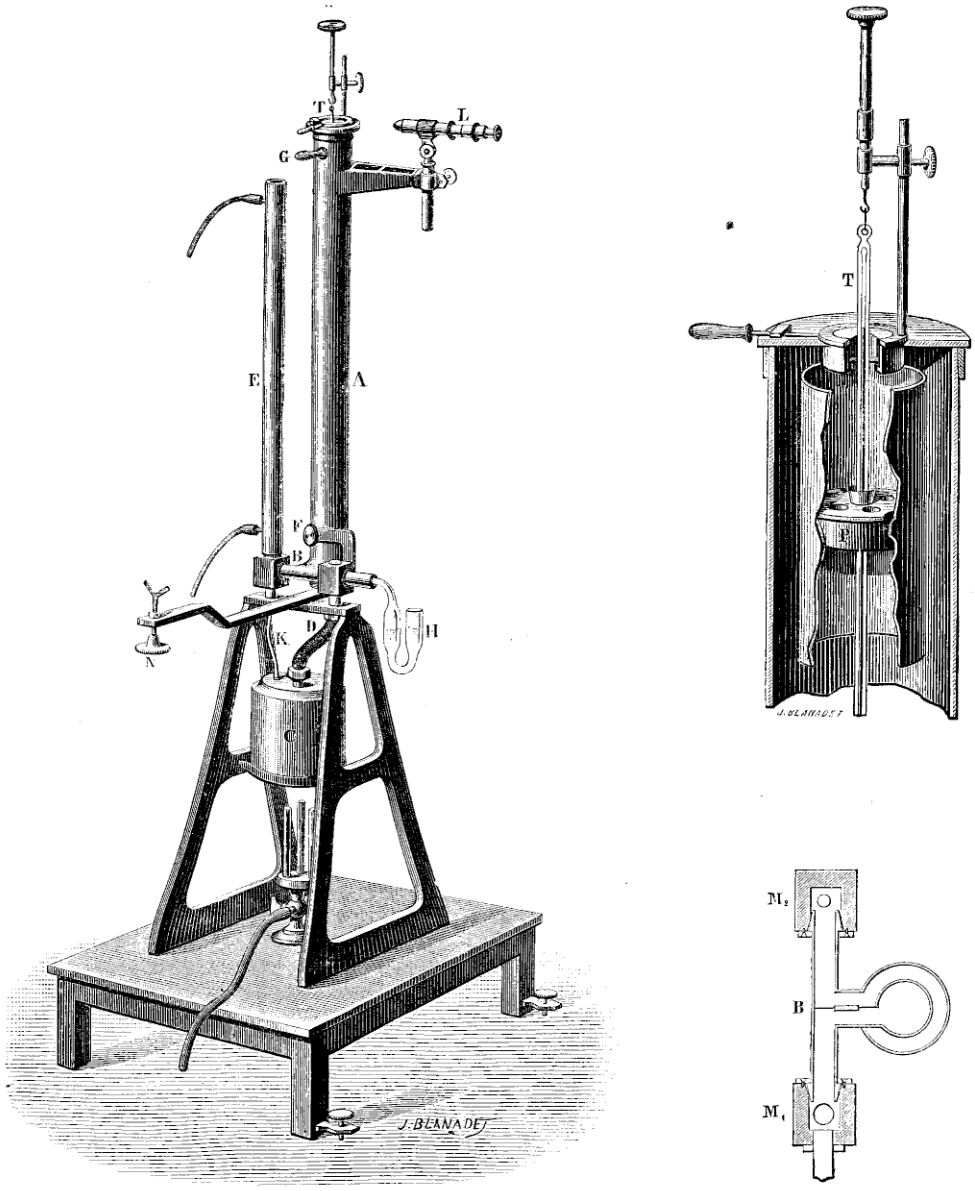


Fig. 11, 11 *bis* et 11 *ter*. — Appareil servant à la détermination du point 100, des thermomètres à mercure; ensemble et détails.

des corrections de calibre ne comportera une erreur supérieure à *un millième de degré*.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Détermination des points fondamentaux. — Le thermomètre T est d'abord exposé à la vapeur d'eau en ébullition dans un appareil dérivant de celui de Regnault, et qui, dans un modèle établi principalement par M. P. Chappuis, se compose (fig. 11, 11 *bis* et 11 *ter*) d'un tube à doubles parois A, monté sur un axe creux B que portent des paliers M_1, M_2, réunis à une chaudière C et à un condenseur E. La vapeur, passant par un des paliers, parcourt la moitié de l'axe, coupé au milieu, entre dans le tube intérieur qu'elle suit dans toute sa longueur, redescend par le manchon extérieur, se condense et retombe au fond de la chaudière. Le tube peut tourner autour de l'axe creux et être placé verticalement ou horizontalement ou dans toute autre direction. De la sorte, on peut déterminer directement l'action de la pression exercée sur le mercure et le réservoir par la colonne atteignant le point 100. L'appareil porte un manomètre à eau H indiquant la surpression intérieure. La pression atmosphérique est déterminée immédiatement avant la lecture du thermomètre. On choisit, pour ces observations, des journées où le baromètre n'éprouve pas de grandes variations.

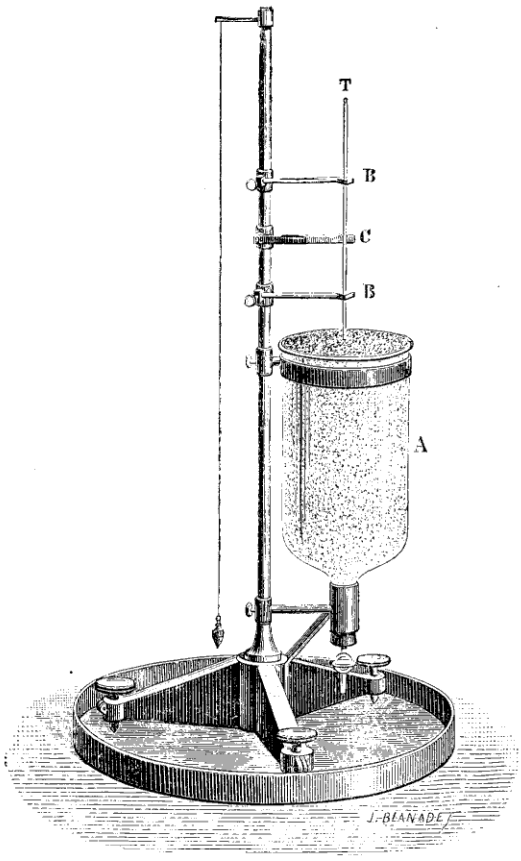


Fig. 12. — Appareil servant à déterminer le point 0 des thermomètres à mercure.

Aussitôt retiré de l'appareil à ébullition, le thermomètre est plongé dans de la glace râpée, abondamment trempée d'eau, et contenue dans une cloche de verre généralement double A (fig. 12) ; il est doucement pressé, par le ressort C, contre les fourchettes B. L'observation du point 0 peut être faite au bout de une à deux minutes d'immersion.

Coefficient de pression extérieure. — Nous venons de voir qu'on peut déterminer l'action de la pression intérieure en même temps que le point d'ébullition. Mais il vaut mieux déduire cette action du coefficient relatif à la pression extérieure, en se servant des formules de l'élasticité.

Pour cette détermination, le thermomètre est enfermé dans un tube de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

verre T contenant du mercure dans le fond (fig. 13), et que l'on a achevé de remplir avec de la glycérine. Ce tube porte deux robinets qui permettent de le mettre en communication avec l'atmosphère ou avec un réservoir dans lequel on a fait le vide à l'aide de la trompe à eau. Le réservoir du thermomètre plonge dans le mercure, qui égalise la température. Le tube est entouré d'eau à la hauteur du réservoir, ce qui permet d'éviter les variations rapides de la température. Les observations sont faites alternativement sous des pressions très différentes, mesurées au moyen d'un manomètre M, et combinées de manière à éliminer la marche de la température et les erreurs d'observation.

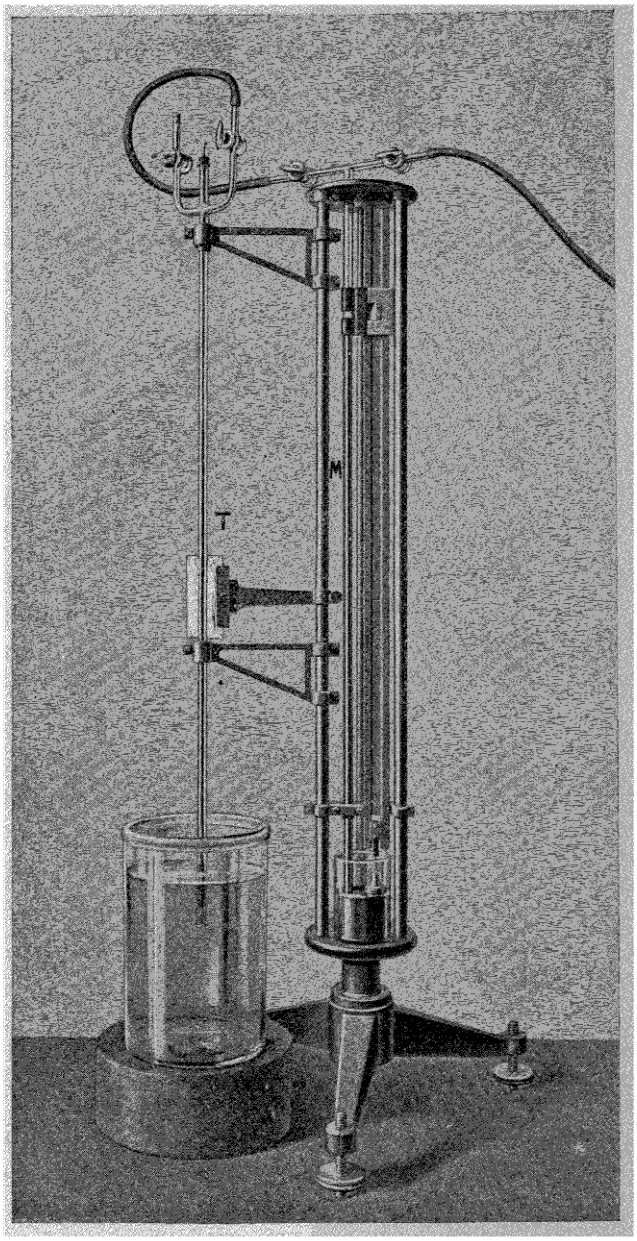


Fig. 13. — Appareil pour la détermination du coefficient de pression des thermomètres à mercure.

Je n'insisterai pas sur certaines actions auxquelles le thermomètre est soumis, telles que la variation de courbure du ménisque, qui occasionne des changements appréciables de la pression, dont il faut tenir compte dans les observations de très haute précision, et qui limitent la possibilité d'allonger indéfiniment le degré du thermomètre. En effet, plus le tube est fin, plus ces actions sont marquées; et, comme il n'est jamais possible de les éliminer complètement, on atteint bientôt des erreurs supérieures à celles des lectures.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Comparaisons. — Par la série des opérations qui viennent d'être décrites, on détermine les corrections qui, appliquées à un thermomètre forcément imparfait, en font un instrument idéal. Mais on ne peut pas affirmer *a priori* que deux instruments ainsi corrigés fourniront des indications identiques; une épreuve directe peut seule renseigner sur la concordance de ces indications (1).

Comme on l'a vu plus haut, les comparaisons exécutées au Bureau international entre des thermomètres faits avec les verres anciens et d'une construction assez imparfaite avaient fait naître l'espoir de constater une bonne concordance des thermomètres lorsqu'on opérerait dans des conditions plus parfaites.

En 1884, je comparai entre eux cinq thermomètres en verre dur, deux à deux en série fermée à des températures comprises entre 0° et 35°, et variant de 5 en 5 degrés. L'erreur probable moyenne de l'indication d'un thermomètre, par rapport à la moyenne de l'ensemble, fut trouvée égale à *quinze dix-millièmes de degré*. L'année suivante, opérant avec des thermomètres encore mieux construits et plus parfaitement étudiés, M. Chappuis obtint, entre —10° et 78°, une concordance presque deux fois meilleure. Depuis cette époque, des comparaisons sans nombre ont été faites entre des thermomètres étudiés individuellement, toujours avec le même succès. On peut en conclure que l'échelle du thermomètre à mercure, fait avec un verre de composition déterminée, est la même pour tous les instruments dans les limites de précision des meilleures observations.

Si les thermomètres sont faits avec des verres différents, leurs indications divergent à toute température à l'exception de 0° et 100°; mais les divergences suivent une allure parfaitement régulière, et on réussit généralement à rassembler, dans une formule du deuxième ou du troisième degré, un très grand nombre d'observations réparties sur tout l'intervalle [0-100], avec des écarts ne dépassant pas en moyenne le millième de degré (2).

Ces résultats portent avec eux la réhabilitation complète du thermomètre à mercure, et la réfutation des opinions anciennes, qui le représentaient comme un instrument capricieux et fantasque, sur lequel on ne pourrait jamais fonder une mesure précise de la température.

Les expériences systématiques de comparaison des thermomètres avaient été exécutées sur des instruments neufs. Ne pouvait-on pas craindre qu'en vieillissant

(1) Voir note p. 38.

(2) Ainsi, les comparaisons que j'ai faites, en 1885, entre deux thermomètres en cristal et deux en verre dur, à treize températures comprises entre 0° et 50°, ont conduit à la formule très simple

$$t_c - t_v = t\,(100 - t)\,(14{,}126 - 0{,}0311\,t)\,10^{-6},$$

qui représente toutes les observations avec un écart moyen de 0,0009 degré.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ils ne donnent des résultats différents? L'épreuve a été faite pour chacune des corrections isolées, sur de nombreux thermomètres étudiés à plus de dix ans d'intervalle, sans que jamais, dans des instruments qui n'avaient pas été soumis à des températures élevées, on pût soupçonner, en dehors des variations de la position du point zéro, des changements qui pussent faire supposer que l'instrument s'était modifié.

Cet ensemble de résultats a une importance considérable. Le fait qu'un thermomètre reste comparable à lui-même dispense d'études répétées. La concordance de différents instruments, à la seule condition qu'ils soient fabriqués avec le même verre, permet de limiter l'étude de chaque thermomètre à l'examen individuel de ses erreurs, sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours à un thermomètre-étalon ou à un thermomètre à gaz pour les établir.

Tout laboratoire possédant les appareils d'étude individuelle des thermomètres pourra, dès lors, transformer un instrument imparfait en un indicateur parfait des températures, sans qu'il soit nécessaire d'établir la valeur de ses indications par des comparaisons.

Même pour les thermomètres que l'on désire soumettre au Bureau international, dont le personnel est rompu à ce genre d'études, le fait d'être dispensé des comparaisons constitue un gain considérable. La comparaison de deux thermomètres à mercure entre eux, avec une précision de l'ordre du millième de degré, est beaucoup plus laborieuse qu'une étude individuelle. La détermination directe par le thermomètre à gaz comporte des complications d'un tout autre ordre, comme nous allons le voir.

Mais l'étude individuelle d'un thermomètre à mercure, tout en faisant, d'un instrument imparfait, un indicateur correspondant à sa définition théorique, est impuissant à renseigner sur la signification véritable de ses indications. La dilatation relative du mercure dans le verre n'est pas un phénomène sur lequel on puisse fonder une échelle rationnelle des températures (1), pour l'établissement de laquelle il faut nécessairement avoir recours au thermomètre à gaz. Cependant, le problème se pose maintenant sous une forme infiniment plus avantageuse qu'autrefois. Les thermomètres du même verre donnant des indications

(1) Il convient de s'entendre sur cette affirmation. Si l'on connaissait, avec une précision absolue, les fonctions donnant la dilatation du mercure et du verre dans un intervalle de température étendu, et comprenant en tous cas les points 0° et 100°, rien ne serait plus facile que de calculer une échelle rationnelle en partant des indications du thermomètre à mercure. Mais la théorie montre que, au degré de précision exigé aujourd'hui, cette échelle dépend des termes supérieurs des fonctions de dilatation, qu'aucune méthode directe n'a permis d'évaluer jusqu'ici. En réalité le calcul direct n'est pas absurde, mais il manque totalement de sensibilité. (Voir *Traité de thermométrie*, p. 268.)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

concordantes, il suffira d'en comparer un groupe au thermomètre à gaz pour que les écarts trouvés s'appliquent immédiatement à tous les thermomètres de même espèce dont on n'aura fait que l'étude individuelle.

LE THERMOMÈTRE A GAZ

La définition des températures par la dilatation des gaz a eu une fortune singulière. A l'époque où, pour la première fois, Gay-Lussac trouva que les divers gaz soumis à ses expériences possédaient la même dilatabilité, il commettait, sur la valeur moyenne de cette grandeur, une erreur de 2 à 3 p. 100 environ, et ce fut, comme dans l'exemple célèbre des lois de Kepler, le peu de précision de ses mesures qui lui permit d'énoncer une loi dans la vérification de laquelle les erreurs couvraient très largement les écarts réels.

Ayant découvert cette relation approximative, Gay-Lussac pensa qu'en définissant arbitrairement les échelles thermométriques par la dilatation d'un gaz quelconque, on ferait disparaître la diversité des mesures usitées jusque-là. Comme, d'autre part, la loi de Mariotte devait rester longtemps encore incontestée, il était indifférent de rapporter les températures à la dilatation réelle d'un gaz soumis à une pression constante, ou à la variation de sa force élastique sous un volume constant. La pensée de Gay-Lussac n'alla pas au delà de cette conception, pour ainsi dire administrative, d'une unification possible grâce à une heureuse coïncidence qui semblait bien cacher une loi naturelle.

C'est ainsi que, pendant plus d'un siècle, les physiciens rapportèrent les températures au thermomètre à gaz, en vertu d'une simple convention, et par une entente tacite.

Puis, presque en même temps, le développement de la Thermodynamique d'une part et les expériences précises de Regnault d'autre part firent voir que, dans la dilatation d'un gaz, il y avait plus qu'une relation de hasard avec une échelle rationnelle des températures, mais que les écarts de la loi de Mariotte, et les différences dans la dilatabilité de divers gaz obligeaient à regarder de près la définition empirique de Gay-Lussac. On conçut le gaz parfait, défini par une série de propriétés dont les gaz réels s'approchent plus ou moins entre certaines limites de température et de pression, et on arriva, en tenant compte des écarts mesurables des propriétés réelles des gaz par rapport à l'état parfait, à définir une échelle indépendante de la considération de tout corps réel, et dont la dilatation de chaque gaz donnait une image plus ou moins approchée. Je reviendrai sur ces considérations; mais il nous suffit de savoir, pour le moment, que la dilatation d'un gaz peut permettre de définir pratiquement, au moyen d'une correction expérimentale, une échelle thermométrique fondée sur la thermodynamique, et ayant une existence théorique réelle, indépendante des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

propriétés de la matière. D'après ce qui vient d'être dit, nous saurons que la dilatation d'un gaz sera d'autant plus exactement proportionnelle à la température exprimée dans cette échelle que ce gaz sera plus voisin de l'état parfait, c'est-à-dire, au moins pour une première classification, qu'il sera plus éloigné de sa liquéfaction. L'ensemble de nos connaissances sur les gaz nous fera présumer que l'hydrogène doit fournir une échelle très voisine de l'échelle thermodynamique, et que les autres gaz difficilement liquéfiables, tels que l'oxygène et l'azote, s'en éloigneront davantage ; enfin, que des gaz tels que l'acide carbonique, l'anhydride sulfureux, le gaz ammoniac, donneront des divergences plus grandes encore. Nous pourrons penser aussi que les échelles iront en divergeant de moins en moins à mesure que la température s'élèvera, c'est-à-dire qu'on s'éloignera davantage des conditions de la liquéfaction.

Description du thermomètre à gaz. — On peut concevoir le thermomètre à gaz sous deux formes distinctes : on peut utiliser soit la dilatation réelle du gaz, soit sa variation de pression, et, à première vue, des raisons de pratique expérimentale devront seules décider du choix de la méthode.

Or, comme il est relativement difficile de mesurer un volume, tandis que la mesure d'une pression est une opération aisée, on préfère, en général, maintenir le gaz sous un volume que l'on maintient artificiellement constant en faisant varier la pression qu'il supporte, et que l'on détermine à chaque température.

Un thermomètre à gaz se compose nécessairement d'un réservoir contenant le gaz, et d'un manomètre auquel il est relié. Le réservoir est soumis à la température à mesurer, le manomètre y est soustrait. Tous deux sont réunis par un tube, dont la température, variable d'un bout à l'autre, est généralement assez mal connue, et que l'on fait aussi étroit que possible, pour laisser une très petite fraction du volume du gaz dans ces conditions défectueuses au point de vue de la mesure. Le volume de ce tube, avec la chambre dans laquelle il débouche dans le manomètre, constitue ce qu'on appelle l'*espace nuisible*. L'incertitude résultant de cet espace insuffisamment défini tient, non point à son volume absolu, mais au quotient de ce volume par celui du réservoir exposé à une température uniforme ; donc, lorsqu'on aura réduit au minimum le volume de l'espace nuisible, on améliorera encore les conditions, en donnant au réservoir la plus grande capacité possible.

Au Bureau international des poids et mesures, les premières recherches sur le thermomètre à gaz ont été faites par M. Pernet ; le réservoir de son thermomètre était en verre, et était relié au manomètre par un tube de platine ; un baromètre placé à côté du manomètre, sur le même socle, indiquait la pression agissant sur la branche ouverte du manomètre. On fixait la position des ménisques en visant, au moyen d'un cathétomètre à trois lunettes, le milieu de l'espace compris entre une pointe très fine en verre noir, et son image dans le ménisque

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de mercure, qu'on amenait, par le déplacement d'un réservoir latéral, à une distance de quelques centièmes de millimètre de la pointe. Les mesures, faites successivement sur les quatre ménisques, étaient reportées sur une règle divisée, suspendue à côté du baromètre.

Après avoir étudié, avec un soin extrême, un certain nombre de thermomètres à mercure, M. Pernet les compara au thermomètre à gaz, à des températures comprises entre 0° et 35°. Ces mesures remontent à l'époque où l'on commençait à substituer le verre dur au cristal dans les thermomètres à mercure, et se rapportent, pour la plupart, à des instruments à enveloppe de cristal; mais si elles ont perdu, de ce fait, une partie de l'importance qu'elles avaient alors, il faut reconnaître que, par les nombreuses recherches de détail auxquelles elles ont donné lieu, elles ont conduit à des perfectionnements divers et considérables dans la mesure des pressions, dans les procédés de comparaison, etc., en même temps qu'elles ont fourni un premier exemple de mesures dans lesquelles il ait été tenu compte de toutes les causes des erreurs que l'on considère encore aujourd'hui. M. Pernet, appelé à d'importantes fonctions à l'Institut physico-technique de l'Empire d'Allemagne, puis à l'École polytechnique fédérale, n'eut pas l'occasion de reprendre ses recherches et de les étendre aux thermomètres en verre dur.

Peu après son départ, la suite de ces mesures fut confiée à M. P. Chappuis, qui put d'emblée les entreprendre dans des conditions plus favorables, en raison des progrès réalisés, dans l'intervalle, dans la construction du thermomètre à mercure. M. Chappuis facilita considérablement le travail en introduisant, dans la construction de l'appareil, une simplification ingénieuse consistant à faire plonger le tube du baromètre dans la branche ouverte du manomètre. De cette façon le ménisque libre du manomètre se confondait avec le niveau du baromètre dans la cuvette, et, de plus, la branche fermée de ce dernier, recourbée au-dessus du manomètre, permettait une lecture simultanée des ménisques, sans que le cathétomètre eût besoin d'être déplacé.

La figure 14 représente l'appareil destiné à la mesure des pressions. Le baromètre B est porté par un écrou *e* que commande une vis; il plonge dans la branche *m* du manomètre, tandis que la branche *m'*, qui lui est reliée par un petit tube, peut servir comme cuvette du baromètre, si l'on désire employer l'appareil pour la mesure de la pression atmosphérique. La pièce d'acier P, dont le détail est donné dans la figure 15, relie ce tube à la branche fermée *n* du manomètre, au sommet de laquelle débouche le tube *c* transmettant la pression du gaz; elle porte une pointe d'émail très fine servant de repère. Un réservoir latéral, que l'on peut déplacer d'un mouvement lent ou rapide à la main ou à l'aide d'une vis, permet d'amener toujours le ménisque inférieur à l'affleurement de la pointe. En déplaçant verticalement le baromètre on peut amener

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'une des pointes tout près du ménisque supérieur. Ce détail de la pièce

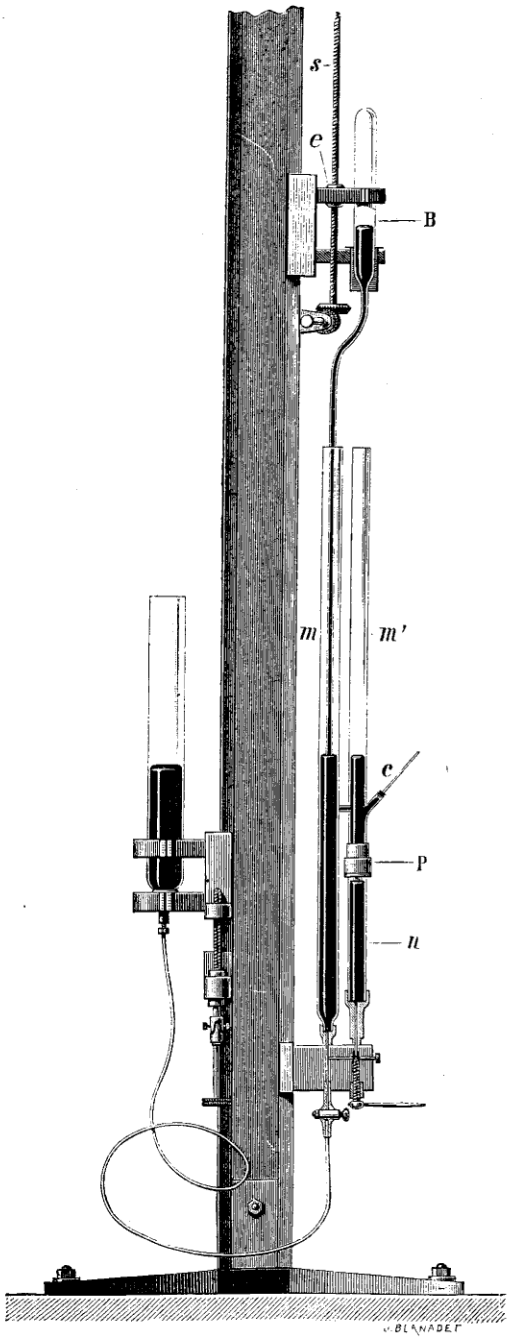


Fig. 14. — Manomètre du thermomètre à gaz.

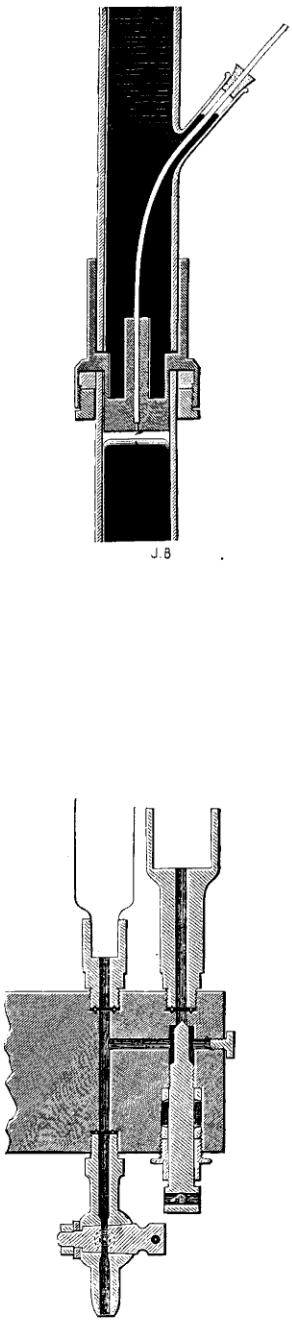


Fig. 15 et 15 *bis*. — Détail du manomètre.

d'acier reliant les deux branches du manomètre est donné dans la figure 15 *bis*.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

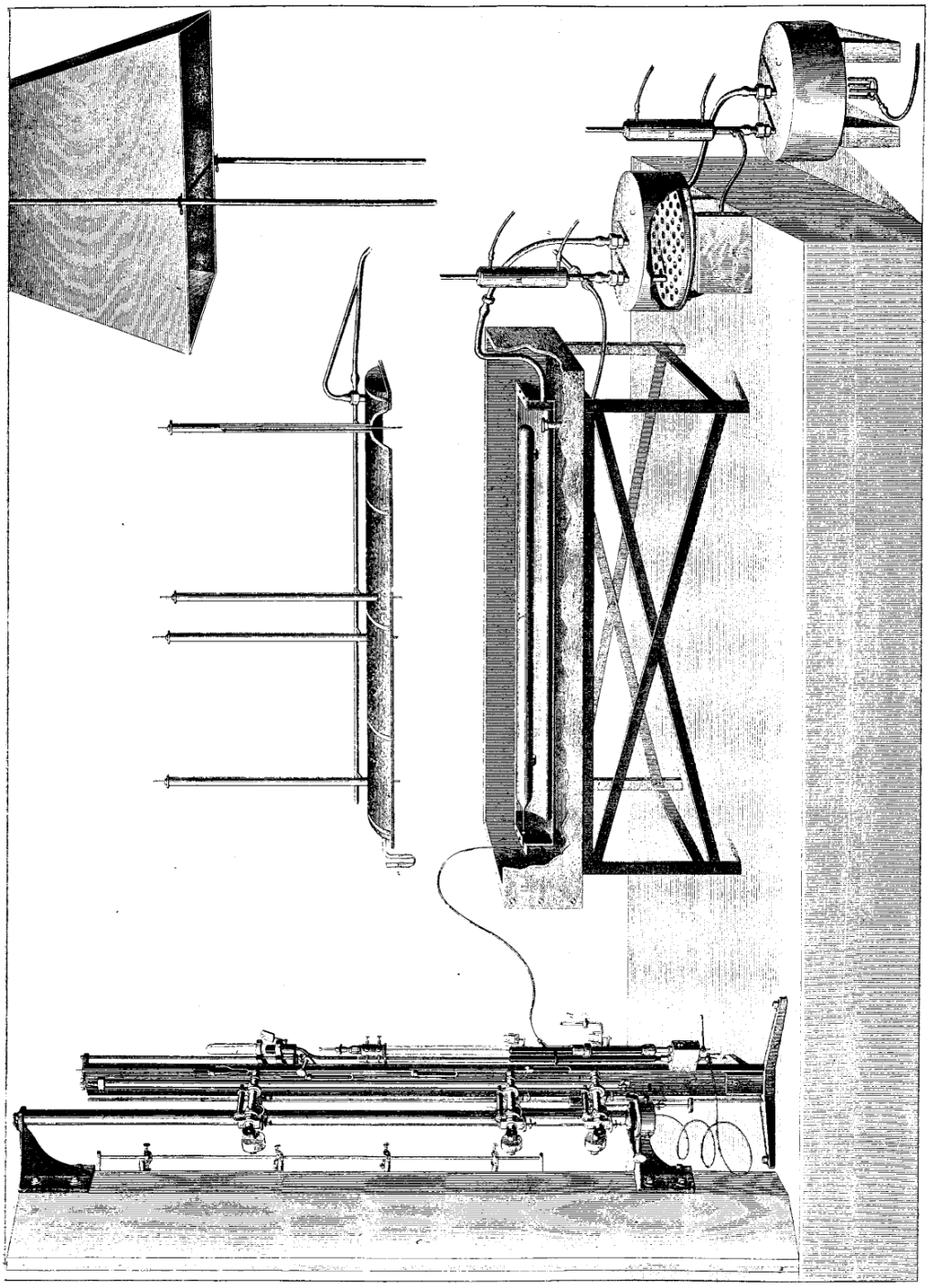


Fig. 16. — Grand thermomètre à gaz construit par M. P. Chappuis.

La figure 16 montre l'ensemble de l'appareil, avec le cathétomètre à trois lunettes, monté sur un monolithe, la règle qui se trouve sur la gauche du manomètre, le réservoir en platine iridié, de 1 litre de capacité V, les chaudières C et C′, surmontées de réfrigérants R et R′, et un couvercle formant, avec l'auge inférieure, une étuve dans laquelle le thermomètre à mercure et le thermomètre à gaz peuvent être chauffés dans une vapeur convenablement choisie. La même étuve sert à déterminer le point 100 du thermomètre à gaz; dans ce cas, il est nécessaire de tenir compte de la pression à l'intérieur de l'étuve, indiquée par le manomètre à eau *e*.

Les observations dans les vapeurs ont été cependant exceptionnelles; en général, elles étaient faites dans un liquide remplissant l'auge, et dans lequel plongeaient à la fois le réservoir V et les thermomètres à mercure.

Le tube *d* sert à introduire le gaz dans l'appareil.

Résultats. — Il est superflu d'insister sur les précautions minutieuses qui furent prises pour remplir le réservoir de divers gaz purs et parfaitement secs, sur la détermination très soignée des constantes de l'instrument, notamment de la dilatation du réservoir et de son coefficient de pression, signalée pour la première fois par M. Pernet, et les nombreuses corrections que nécessite le calcul exact de la température lorsque les pressions brutes ont été mesurées.

Je dirai seulement que, dans une première recherche on compara à un grand nombre de températures comprises entre — 25° et + 100°, deux séries de quatre thermomètres à mercure parfaitement étudiés, au thermomètre à gaz rempli successivement d'hydrogène, d'azote et d'acide carbonique. On établit ensuite des formules de réduction des thermomètres à mercure, à chaque thermomètre à gaz, déduites de l'ensemble des mesures, et dans lesquelles les écarts entre les observations directes et le calcul restèrent dans les limites de quelques millièmes de degré. On put alors, en combinant ces diverses formules entre elles, déterminer les écarts entre différents thermomètres à gaz. Enfin, en les rapprochant des expériences précédemment décrites, on put exprimer, en fonction du thermomètre à hydrogène, les marches des thermomètres à mercure construits avec des verres différents (1).

Le diagramme (fig. 17) résume cet ensemble d'expériences, en montrant quels sont les excès des indications fournies par chacun des thermomètres portés au diagramme, en fonction des indications du thermomètre à hydrogène, qui se confondent avec l'axe des abscisses.

(1) L'écart entre les indications du thermomètre en verre dur et celles du thermomètre à hydrogène est exprimé, conformément aux expériences de M. Chappuis, entre — 25° et + 100° par la formule :

$$t^v - T^h = t(100 - t_v)\,(61{,}859 - 0{,}4735\ t^v + 0{,}001158\ t_v^2)10^{-6}$$

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les expériences qui viennent d'être décrites montraient, d'une façon précise, la grandeur des écarts entre les lois de la dilatation des divers gaz, et rendaient plus évidente la nécessité de choisir le gaz à la dilatation duquel les températures seraient dorénavant rapportées. Pour les raisons qui ont été indiquées précédemment, le Comité international des Poids et Mesures arrêta son choix sur le thermomètre à hydrogène, et décida de rapporter, pour tout son service, les températures à ce thermomètre, dont l'ensemble des indications constitue ce qu'on est convenu d'appeler l'*échelle normale des températures* (1). Cette décision a été généralement acceptée par les physiciens, et même l'échelle normale a reçu la sanction légale dans un grand nombre de pays, en même

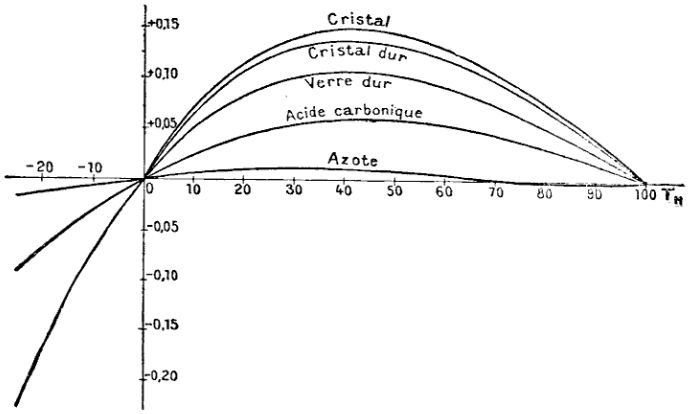


Fig. 17. — Divergences de divers thermomètres.

temps que les étalons du mètre et du kilogramme dont on parlera ultérieurement.

Une seule question se pose encore au sujet de l'échelle thermométrique normale : Quel écart présente-t-elle par rapport à l'échelle thermodynamique ? A cette question, il n'est pas encore possible de répondre d'une façon précise et définitive ; mais les points de repère que l'on possède actuellement permettent d'affirmer que, entre 0° et 100°, le plus grand écart est certainement inférieur à un demi-centième de degré, et serait même, d'après plusieurs auteurs, inférieur au millième. Si donc on juge utile un jour de substituer à l'échelle normale l'échelle théorique, on n'aura plus à modifier que d'une quantité presque insignifiante les résultats exprimés en fonction de la première.

Recherches sur l'équation caractéristique des gaz. — Les travaux qui viennent d'être résumés avaient conduit, dès l'année 1887, à une première étape assurant

(1) Le Comité international a défini plus complètement l'échelle normale, en spécifiant que la pression de l'hydrogène à 0° doit faire équilibre à une colonne de mercure de 1 mètre de hauteur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à la thermométrie une suffisante stabilité ; elles furent bientôt complétées par d'autres mesures destinées à faire mieux connaître les propriétés élastiques et thermiques des gaz. Ces mesures, faites en entier par M. Chappuis, ont fourni des résultats qui constituent un précieux contrôle des recherches théoriques concernant l'équation caractéristique. Ces dernières, prises dans leur ensemble, sont de deux ordres distincts ; les unes font intervenir, avec une précision moyenne, les propriétés des gaz dans un intervalle de température étendu, et sous de très fortes pressions. Leur point de départ est la loi de Van der Waals, et celles qui en sont dérivées ; leur meilleur point d'appui expérimental se trouve dans les admirables recherches de M. Amagat. Les autres entrent dans le petit détail des phénomènes, et les considèrent, pour le moment, dans des limites

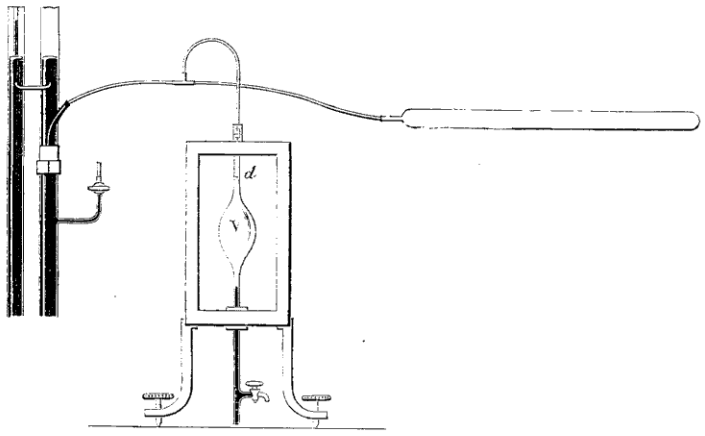


Fig. 18.

encore étroites de pression, ayant en vue surtout l'extrapolation vers les pressions très faibles, où les gaz deviennent de plus en plus parfaits ; c'est à ce genre de recherches que se rapportent les mesures de M. Chappuis.

Je renverrai, pour le détail de ces mesures, à des publications en préparation et à une note présentée par M. Chappuis au Congrès international de physique, de 1900 (1) ; mais il convient de mentionner qu'elles ont porté essentiellement sur l'échelle thermométrique fournie par les trois gaz précédemment étudiés, observés sous pression constante ou sous volume constant, entre 0° et 100° en partant de pressions initiales variables.

En limitant les mesures sous pression constante à un petit nombre de températures, M. Chappuis a pu obtenir une précision élevée. L'artifice est le suivant : Entre le réservoir proprement dit du thermomètre à gaz et le manomètre,

(1) *Rapports présentés au Congrès international de Physique réuni à Paris en* 1900, t. I, p. 131.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

on intercale un appareil en verre V (fig. 18), composé d'une ou de plusieurs boules successives, reliées par des tubes étroits portant un trait d'affleurement *d*. Le volume de chacune des boules a été mesuré avec précision, et les températures sont réglées de manière que le mercure affleure toujours au trait.

Ayant ainsi examiné le thermomètre à hydrogène sous des pressions initiales, comprises entre 1 mètre et 1^{m},39 de mercure, dans des réservoirs de platine iridié et de verre, M. Chappuis trouva, pour tous, des indications identiques dans les limites des erreurs d'observation.

Il n'en est pas de même des autres thermomètres, qui, pour des pressions initiales diverses, diffèrent d'autant plus que le gaz est à un état plus éloigné de l'état parfait. Nous pouvons donner, à titre d'exemples, quelques-uns des résultats obtenus dans ces mesures. Le diagramme (fig. 19) montre les diffé-

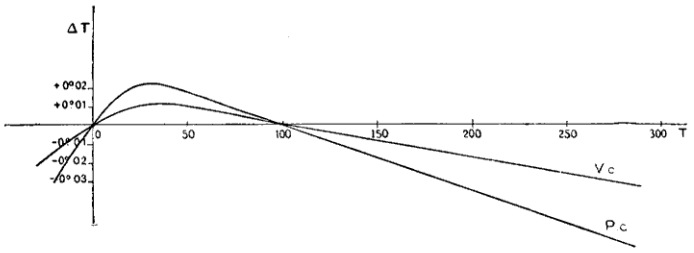


Fig. 19.

rences entre le thermomètre à hydrogène, représenté par l'axe des abscisses, et le thermomètre à azote sous volume constant et sous pression constante, cette dernière étant de 1 mètre de mercure à toute température dans le second cas, et de 1 mètre à 0° dans le premier.

Des résultats analogues sont contenus dans le diagramme (fig. 20) pour le thermomètre à acide carbonique sous diverses pressions.

Les relations exprimées par le diagramme (fig. 19) sont sensiblement linéaires à partir de 60° environ. Si donc on déterminait l'intervalle fondamental du thermomètre entre 100° et 200° par exemple, on aurait, pour toutes les températures supérieures à 60°, une concordance presque parfaite entre le thermomètre à azote sous les pressions ordinaires et l'échelle normale. Aux températures inférieures, le thermomètre à azote donnerait des indications plus basses, et qui, à 0°, atteindraient deux centièmes de degré. En corrigeant de cette quantité la position du zéro d'un thermomètre à azote, sous la pression précédemment indiquée, on amènera ce dernier à la concordance avec le thermomètre à hydrogène à toutes les températures élevées.

Cette remarque a une importance considérable, car l'hydrogène, traversant tous les corps chauffés, est impropre à la pyrométrie; mais il peut être remplacé

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

par l'azote, sans qu'il en résulte d'erreur appréciable dans la détermination des températures.

Les expériences qui viennent d'être décrites permettent de calculer, par extrapolation, le coefficient limite de dilatation des gaz étudiés, c'est-à-dire le coefficient correspondant à une pression infiniment faible, qu'il est impossible de déterminer directement.

On trouve ainsi :

Gaz	Dilatation limite
Hydrogène.	0,003 662 5
Azote.	0,003 661 3

Ces nombres sont extrêmement voisins l'un de l'autre (1), et comme l'extrapolation les rend un peu incertains, ils peuvent être considérés comme prati-

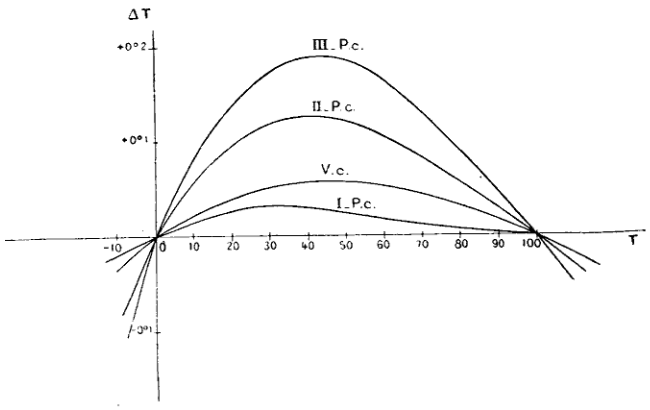


Fig. 20.

quement identiques ; ils font donc reparaître la loi de Gay-Lussac non plus sous sa forme primitive d'une loi générale, mais comme une loi limite.

Mesure des températures basses. — En possession des résultats qui viennent d'être rapidement énumérés, on put songer à étendre les recherches thermométriques à des régions où n'avaient pas encore pénétré les mesures de précision. D'ailleurs, l'occasion ne s'en fit pas attendre. En septembre 1888, le Comité international de Météorologie, réuni à Zurich, décida de s'adresser au Comité des Poids et Mesures pour le prier de faire exécuter des expériences en vue de faciliter la mesure des températures les plus basses que l'on atteigne à la surface de la terre. Cette étude n'était pas superflue, même pour la météorologie, qui, cependant, ne peut pas prétendre encore à une haute précision. En

(1) Le même résultat numérique a été trouvé récemment, pour l'hydrogène, à la Chambre centrale des Poids et Mesures de l'Empire russe, par M. J. Lebedeff.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

effet, la construction des thermomètres à alcool était, à cette époque, si peu réglée, que des thermomètres livrés par divers constructeurs renommés pouvaient parfaitement différer entre eux de 5 ou 6 degrés à la température de — 70°, que l'on avait observée au centre de la Sibérie. L'étude de la haute atmosphère, qui commençait à préoccuper les météorologistes, rendait l'établissement d'une bonne mesure des basses températures plus actuelle et plus nécessaire.

A cette époque, on en était encore à l'opinion exprimée, vers 1840, par Isidore Pierre, qui considérait l'alcool comme le meilleur liquide thermométrique aux basses températures. Mais, depuis lors, toute la chimie organique avait été créée, et fournissait d'innombrables liquides incongelables aux températures qu'il s'agissait de mesurer. Les dérivés de la benzine semblèrent, dès l'abord, particulièrement intéressants, et, à la suite d'études préliminaires faites par M. Chappuis et moi, nous nous arrêtâmes provisoirement, sur le conseil de M. Louguinine, au toluène, qui présente sur l'alcool les avantages suivants : sa température d'ébullition sous la pression atmosphérique est voisine de 111° ; à l'état parfaitement anhydre, il est encore fluide à — 120° ; à toute température, sa



Fig. 21. — Thermomètre à toluène.

fluidité est beaucoup plus grande que celle de l'alcool, assurant la descente bien plus rapide du liquide, dont les parois restent humectées lorsque la température baisse ; enfin, bien que très avide de faibles traces d'eau, il en est bientôt saturé, et cesse d'attirer l'humidité alors que l'alcool s'hydrate indéfiniment.

Les thermomètres types à toluène furent construits conformément à la figure 21. Ils furent divisés en parties équidistantes chiffrées arbitrairement, et remplis d'abord de mercure, puis calibrés. On déterminait le volume des ampoules par des opérations spéciales, puis on ouvrait le thermomètre par le haut, on en retirait le mercure, et on le remplissait de toluène, de telle sorte que, à la température de 0°, le niveau du liquide atteignît la région **A**. L'ampoule avait été ajustée de façon que le point 100 fût dans la région **B**.

L'étude individuelle des thermomètres s'achevait, comme pour ceux à mercure, par une détermination de l'intervalle fondamental et du coefficient de pression ; mais ici, la compressibilité du liquide est plus importante que la déformation du réservoir. Le thermomètre étant nécessairement rempli d'air, la pression intérieure est variable, mais l'ampoule supérieure sert à atténuer ces variations, que l'on peut calculer aisément, les divisions tracées à l'extrémité de la tige permettant d'en déterminer exactement le volume.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'expérience acquise sur les thermomètres à mercure ne laissait aucun doute sur la concordance que donneraient, en principe, les thermomètres à toluène ; mais il restait à déterminer les limites de la précision qu'ils permettent d'atteindre. Les comparaisons, faites dans un bain d'alcool refroidi par l'acide carbonique, conduisirent au résultat très satisfaisant d'une concordance comprise toujours dans le vingtième de degré jusqu'à — 75°.

La dilatation du toluène est loin de suivre une loi linéaire, et diminue rapidement à mesure que la température s'abaisse. Il en résulte que, comme dans les thermomètres similaires, l'espace occupé par un degré devient de plus en plus petit à mesure qu'on descend. Pour déterminer les écarts entre le thermomètre à toluène et l'échelle normale, M. Chappuis construisit un nouveau thermomètre à gaz (fig. 22), fondé sur le même principe que celui qui a été décrit, mais de dimensions réduites, et permettant des lectures plus rapides. Les résultats de ces comparaisons sont donnés dans le diagramme (fig. 23), qui peut servir à corriger les indications d'un thermomètre à toluène quelconque, dont les corrrections individuelles ont été déterminées.

Les recherches furent ensuite étendues à des thermomètres remplis de xylène, de cymène, de cu-

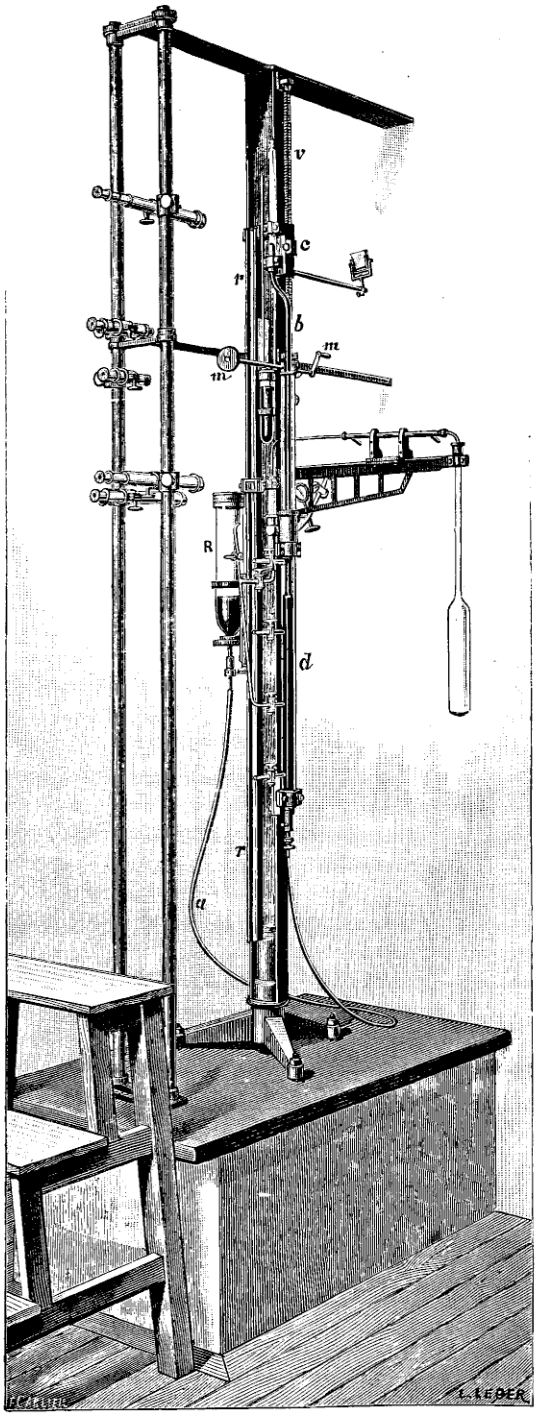


Fig. 22. — Petit thermomètre à gaz.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mène, d'éthylbenzine, mais on s'en tint définitivement au toluène. On avait, bien entendu, étudié aussi quelques thermomètres à alcool, pour permettre de réduire les observations anciennes.

Depuis que les conclusions de ce travail ont été publiées, un grand nombre

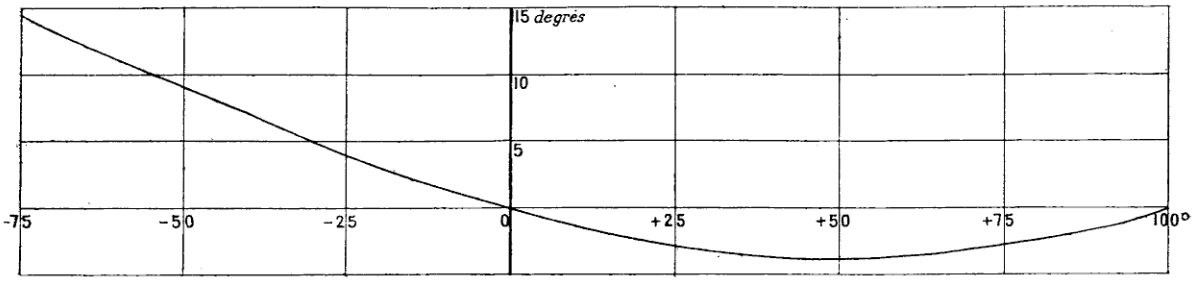


Fig. 23.

de constructeurs ont adopté le toluène pour les thermomètres de précision aux températures basses. Ces thermomètres sont couramment employés aujourd'hui, et certains d'entre eux ont servi à des observations importantes. Je citerai notamment ceux que M. Fridtjof Nansen emporta dans son célèbre voyage dans

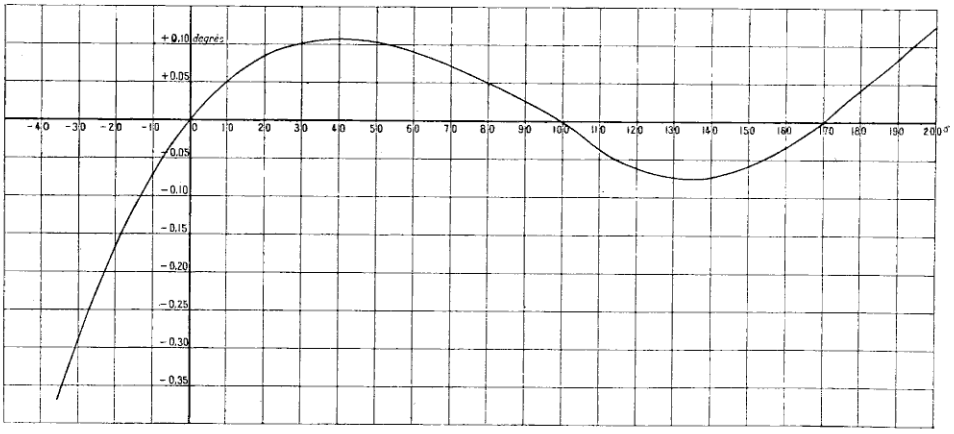


Fig. 24.

les régions arctiques, et qui, avant son départ, avaient été comparés au Bureau international.

Mesure des températures élevées. — L'étude du thermomètre à mercure a été poursuivie jusqu'à 200°, et des comparaisons ont été faites entre cet instrument et le thermomètre à gaz jusqu'à cette température. Les résultats furent très satisfaisants jusqu'au delà de 150°; mais, entre 180° et 200°, ils devinrent

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

plus variables, de telle sorte qu'à cette dernière température, le dixième de degré semble à peu près toucher à la limite de ce que le thermomètre à mercure permet vraiment de garantir. Le diagramme figure 24 contient les résultats de ces mesures, réunis à ceux précédemment indiqués.

Le thermomètre à résistance. — L'étude des procédés électriques de mesure des températures était depuis longtemps inscrite au programme des travaux

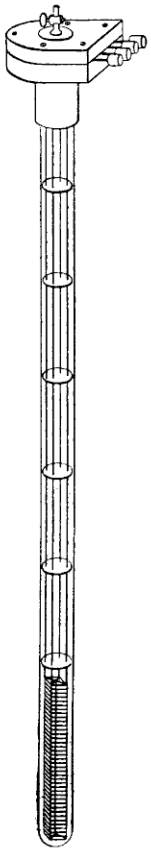


Fig. 25. — Thermomètre à résistance.

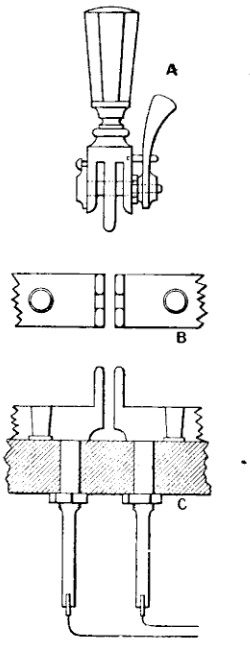


Fig. 25 *bis*. — Clef et connexion des bobines.

du Bureau, lorsque M. Callendar, puis M. Griffiths, de Cambridge, montrèrent, par une étude très soignée de la variation de la résistivité du platine pur, qu'en prenant certaines précautions il était possible d'arriver à rendre à peu près invariables les spirales de ce métal chauffées au delà de 1 000°, et d'obtenir, par ce moyen, une mesure très précise de la température; et, tandis que la méthode thermo-électrique se développait surtout en France et en Allemagne, la méthode des résistances était de plus en plus employée en Angleterre.

A l'Observatoire de Kew, englobé récemment dans le Laboratoire national

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

du Royaume-Uni, on s'était occupé de la question, et le Comité de la Société Royale, chargé de la surveillance de cet observatoire, avait demandé au Comité international d'entreprendre cette étude en commun.

En 1897, M. J.-A. Harker vint à Sèvres, emportant les appareils de mesure électrique construits chez MM. Crompton et Cie, et devint le collaborateur de M. Chappuis pour la comparaison des thermomètres de platine au thermomètre à gaz.

La figure 25 représente, en demi-grandeur environ, un thermomètre à résistance. Un fil de platine très fin, enroulé sur un croisillon de mica, est prolongé par deux fils plus gros, aboutissant à de petits godets fixés dans une pièce d'ébonite. Deux autres fils, réunis entre eux au niveau de la bobine, sont fixés à deux autres godets; le tout est contenu dans un tube de verre ou de porcelaine, que ferme hermétiquement la pièce d'ébonite, munie d'un robinet.

Dans les comparaisons, la bobine avec les fils de raccordement est introduite dans une branche d'un pont de Wheatstone, tandis que l'autre fil, dans le circuit opposé, sert à compenser la variation de résistance des fils de jonction, dont la température est variable et mal connue. Les connexions sont faites, dans les godets, par un alliage facilement fusible. Le pont est constitué en partie par des bobines de manganine, en partie par une bande du même alliage, sur la tranche de laquelle on déplace le contact amenant l'équilibre. Les clefs mettant les bobines hors circuit sont construites, ainsi que le montre la figure 25 *bis*, de manière à établir un contact très parfait entre deux joues que l'on serre par une manette agissant sur un plan incliné.

Dans les expériences faites au Bureau international les comparaisons ont pu être poussées jusqu'au voisinage de 600°, en faisant usage d'un bain de nitre contenu dans une vaste cuve de tôle à triples parois (fig. 26), isolée par de la bourre d'amiante, et chauffée sur tout son pourtour par une rampe de gaz. Les produits de la combustion passent d'abord dans l'enveloppe extérieure, puis descendent le long de la cuve, et sont entraînés au dehors par le tuyau C. Dans le bain se trouvent un agitateur A, et deux tubes de fer contenant les thermomètres.

Les résultats de ces comparaisons ont confirmé les conclusions de MM. Callendar et Griffiths, qui avaient réussi à représenter les écarts entre l'échelle normale et celle du platine, par une formule du second degré, de la forme :

$$T - t_{pt} = \delta\, T\,(100 - T).$$

Pour divers thermomètres, MM. Chappuis et Harker on trouvé des valeurs de δ peu différentes, et dont la moyenne est sensiblement égale à $0{,}154.10^{-8}$. Le diagramme fig. 27 montre la grandeur des écarts entre les deux échelles. La température d'ébullition du soufre donnée par ces mesures est égale

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à 445°,2 sous la pression atmosphérique normale. Regnault avait indiqué 448°,38; et, en calculant ses expériences par un procédé plus correct, on trouve 447°,51. D'autre part, M. Griffiths avait donné 444°,53.

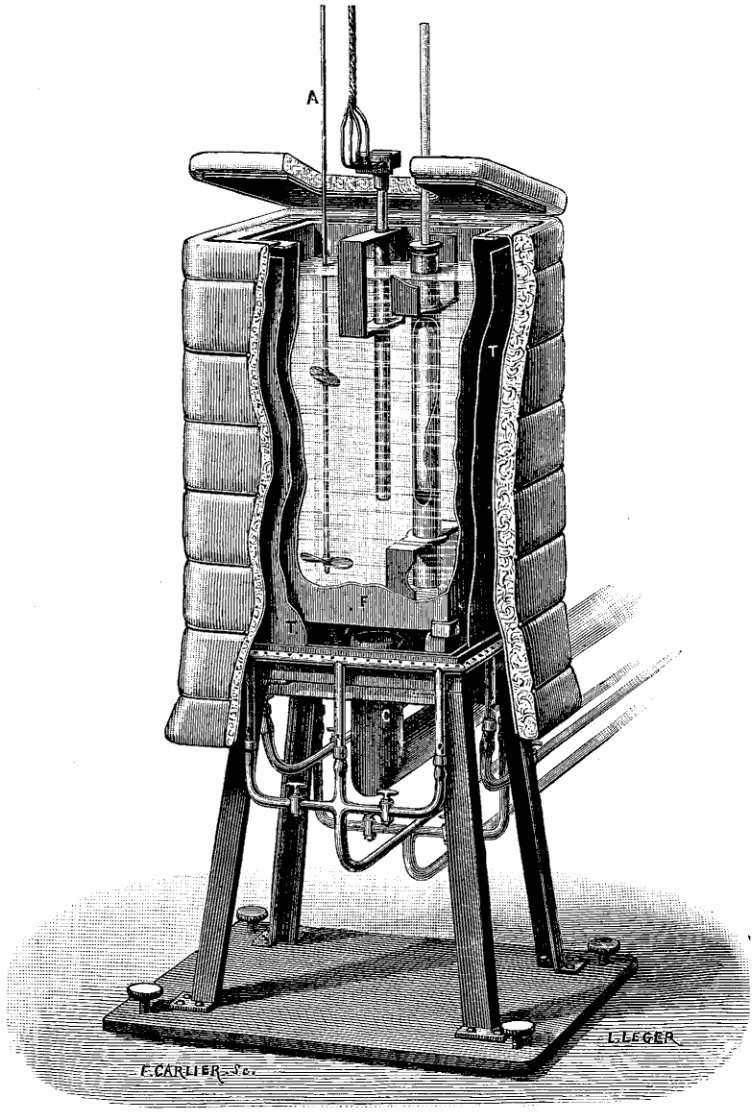


Fig. 26. — Appareil pour les comparaisons thermométriques dans du salpêtre fondu.

Les résultats récents sont sans doute plus exacts que ceux de Regnault, mais l'écart peut sembler encore trop considérable étant donnée la concordance de chacune des séries de mesures; une étude plus parfaite de la dilatabilité des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

réservoirs de porcelaine des thermomètres à gaz pourra atténuer cet écart (1).

Résultats accessoires. — Les recherches thermométriques du Bureau international, modestement commencées dans le but de permettre une mesure plus précise des températures ordinaires, ont dépassé, à la fois, considérablement leur programme primitif et l'espoir que l'on avait pu fonder au sujet des progrès qu'elles seraient susceptibles de faire naître. La création d'une échelle normale des températures, le perfectionnement des procédés d'étude des thermomètres à mercure et la détermination de leurs corrections dans un intervalle étendu, le perfectionnement incessant de leur construction à laquelle le Bureau inter-

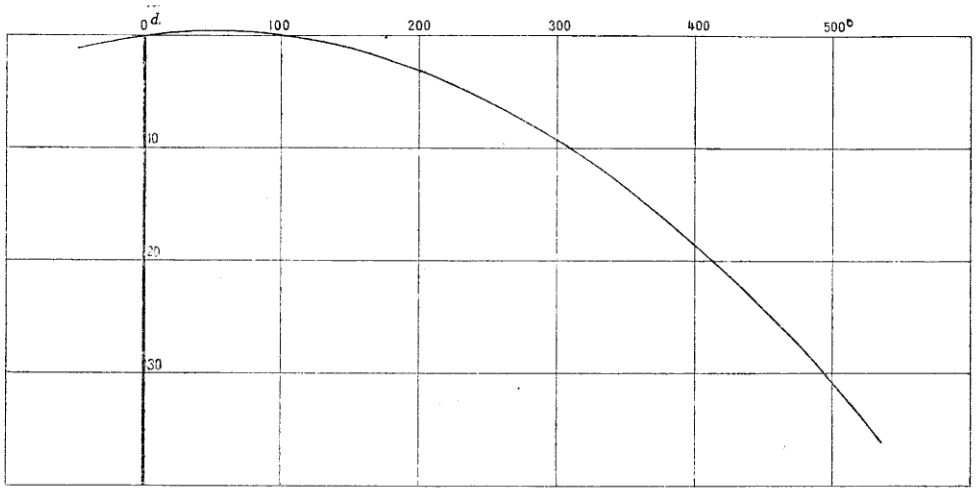


Fig. 27.

national a puissamment contribué par des indications données aux constructeurs, l'adoption du verre dur, la création du thermomètre à toluène, l'étude précise des propriétés élastiques et thermiques des gaz, une détermination très soignée des constantes des thermomètres électriques, tels sont les principaux services rendus à la science par les études thermométriques faites au Bureau international. Mais les résultats de ces recherches ont eu de plus lointaines répercussions. L'étude complète de quatre cents thermomètres de premier ordre, a répandu, dans les laboratoires, les observatoires, les instituts météorologiques ou les services des poids et mesures, des témoins précis de l'échelle normale, et ont permis l'unification des résultats de toutes les mesures

(1) Une mesure de la dilatation de la porcelaine dure de la Manufacture royale de Berlin, récemment exécutée par MM. Holborn et Grüneisen, pour des températures comprises entre 0° et 1000° conduirait en effet à abaisser de 0,5 degré le résultat trouvé par MM. Chappuis et Harker.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

où la température intervient comme l'une des variables. L'importance de cette unification ressortira avec évidence de l'exemple suivant :

Les valeurs trouvées par des observateurs très habiles pour l'équivalent mécanique de la calorie différaient, jusqu'à ces derniers temps, au delà des limites de précision qu'il semblait légitime d'attribuer à chaque mesure; or, il y a quelques années, l'incertitude dans les échelles thermométriques employées fut signalée comme la cause d'incertitude la plus évidente des résultats. Les thermomètres de Joule ayant été comparés par M. Schuster à un étalon fourni par le Bureau international, ceux du professeur Rowland par MM. Ames et Day, à d'autres de ces étalons, et, d'autre part, M. Griffiths ayant vérifié que ses thermomètres concordaient avec ceux du Bureau, tandis que MM. Schuster et Gannon se servaient d'un de ces instruments dans leurs mesures personnelles, les résultats, qui présentaient de beaucoup trop fortes divergences, en vinrent à concorder sensiblement mieux qu'on n'eût osé l'espérer.

Par les perfectionnements qu'elle a subis, la thermométrie a pu s'attaquer à de nouveaux problèmes, tels que la mesure des pressions atmosphériques par la température d'ébullition de l'eau, et dépasser de nouveau le baromètre transportable qui avait été, pendant un temps, plus digne de confiance. Puis, comme le baromètre est soumis à l'action de la pesanteur, tandis que le thermomètre est soustrait à son influence, on a pu songer à obtenir, par comparaison d'un thermomètre hypsométrique et d'un baromètre en divers lieux, un moyen rapide de déterminer la valeur de l'accélération de la pesanteur, avec une précision bien suffisante pour les réductions des météorologistes, sinon pour les études géodésiques proprement dites (1).

LE BAROMÈTRE

La description, donnée à propos du thermomètre à gaz, des procédés de mesure des pressions, dispensera d'entrer dans de minutieux détails au sujet du baromètre.

Dans la mesure de la pression atmosphérique, on peut avoir en vue soit des déterminations rapides, soit des évaluations très précises. Dans ce dernier cas, il est nécessaire de faire usage de tubes larges, ce qui oblige à employer, pour fixer la position des ménisques, invisibles dans une lunette, l'artifice déjà indiqué, consistant à faire réfléchir dans le mercure une pointe fine en émail noir.

Dans les baromètres normaux du Bureau international dont l'instrument

(1) Cette méthode, dont j'ai indiqué le principe dans un rapport présenté en 1886 au Comité international des Poids et Mesures, a été appliquée avec succès à de nombreuses déterminations faites, à l'aide de thermomètres étudiés au Bureau international, par le professeur Mohn, Directeur de l'Institut météorologique de Norvège.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

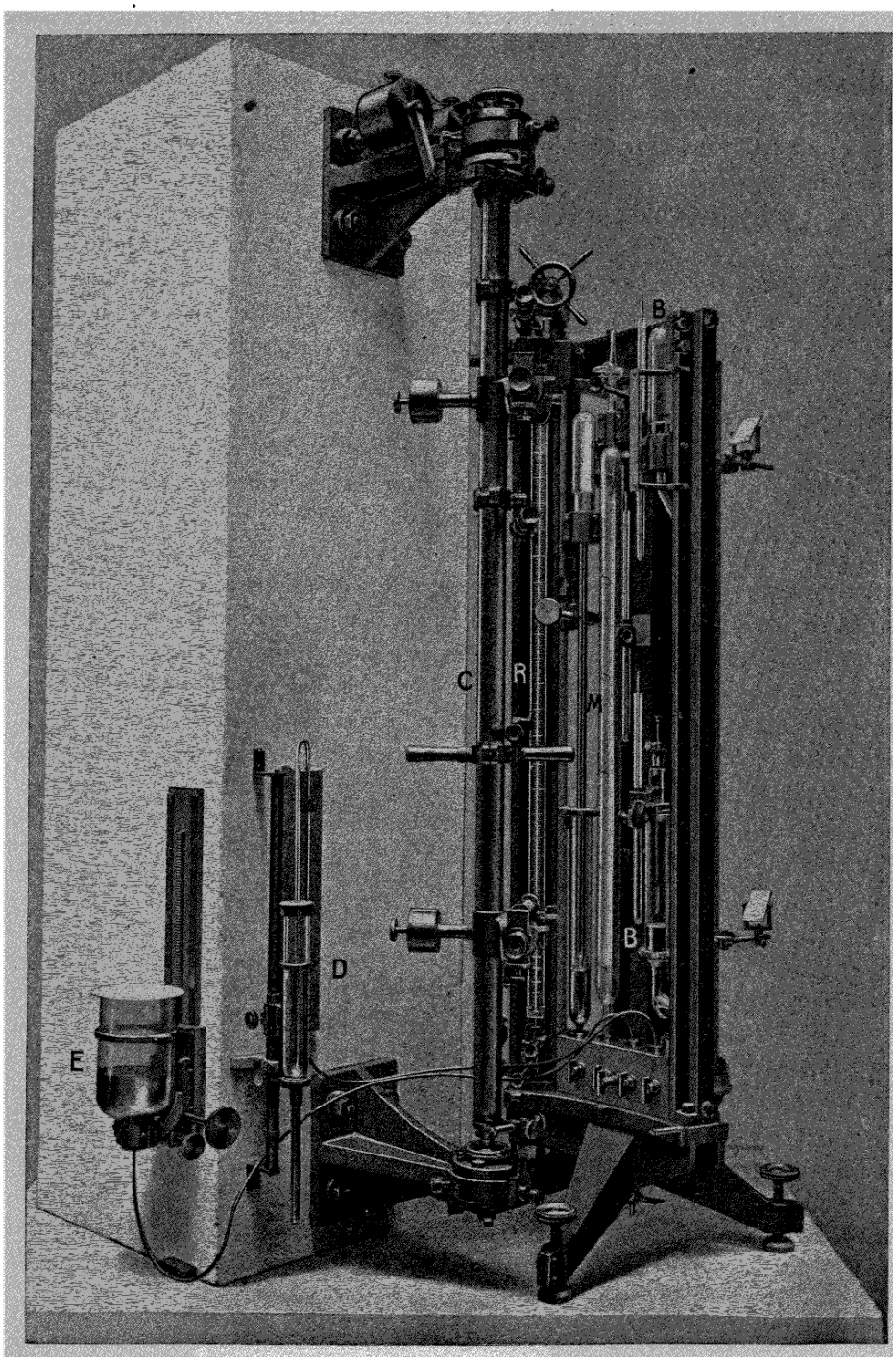


Fig. 28. — Baromètre normal et manomètre du Bureau international.

BB, baromètre; M, manomètre; R, règle divisée; C, cathétomètre; D et E, réservoirs servant à régler la haute du mercure dans le baromètre et le manomètre.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

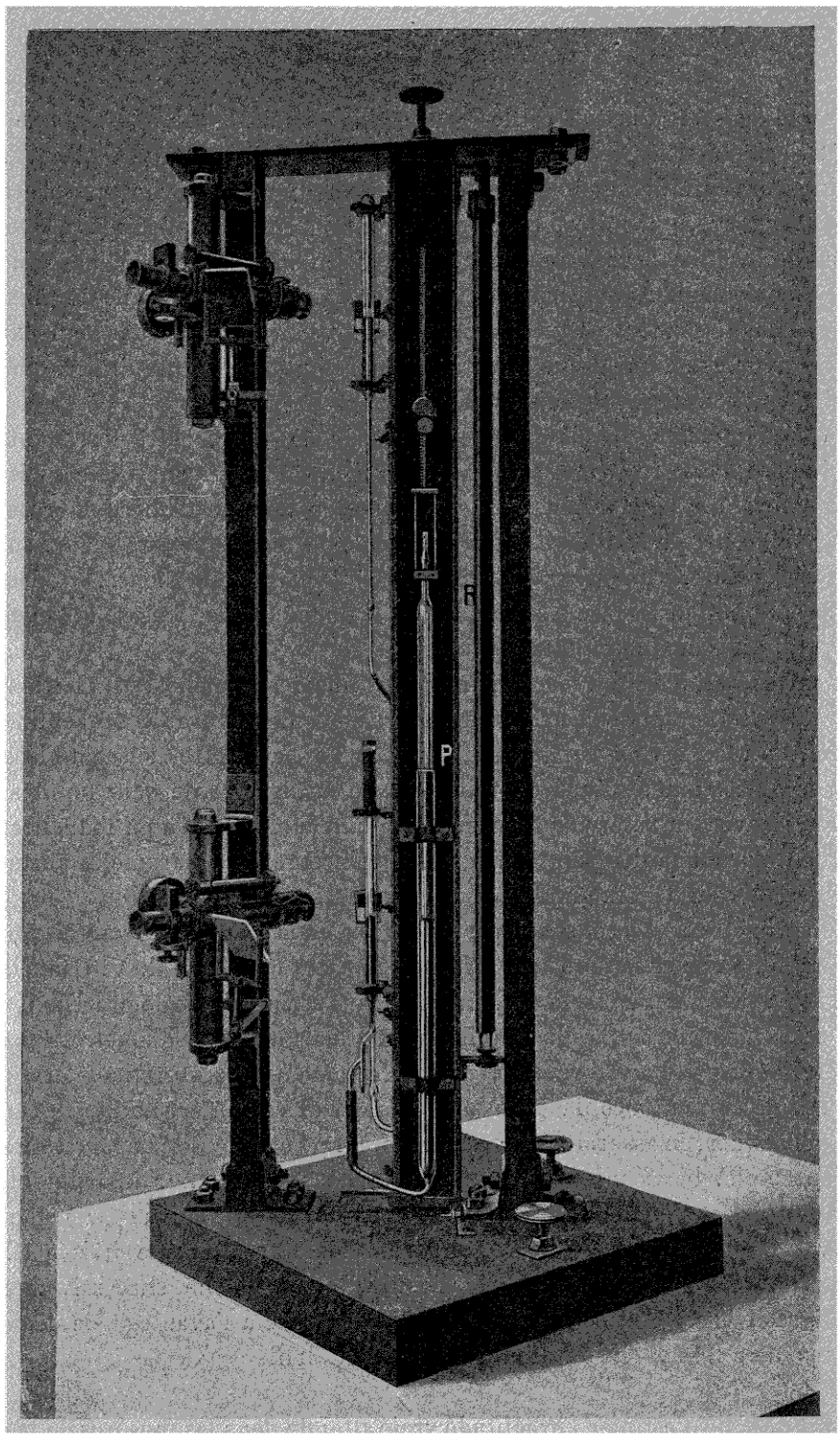


Fig. 29. — Petit baromètre du Bureau international.

La pièce centrale peut tourner sur elle-même, de manière à amener successivement le tube et la règle R dans le champ des lunettes. P, piston plongeur servant à modifier le niveau du mercure.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

représenté dans la figure 28 est le type le plus parfait, le tube BB est fixe dans un bâti (voir aussi fig. 14, 15 et 16), et se relie, par le bas, à une pièce d'acier par l'intermédiaire de laquelle il communique avec un réservoir latéral, contenant du mercure, qui lui est relié par un tube d'acier entouré d'une chemise de plomb. Le tube fermé, recourbé, à la partie supérieure, de manière à se trouver verticalement au-dessus de la branche ouverte, porte une ou plusieurs pointes d'émail soudées au verre, et coudées verticalement dans son axe. Le tube inférieur est muni d'une armature supportant une pointe droite, que l'on peut élever ou abaisser d'un mouvement micrométrique.

Un cathétomètre à deux lunettes C permet de viser, entre les pointes et leurs images, et de reporter la distance des ménisques sur une règle divisée R.

Pour mesurer la pression atmosphérique, on abaisse d'abord le réservoir latéral, puis on le relève de manière à amener le ménisque supérieur, sous sa forme ascendante, à une très petite distance de la pointe supérieure. On descend ensuite la pointe inférieure jusqu'à proximité du ménisque, puis on fait quelques pointés alternés aux deux lunettes.

Le même bâti porte un manomètre dont l'une des branches, M, contient six pointes, ajustées dans son axe, et distantes l'une de l'autre de 16 centimètres environ. Ce tube est en communication avec un baromètre, susceptible de se déplacer verticalement d'une quantité égale à la distance de deux pointes successives, et avec un réservoir E permettant d'amener le niveau à l'affleurement de l'une quelconque des pointes fixes. Le déplacement du baromètre permet de subdiviser à volonté l'intervalle de deux pointes.

Ce baromètre a été construit par M. Marek, puis transformé par M. Benoît. La verrerie, d'une exécution très difficile, en a été confiée à M. V. Chabaud.

Si l'on veut opérer rapidement, en renonçant à la plus grande précision, on se sert d'un baromètre à tubes plus étroits (fig. 29) mais de même diamètre, dans lesquels le ménisque bombé peut être visé directement avec un réticule. Un plongeur P, que l'on enfonce dans un tube latéral, fait remonter simultanément les deux ménisques, en assurant leur parfaite propreté et l'identité de leur courbure.

L'ensemble, beaucoup moins lourd que dans le premier instrument, est beaucoup plus mobile, ce qui a permis de monter le tube sur un fer à double T tournant autour d'un axe vertical, et portant en outre la règle divisée R. Les lunettes restent fixes pendant une mesure, et on amène successivement le baromètre et la règle dans leur champ. Ce dispositif a l'avantage de dispenser d'un ajustage très précis du mouvement de rotation.

Il est difficile d'estimer l'exactitude vraie atteinte dans les mesures de la pression atmosphérique. Il semble cependant que, dans des conditions très favorables, des erreurs du centième de millimètre ne sont pas dépassées.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MESURES DE LONGUEUR

Une longueur peut être définie pratiquement, comme nous l'avons vu, soit par la distance des axes de deux traits, soit par la distance de deux surfaces parallèles. Elle peut être aussi de plus ou moins grande étendue, et, suivant les divers cas qui se présentent en pratique, les méthodes de mesure sont essentiellement différentes. Nous les passerons successivement en revue.

MESURES A TRAIT

Méthodes.

Le seul procédé actuellement en usage pour fixer la position d'un trait déterminant l'un des termes d'une longueur, consiste à le pointer au moyen d'un microscope muni d'un micromètre oculaire portant une ou plusieurs paires de fils parallèles qui servent à encadrer l'image du trait. Le grossissement qu'il est possible d'employer dépend essentiellement de la qualité des surfaces et des traits, et de la perfection de l'éclairage. Autrefois, un grossissement de vingt diamètres ne pouvait guère être dépassé; mais, dès les premiers travaux exécutés au Bureau international, on pensa pouvoir, sans inconvénient, atteindre 50 à 60 diamètres. Aujourd'hui, la perfection des tracés s'est tellement accrue que des grossissements de 150 à 200 diamètres sont aisément supportés.

Dans les anciens étalons, le poli était généralement assez imparfait, et même si les surfaces étaient sensiblement planes, on s'en tenait à un doucissage. Le poli spéculaire, permettant des tracés très fins, fut pratiqué pour la première fois au Conservatoire des Arts et Métiers sur les règles destinées au Bureau international, et ces conditions de tracé furent adoptées pour toute la série des mètres étalons exécutés avec une admirable perfection par M. Gustave Tresca, à qui la Section française avait confié ce travail. Les traits avaient de 6 à 8 microns de largeur, et leurs bords, vus avec un grossissement de 60 diamètres, paraissaient en général parfaitement rectilignes ; leurs petits défauts n'apparaissaient bien nettement que sous de plus forts grossissements. Reprenant, ultérieurement, l'étude des tracés, M. Benoît est parvenu à une plus grande perfection encore, et a exécuté des divisions nombreuses en traits de 2 microns de largeur, dont les bords sont si parfaitement rectilignes qu'un grossissement de 200 diamètres n'en fait pas encore apparaître les défauts. On pourrait penser que, dans l'avenir, le perfectionnement dans cette voie sera

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

indéfini. Mais, lorsqu'on y regarde de plus près, on arrive bien vite à se convaincre que l'on s'approche déjà d'une limite qui ne saurait être dépassée. A mesure que les traits deviennent plus fins, les défauts du métal, vus avec des grossissements croissants, deviennent plus évidents, les moindres piqûres apparaissent, les défauts de planéité interviennent pour la mise au point, le champ se rétrécit, l'éclairage devient plus difficile et donne de plus en plus aux traits une teinte grisâtre. Enfin, plus les traits sont fins, moins ils ont de profondeur, et moins ils résistent aux contacts nécessités par le nettoyage répété de la surface.

Le système d'éclairage des microscopes a la plus grande importance pour l'exactitude des pointés, et doit être étudié avec le plus grand soin. Dans l'emploi, aujourd'hui exclusif, du poli spéculaire, il est nécessaire d'utiliser la réflexion régulière, en même temps que la mise au point exige que les surfaces soient perpendiculaires à l'axe du microscope. Dans ces conditions, les deux seuls modes d'éclairage possibles sont obtenus ou bien à l'aide d'un miroir couvrant intérieurement ou extérieurement une partie de l'objectif tandis que l'autre sert à former l'image (fig. 30), ou bien au moyen d'une glace non argentée, placée intérieurement (fig. 30 *bis*), et renvoyant, par toute sa surface, à travers l'objectif, la lumière qu'elle reçoit d'un projecteur, tandis qu'au retour elle est traversée par le faisceau formant l'image.

Les microscopes de grandeur moyenne sont généralement ajustés de telle sorte que le pas de vis du micromètre corresponde, dans l'image, à un dixième de millimètre. Le tambour du micromètre, divisé en 100 parties, donne le millième de millimètre ou *micron* par lecture directe, et l'appréciation des fractions donne le dixième de micron. Les pointés sur un bon trait se font avec une précision de quelques dixièmes de micron, et tendent vers le dixième pour des traits extrêmement parfaits, avec de forts grossissements.

On détermine la valeur exacte du pas de la vis en mesurant, dans une étendue aussi grande que possible, une longueur connue, généralemeni 1 millimètre, qui, dans les cas ordinaires, est entièrement compris dans le champ. Ce n'est qu'avec de très forts grossissements qu'il est nécessaire de se servir d'une distance plus réduite.

Le micromètre peut permettre de déterminer directement de petites longueurs, en fonction du pas de vis, dont les irrégularités ont été préalablement déterminées par des procédés analogues au calibrage d'un thermomètre. La plus grosse difficulté de telles mesures réside dans l'obtention de la mise au point parfaite, qui influe naturellement sur la grandeur de l'image; mais, aussitôt que les grandeurs à mesurer excèdent l'étendue du champ, il est nécessaire d'opérer avec deux microscopes, comme nous allons le voir.

Le comparateur. — Un comparateur pour les mesures à traits se compose de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

deux microscopes et des organes nécessaires pour porter les étalons, les protéger contre les variations de la température, et permettre de les amener, d'un

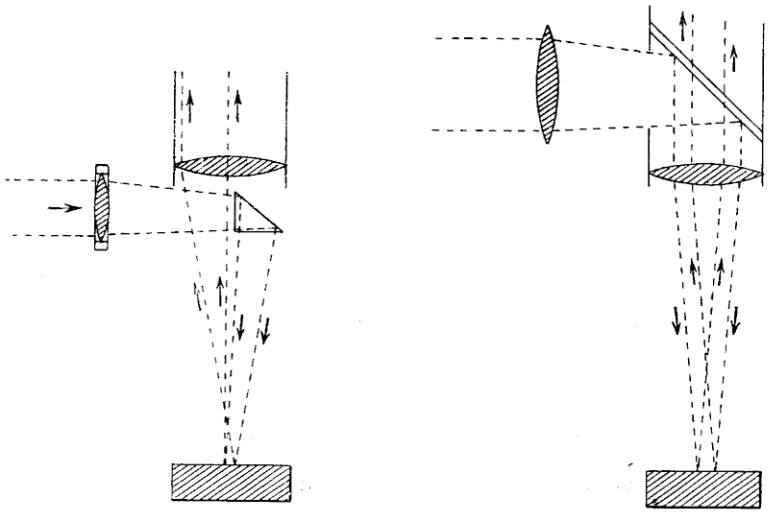


Fig. 30 et 30 *bis*. — Divers modes d'éclairage des microscopes.

mouvement rapide suivi d'un déplacement micrométrique, dans la position exacte qu'ils doivent occuper.

Le déplacement lui-même peut se faire par un mouvement transversal ou longitudinal. Dans le premier cas, les longueurs à comparer sont l'une à côté de l'autre; dans le second, elles sont bout à bout (1). Ce dernier dispositif est

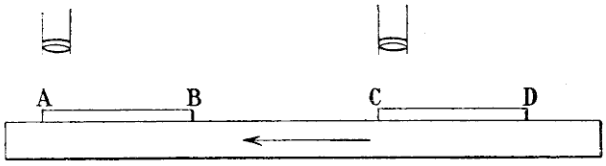


Fig. 31. — Comparaison par déplacement longitudinal.

imposé lorsqu'on veut comparer les diverses sections d'un même étalon, divisé par exemple dans toute sa longueur, ou bien aussi pour comparer des longueurs qui, tout en excédant l'étendue du champ du microscope, sont plus petites que

(1) La comparaison, par mouvement longitudinal, de deux étalons placés côte à côte, usitée dans certains comparateurs, peut conduire à des erreurs importantes si le mouvement n'est pas rigoureusement rectiligne.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la distance minima des deux microscopes. Dans ce dernier cas, les deux étalons, AB, CD (fig. 31), sont placés dans le prolongement l'un de l'autre, sur un même support qui peut se déplacer dans le sens de la flèche. L'un des microscopes pointe le trait A et l'autre le trait C; puis on amène le trait B sous le premier microscope, et le trait D devra apparaître dans le champ du second. En réalité, on compare les distances AC et BD, dont la partie commune BC s'élimine à la condition d'être restée invariable pendant la mesure, ce dont on s'assure en répétant plusieurs fois le mouvement de va-et-vient.

Description des instruments.

Comparateur de Brunner. — Cet instrument (fig. 32) est destiné à la comparaison des règles de 1 mètre de longueur. Ses microscopes sont fixés, par des équerres de métal, à deux piliers de pierre reposant sur un massif en maçonnerie. Un solide bâti, placé sur le même massif, porte une auge à double enveloppe, contenant un support muni de deux bancs que commandent des organes de réglage. Chacun de ces deux bancs est pourvu de deux rouleaux sur lesquels reposent les règles, et de fourchettes destinées à supporter deux thermomètres. Le chariot, monté sur quatre solides galets, peut se déplacer d'avant en arrière de manière à amener l'auge sous les microscopes ou à l'en dégager complètement. On peut rendre une roue solidaire de l'axe de deux des galets, et la commander au moyen d'une vis tangente. Deux auges différentes peuvent être adaptées au comparateur. L'une, destinée à des comparaisons dans l'eau, est munie d'un agitateur. L'autre, pour la comparaison des règles dans l'air, est pourvue d'une double enveloppe en cuivre rouge entourant les règles et les thermomètres, enfin d'une glace recouvrant le tout à l'exception des ouvertures nécessaires aux observations et au passage des organes de réglage.

Comparateur à dilatation. — On peut, au moyen de cet instrument (fig. 33 et 33 *bis*), déterminer la dilatation d'une règle de 1 mètre. Ses organes sont assez semblables à ceux du comparateur Brunner ou, tout au moins, remplissent un but analogue. Il possède deux auges à doubles parois, reliées à une canalisation permettant de faire passer, dans l'auge extérieure, de l'eau en un filet dont on règle à la fois la température dans une grande cuve placée hors de la salle, et le débit par un robinet gradué.

L'espace E compris entre les deux auges est rempli d'eau; l'une des auges maintenue à température constante contient une règle de comparaison à laquelle on reporte constamment la distance des microscopes; l'autre sert à porter successivement à des températures différentes la règle dont on veut connaître la dilatation. Les auges portent des lunettes A servant à lire les ther-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

momètres, et sont munies d'agitateurs W. Le bâti qui les supporte repose sur des galets G, dont une roue tangente peut-être rendue solidaire au moyen des écrous D; la rotation de la roue est commandée par la tringle F.

Pour la plupart des mesures, on simplifie l'opération en plaçant à la fois, dans l'une des auges, la règle à déterminer, avec une règle dont la dilatation est connue, et on se borne à mesurer la différence des dilatations. ce qui évite de régler la température de deux auges. Chaque auge est munie de quatre thermomètres.

Comparateur géodésique. — Les étalons utilisés en géodésie avaient autre-

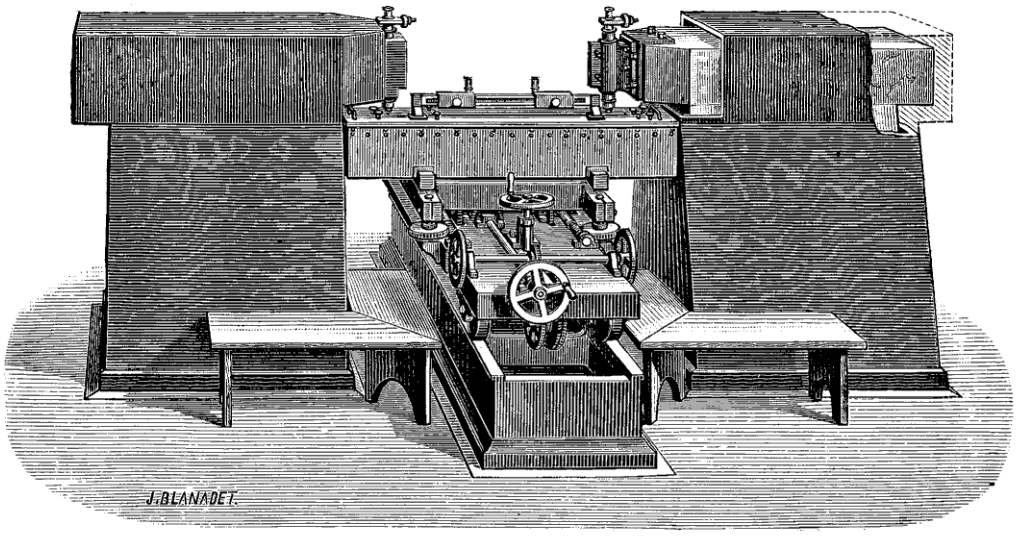


Fig. 32. — Comparateur pour les règles de 1 mètre, construit par les frères *Brunner*.

fois une longueur de deux toises. Ceux que l'on construisit ensuite portaient, à la fois, des traits à cette même distance et à la distance de quatre mètres. Aujourd'hui, la plupart de ces étalons ont une longueur de quatre mètres, choisie de manière à réduire au minimum le nombre des portées sur le terrain, tout en restant dans des limites acceptables pour le poids des appareils. Le comparateur destiné à mesurer leurs constantes doit permettre à la fois de repérer leur longueur en partant d'un étalon métrique, et de déterminer leur dilatation entre les limites de température où ils doivent être employés dans les mesures de bases.

Il répond à ce double but par les dispositifs suivants :

Cinq piliers de pierre (fig. 34), reposant sur une solide fondation en maçonnerie, portent des microscopes exactement alignés, et constituant, par leur

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ensemble, quatre comparateurs de 1 mètre à la suite l'un de l'autre. Deux autres microscopes déterminent une droite parallèle à la première. Un cadre reposant sur des galets roule sur des rails encastrés dans la fondation, et porte deux vastes auges munies, l'une de deux bancs, l'autre d'un seul banc, que l'on peut déplacer d'un mouvement micrométrique. Le cadre lui-même est commandé par une vis qu'actionne un moteur, et peut transporter les auges de manière à amener la première successivement soit sous la première rangée de microscopes, soit sous les deux microscopes isolés. Les auges sont munies

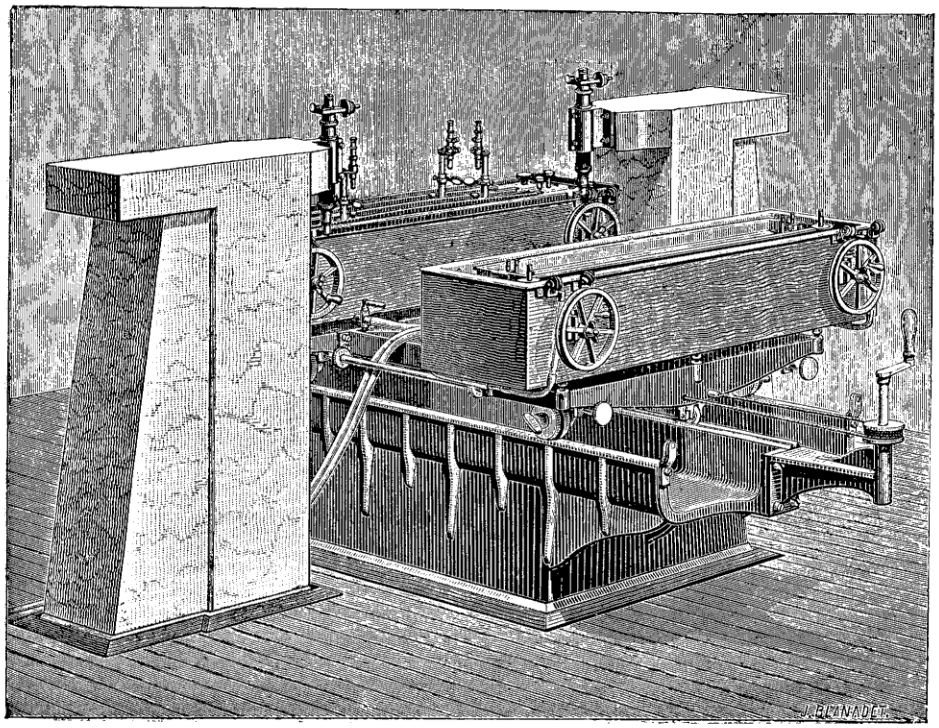


Fig. 33. — Comparateur à dilatation, construit par la *Société genevoise*.

d'agitateurs commandés par des moteurs électriques ; et, pour l'établissement et l'entretien de températures diverses, l'intervalle séparant les parois des auges intérieure et extérieure communique, par de larges tuyaux de caoutchouc, avec des cuves extérieures à la salle, ou avec un serpentin autour duquel on peut tasser de la glace.

L'étalonnage, c'est-à-dire la détermination de la longueur d'une règle de 2, 3 ou 4 mètres se fait au moyen de la rangée de 5 microscopes et de la première auge. La règle à déterminer est placée sur l'un des bancs, tandis que l'autre porte la règle étalon de 1 mètre. Toutes deux sont réglées de manière que

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

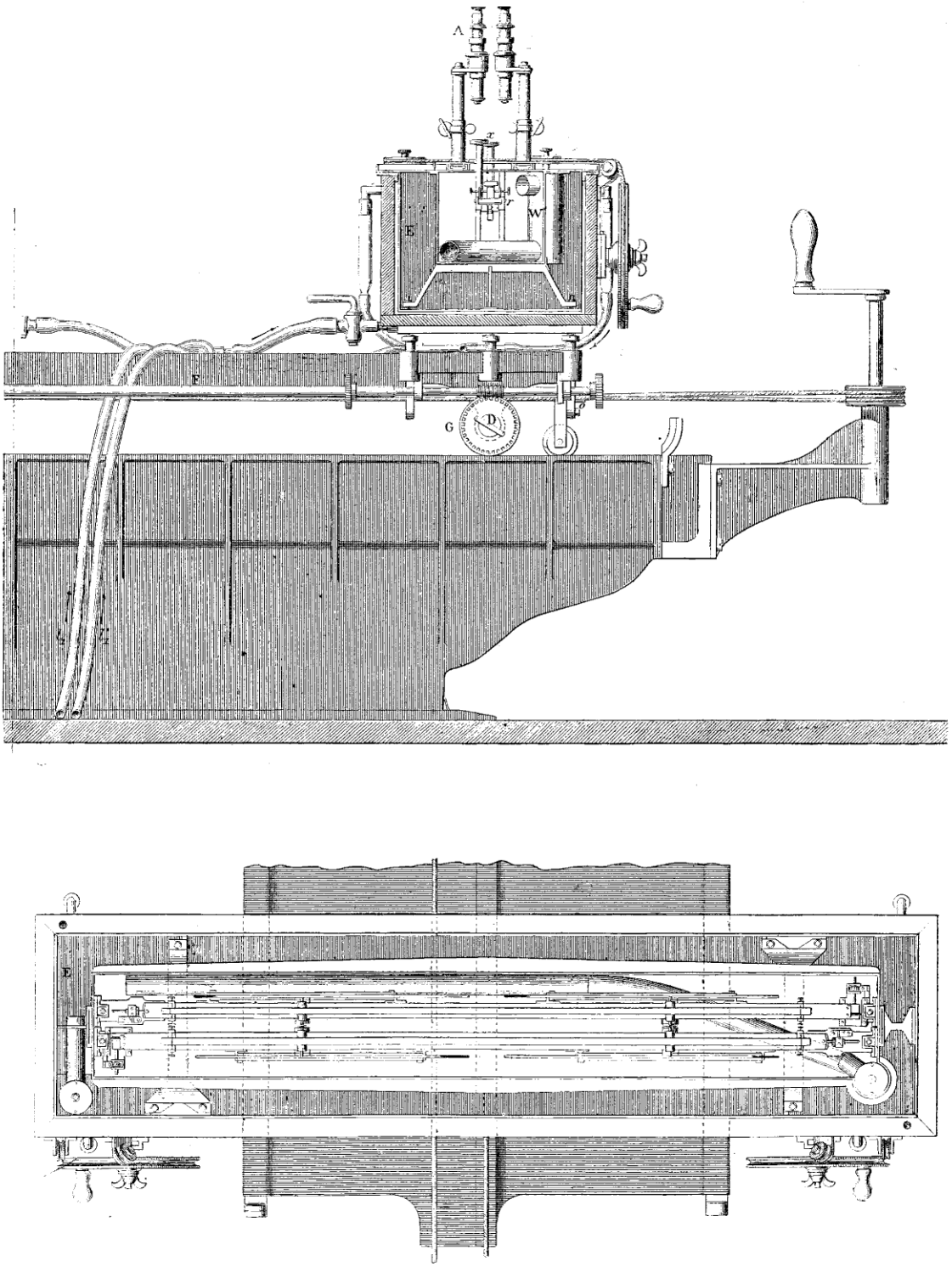


Fig. 33 *bis.* — Comparateur à dilatation, plan et coupe.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les traits terminaux de l'étalon, et les traits limitant le premier mètre de la barre géodésique viennent se substituer dans le champ des deux premiers microscopes. La comparaison étant faite, on transporte l'étalon en face du second intervalle, et ainsi de suite.

Pour la mesure d'une dilatation, on opère comme pour les règles de

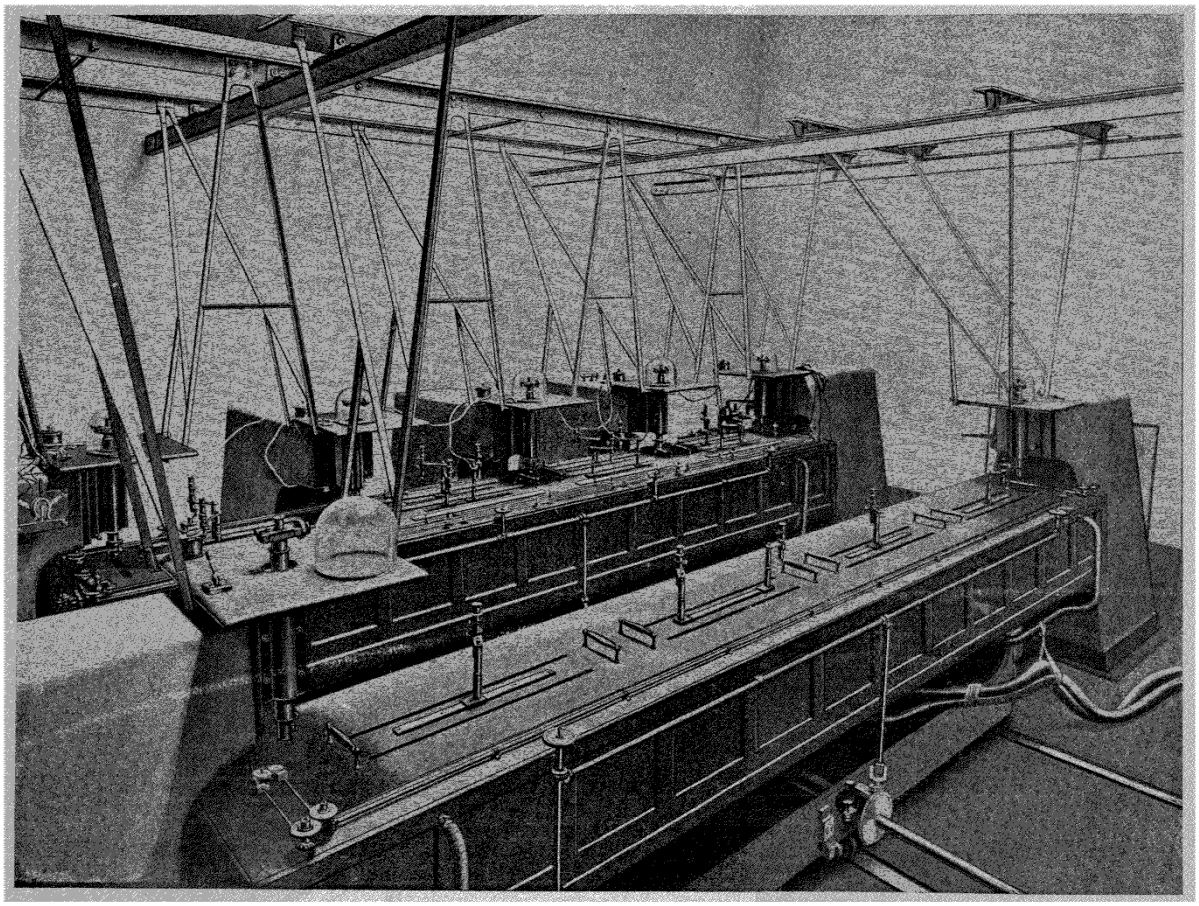


Fig. 34. — Comparateur pour les étalons géodésiques, construit par la *Société genevoise*.

1 mètre, soit avec les deux auges et les deux microscopes isolés, soit, pour les mesures relatives, avec l'auge munie de deux supports, ce qui permet de se servir soit des microscopes de la première rangée, soit de ceux de la seconde.

Comparateur à déplacement longitudinal (fig. 35). — Cet instrument, de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

construction récente, est destiné à comparer de faibles longueurs, par le procédé précédemment indiqué (p. 63), ou à déterminer les erreurs de division d'un étalon.

Il se compose d'une sorte d'auge très robuste en fonte, reposant sur trois vis calantes, et contenant, dans son intérieur, une double glissière longitudinale sur laquelle peut se déplacer un banc mû par une crémaillère que commande une roue à tête divisée. Sur ce banc s'en placent d'autres dont on peut régler la hauteur, et qui sont destinés à porter la règle à étudier ou les étalons à com-

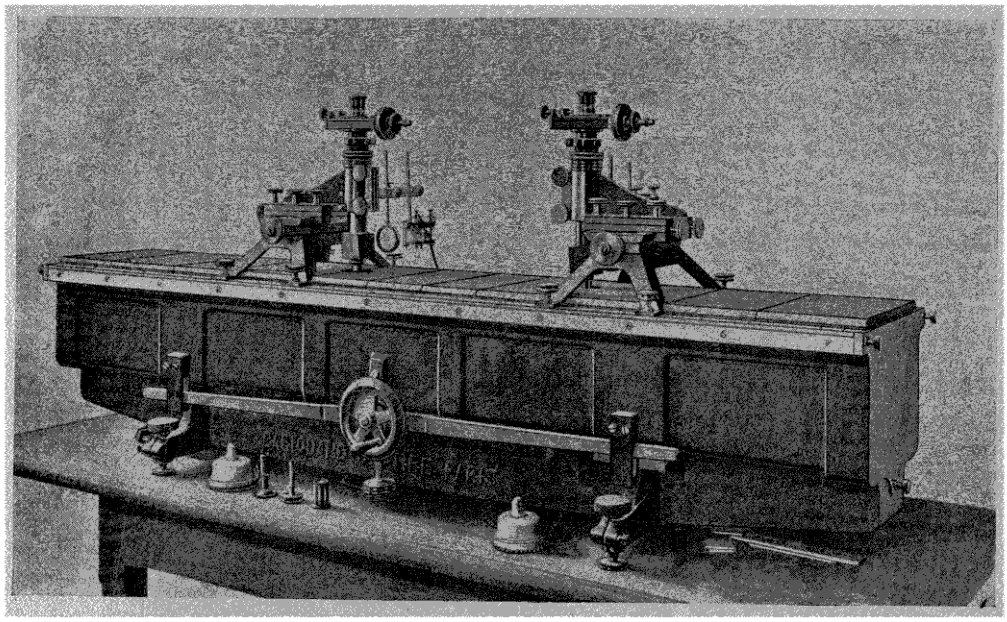


Fig. 35. — Comparateur à déplacement longitudinal, exécuté par MM. *Bariquand et Marre*, à Paris (1).

parer. Sur la surface supérieure, bien dressée, de l'auge, on fixe, par des vis, les supports de deux microscopes, qui peuvent être mis à une distance quelconque comprise entre 1 mètre et $0^m,1$ environ. La roue de commande peut être mue à la main ou à l'aide d'un levier qu'on cale sur son axe. Sa division est seulement destinée à renseigner, à une fraction de millimètre près, sur les déplacements que l'on provoque, afin d'éviter toute erreur sur les traits que l'on pointe.

Comparateur universel (2). — Ce comparateur (fig. 36) réunit à la fois les

(1) Sur des indications de MM Benoît et Guillaume.
(2) Étudié avec la coopération de M. Marek.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

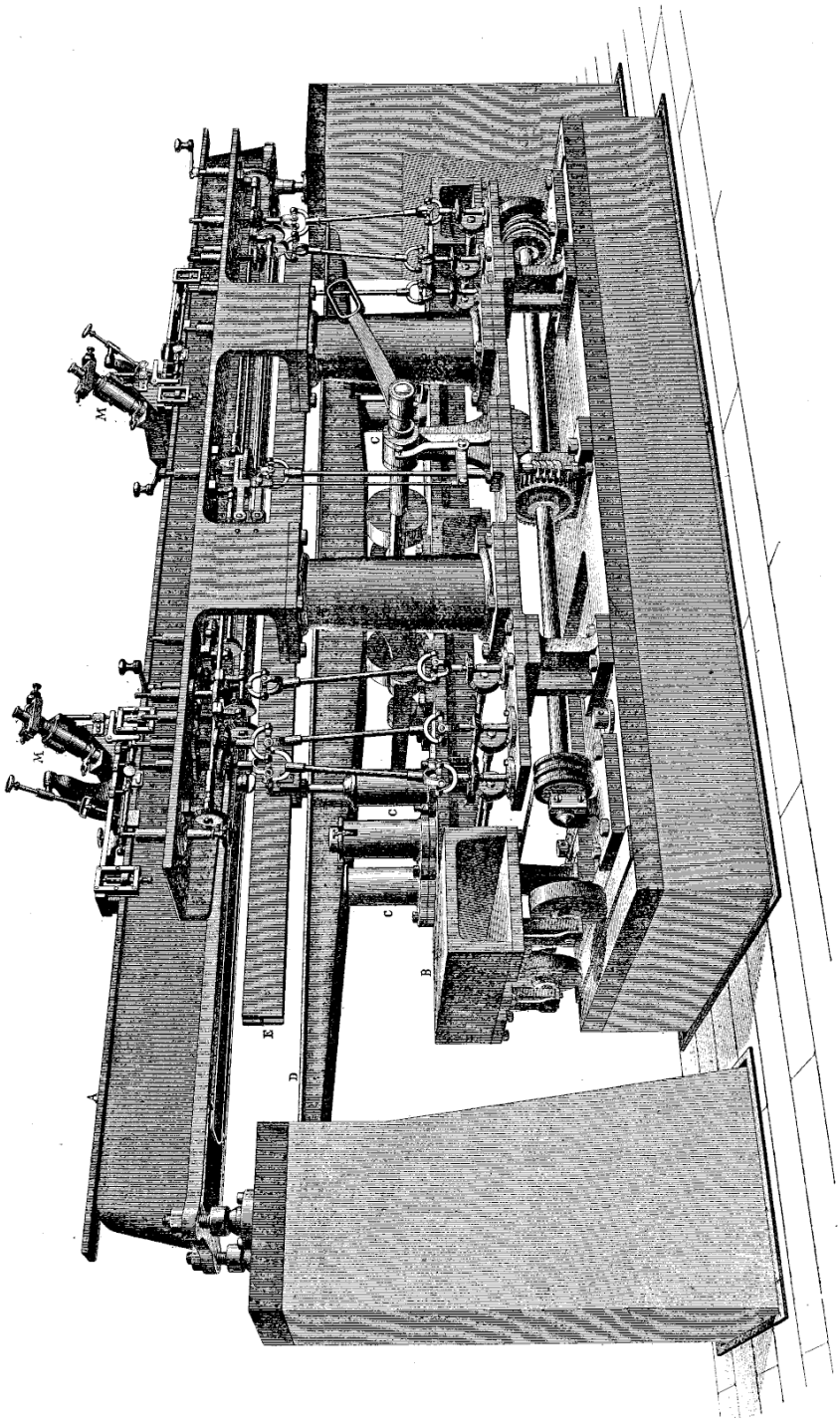


Fig. 36. — Comparateur universel, exécuté par MM. *Starke* et *Kammerer*, à Vienne.

deux mouvements, transversal et longitudinal, et la mobilité des microscopes. Il permet, par conséquent, d'effectuer tous les modes de comparaisons. Il se compose d'une double poutre en fer A, reposant sur deux piliers, et portant deux microscopes dont la distance peut dépasser 2 mètres, et d'un lourd chariot B roulant sur des rails, et que surmontent trois paires de colonnes creuses C dans lesquelles peuvent se déplacer, dans le sens vertical, des pièces mobiles supportant deux bancs D et une règle divisée E de 2 mètres de longueur. L'observateur a sous la main des manettes de commande pour le mouvement transversal du chariot et pour la mise au point de chacun des bancs et de la règle. Les microscopes M sont susceptibles d'un déplacement rapide ou micrométrique. L'instrument est complètement enfermé dans une enveloppe de bois, munie, seulement à l'avant et à la partie supérieure, de glaces, permettant d'éclairer les microscopes et d'observer les thermomètres. Les micromètres et les manettes de commande sont seuls visibles à l'extérieur.

L'entraînement du chariot se fait par des rubans d'acier sur lesquels la commande de déplacement transversal agit simultanément. Les autres mouvements sont alors transmis par des tiges carrées s'engageant dans des pièces entraînées par le chariot, et glissant sur les tiges.

Pour les déplacements longitudinaux, on place, sur l'un des bancs, un chariot que gouverne une crémaillère et un pignon réuni, par un joint à la Cardan, à une tringle descendant verticalement par le haut du comparateur.

Les mesures à cet instrument ne peuvent être faites que dans l'air.

Le comparateur universel possède d'autres organes destinés à la détermination des épaisseurs, et qui seront décrits plus loin (p. 78).

MESURES A BOUTS

Méthodes.

Lorsqu'un étalon est limité par deux surfaces parallèles, les procédés mis en œuvre pour sa détermination sont essentiellement différents de ceux qui viennent d'être décrits. Ces procédés, très variés dans le détail, se ramènent tous à trois méthodes distinctes : par contact direct, par réflexion d'un objet, et par la production de franges d'interférence, dans les surfaces terminales de la pièce à déterminer.

La méthode des contacts directs est la plus anciennement employée, et c'est encore celle qui sert exclusivement dans l'industrie. Toutes les mesures au pied à coulisse, au sphéromètre, au micromètre d'atelier l'utilisent sous des formes diverses.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En principe, elle consiste à amener, contre la pièce à mesurer, deux contacts mobiles dont on repère la distance, puis à appliquer, dans une autre opération, ces deux contacts l'un contre l'autre pour déterminer leur point de départ. Dans les deux cas, la position des contacts est déterminée soit au moyen d'une division par rapport à laquelle on la repère, soit par une vis dont on lit la course sur un tambour. Dans le premier cas, la mesure à bouts se ramène à une mesure à traits; dans le second, les longueurs sont rapportées à la valeur du pas de la vis, que l'on détermine soit en mesurant une pièce étalon dont l'épaisseur a été établie par le premier procédé, soit en fixant sur la vis une échelle divisée dont on rapporte le déplacement à un étalon à traits de valeur connue.

Comme nous le verrons, il existe des instruments dans lesquels les mesures par une vis ne font intervenir cette dernière que pour un très petit intervalle, la valeur inconnue d'un étalon étant alors rapportée à la mesure connue d'un autre étalon de même nature et approximativement de même valeur.

Le procédé optique a déjà été mentionné à propos de la lecture du baromètre. C'est ce procédé de réflexion d'une pointe dans la surface dont on cherche à déterminer la position qui a été employé dans la comparaison du Mètre des Archives de France avec le Prototype international provisoire à traits, duquel a été déduit le Prototype définitif. Dans la détermination que nous avons faite, M. Benoît et moi, d'étalons à bouts en platine iridié demandés par quelques États, nous avons utilisé un important perfectionnement de cette méthode, imaginé par M. Benoît, et consistant à faire réfléchir, dans la surface terminale de la règle, un fil d'araignée horizontal C D, tendu parallèlement à la règle, sur deux fils verticaux A B en contact avec elle (figure 37).

Le champ était vivement éclairé, dans la moitié découverte, par une glace placée au-dessous de la règle. On apercevait alors le fil d'araignée et son image comme deux droites très fines et parfaitement délimitées, dont on pointait la position moyenne; de cette manière, les règles à bouts étaient pour ainsi dire transformées en règles à traits.

Nous verrons que cette méthode, qui semble à première vue très exacte, ne l'est en réalité que lorsque certaines conditions particulières, relatives aux propriétés des objectifs, sont satisfaites.

La méthode interférentielle consiste à produire, entre la surface à très peu près plane dont on veut déterminer la position et une autre surface servant de repère, les franges d'interférence qui peuvent être de diverses natures, mais dont les plus simples en théorie sont les anneaux de Newton. Soit A (fig. 38) une surface convenablement réfléchissante, B une surface de verre, ou mieux une surface très faiblement argentée de manière à ne réfléchir qu'une fraction de la lumière incidente. Les faisceaux réfléchis sur A et B interféreront, et, s'ils sont sensiblement monochromatiques, ou si les surfaces sont très voisines, on aper-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cevra des franges colorées en lumière blanche, ou noires et claires en lumière monochromatique, dont chacune dessinera, dans toute son étendue, une courbe d'égale distance des deux surfaces. La distance des deux franges noires ou claires correspondra à une différence de l'épaisseur d'une demi-longueur d'onde de la lumière monochromatique employée. Si cette dernière est celle de la soude, dont la longueur d'onde est égale à $0\mu,589$ environ, la distance de deux franges correspondra à une différence d'épaisseur égale à $0\mu,2\,995$.

Jusqu'ici, le phénomène que nous utilisons ne peut servir qu'à déterminer les différences d'épaisseur de la couche d'air comprise entre les deux surfaces, et d'en déduire la forme de l'une d'elles si l'on connaît celle de l'autre, procédé couramment employé dans la construction des instruments d'optique. Mais supposons que la distance des surfaces vienne à varier. Lorsque cette variation aura

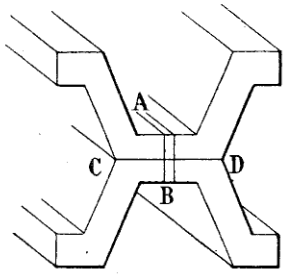


Fig. 37. — Disposition des fils d'araignée sur une règle à bouts.



Fig. 38.

atteint une valeur égale à $0\mu,2995$, chaque frange se sera déplacée de manière à venir occuper la place de la frange précédente; et, si l'on a suivi ce mouvement, on connaîtra la valeur de ce déplacement. Pour le déterminer avec une précision très grande, on munit la surface transparente B d'une série de repères qui peuvent être de petites taches ou des points gravés et disposés en quinconce. On détermine la position de chacun de ces points par rapport aux franges voisines, dans chacune des observations destinées à fixer la distance relative des deux surfaces, et, par la moyenne des lectures dans chaque position, on obtient une précision de quelques centièmes de frange, c'est-à-dire de l'ordre du centième de micron. On voit que ce procédé permet de mesurer les déplacements relatifs des deux surfaces avec une précision au moins dix fois supérieure à celle des meilleurs pointés au microscope. Cette indication peut suffire pour le moment. Nous verrons plus loin comment on peut mesurer, par des méthodes analogues, non seulement la variation qu'éprouve la distance de deux surfaces, mais cette distance elle-même.

La méthode interférentielle est pratiquement sans erreurs si on la compare

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

aux deux autres procédés de détermination d'un étalon limité par ses surfaces extrêmes. Nous allons passer rapidement en revue les erreurs auxquelles les autres méthodes sont sujettes.

En premier lieu, les procédés dans lesquels une règle à bouts est transformée, pour la mesure, en une règle à traits, soit par l'adjonction de pièces divisées, soit par la réflexion de fils d'araignée dans ses faces terminales, sont soumis à toutes les erreurs des pointés sur des traits, et ne pourraient, de ce fait, prétendre à une exactitude égale à celle de la comparaison directe des étalons à traits que si le contact ou la réflexion n'introduisaient aucune nouvelle erreur.

Au sujet de l'incertitude des contacts, l'opinion des métrologistes s'est modifiée, dans ces dernières années, dans un sens favorable à la méthode, surtout à la suite des études faites par le commandant Hartmann lorsqu'il était directeur de l'atelier de précision à la Section technique de l'Artillerie. Il a montré, contrairement à une opinion régnante, que des contacts successifs, effectués dans des conditions semblables entre les mêmes surfaces, donnaient un repérage très concordant, à la condition que la forme de ces surfaces fût convenablement choisie, c'est-à-dire, comme on le savait déjà, qu'elle possédât une courbure moyenne s'éloignant à la fois suffisamment des extrêmes qui sont le plan et la pointe. Il reste cependant, dans ces contacts successifs, une erreur constante résultant de la pression qui s'exerce entre les surfaces, et dont la grandeur est une fonction compliquée de l'effort, du rayon de courbure des surfaces et du module d'élasticité de la matière de l'étalon. Cette erreur s'élimine de la comparaison de deux étalons semblables au moyen du même appareil, mais elle subsiste en valeur absolue, et reparaîtra en partie lorsque l'un de ces étalons servira isolément pour la détermination de la valeur d'une pièce de forme différente. De grands efforts ont été faits pour éliminer autant que possible cette erreur dans les étalonnages ou pour la déterminer dans les cas où l'élimination était impossible, ainsi que nous le verrons plus loin. Dans la pratique des mesures, on cherchera à opérer sur de grands rayons, et avec des efforts aussi réduits que possible.

Lorsque les longueurs sont exprimées directement à l'aide d'une vis, il peut résulter une erreur appréciable du fait que la vis n'occupe pas toujours une position semblable dans son écrou. M. Benoît a trouvé, par exemple, que la vis verticale d'un sphéromètre abandonné pendant plusieurs heures, se pose au plus bas de l'écrou, tandis que, lorsqu'on lui a fait faire quelques tours sur elle-même, la mince couche d'huile qui s'est introduite entre elle et l'écrou la soulève d'une quantité voisine de 1 micron. Cette erreur n'influe pas sur la comparaison de deux épaisseurs, mais fausse le point de départ de la vis. Elle intervient ici directement, par toute sa valeur, tandis que, dans les micromètres des microscopes,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

elle est divisée, dans le résultat, par le grossissement de l'objectif, qui est généralement voisin de 10.

Le procédé optique de comparaison des règles à bouts semble, à première vue, aussi précis que la détermination des étalons à traits. Cependant, il est ici une circonstance qui a, sur la mesure, une influence considérable, et sur laquelle on ne saurait trop insister, c'est la mise au point de l'image.

La règle à bouts couvrant la moitié du champ (fig. 39), c'est l'autre moitié de l'objectif qui seule contribue à former l'image. Lorsque celle-ci se trouve dans le plan du réticule, l'objectif étant supposé aplanétique, le pointé a lieu exactement au point correspondant à la surface dont on veut déterminer la position. Mais, si la mise au point est imparfaite, l'image est déplacée d'un côté ou de l'autre suivant le sens de l'erreur de l'ajustage. Or l'expérience enseigne que ni la netteté de l'image ni la parallaxe déterminée par un déplacement de l'œil ne permettent de mettre au point avec une certitude suffisante pour éviter, dans les mesures, des écarts de plusieurs microns; mais on resserre les limites des écarts en utilisant le procédé suivant dû à M. Cornu.

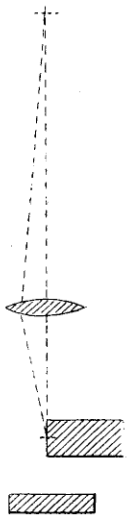


Fig. 39.

On introduit, dans une pièce adaptée au microscope, un écran métallique mobile d'avant en arrière, portant deux fentes qui permettent de découvrir successivement la partie centrale et la partie marginale de l'objectif. On pointe l'image dans une des positions de l'écran, puis on la déplace, et on pointe de nouveau; si les deux mesures donnent un écart sensible, on corrige la mise au point jusqu'à ce que l'écart tombe au-dessous des limites des erreurs d'observation.

Malgré l'emploi de ce procédé, les erreurs des mesures sont encore assez grandes comparées à celles qui affectent le pointé d'un trait; et surtout, lorsque l'objectif n'est pas parfaitement aplanétique, les hypothèses sur lesquelles repose la méthode ne sont plus satisfaites, et la mise au point peut être en défaut toujours dans le même sens, ce qui entraîne des erreurs constantes sur les mesures.

Appareils.

L'emploi de la méthode optique n'exige aucun appareil spécial, et tout comparateur pour les mesures à traits peut servir dans ce but; les autres procédés mettent en œuvre des instruments particuliers. Je me limiterai aux grands appareils, les sphéromètres étant bien connus.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Comparateur automatique du commandant Hartmann. — Cet appareil (fig. 40 et 40 *bis*) est surtout destiné à comparer entre elles des broches servant de jauges dans la fabrication des armes à feu; mais la grande perfection de son mécanisme, la précision des résultats qu'il fournit et la commodité de son emploi étendent son usage bien au delà du domaine auquel il était primitivement destiné.

Un solide banc d'acier supporte deux poupées A, B, dont l'une est dans une position invariable à une extrémité du banc, tandis que l'autre peut occuper une situation quelconque, dans laquelle on l'amène à l'aide d'une vis, et où on la fixe solidement en la calant sur le banc. Un transporteur, que l'on place au milieu de l'intervalle des deux poupées, porte les deux étalons que l'on veut comparer, et qu'il amène successivement, par le jeu automatique de la machine, entre les butoirs des poupées. La pièce A porte un écrou dans lequel s'engage une vis dont la tête est solidaire d'une poulie à deux gorges, munie de dix tiges flexibles portant des pointes à leur extrémité. Un tambour enregistreur se trouve en face de la circonférence que décrivent ces pointes lorsque la poulie tourne sur son axe.

Dans l'une des gorges est fixé un fil qui vient se relier à une cheville C portée par une courroie animée d'un mouvement continu, et qui, dans la moitié de sa course, entraîne la poulie, tandis que, dans l'autre moitié, elle la laisse revenir en arrière. Pendant cette dernière partie du mouvement, la poulie est entraînée par un poids P dont la valeur dépasse le moins possible l'effort nécessaire à sa marche régulière. Cette même cheville agit, dans son passage par l'extrémité inférieure de sa course, sur une poulie qui commande le transporteur T au moyen d'une bielle. Elle actionne aussi, à l'autre extrémité du mouvement, un bras L dont l'usage sera indiqué dans un instant.

Les étalons étant en place, l'appareil est mis en mouvement au moyen d'un moteur électrique agissant sur la poulie inférieure qui entraîne la courroie. La poulie de la vis tourne alors en entraînant cette dernière, qui pousse à son tour une tige d'acier à bouts plans qu'elle amène au contact de l'étalon contre lequel elle est maintenue par le poids P. La poulie s'arrête alors, et le bras L pressant sur une des tiges enfonce dans le papier de l'enregistreur la pointe qui la termine, et marque un trou dont la position sert de repère à celle de la poulie. La cheville ayant dépassé le sommet de sa course tend de nouveau le fil de commande de la poulie, et ramène la vis en arrière. Au moment où elle est le plus éloignée possible de l'étalon, à l'extrémité de sa course, le transporteur enlève l'étalon qui se trouvait entre les butoirs, et met l'autre à sa place. Le même jeu recommence, un second trou vient se marquer dans le papier de l'enregistreur qui, dans l'intervalle, a fait un petit mouvement, puis le premier étalon est ramené, et ainsi de suite. Le résultat que l'on peut relever au bout

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

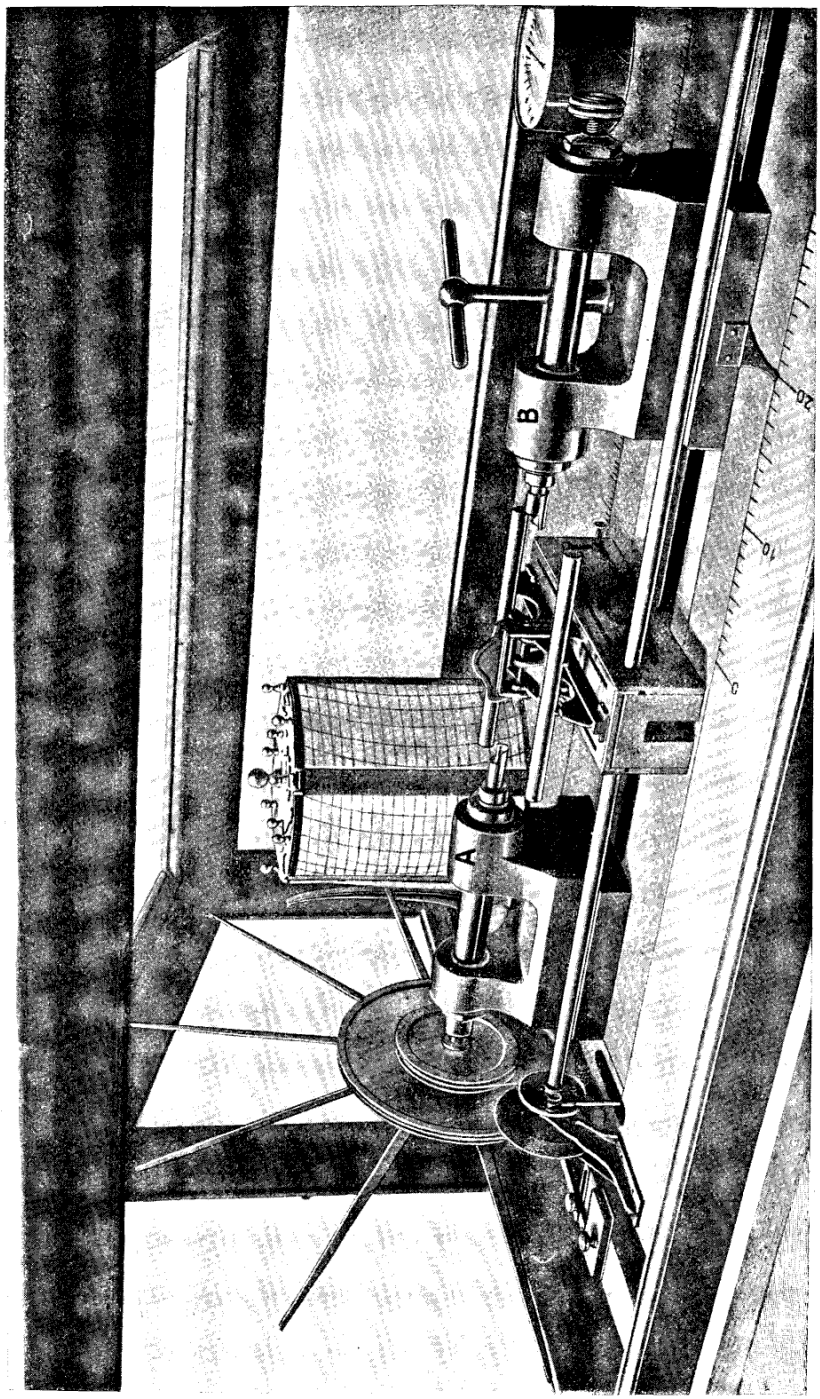


Fig. 40. — Comparateur automatique du commandant *Hartmann*; partie supérieure.

d'un instant, est donné par deux lignes de points horizontales, dont la distance

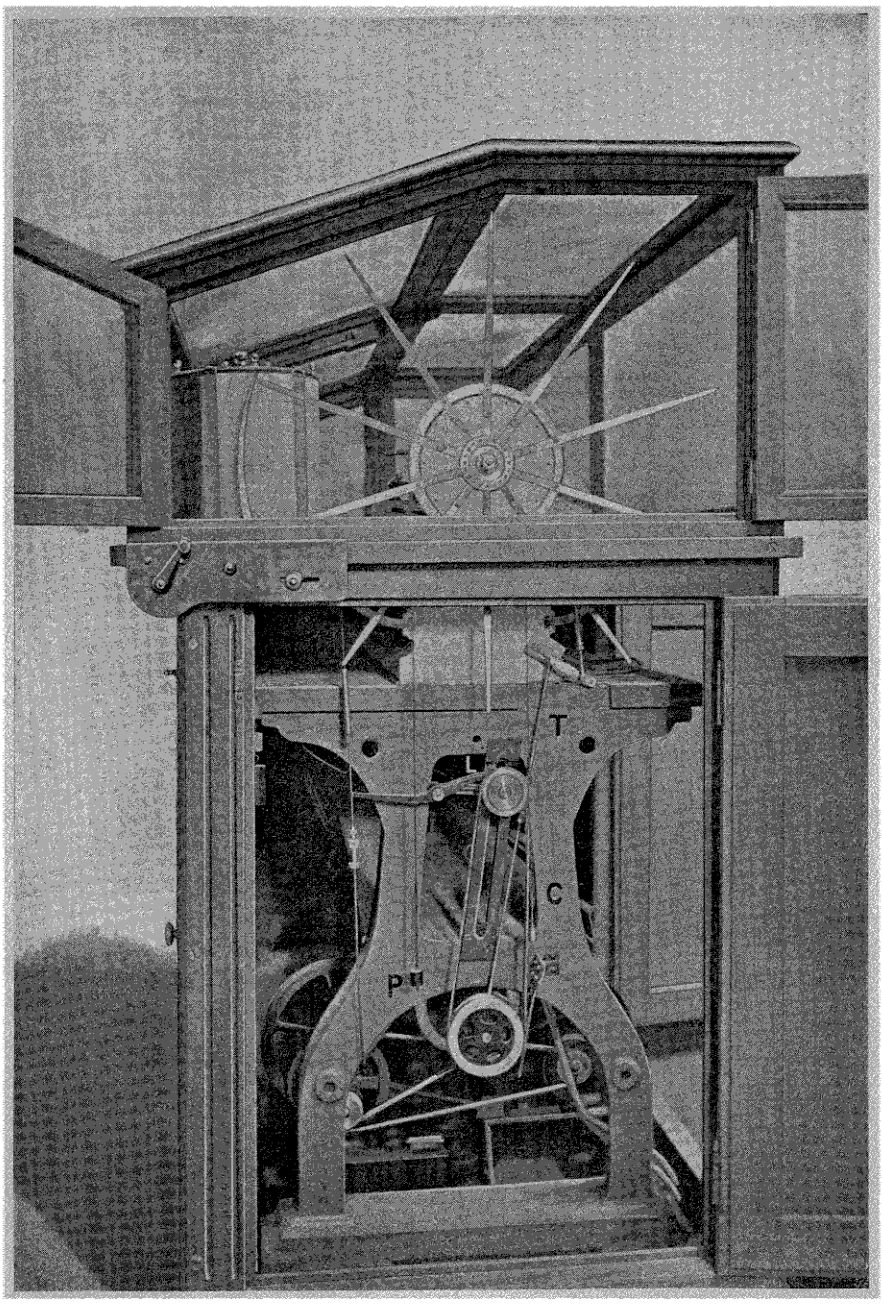


Fig. 40 *bis*. — Comparateur *Hartmann;* organes moteurs.

témoigne de la différence de longueur des étalons. Le pas de la vis étant de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

1 millimètre, et le tour mesuré sur les pointes de 2 mètres, la distance moyenne des lignes de points devra être divisée par 2000 pour donner la différence vraie des étalons que l'on compare.

Quant à ces étalons, ils sont constitués par des tiges d'acier de 12 millimètres de diamètre, dont les extrémités, qui ont été trempées très dur et recuites pendant longtemps, ont la forme de calottes sphériques centrées sur le milieu de l'étalon. En se présentant entre les deux plans parallèles qui les enserrent pour la mesure, les étalons peuvent, grâce à cette particularité, occuper des positions légèrement variables sans qu'il en résulte de différence appréciable sur leur longueur apparente.

Une petite modification du transporteur peut lui faire exécuter un mouvement progressif par petits sauts, de 2 millimètres par exemple. Si l'on place alors entre les butoirs une tige cylindrique, elle viendra présenter ses diamètres successifs à la mesure, et la ligne de points marquée sur le tambour dessinera son profil, dont les variations seront amplifiées 2000 fois.

Le comparateur Hartmann donne des résultats dont la précision apparente est du même ordre que celle des mesures sur les bonnes règles à traits, au moins lorsqu'il est appliqué à la détermination d'étalons d'une construction identique; il donne encore de très bons résultats dans la détermination d'une longueur constituée par l'ensemble de plusieurs étalons mis bout à bout dans un tube, à la condition qu'elle soit comparée à une longueur à peu près égale, constituée par le même nombre d'étalons, donnant, comme courbure totale des surfaces en contact, un nombre peu différent de celui que possède le premier assemblage. Dans les autres cas, il est nécessaire de connaître parfaitement l'effort, assez grand et légèrement variable, qui s'exerce sur les surfaces. Dans la détermination de valeurs absolues, la grandeur de l'effort et la difficulté de le déterminer obligent à appliquer aux mesures brutes des corrections un peu incertaines, et qui diminuent sensiblement la précision de la méthode. Pour des comparaisons de cette nature, comme pour les déterminations absolues, il est nécessaire d'avoir recours à un autre appareil.

Comparateur à réglettes mobiles. — Le comparateur universel a été muni, il y a quelques années, d'un banc (fig. 41), construit sur mes plans par MM. Bariquand et Marre, et destiné en premier lieu à mesurer les dimensions d'une série de cylindres, en vue de la détermination de la masse du décimètre cube d'eau; il a été ultérieurement complété de manière à permettre la détermination d'étalons tels que ceux qui accompagnent le comparateur Hartmann (fig. 42).

Deux règles, à bouts sphériques R, sont placées dans des coulisses en regard, ajustées de manière à être dans le prolongement exact l'une de l'autre; ces règles sont entraînées l'une vers l'autre par des poids P, et peuvent être ramenées en arrière au moyen d'un treuil qu'on commande soit à la main, soit à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'aide d'un fil passant par une ouverture pratiquée au haut de l'instrument. Des galets montés sur des ressorts que l'on peut tendre à volonté soutiennent légèrement les règles de manière à diminuer le frottement dans les glissières, et à permettre de réduire au minimum le poids moteur. Une plate-forme centrale, fixée au sommet d'une forte vis V, est destinée à recevoir les pièces à mesurer, portées elles-mêmes sur des supports convenablement aménagés. Chacun d'eux

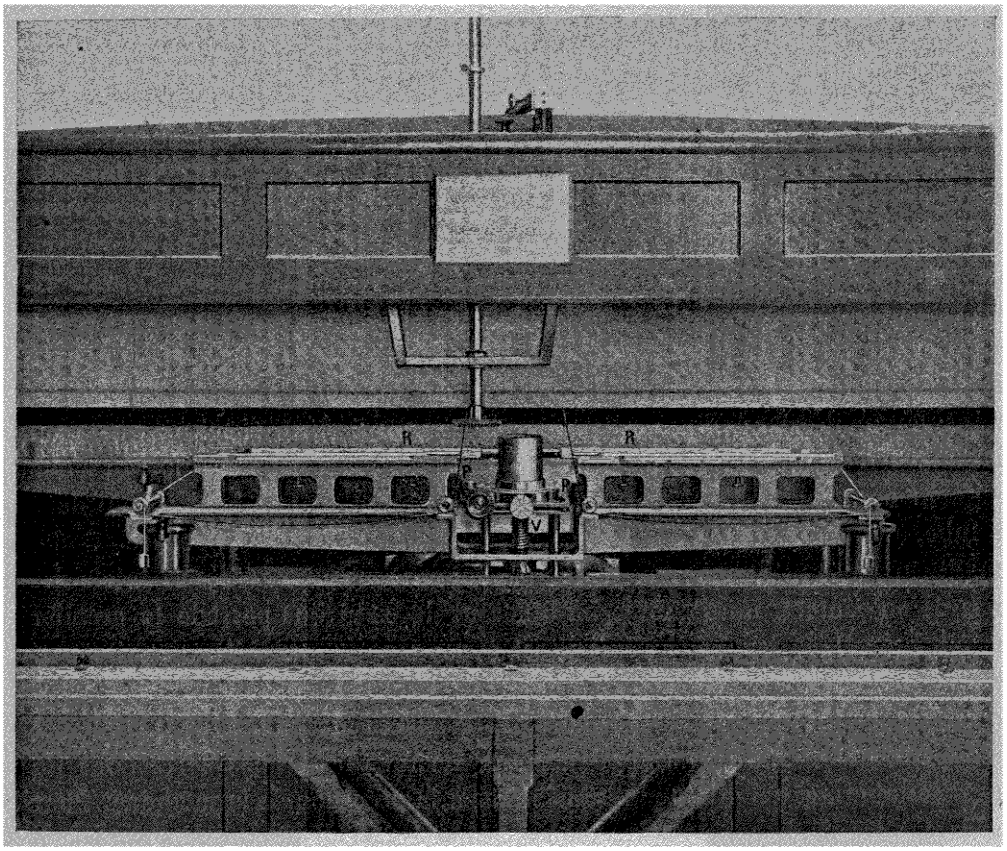


Fig. 41. — Appareil servant à déterminer des épaisseurs en valeur absolue par le procédé des contacts; mesure du diamètre d'un cylindre.

se compose d'une embase rectangulaire montée sur des vis calantes. L'un (fig. 43) est muni d'un disque divisé sur son pourtour, et creusé de manière à loger des cercles sur lesquels viennent reposer les cylindres dont on veut mesurer les diamètres. L'autre (fig. 44) est surmonté d'une plaque de même forme, pourvue de deux rangées de paliers dans lesquels on place des rouleaux supportant les cylindres pour la mesure de leur hauteur.

Enfin, dans le creux du premier disque, on peut introduire l'embase d'une sorte de chevalet sur lequel on place les étalons à bouts (fig. 42).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les règles étant au contact de la pièce à mesurer, on détermine, au moyen des deux microscopes du comparateur universel, la distance de deux traits de repère, tracés très près des centres de courbure des sphères terminales. Par le mouvement transversal du comparateur, on amène, dans le champ des microscopes, une longueur tracée sur une règle étalon, et exactement connue. Lorsque le cylindre est vertical, on peut le faire tourner autour de son axe au moyen d'une roue d'angle commandée de l'extérieur, et qu'on déclenche une fois

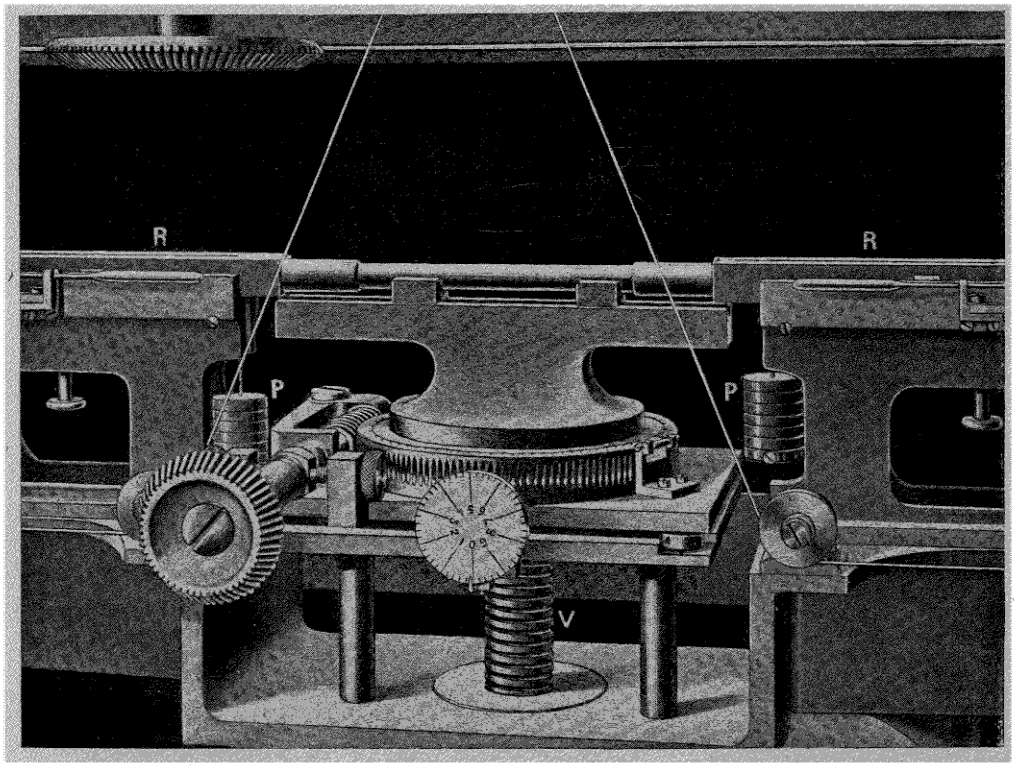


Fig. 42. — Détail de l'appareil précédent mesure d'une jauge.

le mouvement effectué. On mesure ainsi les divers diamètres d'une même section droite. Puis, en élevant progressivement le cylindre au moyen de la vis que supporte la plate-forme, on atteint ses diverses sections droites.

Pour déterminer une série de hauteurs sur un même cercle de base centré sur l'axe, on peut agir, aussi de l'extérieur, sur les rouleaux portant le cylindre, et qui l'entraînent dans leur mouvement.

Les réglettes mobiles R les plus ordinairement employées ont 500 millimètres de longueur et le trait de repère, placé sensiblement au centre de courbure des calottes, est au milieu de la règle; mais, pour déterminer des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

étalons supérieurs à 250 millimètres, on se sert de règles plus courtes qui,

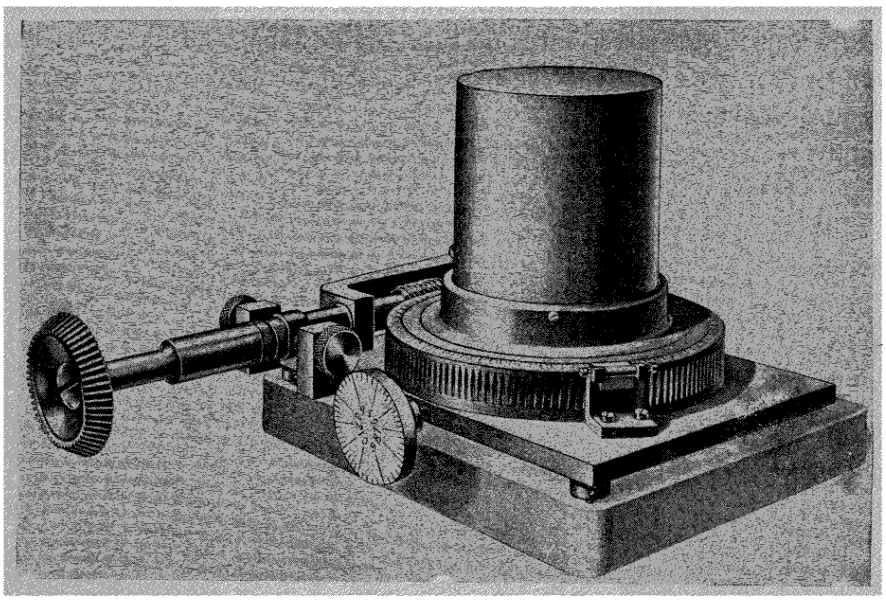


Fig. 43. — Support d'un cylindre pour la mesure de ses diamètres.

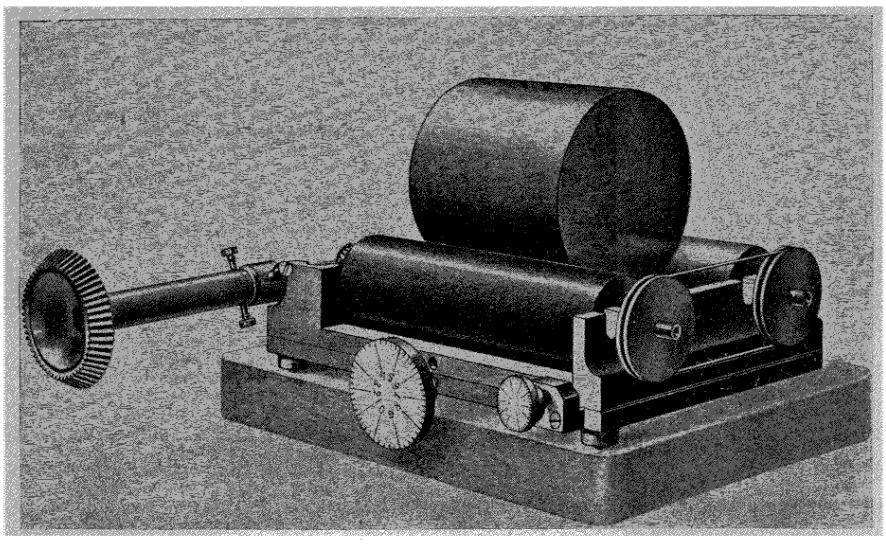


Fig. 44. — Support d'un cylindre pour la mesure de ses hauteurs.

écartées au maximum sur les coulisses, permettent de mesurer des étalons à bouts de 1 mètre de longueur.

Dilatomètre Fizeau. — Cet instrument utilise la méthode interférentielle

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pour la mesure de la dilatation de petits échantillons, grâce à l'extrême précision que garantit l'emploi des franges.

Un trépied de platine iridié (fig. 45) composé d'une plate-forme traversée par trois vis, supporte, sur des pointes refoulées, la pièce à étudier, et sur les vis, une lentille plan-convexe, dont la face inférieure est destinée à produire, avec la surface supérieure de l'échantillon, les anneaux ou franges d'interférence.

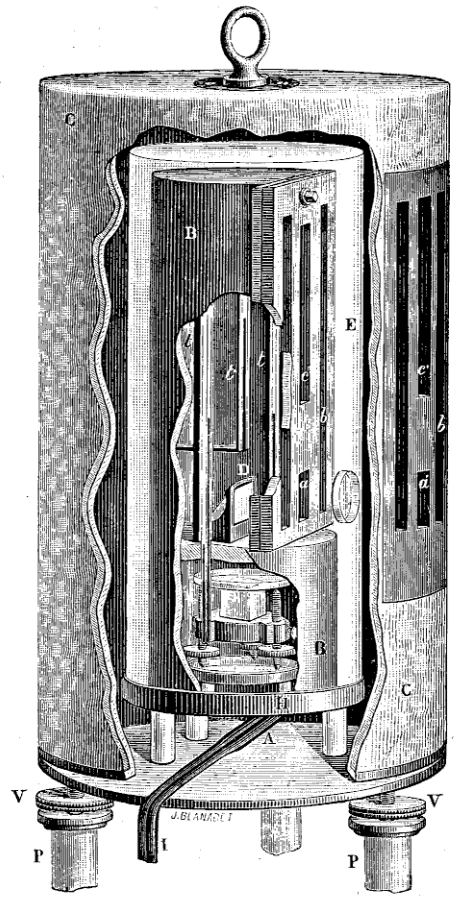


Fig. 45. — Dilatomètre *Fizeau*.

Un prisme D, disposé au-dessus de la lentille, renvoie verticalement un faisceau de lumière monochromatique qu'il reçoit d'une source extérieure. Le phénomène est observé à l'aide d'une lunette.

Dans le modèle de cet appareil appartenant au Bureau international, et dont les accessoires ont été construits sur les indications de M. Benoît, le trépied est surmonté d'une épaisse enveloppe de cuivre rouge B entourée d'une gaine de verre E qui se trouve elle-même à l'intérieur d'une cloche de cuivre C garnie

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de feutre. Le tout est entouré d'une caisse de zinc dont la double enveloppe peut, pour certaines expériences, être remplie d'eau ou de glace.

Au-dessous de l'appareil se trouve une flamme de gaz que gouverne un thermo-régulateur A composé d'un interrupteur à mercure assez semblable à celui qui a été décrit précédemment, mais dans lequel l'ascension du mercure est produite par la vaporisation d'un liquide volatil, dont une petite quantité se trouve à l'extrémité d'une ampoule de verre.

Quatre thermomètres couvrant deux à deux les intervalles (0.50) et (50.100) indiquent la température du trépied. Des fenêtres *a*, *b*, *c*, permettent de lire les thermomètres ou d'observer les franges.

Comparateur interférentiel de M. Michelson. — La détermination de la valeur absolue d'étalons de grandes dimensions en fonction des longueurs d'onde lumineuses, abordée par plusieurs physiciens, a été réalisée pour la première fois, d'une façon complète, au moyen des procédés imaginés par M. Michelson, et primitivement destinés seulement à résoudre le problème inverse, de déterminer la valeur exacte des longueurs d'onde en fonction du mètre. Ces procédés ont été mis en œuvre au Bureau international par le savant physicien américain, et ont été, depuis lors, appliqués à divers problèmes de métrologie. La description des ingénieux dispositifs qu'il a imaginés pour parvenir à effectuer ces mesures sont inséparables de l'exposé complet de sa méthode, sur laquelle je reviendrai dans la suite (p. 146). Il est nécessaire, auparavant, de donner un rapide résumé des travaux accomplis à l'aide des instruments qui viennent d'être décrits.

TRACÉ D'UN ÉTALON

Le tracé d'une règle peut être fait soit automatiquement, soit en copiant un étalon existant. Dans ce dernier cas, les deux étalons sont placés sur un même chariot à déplacement longitudinal. Le premier trait de l'étalon primitif étant pointé au microscope, on marque, à l'aide d'un tracelet de diamant, le premier trait de l'autre règle; puis on amène le deuxième trait sous le microscope, après avoir, au besoin, déplacé préalablement les fils du micromètre de manière à tenir compte de l'erreur de position de ce trait; on marque le deuxième trait, et ainsi de suite.

C'est par ce procédé qu'ont été divisés les mètres de platine iridié dont il sera question au chapitre suivant, et qui portent seulement trois traits à chaque extrémité. Mais ce procédé est peu pratique lorsqu'une division doit comprendre un grand nombre de traits. L'emploi d'une machine à diviser est alors beaucoup plus expéditif et plus exact, parce qu'il permet d'éviter les perturbations qu'apporte, à l'uniformité de la température la présence de l'opérateur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Machine à diviser la ligne droite. — Cette machine, construite par la Société genevoise, permet de diviser une longueur un peu supérieure à 1 mètre sans avoir à faire de reprise. Elle est du système à chariot mobile, celui-ci étant susceptible de se déplacer de sa propre longueur, ce qui exige une coulisse de longueur double. Le mouvement du chariot lui est communiqué par un écrou entraîné par la vis de la machine, et qui agit toujours dans le même sens, sans pouvoir ramener le chariot en arrière. Ce dernier ne repose sur la glissière que par une partie de son poids, le reste étant soutenu par des galets montés sur des ressorts. Le tracelet est à poste fixe, en face du milieu de la coulisse, et son mouvement est commandé par un mécanisme qui le laisse reposer d'abord sur la surface à tracer, puis l'entraîne avec une vitesse uniforme et le soulève lorsqu'il est arrivé au bout de sa course.

La machine porte deux systèmes de correction : l'un est destiné à modifier la division proportionnellement, de telle sorte que l'on puisse diviser, en mille parties par exemple, des longueurs voisines de 1 mètre, et variant d'une manière tout à fait continue. Cette correction permet, entre autres, de tenir compte des variations de la température, et de donner à la règle que l'on divise sa valeur exacte à une température choisie arbitrairement. La deuxième est destinée à éliminer les irrégularités de la vis. Dans ce but, l'écrou est muni d'une tige qui glisse le long d'une règle parallèle au banc, mais que l'on a échancrée de manière à donner à l'écrou un retard variable suivant les erreurs de la vis en ses différents points. La correction progressive est obtenue au moyen d'une pièce montée sur le chariot, et contre laquelle vient buter l'écrou. Par un système analogue au précédent, mais dans lequel une tige prend contact sur une règle droite dont on peut modifier l'obliquité, la butée peut s'éloigner progressivement du chariot, augmentant ainsi d'une quantité constante l'action de la vis motrice.

Cette machine est entièrement automatique ; elle est actionnée par un moteur électrique, et permet de tracer un millier de traits en seize heures environ, le tracelet ayant alors une vitesse propre assez faible pour que ces traits ne présentent aucun défaut, si la surface du métal est parfaitement polie.

La machine est munie de microscopes permettant de contrôler immédiatement son travail. D'après l'étude qui en a été faite par M. Benoît, elle donnait, avant toute correction, des divisions dont aucune ne s'écartait de 10 μ de la position exacte qu'elle aurait dû occuper sur une règle de 1 mètre, divisée en millimètres. La perfection de la vis est donc remarquable. Les écarts seront, d'ailleurs, encore sensiblement réduits par la correction au moyen du guidage de l'écrou.

(*A suivre.*)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MARINE

LES MARINES DE GUERRE MODERNES

Par M. L. de Chasseloup-Laubat (1).

ITALIE

MONOGRAPHIES

Cuirassés : Duilio. — Italia. — Andrea Doria. — Sardegna. — Amm. di Saint-Bon. — Benedetto Brin. — Nouveaux cuirassés.
Croiseurs cuirassés : Vettor Pisani. — Francesco Ferruccio. — Giuseppe Garibaldi.
Croiseurs protégés : Vesuvio. — Piemonte. — Calabria.

CUIRASSÉS

DUILIO

Cuirassé à tourelles fermées construit sur les plans de M. Brin; mis en chantier en 1872, à Castellamare, achevé à la Spezzia; lancé le 8 mai 1876.

Le *Dandolo*, navire similaire, a été lancé à la Spezzia en 1878; il a été entièrement refondu. Les travaux, entamés en novembre 1894, ont été achevés en 1900, et les caractéristiques principales sont aujourd'hui les suivantes :

Longueur entre perpendiculaires	103m,50
Longueur totale	109m,16
Largeur	19m,75
Tirant d'eau moyen	8m,23
— arrière	8m,56
Déplacement	11 277 tonnes.
Hauteur métacentrique	1m,283

Le devis sommaire des poids s'établit ainsi :

	Tonnes.
Coque et accessoires	5 294
Cuirassement	2 330
Appareil moteur	1 364
Artillerie	672
Gréement, machine électrique, équipement, vivres	537
Eau de réserve et matériel léger pour le remplissage des compartiments cellulaires	210
Combustible	870
Total	11 277

(1) Voir le *Bulletin* de mars, avril, septembre, octobre, décembre 1900; février, juin 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Coque. — Coque en fer et acier, avec double fond s'étendant sur 70 mètres de largeur ; avant et arrière droits ; 102 compartiments étanches. Puissant éperon en fer forgé à $4^{m},25$ sous l'eau, en saillie de $2^{m},75$. Un mât militaire vers le milieu du navire ; deux cheminées au centre du navire.

Protection. — Flotteur central de $32^{m},60$ de long, descendant jusqu'à $1^{m},60$ au-dessous de l'eau et protégé par une ceinture de 530 millimètres. Au-dessus, réduit blindé à 430 millimètres, de $2^{m},75$ de hauteur, englobant la base des tourelles fermées, tournantes, qui s'élèvent au-dessus de ce réduit, au milieu du bâtiment, une à tribord avant, l'autre à bâbord arrière. Ces coupoles, de 10 mètres de diamètre et 3 mètres de haut, sont blindées à 254 millimètres, en acier harveyé.

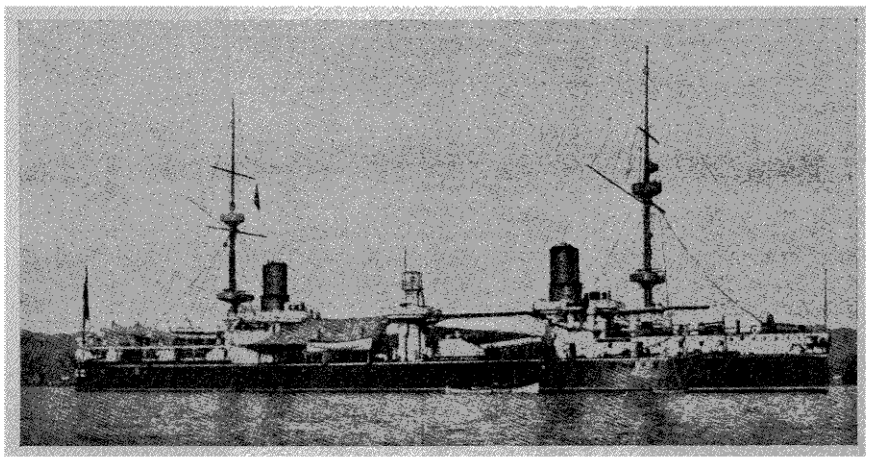


Fig. 158. — *Dandolo.*

Pont blindé à 50 millimètres, sous-marin, sur toute la longueur du navire; pont blindé supérieur de 30 millimètres, entre les cloisons des deux réduits.

Blockhaus en avant de la cheminée avant.

Machines. — Deux machines à deux cylindres de $1^{m},625$ et $3^{m},048$ de diamètres respectifs, avec $1^{m},319$ de course de piston, donnant une puissance totale de 8 045 chevaux indiqués.

Deux hélices à quatre ailes, de $5^{m},25$ de diamètre et $5^{m},94$ de pas. Vitesse: 15 nœuds

Les dix chaudières cylindriques primitives ont été remplacées par des chaudières aquitubulaires en 1899.

Approvisionnement de charbon de 1 250 tonnes.

Armement (1). — 4 canons de 254 millimètres, par paires, dans les tourelles, avec $4^{m},80$ de commandement et champ de tir de 310°;

(1) L'armement primitif comprenait 4 canons Armstrong de 100 tonnes (432 millimètres) dans les tourelles, mais l'artillerie moyenne n'était représentée que par 2 canons de 120 millimètres.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

7 canons de 152 millimètres, à tir rapide, avec masque, dont 1 en pointe sur la teugue, 2 en retraite, 4 en abord à l'arrière ;

5 canons de 120 millimètres, à tir rapide, dont 1 en retraite directe et 4 sur

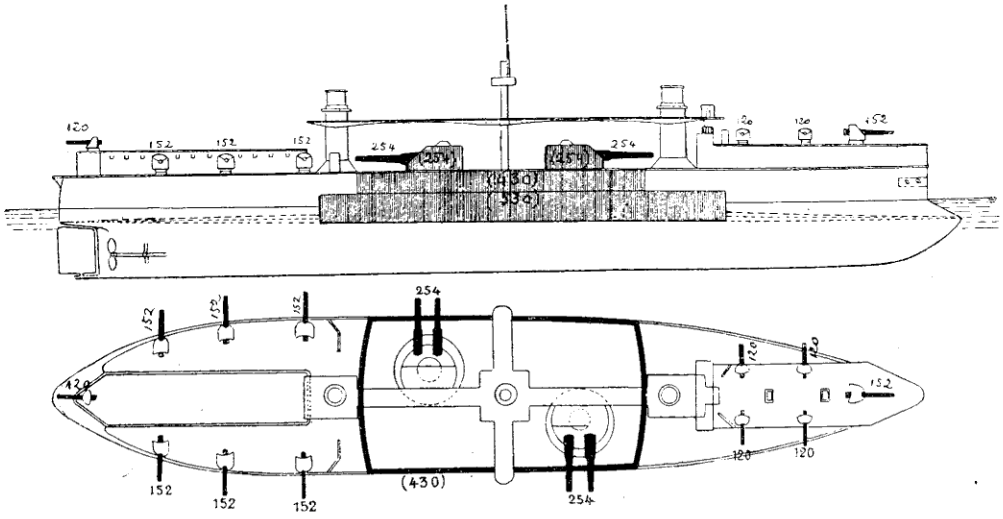


Fig. 159. — *Dandolo.*

la nouvelle teugue, de part et d'autre et en arrière du canon de 152; également avec masques ;

16 canons de 57 millimètres, tir rapide ;

8 — 37 millimètres, tir rapide ;

2 mitrailleuses ;

4 tubes lance-torpilles.

Équipage de 487 hommes.

ITALIA

Construit sur les plans de M. Brin.

Lancé à Castellamare, le 29 septembre 1880. Le navire similaire *Lepanto* a été lancé à Leghorn (chantiers Orlando), en 1883.

Dimensions :

	Italia.	Lepanto.
Longueur totale	124m,70	124m,70
— entre perpendiculaires	122m,07	122m,07
Largeur	22m,47	22m,17
Tirant d'eau moyen normal	8m,53	8m,64
Surface immergée du maître-couple	164m2,4	171m2,2
Déplacement	13 850t	13 550t

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Coque. — Coque en acier ; double fond ; revêtement en bois et zinc (1) ; 144 compartiments étanches ; avant presque droit. Éperon. Un seul mât sur l'*Italia* qui a six cheminées sur l'axe ; quatre cheminées par groupe de deux sur le *Lepanto*. Le poids de la coque est d'environ 5000 tonnes pour chacun des deux navires.

Protection. — Pont blindé à 75 millimètres, à $0^{m},70$ au-dessous de la flottaison dans l'axe, et descendant à $1^{m},70$ en abords. Au-dessus, tranche cellulaire montant à $1^{m},50$ au-dessus de la flottaison.

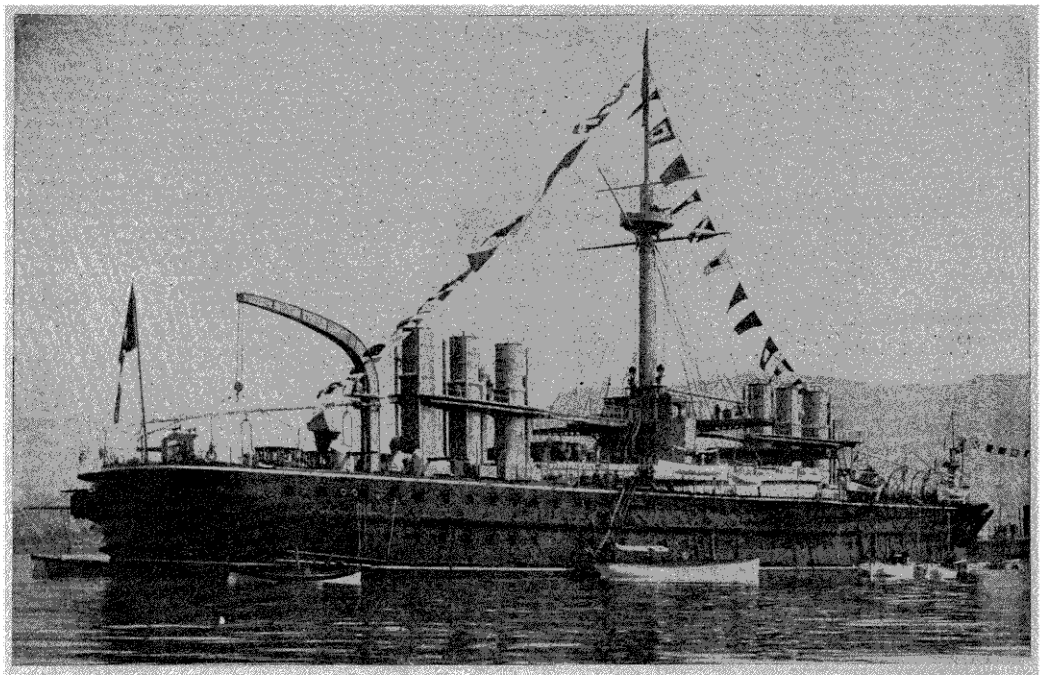


Fig. 160. — *Italia.*

Réduit central blindé à 480 millimètres, établi diagonalement sur le gaillard, de tribord avant à bâbord arrière. Les parois de ce réduit ont une hauteur de $1^{m},50$ et une inclinaison d'environ 24° sur la verticale ; elles protègent la base de tourelles barbettes qui contiennent les grosses pièces de 432 millimètres et sont blindées à 500 millimètres en métal compound. Passage à munitions central blindé à 400 millimètres.

Les cheminées sont cuirassées à 400 millimètres, jusqu'à $0^{m},90$ au-dessus de la flottaison, par des plaques ayant une inclinaison de 30°.

Machines. — Quatre machines à trois cylindres ; deux hélices de $5^{m},94$ de diamètre.

(1) Pas de revêtement sur le *Lepanto*.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Vingt-six chaudières du type *Amirauté* ovales, en six compartiments (sur le *Lepanto*, il y a huit chaudières de ce type et seize chaudières locomotives).

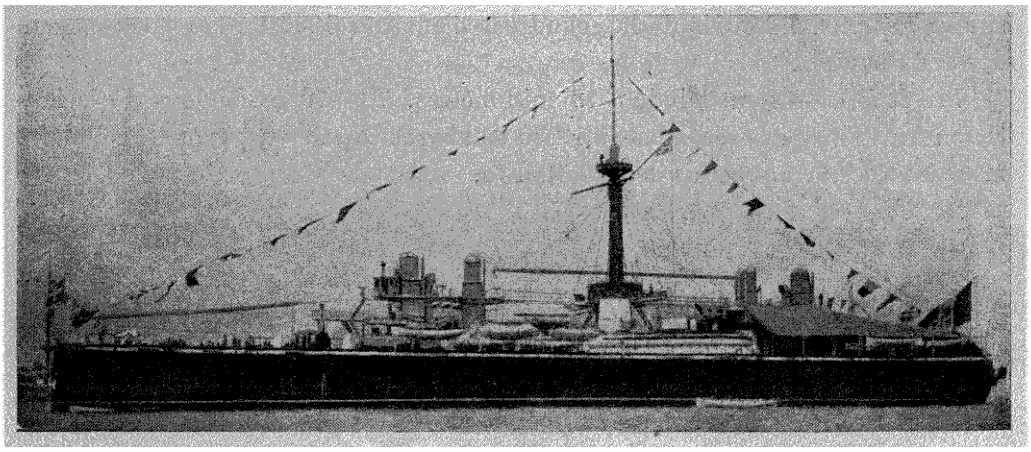


Fig. 161. — *Lepanto*.

Puissance des machines du *Lepanto:* 16000 chevaux au tirage forcé, avec

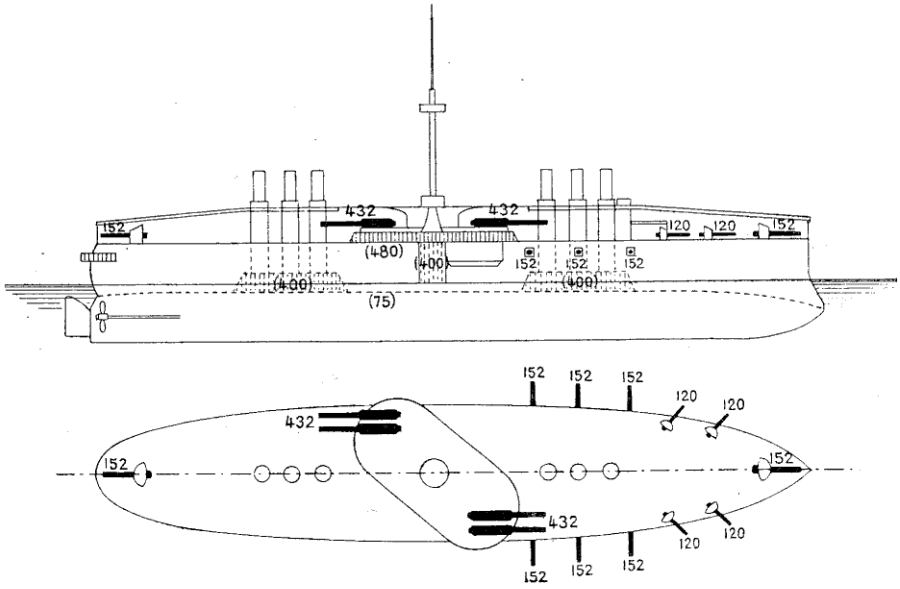


Fig. 162. — *Italia*.

18ⁿ,38 aux essais à 93tours,5. Les machines primitives auraient été remplacées sur les deux navires en 1898.

Approvisionnement de 1 650 tonnes de charbon.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Armement :

4 canons de 432 millimètres (105 tonnes) dans les barbettes, aux extrémités du réduit, avec commandement de $9^{m},75$;

8 canons de 152 millimètres, répartis ainsi qu'il suit, d'après le *Naval Annual* de Brassey :

1 à l'arrière, en retraite directe ;

6 par le travers, en avant du réduit (1) ;

1 à l'avant, en chasse directe ;

4 canons de 120 millimètres, à tir rapide en flancs, vers l'avant ;

12 canons de 57 millimètres à tir rapide ;

24 canons de 37 millimètres, tir rapide (34 sur le *Lepanto*).

4 tubes lance-torpilles ;

750 hommes d'équipage.

ANDREA DORIA

L'*Andrea Doria* a été lancé en 1885, à la Spezzia. Les deux autres navires similaires : *Francesco Morosini* et *Ruggiero de Lauria*, ont été lancés : le premier à Venise en 1885 également, le second à Castellamare en 1884.

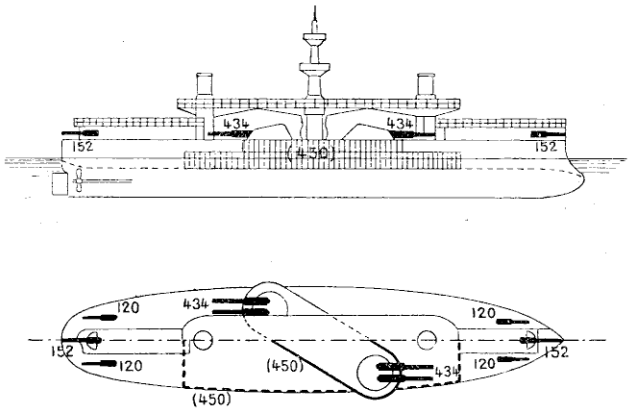


Fig. 163. — *Andrea Doria.*

Les dimensions principales sont :

Longueur.	$100^{m},00$
Largeur	$20^{m},00$
Tirant d'eau arrière.	$8^{m},90$
Déplacement	11 204 tonnes.

Coque. — Coque en acier avec double fond. Éperon.

Un mât central ; deux cheminées sur l'axe.

(1) Sur le *Lepanto*, ces six pièces sont plus en avant que sur l'*Italia*.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Protection. — Blindages en acier du Creusot. Ceinture de 450 millimètres d'épaisseur maximum, s'étendant au milieu du navire sur 50 mètres de longueur; les extrémités sont reliées à l'avant et à l'arrière par des traverses perpendiculaires à l'axe, de 360 millimètres d'épaisseur.

Au-dessus, réduit d'une trentaine de mètres de longueur, blindé à 450 millimètres également et fermé par des traverses de 360 millimètres. Ce réduit abrite les gros canons de 106 tonnes, protégés en outre par des glacis blindés à 360 millimètres.

Pont blindé de 75 millimètres, sous-marin sur toute la longueur.

Machines. — Puissance : 10300 chevaux indiqués. Deux hélices. Vitesse : 17 nœuds.

Approvisionnement de charbon : 850 tonnes.

Artillerie. — L'artillerie comprend :

4 canons de 434 millimètres, placés par paires dans le réduit supérieur et protégés par des masques

2 canons-culasse de 152 millimètres, l'un sous la teugue, l'autre à l'arrière.

4 — de 120 millimètres, à tir rapide;

10 — de 57 — —

17 — de 37 — —

Il y a cinq tubes lance-torpilles, dont deux sous-marins.

Équipage de 505 hommes.

SARDEGNA

Cuirassé à réduit central et tourelles barbettes, mis en chantier à la Spezzia en 1884; n'a été lancé qu'en 1890 et n'a fait ses essais qu'en 1894.

Les deux autres navires similaires, le *Re Umberto* et la *Sicilia*, ont été lancés : le premier en 1888 à Castellamare, le second à Venise, le 6 juillet 1891.

Dimensions :

Longueur	125m,13
Largeur	23,40
Tirant d'eau	8,74
Déplacement	14440 tonnes.

Coque. — Coque en acier, avec double fond d'une hauteur moyenne de 1m,10; 144 compartiments étanches; éperon de 2 mètres de saillie; mât militaire unique au centre du navire; trois cheminées, une dans l'axe, vers le centre, deux en arrière du mât militaire, de part et d'autre de l'axe.

Protection. — Ceinture d'une épaisseur variant de 102 millimètres à 50 millimètres, s'étendant sur près des deux tiers de la longueur dans la partie centrale du navire, et complétée à l'avant et à l'arrière par deux traverses blindées à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

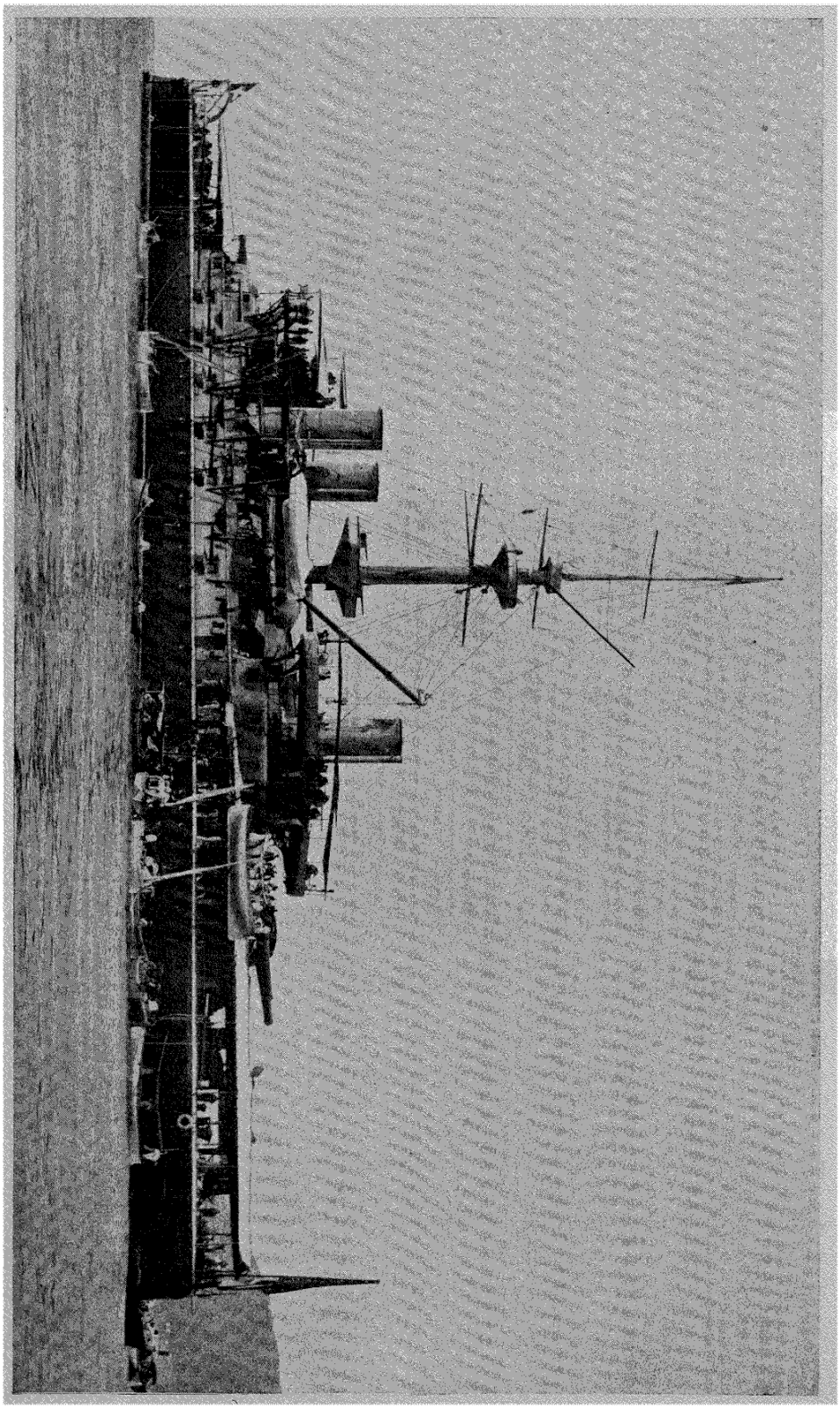


Fig. 161. — *Re Umberto.*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

70 millimètres, en plaques mixtes. Au-dessus, tranches cellulaires protégées par un blindage de 102 millimètres, qui monte jusqu'au pont principal.

Tourelles barbettes à contour polygonal et à muraille inclinée à 23° sur la verticale, avec plaques de 350 millimètres.

Pont blindé de 50 à 110 millimètres, en dos de tortue, descendant en abord au can inférieur de la ceinture, sous-marin à l'avant et à l'arrière.

Blockhaus blindé à 350 millimètres.

Machines et chaudières. — Quatre machines à triple expansion et trois cylindres, attelées deux à deux sur chaque ligne d'arbre, avec manivelles calées à

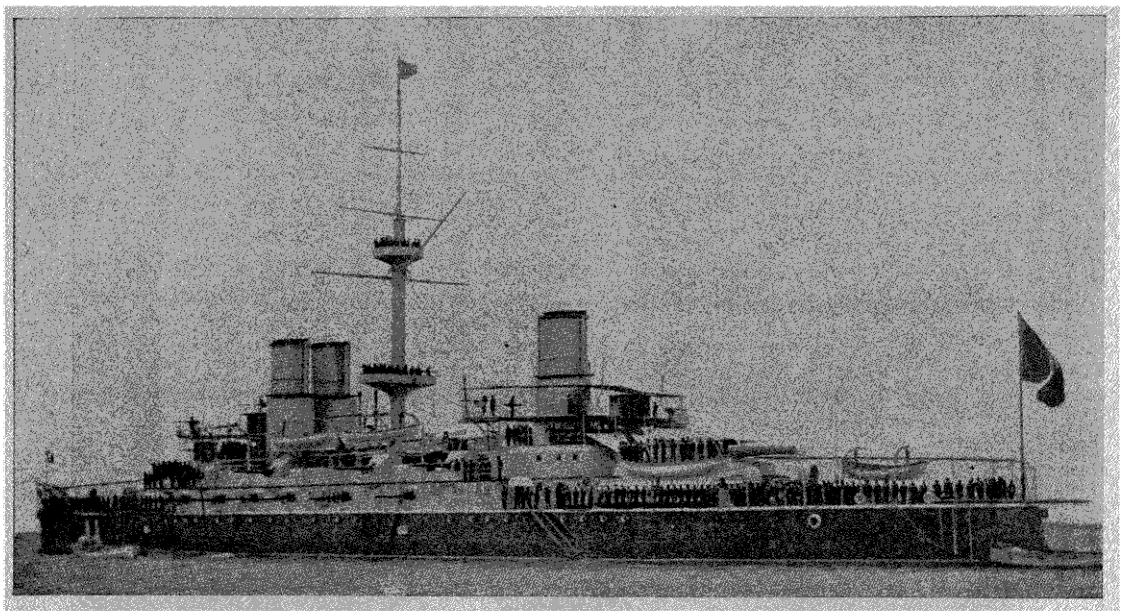


Fig. 165. — *Sardegna.*

120°. Deux hélices à trois branches, de 6m,10 de diamètre et 6m,75 de pas. Dix-huit chaudières cylindriques tubulaires à retour de flamme, timbrées à 7 kilogrammes, et disposées en trois groupes de six chacun (un à l'arrière des machines, les deux autres à l'avant). Chaque groupe se trouve dans un compartiment spécial et complètement indépendant. La surface de grille totale est de 124m²,5 et la surface de chauffe de 3 441m².

Aux essais préliminaires, la *Sardegna* a fourni, par mer calme, une vitesse de 18n,97 au régime de 92.5 tours et avec une puissance de 13 165 chevaux obtenue au tirage naturel. A l'essai officiel de trois heures, la vitesse a été de 19n,06 en moyenne, avec 94,8 tours et 14 190 chevaux; le navire n'était pas en pleine charge, son déplacement n'étant que de 14 170 tonnes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les essais au tirage forcé ont été interrompus par des avaries survenues aux ventilateurs; la puissance atteint dans ce cas 22 800 chevaux à 100 tours, et la vitesse 20 nœuds.

L'approvisionnement de charbon est de 1 200 tonnes.

Artillerie. — Chaque tourelle cuirassée renferme 2 canons-culasse de 343 millimètres (67 tonnes), placés à 8m,20 au-dessus de l'eau, avec champ de tir de 240°;

8 canons de 152 millimètres, à tir rapide; 4 de chaque bord, dans des demi-tourelles, dans la superstructure, au niveau à peu près des grosses pièces : 2 tirant par le travers, 1 en chasse et 1 en retraite, pour chaque bord;

16 canons de 120 millimètres, à tir rapide, dont 12 dans la batterie non

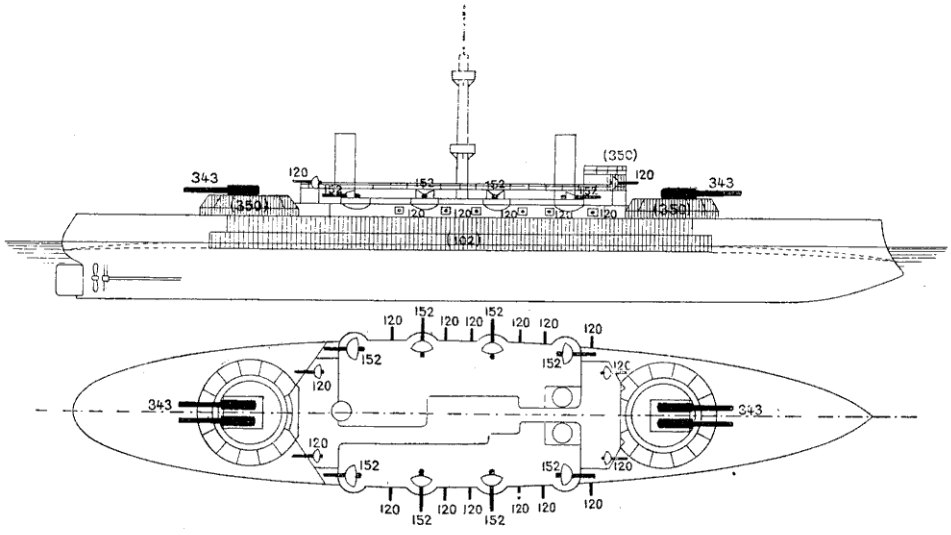


Fig. 166. — *Sardegna.*

blindée, au-dessous des pièces de 152, avec masques en acier, et 4, par paires, sur les gaillards, de part et d'autre et un peu au-dessus encore des canons de 340.

15 canons de 57 millimètres, à tir rapide;

10 canons de 37 millimètres, à tir rapide;

2 mitrailleuses;

Il y a 5 tubes lance-torpilles, dont 2 sous-marins.

785 hommes d'équipage.

AMMIRAGLIO DI SAINT-BON

Cuirassé à réduit central mis en chantier à la fin de 1893, en même temps que le navire similaire *Emmanuele Filiberto*, le *Saint-Bon*, construit à Venise, a

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

été lancé le 29 août 1897; le *Filiberto*, construit à Castellamare, près de Naples, a été lancé également en 1897.

Dimensions :

Longueur	105 mètres.
Largeur	21m,00
Tirant d'eau arrière	7m,55
Déplacement	9800 tonnes.

Coque. — Coque en acier; double fond; compartiments étanches nombreux et cofferdam.

Deux cheminées dans l'axe; mât militaire unique au milieu.

Poids de la coque et accessoires : 3920 tonnes.

Protection. — Ceinture complète en acier au nickel, de 102 millimètres d'épais-

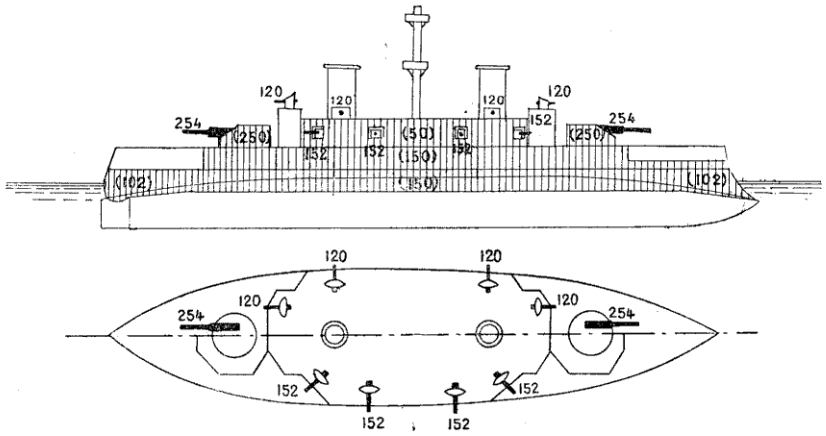


Fig. 167. — *Saint-Bon.*

seur aux extrémités, 250 millimètres au centre, s'élevant à 1 mètre environ au-dessus de la flottaison et surmontée d'un blindage de 150 millimètres abritant l'artillerie moyenne et qui s'étend jusqu'au delà des tourelles.

Au-dessus se trouvent : au milieu, un réduit rectangulaire protégé à 50 millimètres; en avant et en arrière, des barbettes blindées à 250 millimètres.

Pont blindé courbe, sur toute la longueur, de 37 millimètres d'épaisseur dans la partie horizontale et de 76 millimètres dans les parties inclinées; la partie horizontale se trouve à 0m,65 au-dessus de la flottaison, les parties inclinées descendent jusqu'au can inférieur de la ceinture, à 1m,53 au-dessous de la flottaison. Au-dessus de la batterie, deuxième pont blindé à 54 millimètres.

Le poids total de la cuirasse est de 2324 tonnes.

Machines. — Deux machines à triple expansion à trois cylindres en deux compartiments séparés.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Douze chaudières cylindriques en quatre compartiments.

Puissance au tirage naturel : 9000 chevaux, avec vitesse prévue de 16 nœuds (1) ; au tirage forcé : 14000 chevaux et 18 nœuds.

Approvisionnement de charbon : 600 tonnes, pouvant être porté à 1 000 tonnes, indépendamment du combustible liquide.

Armement. — 4 canons de 254 millimètres, par paires dans les deux tourelles barbettes avec commandement de 7 mètres à l'avant et 6m,75 à l'arrière ;

8 canons de 152 millimètres, à tir rapide, dans le réduit blindé, 4 en abord et 4 dans des pans coupés aux quatre angles ;

8 canons de 120 millimètres, à tir rapide, au-dessus du réduit blindé, avec masques : 4 de chaque côté, savoir 2 tirant par le travers, 1 en chasse et 1 en retraite ;

8 canons de 55 millimètres, à tir rapide ;

12 canons de 37 millimètres, à tir rapide ;

5 tubes lance-torpilles sous-marins.

Équipage de 632 hommes.

BENEDETTO BRIN

Cuirassé à tourelles barbettes en construction à Castellamare, en même temps que deux autres : *Principessa Elena* et *Regina Margherita ;* un quatrième navire semblable, *Ammiraglio Recchia*, est prévu. *Regina Margherita* a été lancé le 30 mai 1901, il avait été mis en chantier en novembre 1898.

Dimensions :

Longueur entre perpendiculaires.	130 mètres.
Largeur.	23m,80
Tirant d'eau.	8m,23
Déplacement.	13400 tonnes.

Protection. — Ceinture de 152 millimètres au milieu, s'amincissant à 50 millimètres aux extrémités et s'étendant sur 80 mètres de longueur à partir de l'avant ; cette ceinture monte à 1m,50 au-dessus de la flottaison.

Deux tourelles barbettes dans l'axe, l'une à l'avant, l'autre à l'arrière, protégées à 254 millimètres.

Réduit central protégé par un blindage de 152 millimètres, avec, au niveau du pont supérieur, aux quatre angles, des tourelles blindées aussi à 152 mm. pour les pièces de 203 millimètres.

Pont blindé courbe, de 38 mm. dans la partie horizontale et 86 mm. dans les pentes.

(1) Au tirage naturel, avec 9374 chevaux, la vitesse de 17n,5 a été obtenue.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pont blindé horizontal, de 40 millimètres, au-dessous du réduit.

Il existe une traverse d'arrière.

Machines. — Deux machines à triple expansion à quatre cylindres; chaudières Belleville (1). Puissance évaluée à 19 000 chevaux au tirage forcé et vitesse prévue de 20 nœuds; au tirage naturel, 18 à 18ⁿ,5. L'approvisionnement normal de charbon sera de 1 000 tonnes; il pourra être doublé.

Armement. — 4 canons de 304 millimètres, par paires dans les tourelles principales;

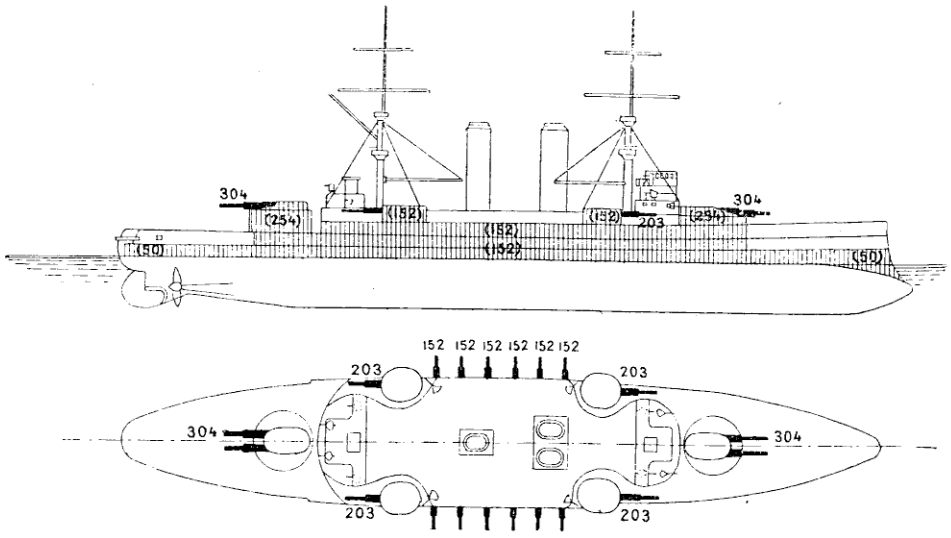


Fig. 168. — *Benedetto Brin*.

4 canons de 203 millimètres, à tir rapide, dans les tourelles, aux angles du réduit central sur le pont principal, avec commandement de 8ᵐ,50;

12 canons de 152 millimètres, à tir rapide, dans la batterie;

10 canons de 76 millimètres, tir rapide, sur le pont supérieur;

6 canons de 47 millimètres, tir rapide;

2 mitrailleuses Maxim;

4 tubes lance-torpilles sous-marins.

Équipage de 783 hommes.

NOUVEAUX CUIRASSÉS

En 1900, la construction de quatre petits cuirassés, de 8000 tonnes de déplacement, avait été décidée; ces cuirassés devaient porter les noms de *Amalfi*,

(1) Sur la *Regina Margherita*, 28 chaudières Niclausse.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Genova, Pisa et Venezia, mais leur construction a été abandonnée et remplacée par celle de deux cuirassés plus puissants : *Regina Ellena* et *Re Vittorio-Emmanuele III* mis en chantier, respectivement, à la Spezzia et à Castellamare. Un troisième navire similaire : *Roma*, doit être construit ultérieurement.

Le type a été étudié par MM. Masdea et Cuniberti, en voici les principales caractéristiques :

Longueur totale	145 mètres.
Longueur entre perpendiculaires	132m,60
Largeur	23m,00
Tirant d'eau arrière	7m,90
Déplacement	12 600 tonnes.

La protection comprendra une ceinture complète de 250 millimètres d'épaisseur maximum, avec une batterie centrale blindée à 200 millimètres et un pont blindé à 50 millimètres. Le tout en acier harveyé.

La puissance des machines sera d'environ 20 000 chevaux-vapeur, devant donner une vitesse prévue de 21n,5. L'approvisionnement normal de charbon sera de 1 000 tonnes, il pourra être doublé. Il y aura deux hélices.

L'armement comprendra :

2 canons de 305 millimètres, dans des tourelles barbettes à l'avant et à l'arrière, blindées à 203 millimètres.

12 canons de 203 millimètres, tir rapide, par paires dans six tourelles blindées à 152 millimètres. Pas de canons de 150 millimètres;

12 canons de 76 millimètres, tir rapide;

12 canons de 47 millimètres, tir rapide ;

4 tubes lance-torpilles sous-marins.

CROISEURS CUIRASSÉS

VETTOR PISANI

Le *Vettor Pisani* a été mis en chantier à Castellamare le 7 décembre 1892, et lancé le 14 août 1895; le *Carlo Alberto*, bateau similaire, dessiné par M. Masdea et mis en chantier le 1er février 1892, a été lancé à la Spezzia le 23 septembre 1896.

Coque. — Coque en acier, à double fond sous les machines. Compartiments étanches. Teugue de 26 mètres de long.

Deux mâts militaires; deux cheminées entre les mâts.

Dimensions :

Longueur	99 mètres.
Largeur	18 —
Tirant d'eau arrière	7m,20
Déplacement	6 500 tonnes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Protection. — Ceinture de 152 millimètres, en acier nickel sur toute la ligne d'eau; au-dessus, batterie blindée à 152 millimètres sur 45 mètres de long entre

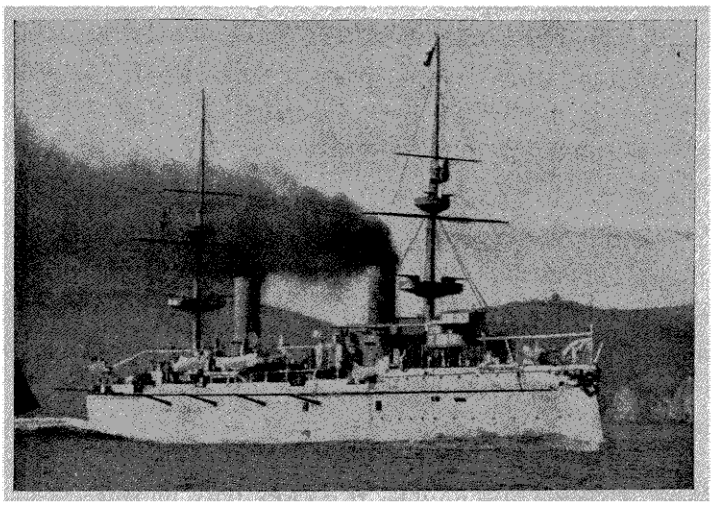


Fig. 169. — *Vettor Pisani.*

les mâts, terminée par des cloisons de 152 mm. et couverte d'un pont blindé de 50 millimètres; un pont blindé de 22 à 37 millimètres s'étend, d'ailleurs, sur

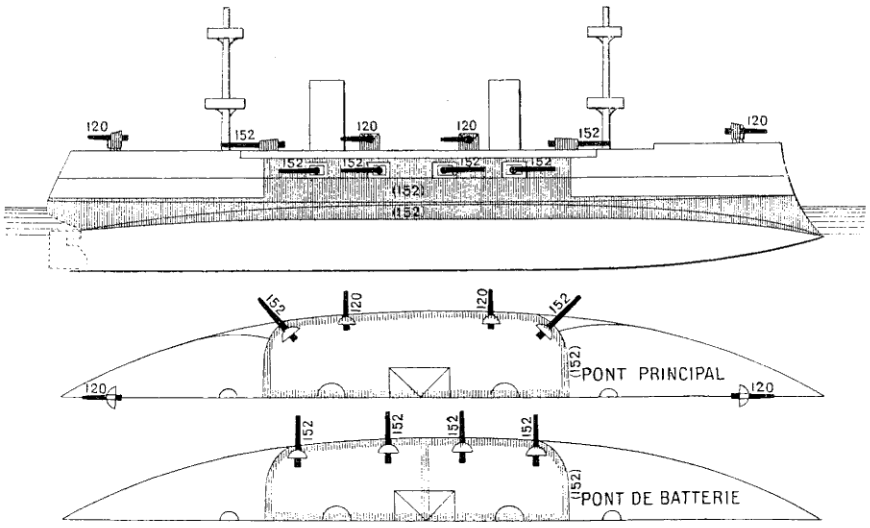


Fig. 170. — *Vettor Pisani.*

toute la longueur du navire. Le blockhaus est blindé à 150 millimètres.

Machines. — Deux machines à triple expansion en deux compartiments séparés, donnant 8000 chevaux et 18 nœuds au tirage naturel, et 13000 chevaux et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

20 nœuds au tirage forcé. Deux hélices à quatre ailes. Huit chaudières cylindriques, travaillant à $10^{k},9$.

Approvisionnement normal de charbon de 600 tonnes, pouvant être porté à 1 000 tonnes, indépendamment du combustible liquide.

Aux essais (1er juillet 1899), le *Vettor Pisani* a donné une puissance moyenne de 8290 chevaux, avec une dépense de combustible de $0^{kg},889$ par cheval et par heure. Le *Carlo Alberto* avait donné 19 nœuds aux essais avec 13270 chevaux.

Armement. — 12 canons de 152 millimètres à tir rapide, dont 8 dans la batterie blindée, en abords, et 4 aux angles d'une batterie découverte sur le pont supérieur, avec masques;

6 canons de 120 millimètres, à tir rapide, dans la batterie supérieure découverte, savoir : 1 à l'avant en chasse, 1 à l'arrière en retraite, 4 en flancs, entre les pièces de 152, tous avec masques;

2 canons de 75 millimètres, à tir rapide;

10 canons de 57 millimètres, à tir rapide;

10 canons de 37 millimètres, à tir rapide;

2 mitrailleuses;

5 tubes lance-torpilles sous-marins.

Équipage de 500 hommes.

FRANCESCO FERRUCCIO

Lancé en 1898, à la Spezzia. Un autre navire semblable : *Basilicata*, doit être construit.

Longueur	$104^{m},84$
Largeur	$19^{m},58$
Tirant d'eau	$7^{m},11$
Déplacement	7500 tonnes.

Ceinture complète de 152 millimètres d'épaisseur.

Pont blindé, formé de deux tôles dont l'épaisseur totale varie de 35 à 20 millimètres.

Batterie centrale hexagonale, protégée par un blindage latéral de 152 au-dessus de la ceinture et par des traverses obliques, à l'avant et à l'arrière, de même épaisseur (152 millimètres).

Tourelles avant et arrière protégées à 254 millimètres.

Machines. — Puissance de 13500 chevaux; vitesse : 20 nœuds. Deux hélices.

Chaudières Niclausse.

Approvisionnement de charbon de 650 tonnes, pouvant être porté à 1 000 tonnes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Artillerie. — 1 canon de 254 millimètres, monté en barbette à l'avant;

2 canons de 203 millimètres à tir rapide, dans la barbette d'arrière;

10 canons de 152 millimètres, à tir rapide, dans la batterie sur le pont principal;

4 canons de 152, à tir rapide, aux angles de la batterie du pont supérieur, avec masques;

16 canons petits calibres (76 et 47 millimètres);

2 mitrailleuses Maxim;

4 tubes lance-torpilles sous-marins.

GIUSEPPE GARIBALDI

Le quatrième navire du même type construit sur les chantiers Ansaldo et Compag nie, à Sestri-Ponente. Le premier *Garibaldi*, mis en chantier par le gou

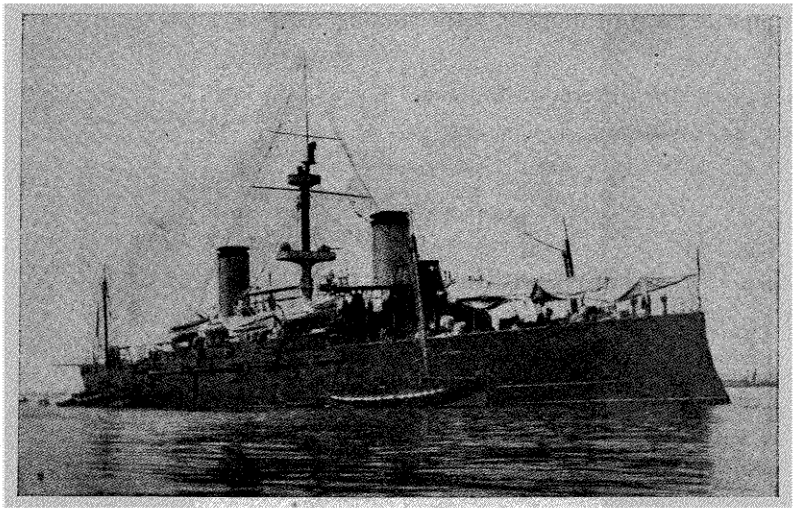


Fig. 171. — *Giuseppe Garibaldi.*

vernement italien en 1895, fut vendu à la République Argentine avant son lancement, à la condition qu'un second navire identique serait mis immédiatement en chantier par le gouvernement italien; ce second navire est devenu le *Cristobal Colon* espagnol. Le troisième *Garibaldi* a été également acheté par le gouvernement argentin et est devenu le *Pueyrredon*. Ces quatre navires ont été mis à flot en quatre années environ; le *Garibaldi IV* notamment, mis en chantier le 21 septembre 1898, a été lancé le 29 juin 1899.

Le *Varese*, construit à Livourne, dans les chantiers Orlando, a été mis en chantier en septembre 1898 et lancé le 6 août 1899; il est du même type; c'est

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

également le troisième navire construit, les deux premiers ayant été vendus à la République Argentine, savoir : *General San Martin* en mai 1898 et *General Belgrano* en septembre 1898.

Le *Garibaldi IV* est un peu plus grand que les précédents; ces dimensions sont :

Longueur entre perpendiculaires.	100 mètres (1).
Largeur.	17m,90
Tirant d'eau.	7m,32
Déplacement.	7 000 tonnes.

Coque. — Coque en acier; double fond sous les machines; compartiments étanches; un mât militaire entre les deux cheminées situées dans l'axe.

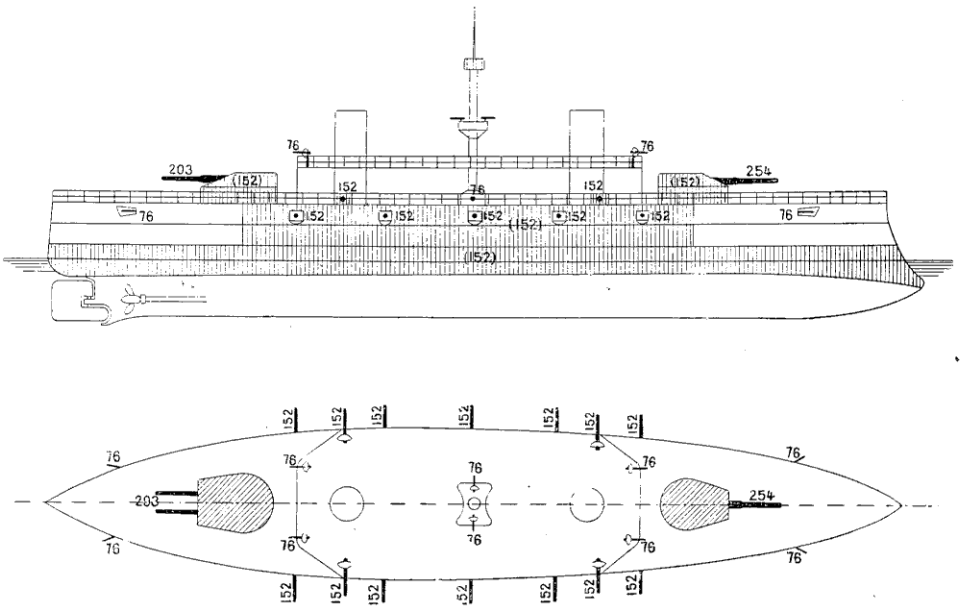


Fig. 172. — *Varese.*

Protection. — Ceinture totale de 152 millimètres, en acier au nickel, s'élevant à 1m,10 environ au-dessus de la flottaison.

Cuirasse de flanc à 152 millimètres en acier nickel de Terni, montant jusqu'au pont des gaillards, sur les deux tiers de la longueur du navire, et dont les extrémités sont réunies par des traverses obliques.

Pont blindé à 50 millimètres, au-dessus de la batterie.

Deux tourelles tournantes aux extrémités, blindées à 152 millimètres dans les parties fixes et dans les parties mobiles.

(1) Les dimensions du *Varese* sont : longueur entre perpendiculaires, 104m,86; largeur, 18m,76; tirant d'eau moyen, 7m,10; déplacement, 7 500 tonnes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Machines. — Deux machines à triple expansion. Puissance : 13500 chevaux; vitesse prévue : 23 nœuds. Chaudières Niclausse pour le *Giuseppe Garibaldi*, Belleville avec économiseurs pour le *Varese* (1).

Approvisionnement de charbon de 700 tonnes pouvant être doublé.

Armement. — L'armement comprend :

1 canon de 254 millimètres dans la tourelle avant;

2 canons de 203 millimètres dans la tourelle arrière;

14 canons de 152 millimètres, à tir rapide, dont 10 en batterie blindée à 152 millimètres et 4 sur le pont supérieur;

10 canons de 76 millimètres, à tir rapide;

6 canons de 47 millimètres, à tir rapide;

2 mitrailleuses;

4 tubes lance-torpilles sous-marins.

Équipage de 450 hommes.

CROISEURS PROTÉGÉS

VESUVIO

Construit à Livourne, par les chantiers Orlando en 1886.

Du même type :

Giovanni Bausan, lancé en 1883 à Elswinck, par la maison Armstrong, et construit sur les mêmes plans que l'*Esmeralda* chilien;

Etna, lancé en 1885 à Castellamare;

Stromboli, lancé en 1886 à Venise;

Fieramasco, lancé en 1888, par les chantiers Ansaldo.

Dimensions :

Longueur	86 mètres.
Largeur	13 —
Tirant d'eau moyen	5m,85
Déplacement	3500 tonnes.

Coque. — Coque en acier; double fond; compartiments étanches.

Protection. — Pont blindé cintré; la partie horizontale, à 0m,30 au-dessus de la flottaison, a 38 millimètres d'épaisseur; les parties inclinées ont 50 millimètres et descendent à 1m,20 au-dessous de l'eau.

(1) Aux essais (20 octobre 1900), le *Varese* a donné au tirage naturel (essais de 6 heures) 9200 chevaux, 96 tours et 18n,3 de vitesse moyenne, avec une consommation de 0k,940 par cheval-heure. Au tirage forcé, le *General Garibaldi IV* a donné 15200 chevaux et dépassé la vitesse garantie de 20 nœuds.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Machines. — Deux machines à triple expansion ;

Quatre chaudières cylindriques.

Puissance : 7 700 chevaux.

Vitesse : 17 nœuds.

Approvisionnement normal de charbon : 650 tonnes.

Armement. — L'armement comprend :

2 canons-culasse de 250 millimètres, en barbettes blindées à 125 millimètres, sur plates-formes tournantes, à chaque extrémité du navire ; champ de tir : 240° ;

6 canons-culasse de 150 millimètres, à pivot central, en encorbellement sur le pont supérieur ; champ de tir : 130° ; masques en acier ;

5 canons de 57 millimètres, à tir rapide ;

3 canons de 37 millimètres, à tir rapide ;

4 tubes lance-torpilles.

315 hommes d'équipage.

PIEMONTE

Construit par la maison Armstrong, d'Elswick, en 1888.

Dimensions :

Longueur totale	91m,44
Largeur	11m,58
Tirant d'eau moyen	4m,57
— arrière	5m,10
Déplacement	2 600 tonnes.

Coque. — Coque en acier, avec nombreux compartiments étanches ; double fond. La flottaison est cellulaire et sert de soute à charbon. Deux mâts militaires légers. Deux cheminées entre les mâts militaires.

Protection. — Pont cuirassé de bout en bout, en forme de trapèze, avec partie horizontale de 25 à une quarantaine de centimètres au-dessus de la flottaison à charge normale, et parties inclinées en abord, de 75, descendant à 0m,80 environ au-dessus de la flottaison.

Le blockhaus est blindé à 75 millimètres.

Machines. — Deux machines verticales à triple expansion et quatre cylindres de 0m,914, 1m,397 et 1m,524 de diamètres respectifs et course de 0m,686. Chaque machine commande une hélice et se trouve dans un compartiment séparé.

Quatre corps de chaudières à double façade, timbrés à 10kg,9.

Huit ventilateurs pour le tirage forcé.

Au tirage naturel, la puissance des machines a été de 7 050 chevaux, et la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vitesse 20ⁿ,4 avec 160 tours à la minute; au tirage forcé, la puissance a été de 12 780 chevaux, la vitesse de 22ⁿ,3 et le nombre des tours 185.

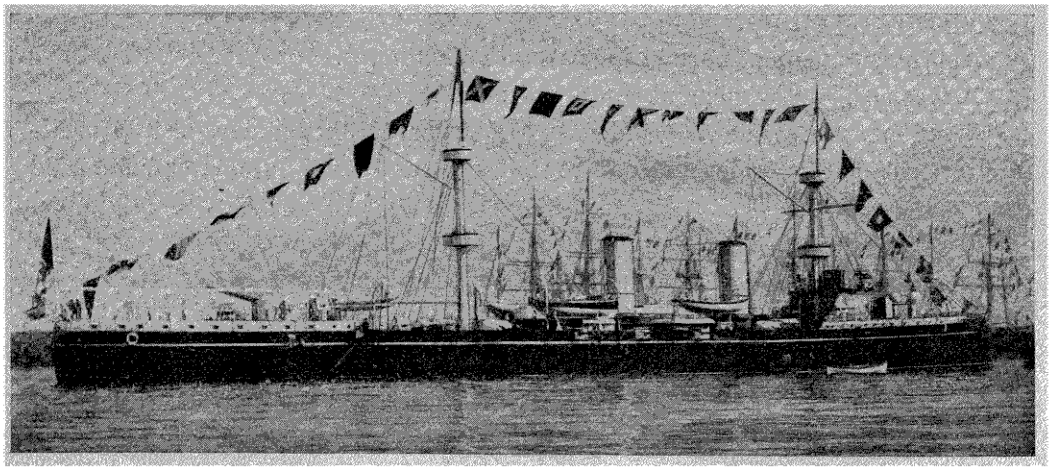


Fig. 173. — *Piemonte.*

L'approvisionnement de combustible n'est que de 200 tonnes, il peut être porté à 500 tonnes.

Armement. — L'artillerie comprend :

6 canons de 152 millimètres, à tir rapide, placés : 1 en chasse et 1 en retraite,

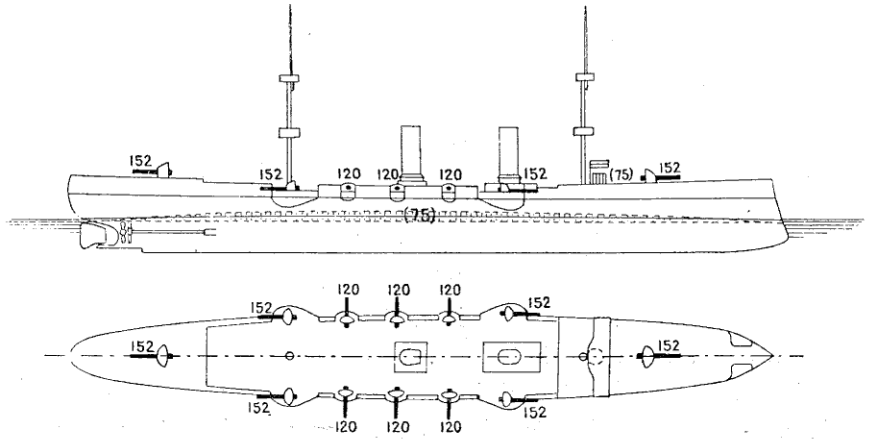


Fig. 174. — *Piemonte.*

dans l'axe du navire, avec champ de tir de 270°, et 4 en tourelles en encorbellement sur les flancs, avec champ de tir de 155°; boucliers de 120 millimètres;

6 canons de 120 millimètres, à tir rapide, installés par moitié sur chaque bord

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

au centre du navire, entre les tourelles des canons de 152 mm., avec champ de tir de 120°; boucliers de 120 millimètres;

10 canons de 57 millimètres, à tir rapide, dont 8 dans les hunes et 2 sur la passerelle;

6 canons de 37 millimètres, à tir rapide, sur les flancs du navire;

4 mitrailleuses Maxim de 10 millimètres;

3 tubes lance-torpilles.

Équipage de 246 hommes.

CALABRIA

Lancé à la Spezzia, en 1893.

Du même type :

Lombardia (Castellamare, 1890);

Liguria (chantiers Ansaldo, 1893);

Etruria (Orlando, 1891);

Umbria (Orlando, 1891).

Dimensions :

Longueur entre perpendiculaires	76 mètres.
Largeur	$12^{m},35$
Tirant d'eau arrière	$5^{m},32$
— milieu	$5^{m},05$

Hauteur métacentrique, $0^{m},52$, portée à $0^{m},821$ en remplissant les doubles fonds.

Déplacement	2500 tonnes.

Coque. — Coque en acier; compartiments étanches; double fond à huit com-

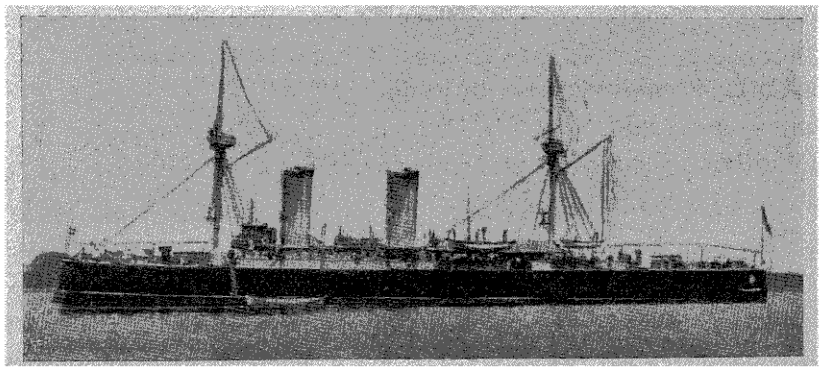


Fig. 173. — *Etruria.*

partiments sous les chaudières. Fausses quilles de 24 mètres de long, dont la largeur, de $0^{m},50$ d'abord, a été portée ultérieurement à $0^{m},80$. Doublage zinc. Deux mâts à signaux; une cheminée.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Protection. — Pont blindé, en dos de tortue, de 50 à 24 millimètres d'épaisseur, sous-marin.

Machines. — Deux machines à triple expansion. Quatre chaudières cylindriques. Aux essais, les machines ont donné, au tirage forcé, avec 137 tours, 4 094 chevaux; la vitesse maximum n'a pas dépassé 17ⁿ,4 par calme plat. Aux essais de six heures, au tirage naturel, la vitesse a été de 14ⁿ,5 avec 2 439 chevaux et 78 tours.

L'approvisionnement de charbon est de 500 tonnes. La *Calabria* a été agencée pour le chauffage mixte.

Les essais des autres navires de la même classe ont donné les résultats suivants, d'après le *Naval Annual* de 1895 :

	DÉPLACEMENT.	TIRANT D'EAU moyen.	TIRAGE NATUREL.				TIRAGE FORCÉ.			
			Pression.	Tours.	Puissance.	Vitesse.	Pression.	Tours.	Puissance.	Vitesse.
	Chevaux.	Mètres.	Kilog.		Chevaux.	Nœuds.	Kilog.		Chevaux.	Nœuds.
Lombardia.	2 380	4,74	9,8	116	2 610	15	9,8	149	6 010	18,4
Liguria. . .	2 250	4,54	10,1	127	3 444	15,9	10	145,4	5 536	18,1
Etruria. . .	2 280	4,62	10,1	126	4 602	16,9	10,7	142	7 019	18,8
Umbria. . .	2 283	4,82	9,7	127	4 910	17,7	10,4	140	7 400	18,9

Armement. — L'armement comprend :

4 canons de 152 millimètres, à tir rapide, avec masques, 2 à l'arrière et 2 à l'avant;

6 canons de 120 millimètres, à tir rapide, avec masques, savoir : 4 entre les canons de 152, 1 à l'avant, 1 à l'arrière;

8 canons de 57 millimètres, à tir rapide;

12 canons de 37 millimètres, à tir rapide.

Il y a 2 tubes lance-torpilles sous-marins.

257 hommes d'équipage.

(*A suivre.*)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHIMIE

FABRICATION DU CIMENT EN FOURS TOURNANTS, d'après **MM. Stanger et Blount** (1).

Les fours rotatifs pour ciments ont été introduits en Angleterre en 1885, par *Ransome*, dont l'appareil consistait (fig. 1) en un cylindre A, incliné et tourné sur des galets par le mécanisme à vis sans fin B; la matière arrivait de la trémie C, descendait dans le four où elle était brûlée par les gaz d'un gazogène admis en D, et tombait dans le puits E; les poussières soufflées hors du four étaient recueillies en F et ramenées à la trémie, Ransome pensait que le ciment

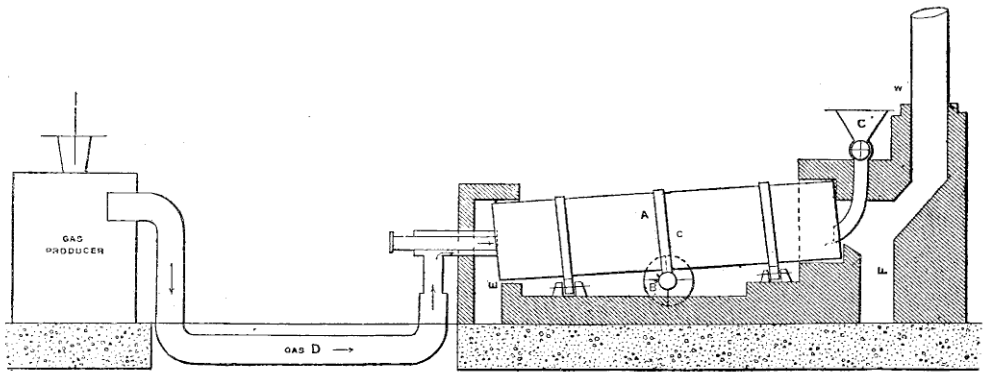


Fig. 1. — Four tournant *Ransome*.

pulvérisé très fin, avant son entrée dans le four, n'aurait pas besoin d'être broyé de nouveau après son grillage, mais il oubliait que la température nécessaire pour ce grillage est telle que le ciment y devient plastique et cohérent, de sorte qu'il se réagglomère en nodules, quelle que soit la finesse de sa pulvérisation à son entrée dans le four. Le four Ransome n'eut aucun succès en pratique; aux points les plus chauds du four, la scorie adhérait sur les parois en un anneau empêchant le passage de la matière, et une grande partie de cette matière était soufflée hors du four; en outre, l'emploi de gaz de gazogène sans régénérateur rendait les opérations incertaines, et, quand on ajouta un régénérateur, il ne tarda pas à être obstrué par les poussières. Le ciment était de prise beaucoup

(1) *Civil Engineers*, London, 26 février 1901

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

trop rapide. Le four n'avait que 7m,50 de long, longueur tout à fait insuffisante pour un emploi économique du combustible, et qui occasionnait la destruction du tube d'amenée du ciment brûlé par les flammes.

M. W. Stokes perfectionna considérablement le four de Ransome en utilisant les chaleurs perdues par les gaz et les scories. Pour produire une tonne de ciment de bonne qualité, il faut employer environ 1 tonne 1/2 de matière sèche, renfermant 1 tonne 1/8 de chaux et 3/8 de tonne d'argile; la chaleur de son chauffage est employée en grande partie à la décomposition du carbonate de chaux qui exige, pour 1 125 kilogrammes, une dépense de 478 012 calories, et comme les autres réactions de faible importance thermique, les unes endothermiques et les autres exothermiques, s'équivalent à peu près, on peut admettre qu'il faut, pour transformer 1 tonne 1/2 de matière en 1 tonne de ciment, dépenser théoriquement environ 480 000 calories, ou 60 kilos de charbon à 8 000 calories, soit 6 p. 100 du poids du ciment grillé: cette dépense théorique minima est toujours notablement dépassée en pratique.

Dans tout procédé rationnel et continu de grillage de ciment, on emploie l'air qui entre dans le four à refroidir les scories, et les gaz sortant du four à échauffer la matière avant son entrée dans le four; on peut admettre, pour la température des scories 100°, au sortir du four, et 300° pour celle des gaz sortants. Si l'on emploie un charbon tenant 80 p. 100 de carbone et 5 p. 100 d'hydrogène, il faudra, pour le brûler, dépenser théoriquement 11 kilogrammes d'air par kilogramme de charbon et pratiquement 22 kilogrammes, qui passeront de 16°, par exemple, à 300°; en outre, l'acide carbonique provenant de la décomposition du carbonate de chaux devra aussi être porté à 300°, de sorte que la quantité de chaleur nécessaire pour produire 1 000 kilogrammes de ciment grillé ou scorie se décompose comme il suit :

Pour la décomposition de 1 125 kilogrammes de carbonate de chaux	478 012 calories.
Chaleur perdue dans la scorie, de chaleur spécifique 0,2, élévation de température 85°.	17 000 —
Chaleur emportée par les gaz.	
a) 495 kilogrammes de CO^2 du carbonate de chaux.	
b) 23 x kilogrammes de produits de la combustion, de chaleur spécifique 0,24, élévation de température 285°. .	$(23x + 495) \times 0{,}24 \times 285$

en désignant par x le nombre de kilogrammes de charbon nécessaire pour griller 1 000 kilogrammes, de sorte que, si l'on prend pour puissance calorifique de ce charbon 8 000 calories, on a l'équation :

$$8000\,x = 17000 \text{ calories (chaleur des scories)} + 478012 \text{ (chaleur de décomposition du carbonate de chaux)} + (23x + 495) \times 0{,}24 \times 285 \text{ (chaleur emportée par les gaz)},$$

qui donne :

$$x = 82{,}3 \text{ kilogrammes.}$$

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ou 8,23 p. 100 du poids des scories : chiffre qui, majoré de 20 p. 100 pour tenir compte des pertes par rayonnement, donne 9,88 p. 100 comme la dépense minima possible dans ce cas; en pratique, cette dépense doit être au moins doublée.

Si la matière est humide, la dépense du charbon est considérablement augmentée ; avec 40 p. 100 d'eau, elle s'élève théoriquement à 19,40 p. 100, et, en tenant compte du rayonnement, à 23,28 p. 100 du poids des scories.

Si les gaz s'échappent à 200° au lieu de 300, cette dépense tombe à 17 p. 100.

Sous une autre forme, la dépense de chaleur se répartit comme il suit :

Avec des matières sèches :

Chaleur de décomposition du carbonate de chaux	72,6 p. 100.
— perdue dans la scorie	2,6 —
— emportée par les gaz	24,8 —

Avec des matières humides à 40 p. 100 d'eau :

	Température des gaz sortant du four, 200°	300°
Chaleur de décomposition du carbonate de chaux	30,8 p. 100	35,1 p. 100
Chaleur perdue dans la scorie	1,1 —	1,2 —
Chaleur nécessaire pour vaporiser l'eau et employée à porter la vapeur à la température des produits de la combustion	46,3 —	49,3 —
Chaleur perdue dans les produits de la combustion y compris l'acide carbonique du carbonate	21,8 —	14,4 —

On voit immédiatement l'importance de l'économie réalisée par l'emploi de matières sèches et pourtant, dans la pratique anglaise, on ajoute délibérément 40 à 50 p. 100 d'eau en partie parce que l'on considère cet excès d'eau comme indispensable à la perfection du mélange des matières.

L'appareil de *Stokes* comprend (fig. 2) un four tournant A, de $1^m,50$ de diamètre et de $10^m,50$ de long, en tôles d'acier, monté sur galets qui lui laissent toute liberté de dilatation; les gaz passent, au sortir de ce four, au cylindre B, de 12 mètres de long sur $3^m,60$ de diamètre, tournant lentement sur galets. La matière est déversée méthodiquement sur ce tambour, sur lequel elle adhère et se sèche en un tour, puis en est grattée par un racleur à chaînes et envoyée au four de calcination A. De ce four, la scorie tombe dans le refroidisseur C, de $4^m,50$ de long sur $1^m,50$ de diamètre, en acier sans garniture réfractaire, avec nervures pour absorber la chaleur des scories; l'air qui a refroidi ce cylindre est employé au gazogène du four, de sorte que l'on utilise ainsi en partie la cha-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

leur des scories. Malheureusement des difficultés de détail empêchèrent le succès pratique de cet appareil très bien compris dans son ensemble. Le mélange de chaux et d'argile employé dans les anciens procédés ne convenait pas pour le nouveau, parce qu'il y manquait les cendres du combustible solide (coke) qui, avec les anciens fours, agissaient comme un supplément d'argile; le ciment nouveau, privé des sulfates dérivés du coke, prenait trop rapidement, il fallait y ajouter du gypse pour ralentir cette prise; mais la principale difficulté était celle de maintenir une température suffisamment constante et uniform-dans le four de calcination, et, en outre, on ne réussit pas à se procurer un garenissage durable pour ce four. Les briques réfractaires ordinaires se corrodaient rapidement, les briques basiques de magnésie étaient trop coûteuses et trop conductrices et celles en bauxite trop friables.

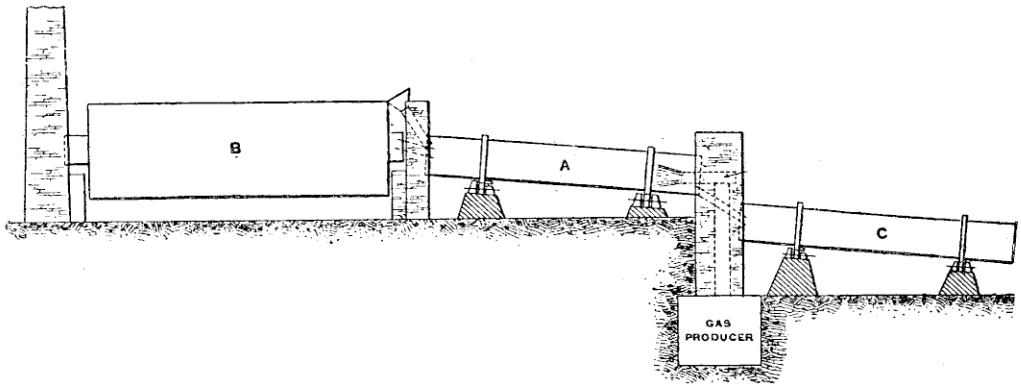


Fig. 2. — Four tournant *Stockes*.

C'est aux États-Unis, que les idées de Ransome et de Stokes ont fructifié, grâce, en partie, à la facilité avec laquelle on put y employer le pétrole, bien que son emploi ne soit plus nécessaire aujourd'hui.

L'usine de l'*Atlas Cement C°*, à Northampton, Pennsylvanie, emploie actuellement 51 fours tournants du système *Hurry* et *Seaman* (1) avec un débit de 8000 à 9000 barils par jour (8 à 9000 tonnes par semaine); c'est probablement la plus grande manufacture de ciment du monde, et elle est en train de monter une batterie nouvelle de 48 fours, qui doublera presque sa production, ce qui démontre bien le caractère économique et pratique de ses procédés.

La matière employée à la compagnie Atlas est un schiste calcaire renfermant 70 p. 100 environ de carbonate de chaux et de la pierre à chaux tenant 93 p. 100 de ce carbonate, les deux mélangés de manière à produire un ciment normal. Ces matières, broyées dans des broyeurs Gates (2) et passées au

(1) *Bulletin* de janvier et juin 1899, p. 121 et 887.
(2) *Bulletin* de janvier 1897, p. 110.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tamis tournant, sont séchées au sécheur tournant, rebroyées très fines au broyeur Huntington, puis transportées par un élévateur au-dessus des fours de calcination, dans des trémies qui en contiennent assez pour les alimenter pendant quarante-huit heures, de manière à permettre d'arrêter les broyeurs le dimanche sans arrêter les fours.

Les fours tournants, groupés deux par deux (fig. 3) ont 18 mètres de long sur 2 mètres de diamètre à la partie supérieure et 1m,50 au bas, montés sur galets et inclinés de 1/15; leur vitesse de rotation varie de 9 à 32 tours par heure suivant l'état de l'opération; au bas, se trouve un brûleur de charbon en poussière, avec injection d'air, dont la flamme est suffisante pour porter au rouge le bas des fours; la température des gaz s'abaisse graduellement du bas au haut du four, dont ils s'échappent presque froids dans la cheminée. La rapi-

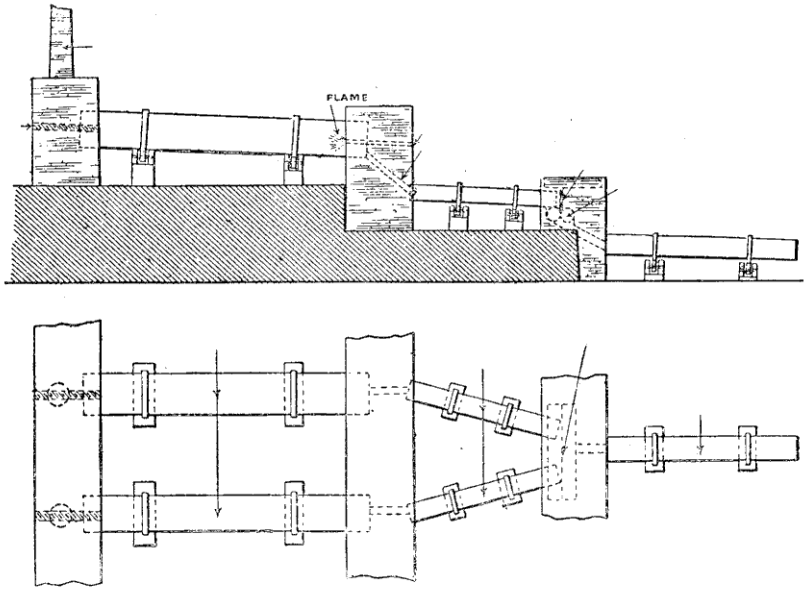


Fig. 3. — Fours de l'*Atlas Cement C°*.

dité de la descente est réglée par l'inclinaison du four et sa vitesse de rotation de manière que, lorsque la matière arrive au bas du four, dans sa partie au rouge, longue de 3 mètres environ, le carbonate de chaux est déjà décomposé, l'eau vaporisée et la réaction entre la chaux, la silice et l'alumine déjà commencée pour se terminer complètement dans la zone chaude.

Le charbon employé à l'Atlas présente la composition suivante :

Hydrocarbures volatils	30,42 p. 100
Carbone fixe.	60,30 —
Cendres	8,38 —
Humidité.	0,90 —

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On peut aussi employer de l'anthracite, plus dur à broyer, mais combustible excellent; la poussière du charbon est amenée uniformément à l'éjecteur à air par un conveyeur à vis; l'on ne parvint à réaliser un bon et simple brûleur qu'après de nombreux essais, avec des ventilateurs, etc. de toute espèce.

Le garnissage du four présenta aussi de nombreuses difficultés. La brique réfractaire ordinaire renferme environ 55 à 75 p. 100 de silice, 20 à 40 p. 100 d'alumine; elle se comporte comme un acide vis-à-vis de la scorie de ciment Portland, riche en chaux et basique, se fondant avec elle en un flux analogue aux scories de hauts fourneaux; cette réaction inévitable détériore le ciment et ruine le garnissage.

Comme l'alumine est moins acide que la silice, on a essayé des briques riches en alumine, et notamment celles de la composition suivante :

Silice (SiO^2)	55,82 p. 100
Alumine (Al^2O^3)	37,98 —
Oxyde de fer (Fe^2O^3)	4,02 —
Chaux (CaO)	0,00 —
Magnésie (MgO)	0,78 —
Soude (NaO)	0,88 —
Potasse (KO)	0,37 —

mais ces briques, encore trop acides, ne résistent pas; elles doivent être basiques.

On ne saurait trouver un garnissage basique meilleur que la scorie de ciment elle-même, mais il n'est pas facile d'en faire des briques; aussi, MM. Harry et Seaman ont-ils inventé un procédé pour recouvrir les briques du garnissage d'une couverte de ces scories; voici comment on procède :

On applique sur la partie du four exposée à la plus haute température une couche de sel marin, on chauffe le four, on y introduit une charge de matière, et on la chauffe au rouge de manière qu'elle devienne plastique et adhère au garnissage sur lequel on la presse et on la bat en une épaisseur suffisante pour protéger les briques de la corrosion; l'emploi d'une couche de sel marin pour faciliter tout d'abord l'adhérence du ciment n'est pas nécessaire, on peut s'en dispenser en portant les briques nues à une température suffisamment élevée pour assurer l'adhérence du ciment.

Ce procédé simple et ingénieux a révolutionné la technique des fours tournants; le ciment produit est de qualité aussi satisfaisante et aussi uniforme que celui des meilleurs fours fixes. A sa sortie des fours, la scorie tombe (fig. 3) dans un second cylindre de 9 mètres de long sur $0^m,90$ de diamètre, tournant six fois plus vite que le four, garni de briques et traversé par un courant d'air qui alimente ensuite la flamme du four en lui restituant la majeure partie de la chaleur des scories; ces dernières, modérément chaudes, tombent sur trois broyeurs arrosés d'eau. Ces broyeurs écrasent facilement les agglomérations

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

formées dans le four et qui n'ont pas grande consistance; de là, la scorie humide et broyée passe dans un troisième cylindre tournant de 18 mètres de long sur $1^{m},50$ de diamètre, garni de nervures en fonte qui mélangent et désagrègent la matière; un courant d'air traverse ce cylindre et emporte dans la cheminée la vapeur des broyeurs et, pendant leur passage dans ce dernier cylindre, la scorie est arrosée d'un filet d'eau de manière qu'elle sorte légèrement humide. De ce dernier cylindre, la matière passe dans des trucs de 10 tonnes qui les portent aux pulvérisateurs d'où le ciment sort saturé d'une certaine quantité d'eau, mais néanmoins sec, de sorte qu'il n'est plus nécessaire de laisser ce ciment se perfectionner par un long repos, pendant lequel cette saturation se produit.

Ce ciment est d'excellente qualité; il a donné aux essais, d'après la méthode de Bauschinger, les résultats suivants, en centièmes de millimètre, sur barreaux de 100 millimètres.

	Barreaux humides dilatation	Barreaux secs. contraction.
Premier jour.	1,5	7
Deuxième jour	3,5	9,5
Vingt-huitième jour. . . .	4,5	13,5

Sa composition est la suivante :

Silice (SiO^2)	20,36 p. 100
Résidu insoluble (sable et argile)	0,44 —
Alumine (Al^2O^3).	7,26 —
Oxyde de fer (Fe^2O^3).	3,24 —
Chaux (CaO).	61,90 —
Magnésie (Mgo).	3,10 —
Acide sulfurique (SO^3)	1,33 —
Acide carbonique (CO^2).	0,33 —
Eau	1,97 —
Potasse, soude et pertes.	0,04 —

Avant son expédition, ce ciment est additionné d'un peu de plâtre pour en ralentir la prise. Presque toutes les manipulations des matières, depuis leur arrivée à l'usine jusqu'à la sortie du ciment en barils, se font mécaniquement.

Une installation pouvant fabriquer 2800 tonnes de ciment par semaine comprend 14 fours, avec autant de brûleurs de charbon en poussière et de cylindres refroidisseurs, 7 broyeurs et 7 refroidisseurs finaux, 4 broyeurs Gates, 1 sécheur tournant pour les matières brutes et 4 broyeurs Huntington. Les broyeurs sont commandés par un moteur de 2500 chevaux et les fours, refroidisseurs, etc., par une machine de 300 chevaux, avec double en réserve.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le prix de revient de la tonne de ciment s'établit comme il suit :

	Francs.
Matières premières	2,25
Charbon pour la force motrice (20 p. 100 du ciment produit) à 8 fr. 50 la tonne	1,55
Charbon pour la calcination (30 p. 100 du ciment produit à 9 fr. 55 la tonne)	2,75
Salaires (45 francs par semaine)	3,75
Entretien, graissage, etc.	3,70
Surveillance, laboratoire, administration	1,45
	15,45

il faut 159 ouvriers, dont 118 manœuvres.

Avec l'ancien procédé, qui exige une dépense de charbon pour la calcination, égale à 40 p. 100 du poids de ciment au lieu de 30 p. 100, le prix de revient monte à 17 fr. 50 et 24 francs la tonne.

Aux usines de l'Atlas, on n'emploie que des matières premières sèches; aux usines de la *Bronson C°*, à Bronson (Michigan), la matière première est une marne

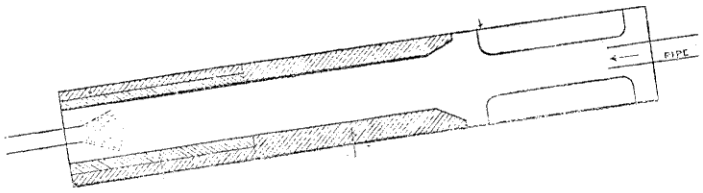


Fig. 4. — Four de la *Bronson C°*.

calcaire, draguée dans un marais et mélangée avec de l'argile en une pâte renfermant 40 p. 100 d'eau, comparable à celles employées en Angleterre, mais avec moins de chaux, puisque l'on n'y emploie pas de combustibles à cendres; cette pâte est pompée directement dans le haut du four tournant (fig. 4), séchée et calcinée en une seule opération. Le haut de ce four n'a pas de garniture réfractaire, mais est garni d'ailettes qui brassent et ramènent la pâte en la brisant en petits nodules bien adaptés à la calcination; ces fours ont 18 mètres $\times$ 1^{m},50 de diamètre; la température des gaz à la sortie est de 316°; le chauffage se fait au pétrole avec briques de magnésie dans la zone chaude; ces briques sont coûteuses d'achat et d'entretien; chaque four produit 120 tonnes de scorie par semaine. Aux usines de *Hemmoor*, près de Hambourg, on emploie aussi de la pâte à 40 p. 100 d'eau, avec de la poussière de charbon soufflée par un ventilateur et scories passant dans un cylindre en fer à nervures intérieures, traversé par l'air allant au brûleur. Les scories ne sont ni broyées, ni arrosées d'eau; la production d'un four est de 200 tonnes par semaine, avec une dépense de charbon égale à 30 p. 100 du poids des scories.

Un four du type normal, pour matières sèches, et produisant 200 tonnes par

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

semaine, a 18 mètres de long; s'il ne dépensait que le charbon théoriquement nécessaire, ou 8,23 p. 100 du poids des scories, les gaz en sortiraient à 300°. En fait, la dépense de charbon s'élève à 30 p. 100 du poids des scories, de sorte que 72 p. 100 de sa chaleur est perdue et que les gaz s'échappent du four à 1085° environ. La chalenr de ces gaz suffirait, en les refroidissant à 300°, pour dessécher la matière nécessaire à la production d'une tonne de scories, même si elle renfermait 61 p. 100 d'eau; on voit que la dépense de charbon, dans ces fours à sec, est beaucoup trop forte; on pourrait la réduire en augmentant leur longueur et en forçant en conséquence leur débit. D'autre part, bien qu'il ne faille pas dépenser en pratique plus de charbon avec une pâte à 40 p. 100 d'eau qu'avec des matières sèches, il faut néanmoins réduire cette eau le plus possible : à 30 p. 100 par exemple, pour assurer la production normale du four malgré les irrégularités inévitables de son alimentation.

Il faudrait donc augmenter la longueur des fours destinés à la calcination des pâtes à 40 p. 100 d'eau, la porter à 27 mètres comme on l'a déjà fait, et même à 30 mètres, si les dilatations et contractions ne s'y opposent pas.

En résumé, les fours tournants ont une telle supériorité d'économie et de qualité qu'ils ne tarderont pas à supplanter les anciens fours fixes, en Europe comme aux États-Unis. La caractérisque de leur emploi, aux États-Unis, est la manutention entièrement mécanique des matières et le chauffage par du charbon en poussière, seul combustible disponible en Europe; en outre, ils produisent un ciment naturellement mûri, et qu'il n'est plus nécessaire d'aérer par un long emmagasinement.

G. R.

RECHERCHES SUR LE CUIR POUR RELIURE

Une commission anglaise, nommée en février 1900, vient de publier un rapport sur le cuir employé dans la reliure (*J. Soc. arts*, *49.621-638*). Nous avons pensé qu'on lirait avec intérêt le résumé suivant, qui en a paru dans *the Journal of the Society of Chemical Industry* (Août 1901, p. 819).

La Commission nomma deux sous-commissions; la première devait visiter les bibliothèques importantes et la seconde avait pour mission de rechercher les causes de l'altération et de la détérioration sur cuir au point de vue scientifique.

La première sous-commission visita un grand nombre de bibliothèques, parmi lesquelles celles du British Museum, de Bodleian, de l'Université de Cambridge, de l'Athenæum Club, du Patent Office et de la Société chimique, ainsi que d'importantes bibliothèques particulières. Elle constata que les plaintes relatives à l'altération prématurée du cuir moderne, employé pour la reliure, étaient justifiées par les faits, et que les livres reliés pendant les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

quatre-vingts ou cent dernières années montraient avec évidence une détérioration beaucoup plus rapide que ceux reliés antérieurement. Beaucoup de reliures récentes montraient une altération nette après une durée qui ne dépassait pas dix ou même cinq années. Elle conclut que, quoique le cuir de toutes les époques montrât des signes d'altération, la détérioration devient plus générale sur les livres reliés après 1830, et que les livres reliés après 1860 se montraient encore plus détériorés. La détérioration des reliures en veau de la fin du XIX^e^ siècle peut être attribuée autant à l'excessive minceur qu'à la pauvre qualité de la matière.

La sous-commission trouve que, dans les bibliothèques où l'on n'employait pas de lumière artificielle et où la ventilation était bonne, les reliures étaient généralement en meilleur état que dans le cas contraire. Quand on faisait usage du gaz, les reliures étaient dans le plus mauvais état, spécialement sur les rayons supérieurs. La lumière solaire et, plus encore, la lumière solaire directe ont un effet de désagrégation sur le cuir.

Pour les cuirs anciens (du XV^e^ et du XVI^e^ siècle) la peau de porc blanche, probablement tannée à l'alun, est la plus durable, mais sa dureté excessive et son manque de flexibilité rendent le cuir inutilisable dans la plupart des travaux modernes. Le vieux veau brun s'est bien conservé, mais il perd sa flexibilité et devient raide et cassant quand il est exposé à l'air et à la lumière. Les reliures de mouton, des XV^e^ et XVI^e^ siècles, sont restées souples et flexibles. Des exemplaires de maroquin rouge, depuis le XVI^e^ jusqu'à la fin du XVIII^e^ siècle, furent trouvés en bon état, et, de tous les cuirs indiqués, celui-ci semblait être le moins affecté par les diverses épreuves auxquelles il avait été soumis. Les reliures en maroquin antérieures à 1860 furent généralement trouvées en bon état, mais, après cette date, le maroquin semblait être beaucoup moins digne de confiance, et, dans beaucoup de cas, il était devenu complètement avarié. Depuis 1830 environ, il semble qu'on ait employé du veau de bonne qualité. Les reliures en peau de mouton, datant de la première partie du siècle, furent trouvées pour la plupart en bon état; mais, depuis 1860 environ, on trouve difficilement de la vraie peau de mouton. Les peaux de mouton furent grainées pour imiter d'autres cuirs, et les imitations de cuirs grainés sont généralement trouvées en plus mauvais état que beaucoup d'autres reliures, excepté, peut-être, pour celles en peau de mouton très mince.

Les cuirs modernes, teints en présence d'acide sulfurique, doivent tous être condamnés. Dans à peu près tous les cas, on trouva que le cuir de Russie s'était avarié, au moins pour les cinquante dernières années.

Le travail de la seconde sous-commission, qui était composée de chimistes particulièrement compétents dans le traitement du cuir, chercha spécialement à élucider les points suivants : examen de la nature de l'altération du cuir employé

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pour la reliure, examen des causes de cette altération, recherche des meilleures méthodes de préparation du cuir pour la reliure et considération des conditions nécessaires au point de vue de la conservation des livres.

La sous-commission fit un grand nombre d'essais et d'analyses sur des échantillons de reliures altérées, ainsi que sur les cuirs employés pour la reliure, et elle trouva que l'altération qui était la plus fréquente était ce qu'elle dénomma une « altération rouge » (*red decay*); elle estimait qu'on pouvait la différencier en ancienne et en nouvelle, l'ancienne altération rouge se constatant antérieurement à 1830 environ, et la nouvelle étant postérieure à cette date. Dans l'ancienne altération, le cuir devient dur et cassant, la surface n'étant pas facilement enlevée par le frottement; cet état se rencontre surtout dans les livres reliés en veau tanné à l'écorce de chêne. La forme récente affecte à peu près tous les cuirs, et, dans les cas extrêmes, semble absolument détruire les fibres.

Une autre forme de détérioration, se remarquant plutôt dans les livres plus récents, rend le grain du cuir susceptible de s'écailler par le plus faible frottement. On remarque dans presque tous les échantillons de cuir de Russie une forme très intense d'altération rouge. Dans beaucoup de cas, le cuir fut trouvé complètement désorganisé (*rotten*) dans toutes les parties exposées à la lumière et à l'air.

On fit une importante série d'expériences en vue de déterminer les causes d'altération des reliures. La sous-commission trouve qu'elle est causée à la fois par des influences mécaniques et chimiques. Parmi ces dernières, il y en a qui sont dues à des méprises du fabricant de cuir et du relieur, et d'autres qui proviennent du manque de ventilation et du chauffage, ainsi que de l'éclairage des bibliothèques. Dans certains cas, des cuirs inférieurs sont finis (par des procédés nuisibles par eux-mêmes) de manière à imiter les meilleures qualités de cuir; mais, en réalité, le tort dont sont responsables le fabricant et le relieur doit être attribué plus à l'ignorance de l'effet produit par les moyens employés pour donner au cuir les qualités extérieures exigées pour la reliure qu'à la production intentionnelle d'un article inférieur.

La sous-commission donne des instructions minutieuses sur la préparation des cuirs convenant à la reliure et traite en détail du tannage, de la dessiccation et du finissage, ainsi que de la préservation des livres.

Les conclusions générales qui suivent sont le résultat de longues séries d'expériences et de recherches. On y voit, en résumé, que les tannins catéchols qui comprennent le turwahr, le quebracho, l'hemloch, l'écorce de larix et le gambier ne conviennent pas au cuir pour reliure duquel on exige de la durée, et que le sumac donne un cuir beaucoup plus stable, tandis que le myrobolan occupe une place intermédiaire, mais plus rapprochée du sumac. La cassie, qui

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

est une matière tannante employée pour les peaux de mouton et de chèvre du Levant, s'est montrée absolument impropre. Les cuirs au sumac, dans certains cas, paraissaient se colorer en noir, mais cela était probablement dû à la falsification du sumac par le pistachier dont le tannin se rapproche étroitement de celui de la cassie.

De toutes les influences auxquelles les livres sont exposés dans les bibliothèques, les produits de combustion du gaz, sans doute à cause des acides sulfureux et sulfurique qu'ils contiennent, se montrent les plus nuisibles; mais la lumière et, spécialement, la lumière solaire directe et l'air chaud possèdent une action délétère qui, antérieurement, avait été à peine soupçonnée, et l'on ne peut trop insister sur l'importance d'une température modérée et d'une parfaite ventilation.

On examine ensuite les succédanés du cuir pour reliure, mais on trouve qu'ils n'étaient pas aussi durables que le cuir bien préparé, tout en durant plus longtemps que le cuir de Perse ou le cuir mal préparé.

La Commission recommande de n'employer que du sumac pour le tannage du cuir destiné à un travail de choix, et de préférer les peaux de veau ou de chèvre. Les peaux employées doivent être en bonne condition et de préférence des peaux sèches ou en saumure, plutôt que des peaux salées à sec. On ne doit pas user, pour les ramollir, de bains putrides ou de traitements mécaniques violents. Les vieux pelains, dégageant une forte odeur d'ammoniaque et contenant une grande quantité de bactéries, doivent être évités. Une importante cause de dommage est fréquemment due au manque de soin dans le trempage et l'ébourrage, et la Commission recommande vivement la substitution d'un agent chimique à l'emploi ordinaire des confits. Elle conseille un tannage léger et condamne un palissonnage excessif et un dolage trop énergique.

On a trouvé que l'habitude de nettoyer et de blanchir les peaux au moyen d'acide sulfurique est une des causes les plus fréquentes d'altération, et l'addition d'acide sulfurique au bain de teinture est également condamnée; on recommande de le remplacer par des acides organiques.

L'acide nitrique, employé par le glaçage, se montre un agent de destruction, et le glaçage par voie humide fut condamné. L'habitude des relieurs de laver le cuir avec de l'acide oxalique fut trouvée préjudiciable, et on condamne également très fortement l'habitude de pulvériser du sulfate de cuivre sur le cuir, pour produire le veau moucheté (*Calf sprinkled, Calf tree*). La tension du cuir sur les livres, obtenue à l'aide de l'humidité, a un mauvais effet.

Pour préserver les livres dans les bibliothèques, la Commission recommande des verres teintés, qui arrêteront les énergiques rayons actiniques de la lumière.

ACH. LIVACHE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

NOTES DE MÉCANIQUE

LAMINOIRS ET TRANSBORDEURS *Huber* ET *Kennedy*.

Dans le train de laminoirs de M. V. *Huber*, le lingot sorti du four à réchauffer 1 (fig. 1) est amené par les galets 2, que commande la dynamo 4, au blooming 33ª; de là, il va, par 5, aux cylindres verticaux 6, aux dégrossisseurs horizontaux 77ª et aux seconds cylindres verticaux 8, et ce d'une façon continue, les différents cylindres s'ali-

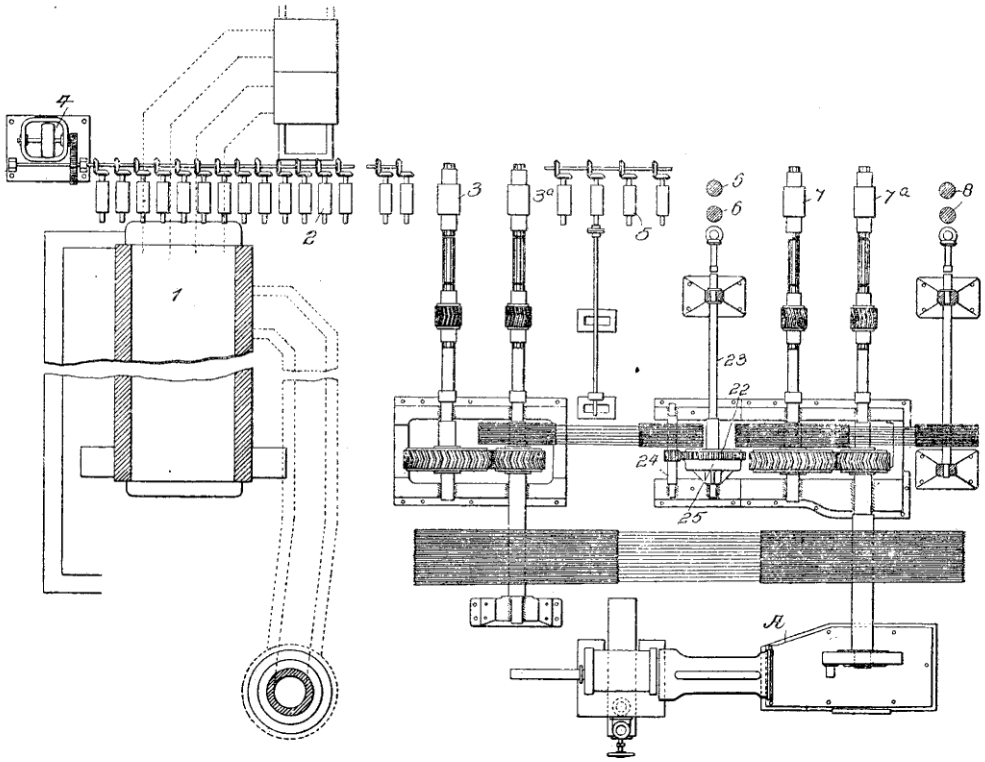


Fig. 1. — Laminoir *Huber*. Plan.

mentant les uns les autres. Des cylindres 8, les galets 9, commandés par la dynamo 10, amènent le lingot entre les cylindres 11 et 12 du trio 11, 12, 16 (fig. 3), d'où il passe sur une série de galets 13, commandés par friction; ces galets sont montés sur un châssis mobile verticalement qui, soulevant l'arrière du lingot, à sa sortie de 11 et 12, l'appuie sur les galets 15, tournant en sens inverse de 13, et qui passent ainsi le lingot entre les cylindres 12 et 16; de ces cylindres, le lingot passe aux galets 17, comman-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dés par friction, d'où il est transbordé latéralement aux galets 18, qui le passent au duo finisseur 19; de ce finisseur, le lingot passe, par les cylindres 20, au palier B.

La commande des cylindres 3 et 3ª est (fig. 1) telle que 3ª tourne plus vite que 3 dans la proportion de l'allongement du lingot, et ce par une transmission à cordes du moteur A, qui commande directement le laminoir 7, 7ª; les laminoirs 8 et 6 sont commandés par cordes, l'un de l'arbre de 3ª et l'autre de l'arbre de 7, et tous à des vitesses croissant comme l'allongement du lingot.

La réduction du lingot effectuée par les cylindres 6 est très faible, mais celle des

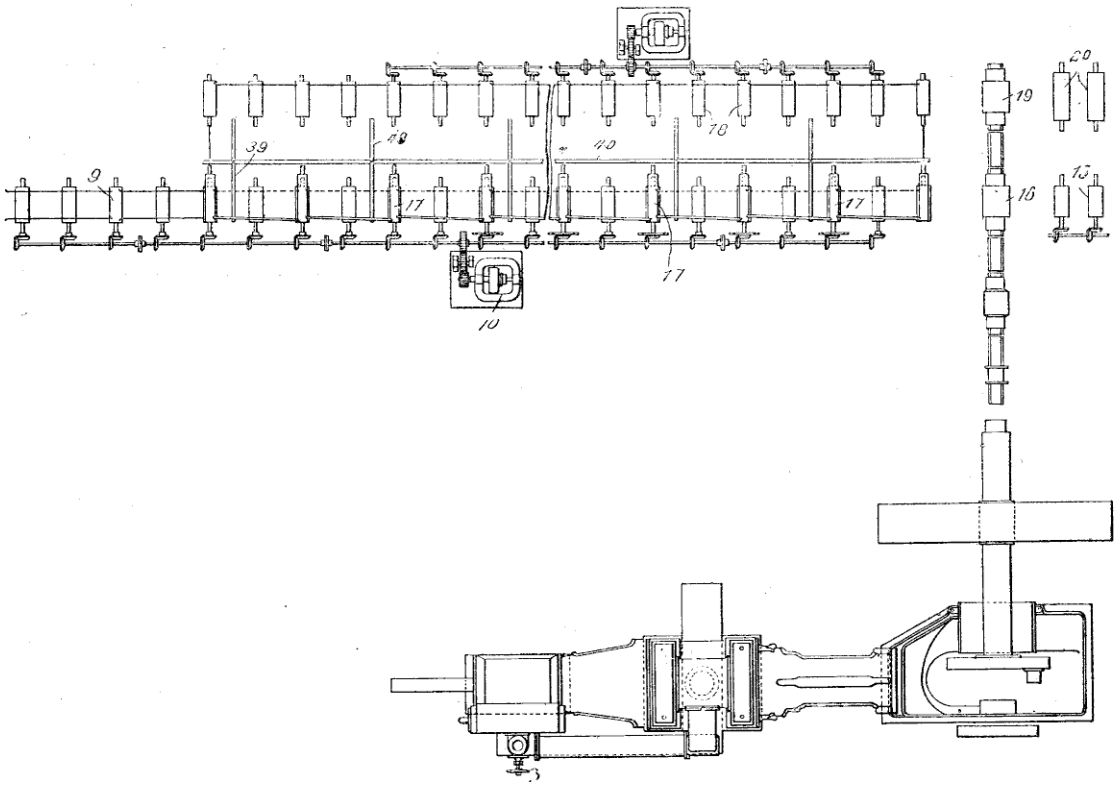


Fig. 1 *a*. — Laminoir *Huber*. Suite du plan fig. 1.

cylindres 7 peut varier de 5 à 50 p. 100, et comme on ne peut pas adapter leur vitesse à chacune des variations de cette réduction, on leur donne la vitesse correspondant à la réduction maxima, et l'on commande 6 par un mécanisme qui augmente automatiquement la vitesse de 6 quand la réduction par 7 diminue. A cet effet, le pignon 24 (fig. 1 et 9) commande l'arbre 23 par un pignon 22, fou sur 23, avec manchon 25, à paires de cliquets 26, 26ª, en prise avec le rochet 27, calé sur 23, et pressés sur 27 par des ressorts 28; ces paires de cliquets 26 et 26ª sont disposés de façon que, l'une d'elles entrant en prise avec 27, l'autre ne vient en prise qu'après une rotation en avant du pignon 22 égale à la moitié du pas des dents de 27. Quand la réduction du laminoir 7 diminue, il entraîne le lingot à une vitesse plus grande que celle correspondant à la vitesse de 6, mais cet entraînement de 6 peut se faire sans aucun inconvénient par le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

jeu des cliquets. Quant aux cylindres 8, comme leur réduction est faible, on peut les commander sans inconvénient, toujours à la vitesse de 7ᵃ.

Les galets 13 sont (fig. 4) montés dans un châssis 29, guidé en 30 sur les glissières 31, et supporté par (fig. 2ᵃ) deux pistons hydrauliques 33, 34, dont l'égalité de levée est assurée par leur conjugaison au moyen des renvois 36-35, pivotés en 32. Les galets 15 sont montés sur le châssis 37, fixé aux colonnes 31.

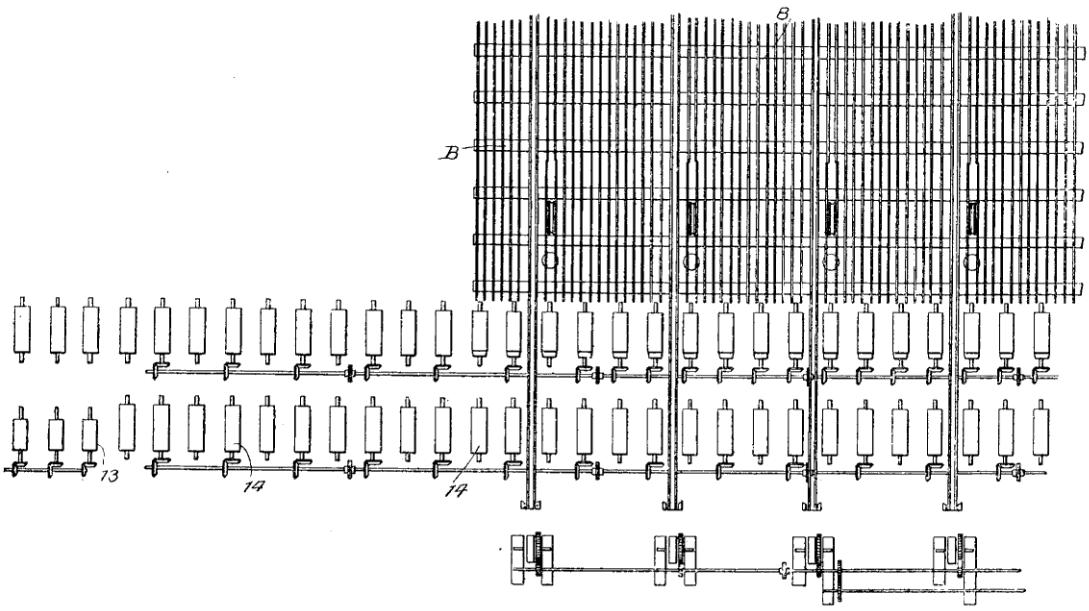


Fig. 1 *b*. — Laminoir *Huber*. Suite du plan fig. 1 *a*.

Le transfert des galets 17 aux galets 18 s'opère (fig. 3) par une série de bras 39, que le cylindre hydraulique 47 commande par le renvoi 46, 45, 43, 41, 40, de manière que,

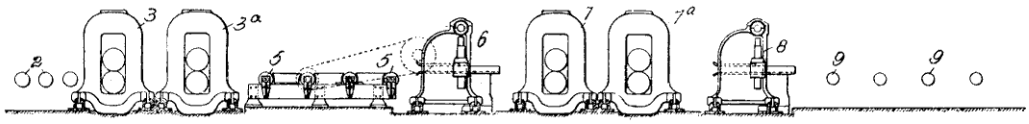


Fig. 2. — Laminoir *Huber*. Élévation correspondant au plan fig. 1.

soulevés comme en pointillés par la rotation de leur arbre 40, ils passent le lingot sur les rails 48, qui les descendent sur 19.

Les cages des laminoirs de *Kennedy* sont (fig. 5), très robustes en trois pièces réunies par quatre gros boulons; les coussinets 8 y sont assujettis par leurs collets 10 et les talons 9, qui les empêchent de tourner. Le graissage se fait par 11 et 12, avec récupération de l'huile par 13 et l'intérieur des cages.

Le *transbordeur* de lingot de *Kennedy* est représenté par les figures 11 à 13, où l'on a indiqué en 2, 3 et 4 les différentes positions du lingot, avec retournement à 90° de 3 à 4.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le transféreur se compose d'une série d'étriers 6, 6′, reliés par un guide 7 et supportés en 8 par des parallélogrammes 9-10, commandés, des cylindres 14 et 19, par les renvois 13, 12, 11 et 18, 17, 16, 15 ; le petit cylindre hydraulique 20 sert au rappel du piston 19.

Les pièces occupant les positions fig. 12, pour faire passer le lingot de 2 en 4, on

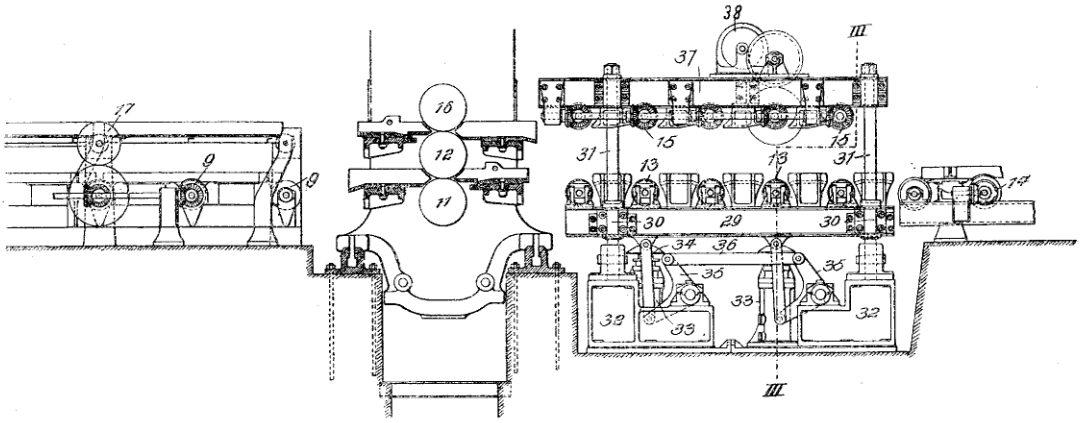


Fig. 2 *a*. — Laminoir *Huber*. Élévation correspondant au plan fig. 1 *a*.

ouvre l'échappement du cylindre 19, de sorte que le cylindre 20 amène 8 dans la position pointillée en le faisant pivoter sur *b*, déposant ainsi le lingot retourné sur les galets avanceurs 5.

Pour passer le lingot de la position 12 à la position 13, sans le retourner, on laisse

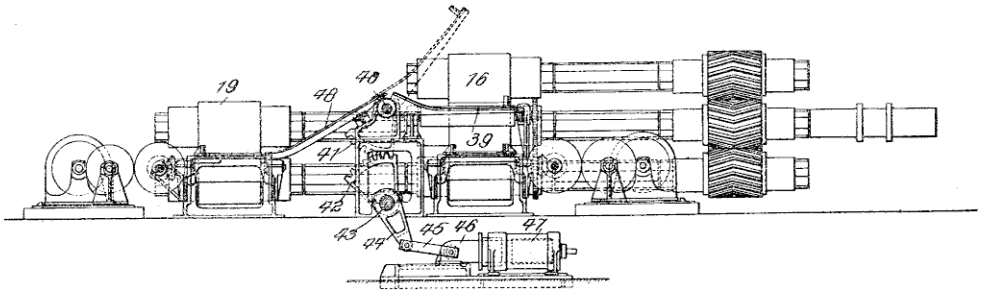


Fig. 3. — Laminoir *Huber*. Élévation du finisseur.

l'eau en 19 et 20, et on l'échappe de 14 de manière à faire passer 10 de la position pointillée à la position en traits pleins.

Dans le type de transbordeur-redresseur *Huber* représenté par les figures 14 à 30, le fer, un fer plat ou une bande par exemple, passe, au sortir des laminoirs finisseurs 1 (fig. 15) dans le canal 2 à bec 2^a, mobile de manière à permettre de le guider dans l'une ou l'autre des branches *a* ou *b* du canal 3, séparées par la cloison 4. A cet effet, le bec 2^a est commandé par le levier 5 (fig. 15 *bis*) et la bielle 6, qui lui impriment le va-et-vient transversal nécessaire.

Les compartiments *a* et *b* du canal 4, sont dans le prolongement des canaux 7

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et 7ª (fig. 25 et 30) à galets transbordeurs moteurs 8, sur lesquels le fer est pressé par les galets fous 9 correspondants, montés (fig. 29) sur des bras 12, pivotés en 13 sur un arbre dont les bras 14 soulèvent 12, et qui est commandé, des bras 15, par les tringles 16, actionnées (fig. 15) par les leviers 17, 18, 21 et 17ª, 18ª, 21ª, que les cylindres hydrauliques 19 et 19ª commandent par les renvois 20, 21 et 20ª, 21ª; ces cylindres

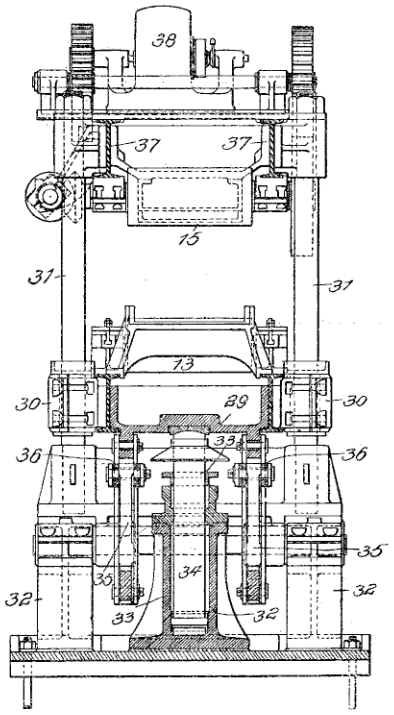


Fig. 4. — Laminoir *Huber*. Coupe III-III fig. 2 *a*.

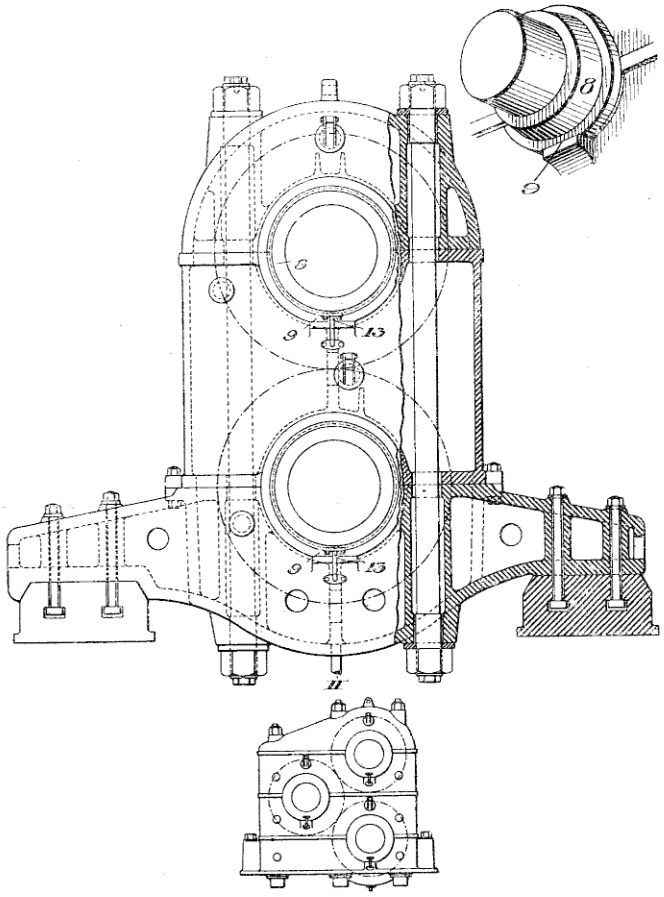


Fig. 5 à 8. — Laminoir *Kennedy*. Détail de la cage et d'un tourillon.

sont reliés par les tuyaux 22 et 22ª aux distributeurs 23 et 23ª, manœuvrés par les leviers 24 et 24ª.

Dès que le fer arrive, ainsi entraîné par les galets 8 et 9, au sortir du canal 3, on admet l'eau sous pression à celui des cylindres 19 ou 19ª correspondant au canal 7 ou 7ª où se trouve engagé le lingot, de manière qu'il soulève les galets 9 correspondants, et arrête ainsi l'avancement du lingot; pour faciliter cette manœuvre, les galets 9 sont équilibrés par des contrepoids ou des ressorts 26 (fig. 16). Après la sortie des lingots de 3, on admet, par les distributeurs 30 et 30ª (fig. 15 et 15 *bis*) l'eau sous pression aux cylindres 89 et 89ª (fig. 16 et 16 *bis*) qui commandent (fig. 24 et 24 *bis*) les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

glissières 31 et 31ª, dans lesquelles sont coulissés les axes 32 et 32ª des bras 33 et

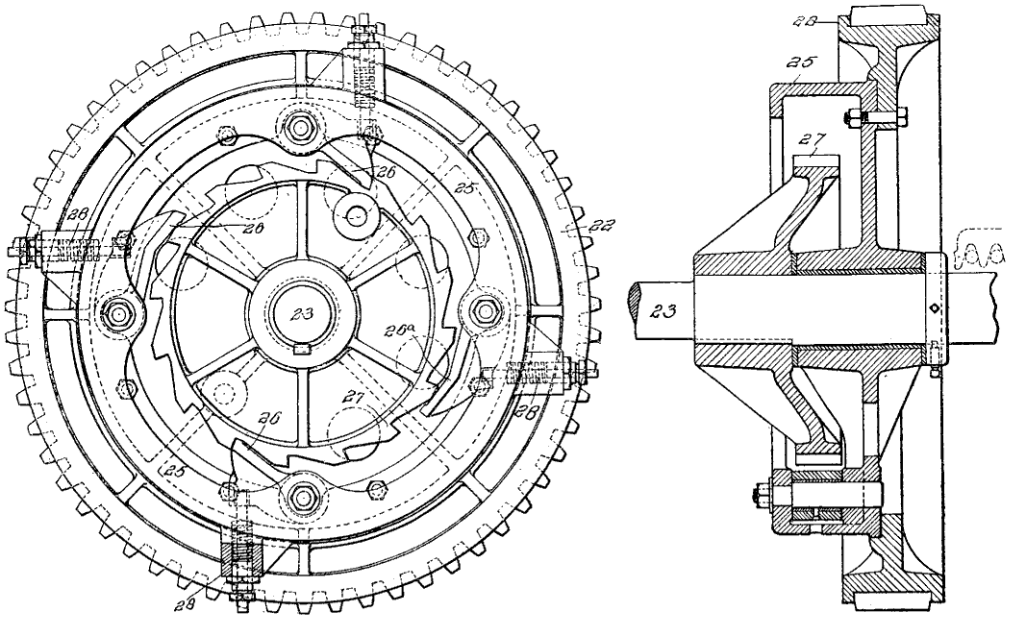


Fig. 9. — Laminoir *Huber*. Détail de l'embrayage 22 (fig. 1).

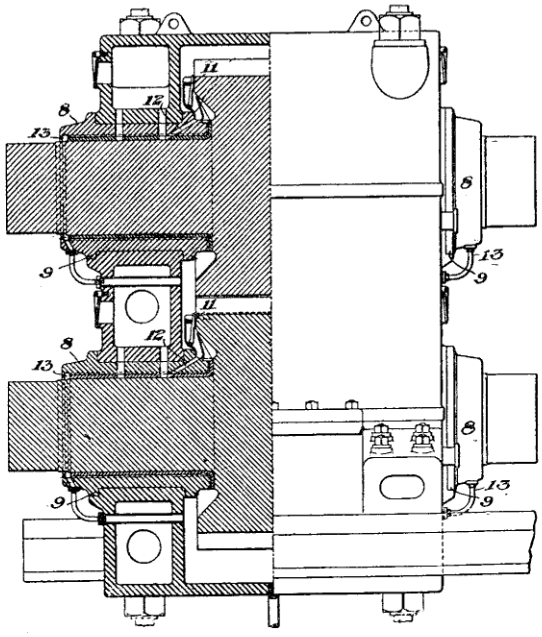


Fig. 10. — Laminoir *Kennedy*. Demi-coupe longitudinale.

33ª (fig. 26) du levier 34, coulissé pour recevoir l'extrémité du bras 35 (fig. 24 *bis*)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

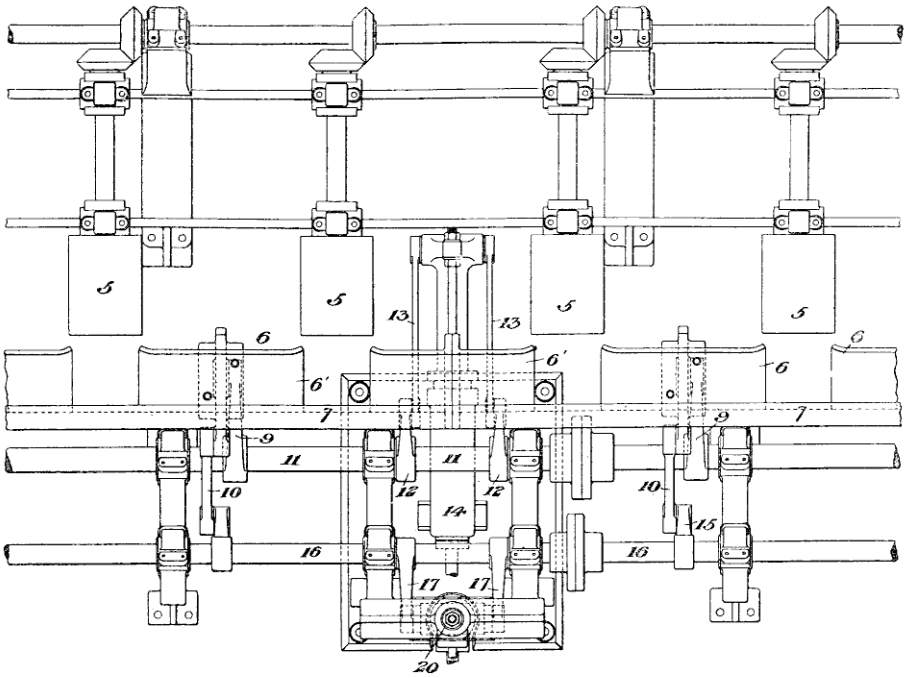


Fig. 11. — Transbordeur *Kennedy*. Plan.

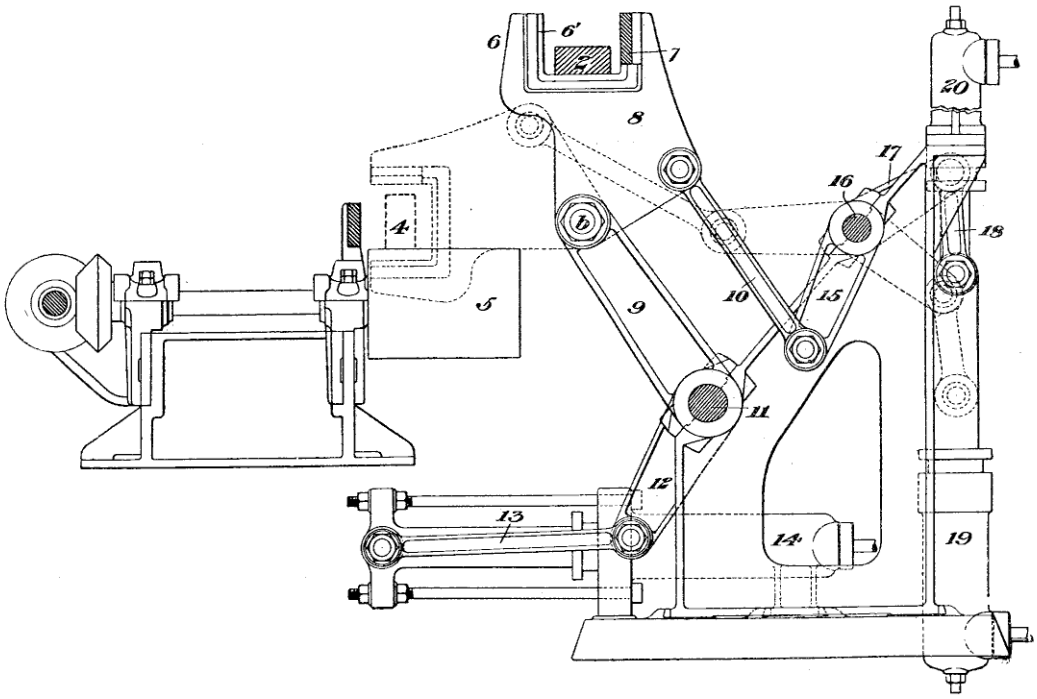


Fig. 12. — Transporteur *Kennedy*. Vue par bout.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

calé sur l'arbre 36, auquel il imprime ainsi une oscillation tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, suivant celui des cylindres 89 ou 89ª que l'on fait agir.

L'arbre 36, qui court tout le long de la machine, porte une série de bras 37, 37ª,

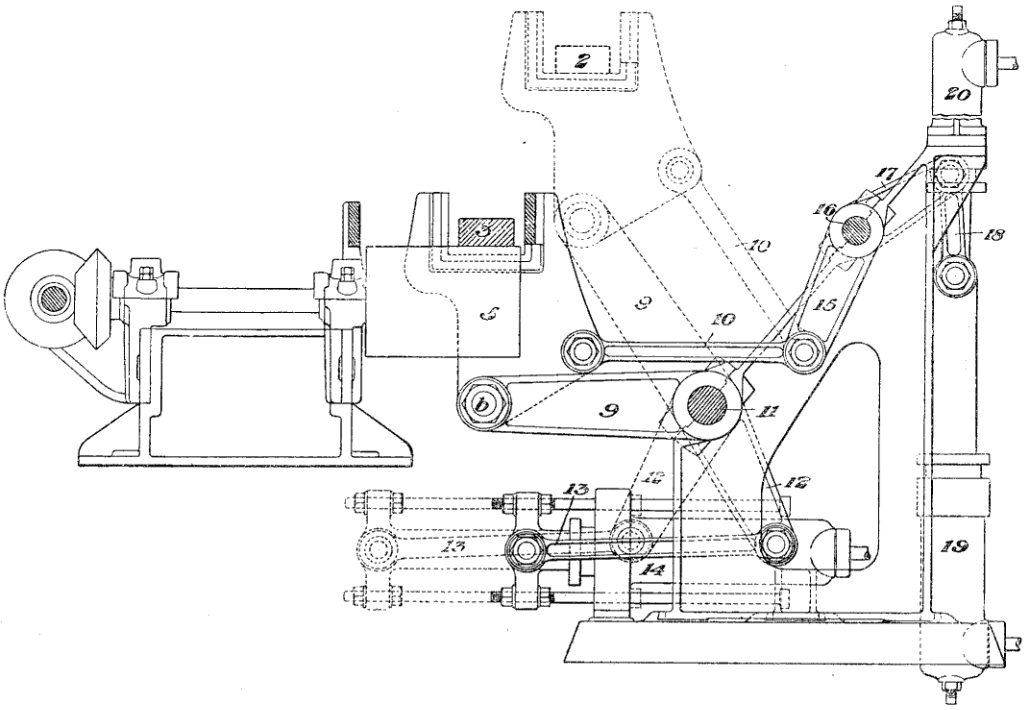


Fig. 13. — Transbordeur *Kennedy*. Vue par bout.

(fig. 12, 15, 16) qui, par leurs oscillations, rejettent les fers sur les tables A et A′, disposées à droite et à gauche de la machine. On a, pour assurer la simultanéité de l'action de tous les bras 37 et 37ª, disposé sur l'arbre 36 un certain nombre de bras 35ª (fig. 23

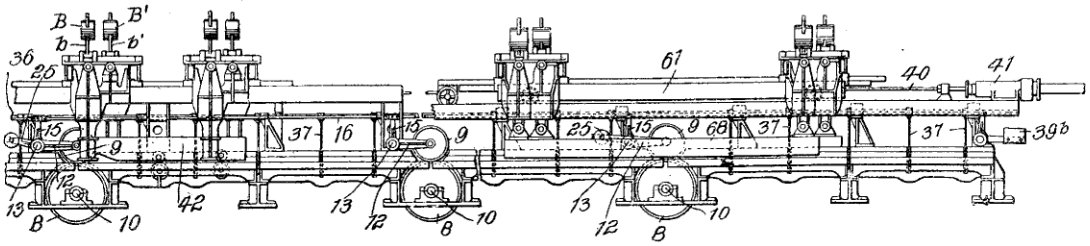


Fig. 14. — Transbordeur redresseur *Huber*. Élévation.

et 15) commandant par 34ª des leviers 38ᵇ, correspondant aux bras 38 (fig. 26) du levier 34, auxquels ils sont reliés par des cordes 39 et 39ª (fig. 18) avec contrepoids 39ᵇ (fig. 23). Le rappel des glissières 31 et 31ª se fait par les pistons de cylindres hydrauliques 41 et 41ª (fig. 23 *bis*) tirant sur les cordes 40 et 40ª (fig. 25).

Immédiatement au-dessus des tables A et A′, se trouvent (fig. 14, 17, 19 *bis*, 25, 28 et 30)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

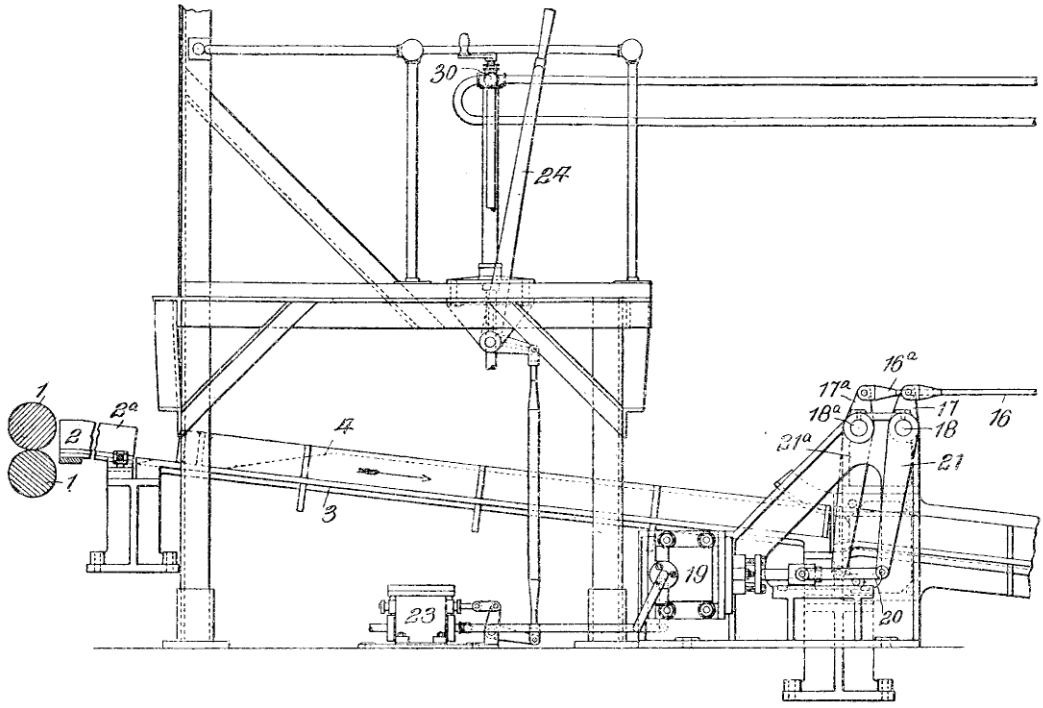


Fig. 15. — Transbordeur *Huber*. Élévation.

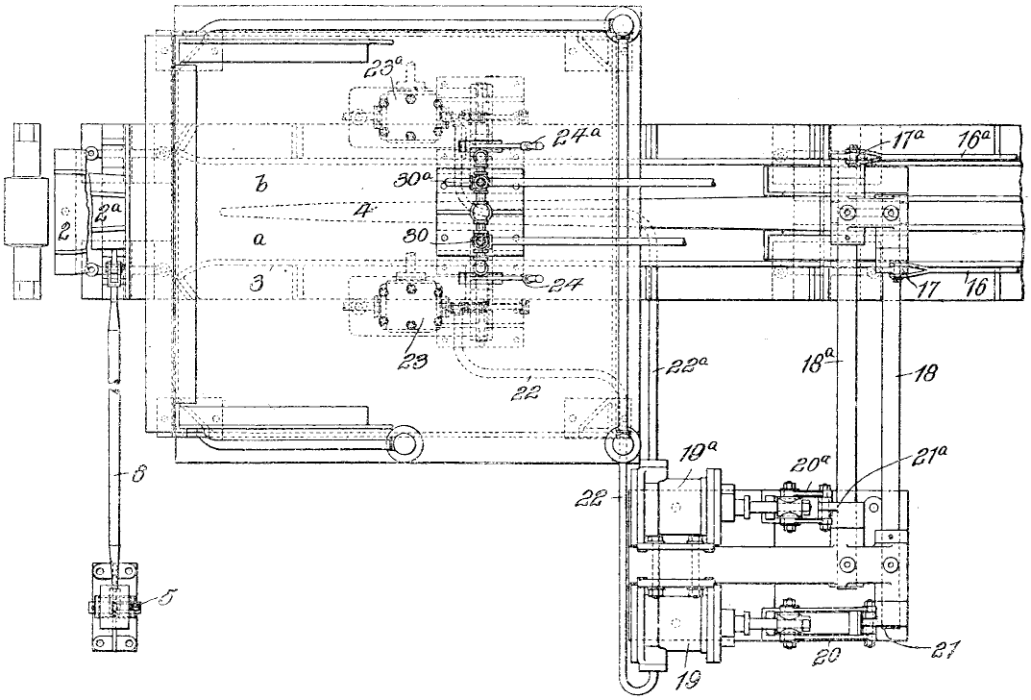


Fig. 15 *bis*. — Transbordeur *Huber*. Plan de la fig. 15.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les paliers 42 et 42ª, fixés aux glissières 43 et 43ª, montées sur les guides 44 et 44ª assujettis aux fers à T 45 des traverses 46. Les glissières 43 et 43ª sont articulées aux

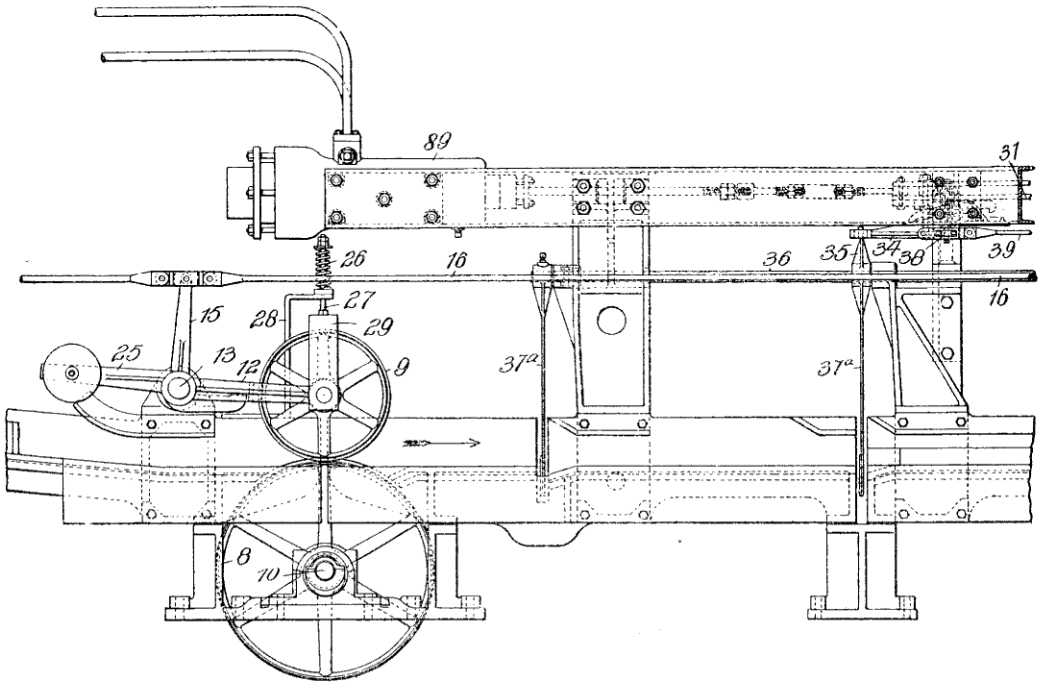


Fig. 16. — Transbordeur *Huber*. Élévation, suite de la fig. 15.

extrémités de balanciers 47 et 47ª, pivotés en 48 et 48ª, portés en 49 et 49ª sur des galets 50, roulant sur des glissières 51 et 51ª, pourvues d'encoches 53 et 53ª (fig. 27).

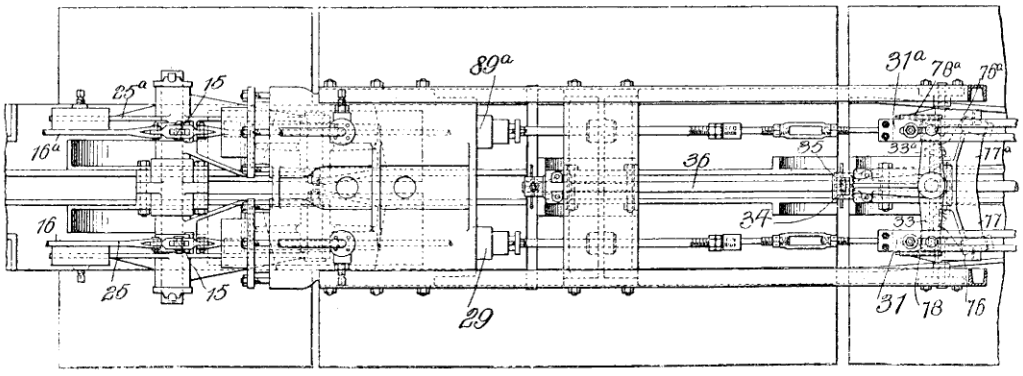


Fig. 16 *a*. — Transbordeur *Huber*. Plan de la fig. 16.

Quand on avance ces glissières à gauche (fig. 27), leurs encoches soulèvent ainsi les leviers 47 et 47ª et les paliers 42 et 42ª, équilibrés en partie par les contrepoids B et B'. Les glissières 51 et 51' portent à leur extrémité des mâchoires 54 et 54ª, que l'on peut

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

serrer par les vis 55 et 55ª sur les cordes 40 et 40ª, de manière à les rendre solidaires des glissières 31 et 31ª.

Les galets 56 et 56ª (fig. 29) des paliers 42 et 42ª portent sur les galets 57 et 57ª dont les arbres 58, commandés par l'arbre 10, tournant en sens contraire des galets avanceurs 8 et 9, mais à une vitesse moindre, de sorte qu'ils tendent à ramener le fer pris entre eux en sens contraire de l'avancement donné par les galets 8 et 9, comme l'indiquent les flèches des figures 17, 27 et 28.

Sur les fers à T 69, roule, avec galets 62 (fig. 21 et 22), un chariot avec guides 63 et

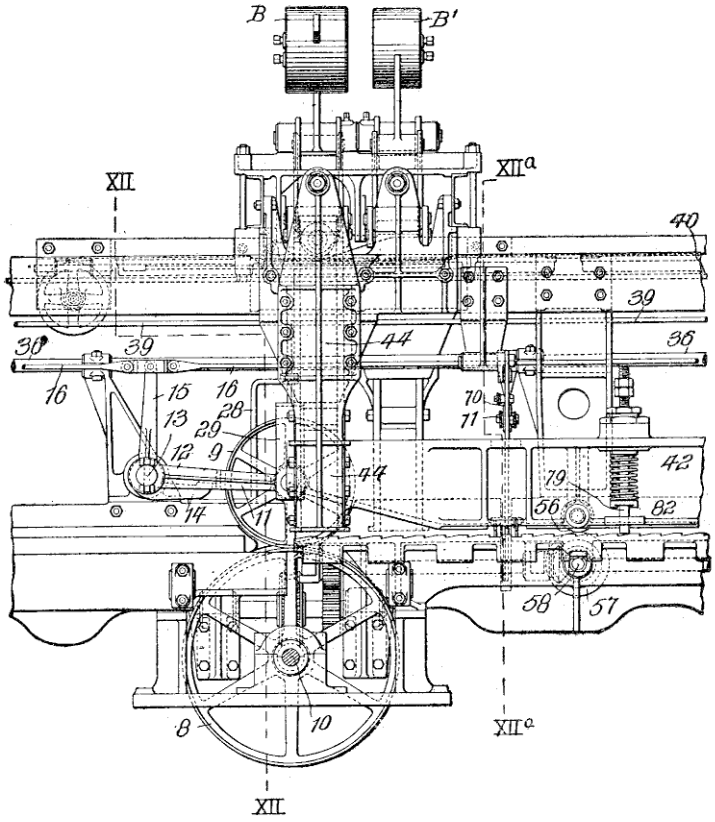


Fig. 17. — Transbordeur *Huber*. Élévation. Suite de la fig. 16.

63ª (fig. 30) pour les tiges 64, 64ª, articulées aux leviers 65 et 65ª (fig. 22 *bis*) qui, par leurs galets 66 et 66ª, reposent sur les glissières à plans inclinés 67 et 67ª, que l'on peut relier par les pinces 54 et 54ª aux cordes 40 et 40ª de manière à les rendre solidaires des glissières 51 et 51ª. Les deux mécanismes leveurs des glissières 67 et 51 sont (fig. 21 et 22) reliés par les fers en U 61, qui constituent le chariot de leurs pinces.

En disposant les coins 67 et 67ª différemment que ceux de l'arrière de ce chariot, on peut ne faire porter les blocs 68 et 68ª (fig. 30) des tiges 64 et 64ª sur les tables A et et A′ qu'après l'avant du chariot, ce qui est facilité par l'articulation de ces blocs ou patins à leurs tiges au moyen des boulons 70 et 70ª (fig. 22). Lorsque l'on admet l'eau

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sous pression au cylindre 89 (fig. 16), le palier 42 (fig. 29) de l'avant et le patin 68 de l'arrière se lèvent avant que les bras 37 et 37ª ne se déplacent, grâce au jeu laissé par la coulisse 31 (fig. 24), de manière que leur fer pris par ces blocs en permette le transbordement sur la table A, sous les patins 42 et 68 ; ceci fait, on admet l'eau à l'extrémité opposée du cylindre 89ª, de manière que le cylindre 41 (fig. 23) tirant sur la corde

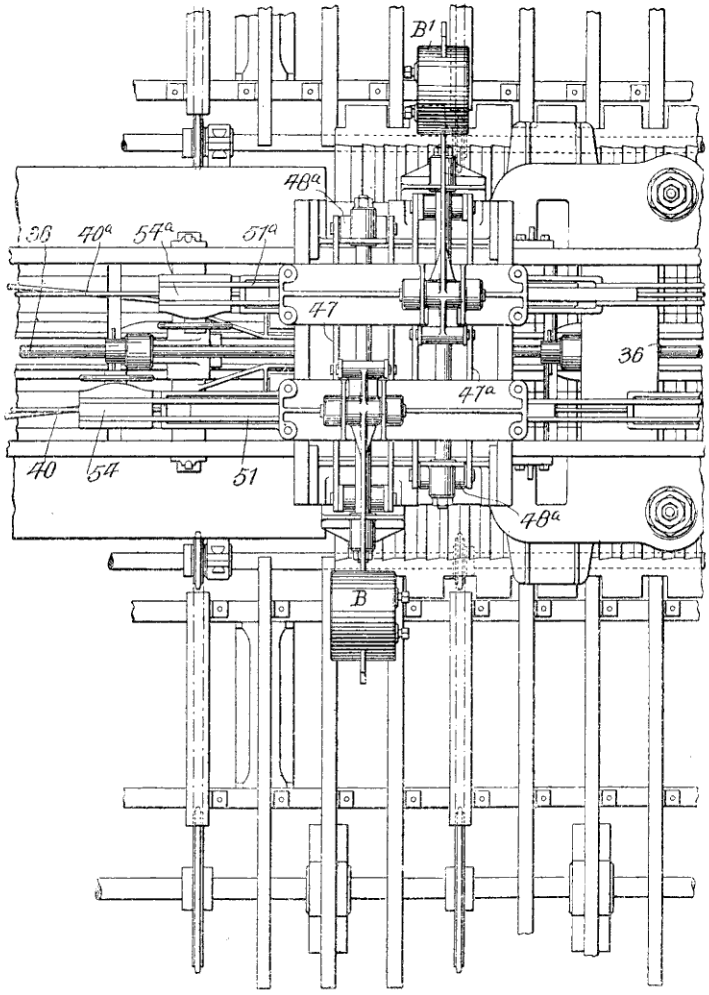


Fig. 18. — Transbordeur *Huber*. Plan de la fig. 17.

40 et la glissière 31, abaisse 42 et 68 sur le fer; les patins 68 serrent fortement le fer en avant sur la table A, pendant que les galets 56 et 57 (fig. 29) le tendent et le redressent par leur traction.

Le transfert du fer des tables A et A′ aux magasins C et C′ se fait (fig. 29) par les bras 70 et 70ª, articulés aux bras 37 par les bielles 71 et 71ª, à coulisses 72, 72ª, et rappelés sur le fond de ces coulisses par les ressorts 73 : ces bras 70 et 70ª sont pour-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vus, au bas, de sabots 74 et 75 (fig. 29 et 30) disposés de manière à rejeter le fer sur C et C′ puis sur B et B′.

Pour le cas où le fer venant du laminoir 1 (fig. 15) serait plié ou tordu, on a disposé en 76 et 76ª (fig. 24) des crochets qui, lorsque les bras 33 et 38 du levier 34 (fig. 24 et 25) se déplacent à gauche par exemple, en figure 24, 76 enclenche le bras 77 et l'em-

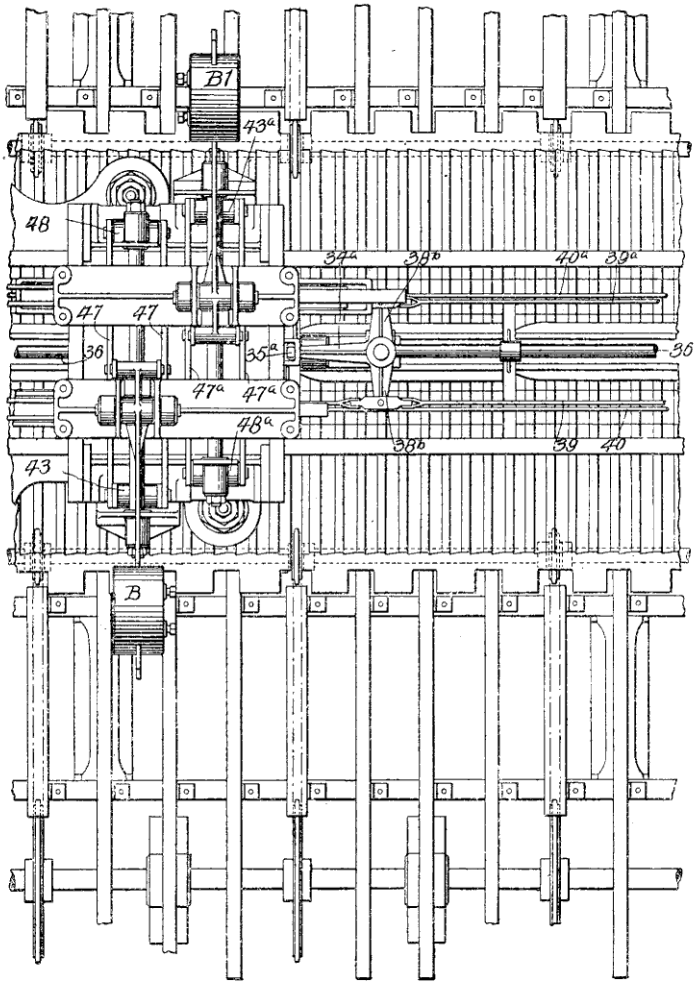


Fig. 19. — Laminoir *Huber*. Plan de la figure 19 *bis*. Suite de la fig. 18.

pêche de revenir, avec les bras 37, au retour de la glissière 31, de manière que les bras 37 maintiennent le fer sur A ou A′, jusqu'à ce que ce fer soit pris par les patins 42; en ce moment, le taquet 78 de 31 déclenche 77 de 76, et permet le rappel de ce levier et des bras 37, 37ª par le cylindre 89ª.

Les paliers 42 et les blocs 60 (fig. 29) portent des presseurs à ressort 79, réglables à volonté, de manière qu'ils viennent serrer le fer sur les tables C et C′ et l'y main-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

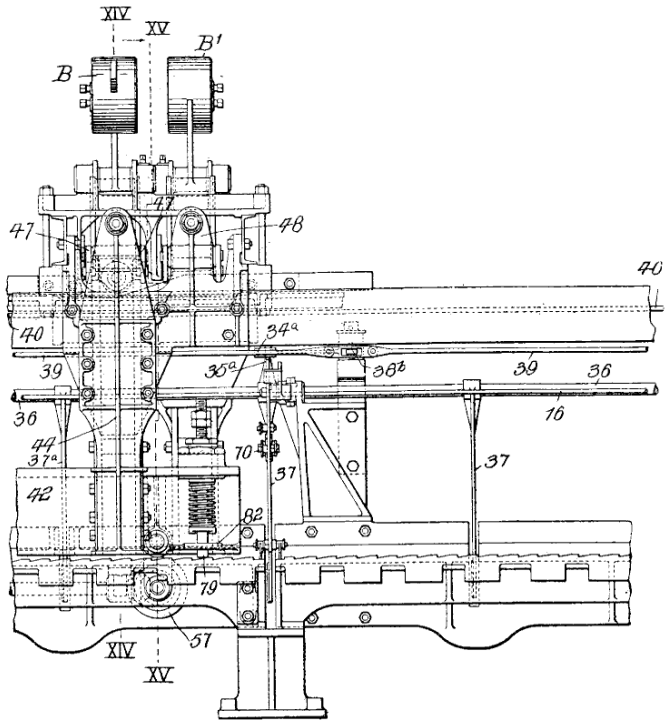


Fig. 19 *bis*. — Laminoir *Huber*. Élévation de la fig. 19.

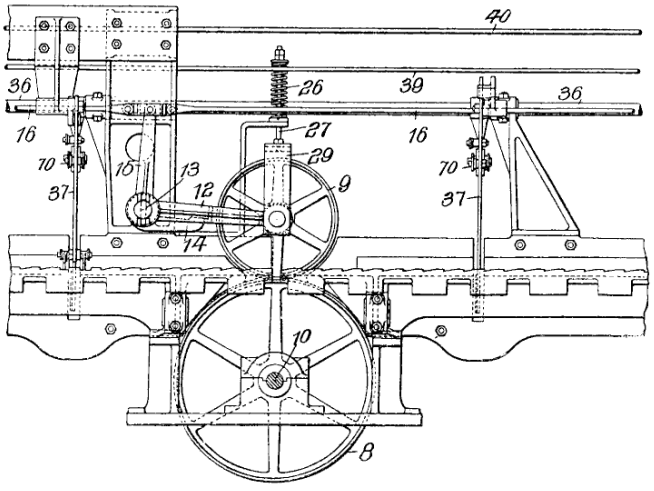


Fig. 20. — Transbordeur *Huber*. Élévation. Suite de la fig. 19 *bis*.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

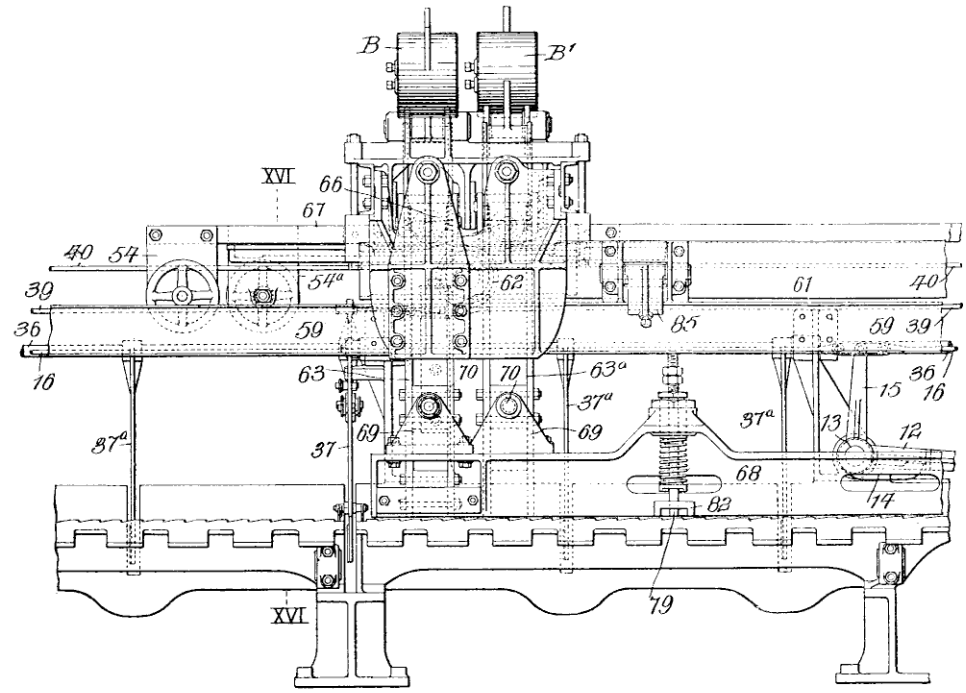


Fig. 21. — Transbordeur *Huber*. Élévation. Suite de la fig. 20.

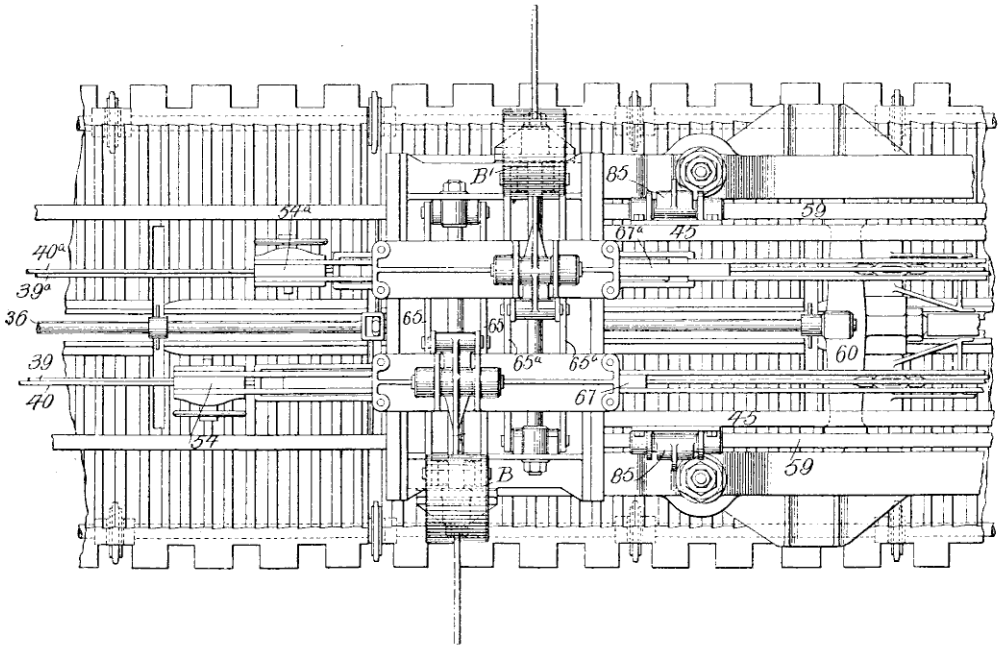


Fig. 21 *bis*. — Transbordeur *Huber*. Plan de la fig. 21.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

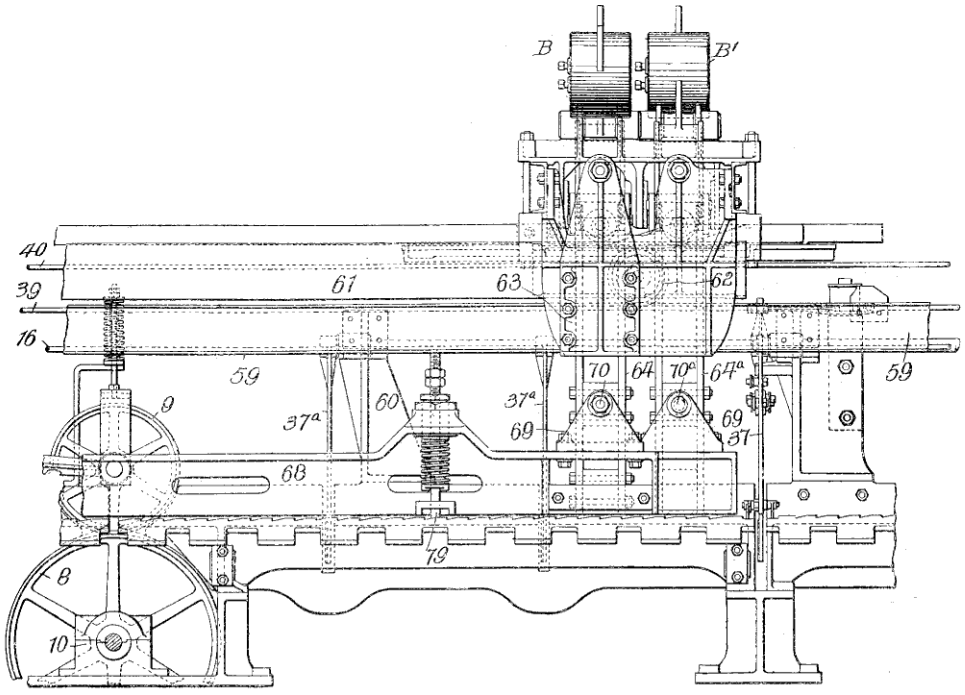


Fig. 22. — Transbordeur *Huber*. Élévation. Suite de la fig. 20.

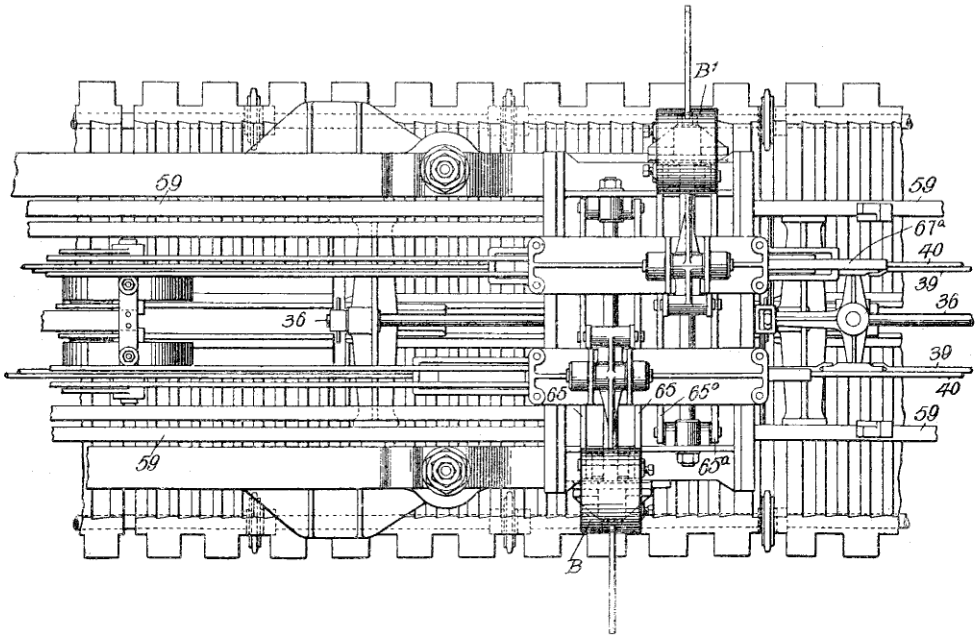


Fig. 22 *bis*. — Transbordeur *Huber*. Plan de la fig. 22.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tiennent pendant son refroidissement afin d'utiliser sa contraction pour le tendre.

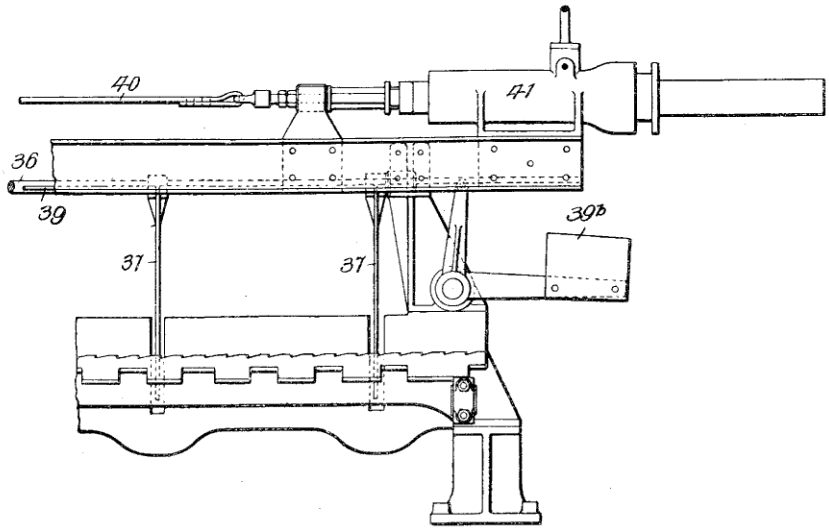


Fig. 23. — Transbordeur *Huber*. Élévation. Suite de la fig. 22.

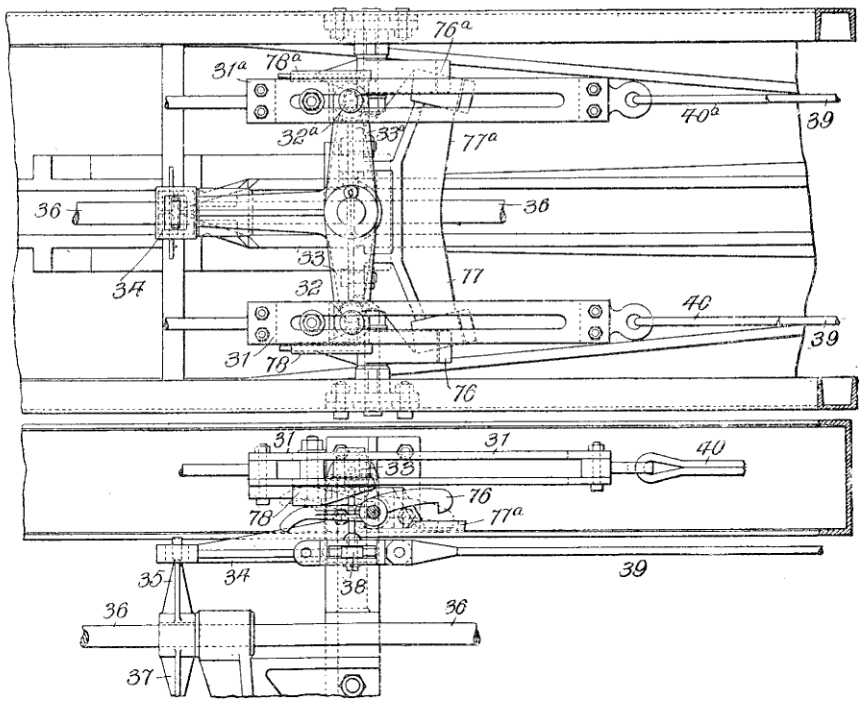


Fig. 24 et 24 *bis*. — Transbordeur *Huber*. Plan et élévation. Suite de la fig. 23.

Ceci compris, voici comment fonctionne le système.

Le fer arrive de la dernière passe finisseuse dans l'une des divisions du canal 3,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la division *a*, par exemple, d'où il passe au canal 7, entraîné par les galets 8 et 9, dont

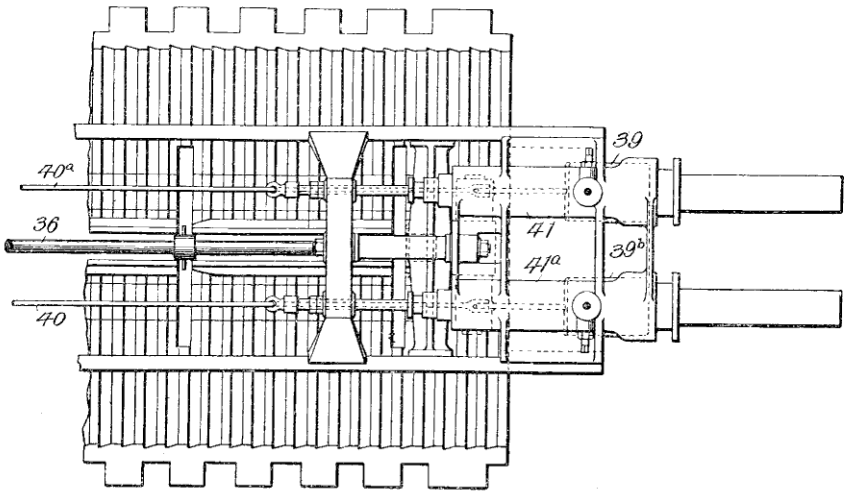


Fig. 23 *bis*. — Transbordeur *Huber*. Plan de la fig. 23.

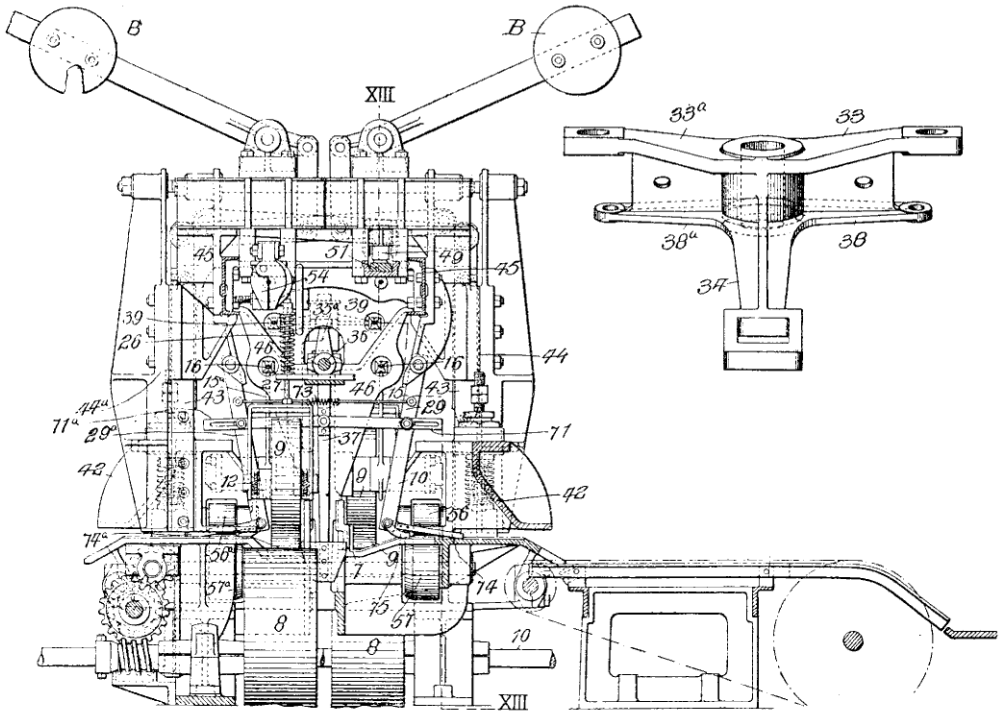


Fig. 25 et 26. — Transbordeur *Huber*. Détail du levier 38 et coupe XII-XII fig. 17.

le cylindre, à distribution commandée par le levier 24, arrête l'entraînement dès que le fer sort de 3. On admet alors l'eau sous pression, par 30, au cylindre 89, qui tire la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

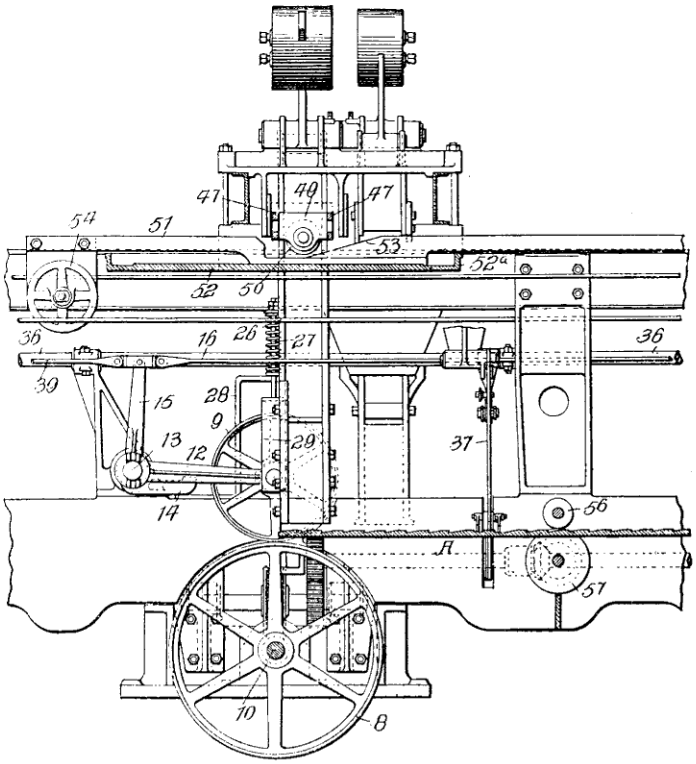


Fig. 27. — Transhordeur *Huber*. Coupe XIII-XIII, fig. 25.

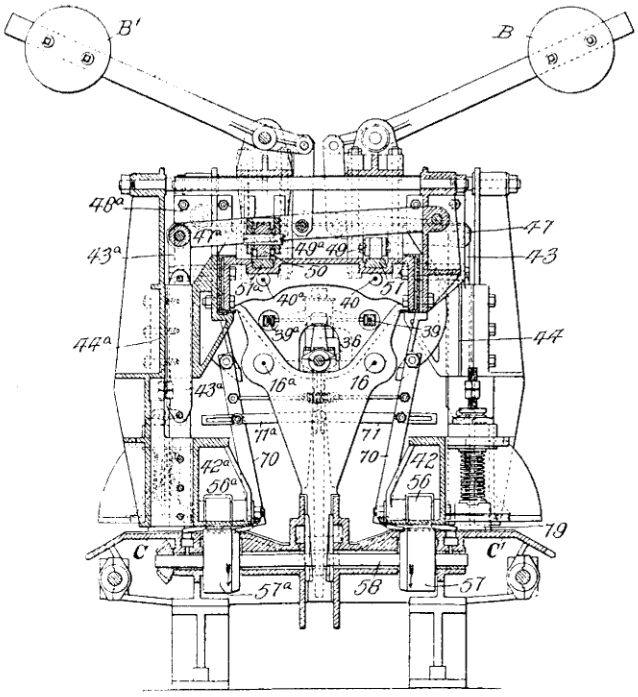


Fig. 28. — Transbordeur *Huber*. Coupe XIV-XIV, fig. 19.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

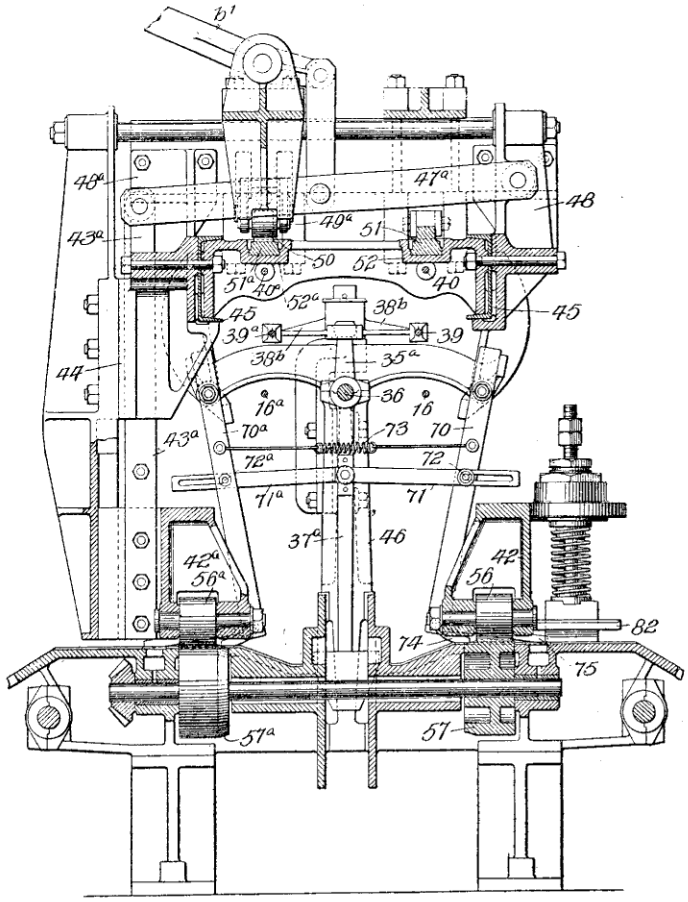


Fig. 29. — Transbordeur *Huber*. Coupe XV-XV, fig. 19.

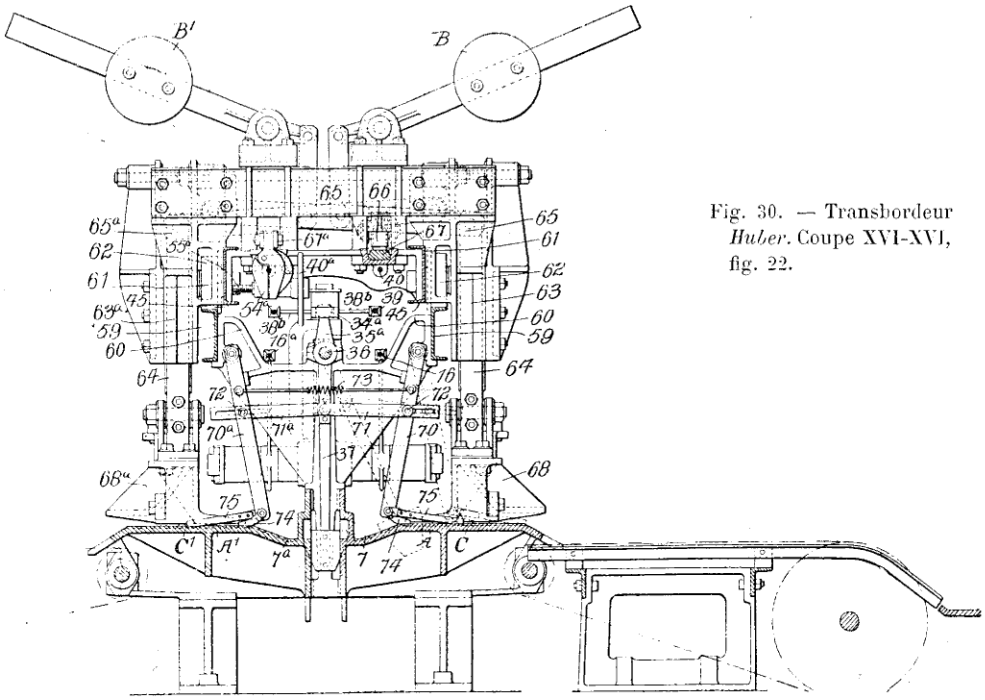


Fig. 30. — Transbordeur *Huber*. Coupe XVI-XVI, fig. 22.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

glissière 21, dont le premier mouvement entraîne par la corde 40 les coins 51 et 67 de manière à lever 42 et 68, puis le levier 34, repoussé par l'extrémité de la coulisse de 31, tire la corde 39 de manière que les bras 37 ou 37ª amènent le fer sous 42 et 68; au retour de la glissière 31, 42 et 68 s'abaissent, 68 serrant le fer sur la table A pendant que les galets de 42 le tendent. Pendant cette opération, un deuxième fer est amené du laminoir, dans la division *b* de 3, puis transbordé de même sur la table A′, et rejeté, après dressage, comme le premier, de A′ sur C′ et B′.

ACIER POUR OUTILS

Les essais faits à l'annexe de Vincennes, en 1900, avec un acier pour outils obtenu par les procédés Taylor-White, ont attiré l'attention sur ce produit. Depuis quelques années déjà, un certain nombre d'aciéries, produisant de l'acier au creuset, s'étaient posé le problème de fabriquer un acier à outils permettant de donner à l'outil une plus grande vitesse en suivant l'une des deux voies : 1° produire des aciers à outils suivant un procédé tenu secret par le fabricant; 2° améliorer d'une façon notable les aciers qui durcissent naturellement à l'air. Pour étudier les différentes questions que la fabrication de ces aciers a soulevées, la section de Berlin, de l'Association des ingénieurs allemands, chargea un certain nombre de ses membres de s'entendre avec les directeurs de plusieurs ateliers de constructions mécaniques dans le but de faire des essais avec ces aciers. Le rapport de cette Commission vient d'être publié (1).

En premier lieu, la Commission décida de faire appel au concours de quelques producteurs des aciers à outils; les essais devaient être faits dans les ateliers dirigés par les membres de la Commission avec des pièces à ouvrer de nature à se prêter au travail par ces aciers, après que les fournisseurs eurent indiqué les vitesses de coupe, les avances et les épaisseurs de copeaux maxima. Bien qu'on ait eu à sa disposition sept ateliers notables, il a paru à la Commission qu'il serait rationnel de faire ouvrer à l'aide des aciers à essayer les mêmes pièces dans le même atelier. A cet effet, la succursale Meuronde des Niles Tool Works a fourni un de ses tours très puissants, et l'Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft un moteur triphasé.

En tenant compte de la durée de l'outil, on devait déterminer :

1° La *surface* que l'on pouvait tourner dans l'unité de temps, avec une épaisseur donnée des copeaux, une vitesse et une avance de coupes quelconques;

2° Le *poids* des copeaux d'épaisseurs maxima et sans prescrire les deux autres facteurs (vitesse et avance).

On avait choisi comme pièces à ouvrer des arbres en fonte grise, en acier moulé et en acier Martin-Siemens forgé ou laminé, présentant des résistances variables. Le tournage ne devait durer que deux heures, après quoi l'acier était mis au rebut. On ne s'est pas borné uniquement aux travaux exécutés sur le tour; nombre d'essais ont porté sur le rabotage et sur le taillage de fraises.

Trois producteurs d'aciers à outils ont fourni leurs produits : nous les désignerons par α, β et γ.

(1) *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 28 septembre 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Bornons-nous à dire que la plupart des pièces à ouvrer étaient en fonte. On désignera cette série d'essais par A. La série B est relative aux pièces travaillées dans les ateliers des Niles Tool Works; ces travaux étaient exclusivement effectués au tour. Dans les essais ayant pour but la détermination du poids de copeaux, on a laissé aux fournisseurs des aciers le choix de la vitesse de coupe, de l'avance et de l'épaisseur des copeaux; dans ceux ayant pour but la détermination de la surface tournée, on avait prescrit l'épaisseur des copeaux de $4^{mm},8$. On a ouvré les pièces suivantes :

Arbres.	Longueur. mm.	Diamètre ou côté du carré, mm.	Résistance. kg par cm².	Allongement. p. 100.
Fonte.	3 000	500	»	»
Acier moulé.	3 000	500	42 à 50	26
Acier Martin-Siemens, forgé.	1 750	400	40,8	25,5
	1 750	400	63,3	18
	1 750	400	77,5	13,5
Carré en acier Martin-Siemens.	1 500	300	63,3	18

La série B a donné des résultats plus favorables pour certains matériaux que la série A. Mais le travail simultané de pièces, la comparaison que l'on avait en vue entre les aciers de différents fournisseurs, ainsi que le nombre restreint de pièces à ouvrer ont apporté certaines restrictions lors des essais. Pour chaque coupe, on commençait immédiatement avec la vitesse de coupe, les avances et les épaisseurs de copeaux maxima, pour obtenir les résultats les plus favorables. Il n'était pas possible d'accroître ces facteurs graduellement; en outre, on ne pouvait pas tenir compte de la dureté variable des matériaux, des endroits poreux, ni enfin de la qualité souvent défavorable de la couche supérieure de la pièce à ouvrer. D'autre part, les points plus doux auraient pu être enlevés avec une plus grande vitesse. Parfois, la couche supérieure n'était pas partout suffisamment étendue pour qu'on pût déterminer d'une façon définitive la capacité et la durée maxima des aciers; lors de l'attaque de la partie dont on disposait, on enlevait trop peu de copeaux, et la capacité de l'acier n'était pas suffisamment utilisée; d'autres fois, lorsqu'on voulait déterminer la capacité maximum de l'acier, on entamait un copeau trop fort et on réduisait de la sorte la durée de l'acier. En conséquence, les résultats de la série B (essais effectués aux ateliers Niles) sont très incomplets; toutefois, on a fourni aux producteurs des aciers à outils une première occasion favorable de mettre en œuvre des matériaux les plus divers et, grâce à l'expérience acquise, de perfectionner encore davantage leurs produits.

Le tableau suivant (p. 541) donne la composition chimique des arbres ouvrés aux ateliers Niles :

Les aciers essayés étaient, d'après le procédé de fabrication de leurs arêtes coupantes :

a) Trempés à l'air, — trempe naturelle, — ou bien, suivant le procédé connu, trempé légèrement à l'eau;

b) Trempés par un procédé tenu secret.

Les aciers trempés par un procédé secret étaient fournis par les producteurs à l'état achevé, et essayés. On peut les affûter, comme tous les autres aciers à outil, après usure; mais, dès que la partie trempée était usée, on était obligé de la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

renvoyer au fabricaut, comme c'est le cas habituellement avec les limes. Cette condition doit être remplie tant que le procédé de trempe n'aura pas été breveté; ensuite on pourra acquérir les installations pour la trempe.

	FONTE.	ACIER MOULÉ résistance 41kg,50 par mm²	ACIER MARTIN-SIEMENS résistance 40kg,8 par mm²	ACIER MARTIN-SIEMENS résistance 63kg,3 par mm²	ACIER MARTIN-SIEMENS résistance 77kg,5 par mm²	ARBRE CARRÉ EN ACIER MARTIN-SIEMENS résistance 63kg,3 par mm²
	p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.
Carbone total.	9,91 dont 3,46 de graphite.	0,58	0,30	0,54	0,63	0,50
Silicium.	2,05	0,81	0,05	0,21	0,20	0,22
Cuivre	0,07	0,12	0,11	0,10	0,14	0,13
Aluminium	0,01	0,06	0,01	0,01	0,01	0,07
Nickel et cobalt.	0,08	0,04	0,02	0,04	0,08	0,07
Manganèse	1,00	1,27	0,58	0,93	1,22	0,52
Magnésium	»	traces	traces	»	»	»
Phosphore.	0,23	0,02	0,07	0,05	0,05	0,04
Soufre.	0,10	0,03	0,05	0,025	0,05	0,015
Fer.	92,55	97,70	98,81	98,095	97,62	98,435
TOTAUX	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

La liste suivante contient l'énumération des aciers et de leurs marques de fabrique qui ont été fournis par les trois fabricants pour les essais A et B.

Fournisseur des aciers à outils.	Nombre.	Trempés à l'air Marque de fabrique.	Nombre.	Trempés par un procédé secret.
α.	64	L	»	
β.	16	« Titan-Boreas. ». . .	18	« Rapide »
γ.	86	Diamant 000	13	« Schnelldreher » (1)

Une partie des *aciers à trempe naturelle* était fournie par les fabricants sous forme de tiges, et les arêtes furent taillées dans les différents ateliers où ont été faits les essais; une autre partie était fournie à l'état achevé.

Le « Titan-Boreas » de l'usine β, ainsi que la marque L de l'usine α, sont portés, lors de la trempe, à 850° environ et ensuite refroidis à l'air. Le « Diamant 000 » de l'usine γ doit, pour être trempé, être porté à une température qui varie de 210 à 960°. L'usine α chauffe un certain nombre de ces aciers, marque L, à la chaleur rouge sombre, les refroidit ensuite à l'air, et les trempe finalement dans l'eau.

Ainsi que nous l'avons indiqué dans le tableau qui précède, le procédé de confection et de trempe des aciers « Rapide » (usine β) et des aciers « Schnelldreher » (usine γ) sont encore tenus secrets.

Quant à la comparaison des aciers trempés par un procédé secret avec ceux trempés

(1) Traduction littérale : tourneur rapide.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à l'air ou à l'eau, les trois établissements métallurgiques ont présenté les observations suivantes :

L'usine α connaissait bien la possibilité de confectionner les aciers à outils pour une vitesse considérable de coupe et à l'aide desquels on peut enlever des copeaux épais ; mais ce qui est nouveau, c'est le débouché de ces aciers, en d'autres termes, la possibilité d'utiliser ces aciers sur des tours beaucoup plus puissants que jusqu'ici, permettant de mettre davantage les aciers à contribution. D'après l'usine α, la composition des aciers ne constitue aucun secret; il s'agit d'alliages du fer avec du carbone, du manganèse, du tungstène, du chrome, du titane, etc. Du pourcentage de ces additions, dépend la résistance des aciers; plus ce pourcentage est élevé, plus il est difficile d'usiner ces aciers. Par suite, l'usine α a cru devoir adopter les alliages tels que le consommateur puisse confectionner lui-même les aciers, après avoir reçu une instruction à cet effet. Pour cette raison, et étant donné que la capacité de travail des aciers les meilleurs, trempés naturellement, est aussi élevée que celle des machines-outils dont on fait usage actuellement, l'usine α a renoncé jusqu'ici à confectionner elle-même les aciers et n'a présenté aux essais que son acier trempé à l'air, marque « L ».

L'usine γ n'a exécuté que peu de travaux avec son acier « Schnelldreher ». Cette usine a déclaré qu'elle ne recommandera des aciers de cette marque que lorsque ces aciers dépasseront, comme capacité de travail, très considérablement ceux de la marque « Diamant 000 » trempés à l'air. Elle est encore hors d'état de livrer des aciers marchands de qualité uniforme dépassant cette capacité. D'autre part, l'usine γ a montré dans quelques ateliers où les essais ont été faits, qu'elle est bien à même de fournir des aciers marque « Schnelldreher » à l'aide desquels on a pu exécuter des travaux tout à fait remarquables. Mais ce n'étaient que des aciers choisis et non marchands.

Par contre, l'usine β s'occupe déjà depuis quatre années de la confection des aciers « Rapide » et sa production n'accuse actuellement que 3 p. 100 de rebut. Elle a donné l'assurance que l'acier « Rapide » dont on a fait usage dans les essais, est identique à ses aciers marchands, que ceux-ci sont de qualité uniforme et non pas accidentellement de qualité excellente. La Commission, vu les nombreuses préventions existantes, a cru devoir précisément essayer la qualité de cet acier. Pour cette raison, on avait, dans les différents ateliers, fait usage d'un nombre suffisant d'aciers et constaté que le rebut n'était pas plus élevé que dans le cas de n'importe quelle autre sorte d'aciers connus.

Pour les essais faits aux ateliers Niles, l'usine β mit à la disposition de la Commission tout son dépôt d'aciers de Berlin, auquel la Commission prit environ 50 pièces. Malheureusement, il ne fut pas possible de faire usage de tous ces aciers; en effet, ils présentaient, par rapport à ceux des deux autres usines, des sections trop réduites et des arêtes trop étroites. Du reste, l'usine en question recommande ses aciers surtout pour des travaux exigeant un grand effort; il n'aurait, par suite, pas été rationnel de faire usage de ces aciers trop faibles. Pour cette raison, on a demandé à l'usine β directement 80 tiges. Ces aciers diffèrent, au dire du fabricant, entièrement de l'acier Taylor-White, quant à l'alliage et à la trempe. De plus, chaque acier peut être usé de 40 à 80 millimètres avant qu'on soit obligé de le retailler.

Quant aux résultats, on peut dire, en règle générale, que le poids de copeaux enlevés dépasse de beaucoup celui indiqué par certains auteurs comme pouvant être

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

effectués sur les meilleurs tours. Les numéros des procès-verbaux de l'usine α s'étendent de 301 à 348 et de 601 à 640 ; ceux de l'usine β, de 101 à 198 et de 401 à 438 ; enfin, ceux de l'usine γ, de 201 à 299, de 501 à 513 et de 801 à 809. Les plus forts numéros, à l'exception de la dernière série, sont relatifs aux essais dans les ateliers Niles.

Nous donnerons quelques chiffres, en tenant compte de ce que la durée des essais ne dépassait pas deux heures :

Fonte (poids de copeaux). — Les chiffres les plus élevés ont été obtenus par l'essai n° 633 (acier trempé à l'air) qui a enlevé $4^{kg},75$ de copeaux par minute, l'essai ayant duré environ trente minutes, et par le n° 424 (acier trempé par un procédé secret), qui a enlevé $6^{kg},56$ par minute, l'essai ayant duré presque exactement deux heures et sans que l'acier ait été usé.

Surface tournée. — Chiffres les plus élevés, n° 425 (trempe secrète) ayant enlevé $0^{m2},1028$ par minute, l'essai ayant duré une heure sans user l'acier. Viennent ensuite n° 515 (trempé à l'air) ayant enlevé $0^{m2},0725$ par minute, après une durée d'essai de une heure sans usure notable de l'acier ; n° 634 (trempé à l'air) ayant enlevé $0^{m2},07$ par minute, l'essai avait duré dix-huit minutes ; n° 424 (trempe secrète) ayant enlevé $0^{m2},065$ par minute, au bout de deux heures, sans usure notable de l'acier. Au point de vue de la surface tournée, les aciers essayés se sont beaucoup mieux comportés (dans les essais de deux heures) que les aciers ordinaires. Il n'en est pas de même en ce qui concerne le poids de copeaux.

Acier Martin Siemens. — Les résultats généraux paraissent plus favorables pour les aciers essayés que pour les aciers ordinaires.

Poids des copeaux. — Les chiffres les plus élevés, en tenant toujours compte des essais de deux heures de durée, ont été fournis par l'essai n° 433 (trempe secrète) ayant enlevé environ $3^{kg},5$, par minute, l'essai ayant duré environ trente minutes ; viennent ensuite le n^{os} 432 et 136 (également à trempe secrète) ayant enlevé de $2^{kg},5$ à 3 kilogrammes par minute. L'acier qui a enlevé le plus par minute est celui de l'essai n° 434 ($2^{kg},38$) sans usure notable ; il est à trempe secrète. En général, les aciers à trempe secrète ont fourni les chiffres les plus élevés (9 numéros) ; les poids des copeaux enlevés varient de $2^{kg},15$ à $3^{kg},5$ par minute ; 5 d'entre ces aciers n'étaient pas usés d'une façon notable. Les deux numéros 627 et 501 figurent parmi les essais avec aciers à trempe à l'air qui ont enlevé le plus de copeaux (de $2^{kg},09$ par minute environ) ; mais l'un (n° 627) était usé au bout de 15 et 26 minutes respectivement.

Surface tournée. — Capacité de travail beaucoup plus élevée des aciers à trempe secrète que celle des aciers à trempe à l'air. Les n^{os} 262, 137, 161, 136, 433 (tous aciers à trempe secrète) ont enlevé respectivement $0^{m2},129$, $0^{m2},115$, $0^{m2},089$, $0^{m2},075$ et $0^{m2},0685$ par minute avant d'être usés ; la durée des essais était respectivement de 12, 21, 20, 100 et 30 minutes. Le n° 263 (trempe secrète) a enlevé $0^{m2},0625$ par minute sans être notablement usé au bout d'une heure. Les aciers à trempe des essais à l'air (n^{os} 509 et 510) ont enlevé chacun environ $0^{m2},05$ par minute, mais ils étaient hors d'usage au bout de peu de minutes.

On a fait également quelques essais sur des cylindres à surface durcie tournés et meulés, dans lesquels on a pratiqué des cannelures au moyen d'aciers spéciaux. Ces essais étaient faits sur des cylindres de mêmes provenance et dimensions, et avec la vitesse de coupe de $7^{mm},5$ par seconde qui paraît être la plus rationnelle. La trempe

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des aciers spéciaux était confiée aux établissements Austchengsguer, qui les ont fournis. Le tableau suivant résume les résultats de ces essais.

Usine.	Marque.	Vitesse de coupe en mm. par seconde.	Copeaux totaux enlevés.	Surface totale trouvée.	Durée du travail jusqu'à l'usure de l'arête.
			kil.	m².	minutes.
α. . .	Acier pour cannelure.	7,5	0,146	0,137	309,56
γ. . .	Spécial très dur. . . .	7,5	0,192	0,179	357,83
β. . .	O ×.	7,5	0,097	0,087	184,73

Le nombre total des essais fut de plus de 800, et on a essayé 260 aciers environ. La dépense de force était plus grande que dans les travaux de tours ordinaires.

LES SYSTÈMES BINAIRES, LES COUPLES D'ÉLÉMENTS CINÉMATIQUES ET LES CHAINES SECONDAIRES

Notes de **M. G. Kœnigs** (1).

Les positions relatives que deux corps solides peuvent prendre l'un par rapport à l'autre dépendent de six paramètres. Si l'on assujettit ces positions à des conditions déterminées, cela revient à restreindre le champ de variations de ces six paramètres : on se trouve alors avoir défini ce que nous appelons un *système binaire*.

Si les conditions restrictives se traduisent par $(6 - k)$ équations finies entre les six paramètres, les positions relatives de deux corps dépendent seulement de k paramètres; le système binaire a le *degré k de liberté*.

La conception du système binaire est donc purement abstraite, elle est indépendante des moyens que l'on peut employer pour réaliser physiquement un tel système, pour en opérer le *guidage*.

Si l'on établit entre deux corps A et B un couple d'éléments cinématiques, ces corps forment par cela même un certain système binaire. Mais la réciproque n'est pas vraie; il n'arrivera que fort rarement de pouvoir guider un système binaire au moyen d'un *simple couple d'éléments*. Trois conditions seront pour cela nécessaires :

1° Il faudra que l'ensemble des conditions qui représentent analytiquement le système binaire soit équivalent à un système d'équations exprimant le contact de certaines surfaces S, S_1, S_2, ..., pratiquées sur le corps A, avec d'autres surfaces S′, S'_1, S'_2, ..., pratiquées sur le corps B.

2° Cette condition étant remplie, il faudra que ces surfaces, physiquement réalisées, puissent entrer en contact, ce qui ne se pourra pas toujours; par exemple, s'il s'agissait de mettre en contact un hyperboloïde et un plan.

3° Enfin, les deux premières conditions étant vérifiées et les corps A et B placés dans une position relative où les contacts sont établis comme il convient, il faudra que le système ne puisse recevoir aucun mouvement relatif capable de faire cesser les contacts existants et de dissocier de cette manière le couple.

La première et la dernière de ces trois conditions demandent des explications.

Dans la première, on voit que nous ne faisons intervenir au rang des liaisons entre corps solides que les contacts géométriques entre surfaces, ce qui ne donne que des équations en termes finis. Nous mettons donc de côté le frottement *en tant qu'organe de liaison*.

Le frottement, en effet, est une force au même titre que la pesanteur. Deux cônes de friction ne présentent, au point de vue cinématique, que deux disques circulaires assujettis à

(1) Comptes rendus de l'Académie des sciences des 23 septembre, 7 et 21 octobre 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

demeurer en contact. S'ils sont faits d'une matière susceptible d'un parfait poli, ils tourneront l'un devant l'autre indépendamment. Dans le cas contraire, ils s'entraîneront par suite du développement de la *force* de frottement. C'est tout à fait analogue à ce qui se passerait si, après avoir taillé une pièce d'un mécanisme dans une substance légère, on construisait ensuite un mécanisme identique en taillant cette même pièce dans une matière très lourde. Dans un cas comme dans l'autre, les différences qui tiennent au choix de la matière employée ne changent pas la nature du mécanisme, elles ne font que modifier l'état des forces qui s'exercent sur lui. Du moment où l'on introduit dans un mécanisme la considération du frottement, il commence à devenir une machine.

La troisième condition donne lieu à d'importantes remarques.

Les contacts ayant été établis dans une position déterminée, il y a des déplacements infiniment petits relatifs que les corps ne peuvent recevoir par suite de ces contacts. Nous dirons que le couple d'éléments *appuie* les deux corps contre ces déplacements relatifs.

Les autres déplacements relatifs infiniment petits sont de deux sortes. Les premiers sont ceux que les corps peuvent recevoir sans que cesse le contact entre les divers couples de surfaces conjuguées. Ces déplacements correspondent à la variation des paramètres dont dépend le système binaire qui se trouve réalisé par le fait même des contacts supposés. Ces déplacements peuvent être effectués librement, chacun dans son propre sens ou dans le sens opposé. Pour ce motif nous les appelons *déplacements dicinétiques*.

Mais il est d'autres déplacements qui présentent cette particularité que les corps sont appuyés contre le déplacement opposé, en sorte que ces déplacements ne peuvent se produire *que dans un sens*. Pour ce motif nous les appelons *déplacements monocinétiques*. Les déplacements monocinétiques, s'ils se produisent, ont pour effet de faire cesser certains contacts et de dissocier par conséquent le couple.

Il y aura donc deux catégories de couples d'éléments. Les uns, que nous appellerons *parfaits*, ne possèdent pas de déplacement monocinétique : exemple, le couple vis-écrou. Les autres, que nous appellerons *imparfaits*, possèdent de tels déplacements : exemple, la roue d'un wagon sur le rail.

La troisième condition semble exclure ces derniers couples, mais il suffit que les déplacements monocinétiques ne soient jamais appelés à se produire.

Nous appelons *clôture d'un couple imparfait* tout procédé qui a pour résultat de prévenir la production des déplacements monocinétiques. Il y a des procédés cinématiques de clôture : il y en a aussi de dynamiques, en entendant par là que l'on s'abstiendra d'appliquer des forces capables de provoquer les déplacements proscrits. C'est en cela que consiste pour nous la *clôture par force*, qui serait mieux nommée *clôture par abstention des forces*.

Faisons observer qu'en dehors des déplacements monocinétiques, il y a des déplacements dicinétiques susceptibles de produire la dissociation du couple. Ce sont ceux qui se produisent *aux limites*, c'est-à-dire lorsque, le contact de deux surfaces conjuguées venant à s'opérer sur la frontière au delà de laquelle l'un des profils cesse d'exister, il se produit un déplacement qui fait franchir cette frontière au point de contact. C'est par le contact aux limites que le couple vis-écrou se trouve dissocié.

Les *couples d'éléments cinématiques*, soit qu'on les considère en eux-mêmes, soit qu'on les compare entre eux, soit enfin qu'on ait égard à leur manière d'être dans les chaînes dont ils font partie, présentent des propriétés générales que nous allons passer en revue.

C'est ainsi que nous avons reconnu déjà, dans une précédente Communication, qu'un couple d'éléments est *parfait* ou *imparfait;* qu'il admet, en certains cas, des déplacements dissociatifs *aux limites*.

La nature des contacts donne lieu à une autre catégorie de propriétés intrinsèques. Deux surfaces conjuguées S et S′ du couple peuvent, en effet, se toucher soit par des points isolés, soit en tous les points d'une ligne, soit encore suivant une étendue superficielle finie.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les couples de cette dernière catégorie sont au nombre de six : trois à un paramètre, un à deux, et deux à trois paramètres.

Les couples à un paramètre sont le couple *vis*, le couple *rotoïde*, le couple *prismatique*, étudiés par Reuleaux sous le nom de couples *d'emboîtement*. Le couple à deux paramètres est le couple *verrou*. Les couples à trois paramètres sont le couple *sphérique* et le couple *plan*.

Dans ces six couples, le mouvement comporte un glissement sans roulement; aussi M. Haton de la Goupillière les avait-il déjà signalés, plus complètement que Reuleaux, au titre de *glissières*.

Il arrive souvent que, dans un couple, les contacts réalisés soient plus que suffisants pour assurer le guidage du système binaire que ce couple réalise, en sorte que le couple assure surabondament ce guidage. On peut dire que, dans ce cas, le couple est *surabondant*.

Quelquefois, pour assurer plus de stabilité au guidage dans le passage par certaines positions critiques, on rend le couple surabondant dans une certaine étendue seulement. On dira alors que le couple est *momentanément surabondant*.

Lorsque deux couples d'éléments produisent le guidage d'un même système binaire, nous dirons d'eux qu'ils sont *équivalents*.

Cette notion en amène une autre, qui comprend toute la catégorie des engrenages.

Il se peut que le guidage d'un système binaire se trouve, dans une certaine étendue continue de positions, réalisé au moyen d'un couple d'éléments C; puis, dans une étendue voisine, au moyen d'un autre couple d'éléments C′, *équivalent au premier;* puis, dans une autre étendue de positions, par un troisième couple C″, équivalent à C et C′, et ainsi de suite. Nous regarderons ces couples C, C′, C″, ... comme formant un seul couple, mais un *couple discontinu*.

Ordinairement, le couple C′ entre en prise avant que le couple C ait cessé d'y être : les couples discontinus sont donc habituellement *momentanément surabondants*.

La place et le rôle que tiennent dans la chaîne les divers couples qui relient ses membres donnent lieu à de nouvelles propriétés des couples.

Une chaîne peut être conçue sous une forme abstraite analogue au système binaire. Ce sera un ensemble de corps solides rigides dont les positions relatives sont soumises à certaines conditions, représentées par des équations entre les paramètres de position relative de tous les membres de la chaîne autour de l'un d'eux.

Si l'on prend deux membres A et B quelconques de la chaîne, ces membres constituent un certain système binaire, par le fait même qu'ils font partie de la chaîne. Ce système binaire pourra, dans certains cas, être intégralement guidé par un couple d'éléments établi entre les membres A et B; dans d'autres cas, on ne pourra réaliser, au moyen d'un couple, qu'une partie du guidage de ce système binaire; dans d'autres cas, enfin, aucun couple établi entre A et B ne pourra réaliser ce guidage, *même partiellement*.

Prenons ainsi les corps de la chaîne deux à deux, et établissons entre ces corps le plus de couples d'éléments qu'il est possible. Il peut arriver qu'on ne parvienne pas, par ce procédé, à réaliser l'état de liaisoas supposées dans la chaîne et données *a priori* sous la forme analytique. Alors la chaîne est irréalisable mécaniquement (1).

Si, au contraire, les couples établis assurent la réalisation de l'état de liaisons, la chaîne se trouve construite par le fait même.

Nous appelons génériquement *couplage* d'une chaîne l'ensemble des couples d'éléments établis entre ses divers membres. Tout ce qui a été dit des couples s'étend au couplage. Le couplage est *surabondant*, lorsque l'abolition de certains contacts ou de certains couples laisse intact le guidage de la chaîne. Deux couplages sont *équivalents*, lorsqu'ils réalisent le même état de liaisons dans une chaîne. Le couplage sera *discontinu*, lorsque, dans un certain continuum

(1) A moins de faire intervenir des forces, comme le frottement, l'élasticité, etc.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de positions relatives des membres de la chaîne, on aura eu recours à un certain couplage C, pour recourir, dans un continuum adjacent, à un couplage C' équivalent au couplage C, le même fait pouvant du reste se répéter plusieurs fois.

Si l'on se reporte maintenant à l'un quelconque des couples d'éléments qui participent au couplage, couple que nous supposons établi entre deux membres A et B de la chaîne, deux cas peuvent se présenter.

Il peut arriver que le couple d'éléments réalise complètement à lui tout seul le guidage du système binaire que les corps A et B forment dans la chaîne totale, en sorte que la suppression de tous les autres membres de la chaîne ne changerait rien à ce système binaire. Nous dirons alors que le couple est *autonome* dans la chaîne.

Mais il peut arriver et il arrive souvent le contraire. Le couple d'éléments établi entre les corps A et B peut fort bien ne réaliser qu'une partie des liaisons qui représentent le système binaire A et B, en sorte que l'effet de la chaîne est de restreindre la liberté que le couple laisserait aux corps A et B dans leur mouvement retatif l'un par rapport à l'autre. Pour ce motif, nous dirons alors que le couple est *restreint* par la chaîne. C'est ainsi que l'on peut construire les chaînes desmodromiques dans lesquelles aucun des couples qui figurent au couplage n'est desmodromique.

Un cas important de couple restreint est celui de la clôture par chaîne d'un couple imparfait. Imaginons un couple imparfait dans une chaîne qui ait pour effet de restreindre ce couple par l'empêchement des déplacements monocinétiques. Le couple imparfait se trouvera clos par le fait même, et ainsi se trouve acquise, sous une forme exacte et précise, la *clôture par chaîne* d'un couple imparfait.

On remarquera que cette notion s'applique aussi bien aux couples à plusieurs paramètres qu'aux couples desmodromiques.

Si, dans une chaîne cinématique Γ, on supprime certains membres et que les membres conservés forment encore une chaîne cinématique, nous donnons à cette chaîne résiduelle Γ' le nom de *chaîne secondaire*. Deux cas peuvent alors se présenter :

En premier lieu, il peut se faire que la chaîne Γ' présente le même état de gêne entre ses membres, soit lorsqu'on l'isole, soit lorsque l'on conserve autour d'elle le reste de la chaîne totale Γ. On pourra dire alors que la chaîne secondaire Γ' est *autonome* dans cette chaîne totale.

Mais il pourrait arriver, au contraire, que l'effet des membres supprimés fût de restreindre la liberté propre à la chaîne secondaire prise isolément, auquel cas on dira que la chaîne secondaire Γ' est *restreinte* dans la chaîne totale Γ.

Les chaînes secondaires autonomes offrent de l'intérêt au point de vue de l'analyse et de la décomposition d'une chaîne. On s'efforcera, en effet, de décomposer une chaîne en chaînes secondaires autonomes, dont le fonctionnement individuel pourra être étudié indépendamment du reste.

Les membres de la chaîne totale non compris dans les chaînes autonomes en lesquelles elle aura été décomposée servent d'*organes de connexion* ou de *connecteurs* entre ces diverses chaînes autonomes ; leur rôle est de solidariser ces chaînes entre elles.

Parfois on aura obtenu cette solidarité au moyen d'un couple d'éléments établi entre un membre de l'une des chaînes secondaires et un membre d'une autre chaîne secondaire autonome.

Dans tous les cas, la décomposition en chaînes autonomes pouvant, presque toujours, être opérée de plusieurs manières, la fonction d'organe de connexion attribuée à un membre *n'a rien d'absolu* et se trouve subordonnée au mode de décomposition. On voit par là combien peu profonde serait une classification fondée sur la nature de ces intermédiaires ou connecteurs.

Passant à un autre point de vue, toute chaîne cinématique peut être regardée comme réalisant le guidage du système binaire formé par deux de ses membres : A et B par exemple

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Mais ordinairement la totalité de la chaîne ne concourt pas à ce guidage, en sorte que la suppression de certains membres n'intéresse pas le système biniaire (A, B). On pourra donc supprimer ainsi certains membres dans la chaîne totale, jusqu'à ce que l'on arrive à une chaîne telle que la suppression de n'importe quel membre aurait pour effet d'altérer le système binaire considéré. D'une telle chaîne secondaire, nous dirons qu'elle est *attachée* au système binaire (A, B).

Observons d'ailleurs que plusieurs chaînes différentes peuvent être attachées de la sorte à un même système binaire. Elles constituent des *guidages équivalents* de ce système.

Si de telles chaînes coexistent comme chaînes secondaires dans une même chaîne totale, leur ensemble réalise un *guidage surabondant* du système binaire (A, B).

Faisons ici la remarque évidente que, si, dans la chaîne totale, on supprime tous les membres qui ne font pas partie de l'une des chaînes secondaires attachées au système binaire (A, B), rien ne se trouve changé aux conditions du guidage, surabondant ou non, de ce système binaire.

Ces membres supprimés sont, en quelque sorte, parasites à l'égard du système binaire (A, B). Leur existence dans la chaîne ne peut tenir qu'aux nécessités du guidage d'autres systèmes binaires et aux dépendances cinématiques que l'on veut établir entre ces nouveaux systèmes et le premier :

Ainsi, dans la locomotive, le mécanisme de la distribution vis-à-vis du système de bielle et manivelle qui concourt directement à la mise en marche.

La considération des chaînes secondaires attachées à un système binaire va nous permettre de définir avec précision un cas singulier de guidage, qui est assez fréquent et dont aucun auteur jusqu'ici n'a analysé le principe.

Considérons une chaîne cinématique Γ, attachée à un certain système binaire (A, B). Soient $u_1, u_2, \ldots, u_n$ les n paramètres dont dépend la configuration de la chaîne; désignons aussi par $v_1, v_2, \ldots, v_p$ les p paramètres ($p < 6$) dont dépend le système binaire (A, B). Il est clair que, puisque le système binaire est inclus dans la chaîne, les paramètres v sont des fonctions des u. Il en résulte d'abord que l'on a $p \leqq n$.

Le cas de $p = n$ n'a pas d'intérêt spécial. Mais si $p < n$, on peut faire un changement de variables et substituer aux paramètres u de nouveaux paramètres comprenant $v_1, v_2, \ldots, v_p$ et $(n-p)$ autres variables $v_{p+1}, v_{p+2}, \ldots, v_n$.

Imaginons alors que l'on fasse varier seulement ces $(n-p)$ derniers paramètres. Les p premiers $v_1, v_2, \ldots, v_p$ restant constants, les corps A et B restent au repos relatif, tandis que se déforme le reste de la chaîne Γ.

La chaîne Γ opère donc le guidage du système binaire dans des conditions spéciales telles qu'une infinité de formes de la chaîne corresponde à une position relative déterminée des membres A et B. Nous caractériserons ce cas singulier de guidage, en disant que le guidage du système binaire (A, B) par la chaîne Γ est un *guidage flottant*.

Les colliers à billes des roues de bicyclettes offrent un exemple de guidage flottant. De même, le mode de suspension de la poulie de la machine d'Atwood.

Voici un exemple très différent :

Que l'on veuille réaliser le fait d'une tige XY qui doit demeurer équipollente, dans un plan donné, à une tige AB. On introduira une tige A′ B′ intermédiaire, équipollente à AB et à XY, et formant parallélogramme articulé avec chacune de ces deux tiges. Mais, au lieu d'une seule tige, on peut en introduire plusieurs, A′ B′, A″ B″, A‴ B‴, formant : A′ B′ parallélogramme articulé avec AB, à laquelle elle reste équipollente; A″ B″ avec A′B′, A‴B‴ avec A″B″, et finalement XY avec A‴B‴. Toutes ces tiges sont alors équipollentes entre elles et, en particulier, XY avec AB. La chaîne construite, formée de cette suite de parallélogrammes articulés, réalise donc bien le système binaire souhaité entre AB et XY. Mais le guidage est flottant, puisque, si l'on fixe invariablement les tiges AB et XY dans une position déterminée quelconque, le reste de la chaîne conserve encore la faculté de se déformer.

C'est un danger de l'ordre de considérations que nous exposons ici, d'offrir de trop nom-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

breuses occasions de sortir du terrain de la Mécanique pure pour verser dans l'abstraction. Les chaînes secondaires s'y prêteraient aisément; il serait intéressant de poursuivre, au point de vue abstrait, le développement des notions qui précèdent, et de construire à leur propos une théorie se rattachant à ces principes de l'*ordre* dont parle Poinsot dans ses *Réflexions sur les principes fondamentaux de la théorie des Nombres*.

Mais, au point de vue des applications, où nous désirons nous tenir, la constitution d'une telle théorie semble inutile, car elle comporte des généralités beaucoup trop élevées eu égard aux quelques cas particuliers qui se trouvent mis en jeu dans les machines.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

LIVRES ET OUVRAGES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE

EN JUILLET, AOUT ET SEPTEMBRE 1901

Du Ministère du Commerce et de l'Industrie. **Bulletin de l'Inspection du Travail,** 1901, n° 2 (Direction du Travail). Brochure 8°, 90-142.

Poisons industriels (Office du Travail). 8°, 450 p.

Congrès international de mécanique appliquée. Résumé des travaux (Exposition universelle de 1900), 1901. Brochure 8°, 28 p. Imprimerie Nationale.

Législation ouvrière et sociale en Australie et Nouvelle-Zélande. Mission de M. Albert Métin (Office du Travail), 1901, 1 vol. 8°, 200 fr.

Matériel et procédés de la filature, etc., à l'Exposition de 1900. Rapport du Comité d'installation. Brochure 8°, 20 p.

Du Ministère de l'Instruction publique. **Épitaphes du vieux Paris,** formé et publié par E. Raunié, tome III, vol. 4°, 670 p.

Œuvres complètes de Cauchy, vol. XII. Paris, Gauthier-Villars.

Du Ministère des Colonies. **L'Agriculture pratique des pays chauds.** Bulletin du Jardin colonial, juillet-août 1901. Brochure 8°, 128 p.

Du Ministère des Finances. **Rapport de l'administration des monnaies et médailles,** 1901, 1 vol. 8°, pl. 362 p.

Du Ministère des Travaux publics. **Recueil de lois, ordonnances, décrets concernant les services dépendant du ministère des Travaux publics,** 1re série, tome 7, 1852-55-1901. 1 vol. 8°, 672 p.

Projet de régime nouveau pour les ordures ménagères de Paris, par M. P. Vincey. In-4°, 83 p. Paris, Chaix.

Production et distribution de l'énergie pour la traction électrique, par M. H. Martin. In-8°, 760 p., 869 fig. Paris, Béranger.

Éléments des machines, leur calcul et leur construction, par M. C. Bach. Traduction Desmarets. In-8°, 580 fig. et atlas de 54 pl. Paris, Béranger.

Traité pratique des machines marines motrices, par M. J.-B. Girard. In-8°, 2 vol. 1400 p., 809 fig. Paris, Béranger.

Statistique des chemins de fer français au 31 décembre 1899. Documents divers. 1re partie : Intérêt général, France, Algérie, Tunisie, 1901. 1 vol. 4°, 412 p.

Les ravages de la Pyrale dans le Beaujolais, par MM. Gastine et Vermorel. Brochure.

Conférence sur la machine-outil moderne, par M. G. Richard, 1901. Brochure 4°, 72 p. Paris, Dunod.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'électricité à l'Exposition de 1900 ; 5e fasc. : **Canalisation et appareillage,** par M. E. Hospitalier; 9e fasc. : **Téléphonie et télégraphie**, par M. L. Montillot, 1901. Brochures 4°. Paris, Dunod.

La mécanique à l'Exposition de 1900 ; 14e livraison. **Le matériel agricole**, par M. Ringelmann. In-4°, 224 p., 363 fig. Paris, Dunod.

Règle à calculs, modèle spécial, par M. A. Beghin, 1902. Brochure 8°, 108 p. Paris, Béranger.

Installations modernes de chaudières à vapeur, par M. E. Reinert, traduction Desmarest. In-8°, 150 fig. Paris, Béranger.

Cours de mécanique élémentaire, par M. Moulan. In-8°, 1124 p. 1067 fig. Paris, Béranger.

Recueils statistiques, **Plomb, cuivre, zinc, étain, argent, nickel, aluminium et mercure,** établis par la Metallgesellschaft et la Metallurgische Gesellschaft A.-G., 1901. Brochure 4°, 76 p. Francfort-sur-Mein.

Étude complète du bassin ferrifère de Briey et de la formation ferrugineuse lorraine, par M. Francis Laur, avec carte, 1901. Brochure 8°, 96 p. Paris, *Soc. des Pub. Sc. et Ind.*, 26, rue Brunel.

Traité de la teinture et de l'impression des matières colorantes artificielles, 4e partie, couleurs azoïques nouvelles, matières colorantes rouges, par M. Jos. Depierre, 1900-01. vol. 8°, 516 p. Paris, Béranger.

Cours d'électricité, par M. H. Pellat. Tome I, Électrostatique, lois d'Ohm, thermo-électricité, 1901. Vol. 8°, 328 p. Paris, Gauthier-Villars.

Courants polyphasés et alterno-moteurs, par M. S. P. Thompson. Traduction Boistel. In-8°, 359 fig. Paris, Béranger.

Guide pratique pour les calculs de résistance des chaudières à vapeur, par MM. G. Huin et E. Maire, avec la collaboration de M. H. W. Meunier (Actualités scientifiques), 1901. Brochure 8°, 64 p. Paris, Gauthier-Villars.

Leçons sur les moteurs à gaz et à pétrole, par M. L. Marchis (Actualités scientifiques), 1901. Vol. 12°, 172 p. Paris, Gauthier-Villars.

Traité pratique des Chemins de fer d'intérêt local et des Tramways, par M. Pierre Guédon, 1901. Vol. 8°, 384 p. Paris, Gauthier-Villars.

Droit commercial et législation industrielle, par M. Louis Martin (*Bibliothèque du conducteur de travaux publics*), 1901. 1 vol. 8°, 671 p. Paris, Dunod.

Galvanoplastie et Galvanostégie, par M. Ad. Minet (*Encyclopédie des Aide-mémoire Léauté*), 1901. Vol. 8°, 185 p. Paris, Gauthier-Villars.

Expertises et arbitrages, par M. Rigaud (*Encyclopédie des Aide-mémoire Léauté*), 1901. Vol. 8°, 177 p. Paris, Gauthier-Villars.

Fabrication et emploi des chaux hydrauliques, par M. Boero. In-8°, 148 fig. Paris, Béranger.

Essais et vérifications des canalisations électriques, par M. P. Charpentier. In-8°, 265 fig. Paris, Béranger.

Vade-mecum financier de l'assureur et de l'assuré contre les accidents du travail, par M. G. Deport, 1901. Vol. 8°, 150 p. Paris, Maulde.

Rapport sur les vignobles de la Côte-d'Or en 1900, présenté au Conseil général du département, par M. L. Magnien, 1901. Brochure 8°, 12 p. Dijon, Sirodot-Carré.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Rapport sur le service des champs d'expériences et de demonstrations, par M. L. Magnien, 1901. Brochure 8°, 14 p. Dijon, Sirodot-Carré.

De l'Encyclopédie Léauté, **Analyse des matières grasses**, par M. Halphen. In-18, 170 p. Paris, Gauthier- Villars.

Carburation du gaz à froid et carburation de l'air, par M. A. Bouvier. In-8°, 29 p., 3 pl. Paris, Mouillot.

Du Comité des houillères de France. **Réponse au questionnaire de la Commission de la durée du travail dans les mines.** In-4°, 65 p.

Le vanillier, sa culture, préparation et commerce de la vanille, par MM. H. Lecomte et Chabot. In-8°, 228 p. Paris, Naud.

Jahrbuch der Elektrochemie, publié par MM. le Dr W. Nermst et le Dr W. Borchers, 7e année, 1901. Vol. 8°, 596 p. Halle, W. Knapp.

Handbuch der Galvanoplastik, par M. Konrad Taucher, 6e edition, 1901. Vol. 8° 346 p. Francfort-sur-Mein, H. Keller.

Die Krupp'sche Bucherhalle *1900-1901*. In-8°, 5 pl.

Die Metallfärbung und deren Ausführung, par M. Georg Buchner, 2e édition, 1901. Vol. 8°, 252 p. Berlin, M. Krayn.

Die Techniken des Tiefdruckes, publié par M. Walter Ziegler, 1901. Vol. 8°, 185 p. Halle, W. Knapp.

Memoranda of the origin, plan and results of the field and other experiments conducted on the farm and in the laboratory at Rothamsted, par Sir J. Henry Gilbert, 1901. 3 brochures 8°, 23, 17 et 12 p. Rothamsted, Herts.

The Mineral Industry, statistics, technology and trade in the United States and other Countries, to the end of 1900, tome 9, 1901. Vol. 8°, 936 p. New-York, *Scientific Publishing Company.*

Fifteenth annual Report of the Commissioner of Labor, 1900. Vol. 8°, 864 p. Washington, *Government printing Office.*

On the cheapest form of Light, par MM. S. P. Langley et F. W. Very (Smithsonian Miscellaneous Collections), n° 1258, 1981. Brochure 8°, 20 p. Washington.

Anales de construcciones civiles, minas et industrias del Peru, publiées par l'École des Ingénieurs de Lima, 2e série, tome I, 1901. Brochure 8°, 164 p. Lima, J. Mesinas.

Institution of Naval Architects. *Transactions.* 1901. In-4°, 367 p., 40 pl.

Institution of Civil Engineers. London, *Proceedings*, vol. CXLV (1901). In-8°, 416 p., 7 pl.

Mechanical Ventilators. Report of the Committee of the North of England Institute of Mining and mechanical Engineers, par M. W. Brown. In-8°, 100 p.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

LITTÉRATURE

DES

PÉRIODIQUES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE DE LA SOCIÉTÉ

Du 15 Septembre au 15 Octobre 1901

DÉSIGNATIONS ABRÉGÉES DES PUBLICATIONS CITÉES

Ag. . . . Journal de l'Agriculture.
Ac. . . . Annales de la Construction.
ACP. . . Annales de Chimie et de Physique.
AM. . . . Annales des Mines.
AMa . . . American Machinist.
Ap. . . . Journal d'Agriculture pratique.
APC. . . Annales des Ponts et Chaussées.
Bam. . . . Bulletin technologique des anciens élèves des écoles des arts et métiers.
BMA . . . Bull. du ministère de l'Agriculture.
CN. . . . Chimical News (London).
Cs. . . . . Journal of the Society of Chemical Industry (London).
CR. . . . Comptes rendus de l'Académie des Sciences.
DoL. . . . Bulletin of the Department of Labor, des États-Unis.
Dp. . . . Dingler's Polytechnisches Journal.
E. . . . . Engineering.
E'. . . . . The Engineer.
Eam. . . . Engineering and Mining Journal.
EE. . . . Eclairage électrique.
Elé. . . . L'Électricien.
Ef. . . . Économiste français.
EM. . . . Engineering Magazine.
Es. . . . . Engineers and Shipbuilders in Scotland (Proceedings).
Fi . . . . Journal of the Franklin Institute (Philadelphie).
Gc. . . . Génie civil.
Gm. . . . Revue du Génie militaire.
IC. . . . . Ingénieurs civils de France (Bull.).
Ie. . . . . Industrie électrique.
Im . . . . Industrie minérale de St-Étienne.
IME. . . . Institution of Mechanical Engineers (Proceedings).
IoB. . . . Institution of Brewing (Journal).
La . . . . La Locomotion automobile.
Ln . . . . La Nature.
Ms. . . . . Moniteur scientifique.
MC. . . . Revue générale des matières colorantes.
N. . . . . Nature (anglais).
PC . . . . Journal de Pharmacie et de Chimie.
Pm. . . . Portefeuille économ. des machines.
RCp . . . Revue générale de chimie pure et appliquée.
Rgc. . . . Revue générale des chemins de fer et tramways.
Rgds. . . Revue générale des sciences.
Ri . . . . Revue industrielle.
RM. . . . Revue de mécanique.
Rmc. . . . Revue maritime et coloniale.
Rs. . . . . Revue scientifique.
Rso. . . . Réforme sociale.
RSL. . . . RoyalSocietyLondon(Proceedings).
Rt. . . . . Revue technique.
Ru. . . . . Revue universelle des mines et de la métallurgie.
SA. . . . Society of Arts (Journal of the).
SAF . . . Société des Agriculteurs de France (Bulletin).
ScP. . . . Société chimique de Paris (Bull.).
Sie. . . . . Société internationale des Électriciens (Bulletin).
SiM. . . . Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse.
SiN. . . . Société industrielle du Nord de la France (Bulletin).
SL. . . . . Bull. de statistique et de législation.
SNA. . . . Société nationale d'agriculture de France (Bulletin).
SuE. . . . Stahl und Eisen.
USR. . . . Consular Reports to the United States Government.
VDI. . . . Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure.
ZOI. . . . Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieure und Architekten-Vereins.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

AGRICULTURE

Bétail. Badois (Cagny). *SNA. Juil.*, 631.
— Bœufs limousins. *Ag.* 21 *Sept.*, 459.
— Race porcine limousine. *Ag.* 21 *Sept.*, 458.
— Bovine ferrandaise. *Ap.* 26 *Sept.*, 401.
— Bovine du Shropshire. *Ap.* 3 *Oct.*, 436.
— Alimentation par la mélasse. *Ag.* 21 *Sept.*, 470; 5 *Oct.*, 533.

Betteraves. Essais d'arracheurs. *Ag.* 3 *Oct.*, 547.

Beurre. (Commerce du). *Ef.* 5 *Oct.*, 467.

Blé. Magasins en Russie (Espitallier). *Gc.* 21 *Sept.*, 336.
— Hybridation (des). *Ap.* 26 *Sept.*, 396; 3 *Oct.*, 433.
— Blé jaune à barbes. *Ag*, 5 *Oct.*, 532.
— Charbon du *Ap.* 10 *Oct.*, 459.

Caséine (la) (Lazé). *Ap.* 3 *Oct.*, 438.

Cidre. Préparation en Maine-et-Loire. *Ap.* 26 *Sept.*, 393.
— Céleri à côtes. Culture et conservation. *Ag.* 12 *Oct.*, 373.

Engrais. Fraudes dans les. *Ag.* 21 *Sept.*, 463.
— Fumures minérales. *Ag.* 21 *Sept.*, 465.
— Action des phosphates (Grimm). *Ms. Oct.*, 655.
— Superphosphate marchand, préparation (Elschner). *Ms. Oct.*, 658.
— État de division de l'azote dans les engrais chimiques. *Id.*, 662.
— Utilisation des scories de hauts fourneaux (Elbers). *Id.*, 662.
— Application aux arbres fruitiers. *Ag.* 12 *Oct.*, 577.

Forêts. Les branches gourmandes. *Ag.* 28 *Sept.*, 494.

Fourrages mélassés. *Ap.* 26 *Sept.*, 406.

Friches. Avantages et inconvénients. *Ap.* S. 15 *Oct.*, 538, 169.

Grêle. Fusées hydrofuges. *Ag.* 21 *Sept.*, 457.

Lupin vert (ensilage du). *Ag.* 28 *Sept.*, 492.

Machines agricoles du Canada (Frost). *E.* 27 *Sept.*, 444; 4 *Oct.*, 497.
— Au concours de Posen. *VDI.* 12 *Oct.*, 1463.

Métayage (le) (Heuzé). *INA. Juil.*, 644.
— Mouton. Élevage en France. *SNA. Juil.* 659.

Prairies artificielles. État actuel en France (Larbalétrier). *Rgds.* 30 *Sept.*, 836.

Pulpes. Conservation des. *Ap.* 26 *Sept.*, 404.

Porcherie de Decize. Ap. 10 *Oct.*, 467.

Pyrale. Destruction par les pièges lumineux. *Ag.* 5 *Oct.*, 545.

Routes fruitières (les). *Ap.* 3, 10 *Oct.*, 429, 463.

CHEMINS DE FER

Accidents en Angleterre. Statistique 1899. *Rgc. Oct.*, 368.

Bandages. Ruptures et avaries en Allemagne. Statistique. *Rgc. Oct.*, 313.

Chemins de fer de l'Uganda. *E.* 27 *Sept.* 443.
— Métropolitain de New-York. *E.* 4, 11 *Oct.*, 477, 507.
— de Londres. *Em. Oct.* 1.
— Anglais (dépenses des). *E.* 11 *Oct.*, 524.
— Électrique de la Jungfrau. *Ie.* 25 *Sept.*, 413.
— — pour métropolitains. *E.* 11 *Oct.*, 521. Comparaison avec les locomotives à vapeur. *Dp.* 28 *Sept.*, 613.
— — Rapides Siemens et Halske. *VDI.* 28 *Sept.*, 1369; 5, 12 *Oct.*, 1414, 1457.
— — Barmen-Elberfeld. *EE.* 5 *Oct.*, 15.

Frein à main bilatéral. E' 10 *Oct.*, 387.

Locomotives. Tendance moderne des (Rous Marten). *E'* 20 *Sept.*, 291.
— Américaines et anglaises. *E'.* 20 *Sept.*, 306.
— Belges à l'Exposition de 1900. *Pm. Oct.*, 146.
— Compound dans l'Amérique du Sud (Gould). *E.* 27 *Sept.*, 463.
— — 4 cylindres Société hanovrienne. *Gc.* 28 *Sept.*, 343.
— Northern Pacific à 4 essieux couplés *RM. Sept.*, 343.
— de banlieue Nord. *Rgc. Oct.*, 341.
— à 3 et 4 essieux couples du Great Northern *E'* 4 *Oct.*, 345. *RM. Oct.*, 307.
— Explosion de Knotlingly. *RM. Sept.*, 347.
— Surface de chauffe. des. *E'.* 4 *Oct.*, 351.
— Pare-étincelles Drummond. *E'.* 28 *Sept.*, 336.
— Jette-feux. *E'* 28 *Sept.*, 388.
— Tiroirs équilibrés. Essais au chemin de fer de l'Est. *RM. Sept.*, 290.
— Dépôt du Philadelphia Reading. *RM. Sept.*, 348.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Signaux. Pratique actuelle (Timmis). *E.* 11 *Oct.*, 331. Divers. *Dp.* 12 *Oct.*, 647.
— Répétiteurs sur la machine. *Ri.* 28 *Sept.*, 385.
— — Block. Krizig. 201. 27 *Sept.*, 629.
— — Cabine électrique de croisement Taylor. *Rgc. Oct.*, 391.
Voie. Procédés mécaniques d'établissement des. *Ef. Sept.*, 395.
— Toul à Pont-Saint-Vincent. Construction. *Rgc. Oct.*, 279.
Wagons italiens. *E.* 11 *Oct.*, 345.
— de 30 tonnes du Caledonian. *Ry. E. Oct.*, 354.
— Chargeur de wagon Hunt. *RM. Sept.*, 348.

TRANSPORTS DIVERS

Automobiles à pétrole. Les moteurs (Lavergne). *Ri.* 21, 28 *Sept.* 376, 385; 5, 12 *Oct.* 394, 404.
— Électrique divers. *Pm. Oct.* 153.
Tramways électriques. Parachutes pour lignes aériennes (Jameson) *E.* 4 *Oct.*, 500. (Schœnberger). *Elé.* 12 *Oct.*, 227.
— — Usine de Malakoff. *Gc.* 5, 12 *Oct.* 1901, 377.
— Freins Westinghouse. *Ri.* 28 *Sept.*, 381.
— Trolley. Vedoville, 22, 12 *Oct.*, 49.
Bicyclettes. Freins, etc. (Bourlet). *Gc.* 21, 28, *Sept.*, 338, 348; 5 *Oct.*, 365.

CHIMIE ET PHYSIQUE

Acétylène. Nouveautés. *Dp.* 21 *Sept.*, 608.
Acide sulfurique normal et semi-normal, préparation (Meade). *Ms. Oct.*, 642.
Acoustique. Localisation des nœuds et des ventres en air libre (Davis). *American Journal of Science. Oct.*, 263.
Blanchiment. Mather and Platt. *E.* 27 *Sept.*, 439.
Bois. Distillation des. *Cs.* 30 *Sept.*, 885.
Boulangerie automobile Schweitzer. *Ln.* 21 *Sept.*, 264.
Brasserie. Bières arsenicales. *Cs.* 30 *Sept.*, 917; *Ms. Oct.*. 652. *CN.* 11 *Oct.* 173.
Caoutchouc du Congo. Cs. 30 *Sept.*, 911.
Carbures de calcium et de silicium. Emploi pou la réduction des minerais. *Ms. Oct.*, 636, 638.
Céramique. Composés plombeux en (Thorpe). *Cs.* 30 *Sept.*, 897.
Chaleurs de fusion et de volatilisation de quelques éléments (de Fourcrand). *CR.* 39 *Sept.*, 513.
Chloral. (Hydrate de). Poids moléculaires à la température de l'ébullition (de Fourcrand). *CR.* 16 *Sept.*, 474.
Ciments et mortiers. Divers. *Cs.* 30 *Sept.*, 901.
— Nouvel emploi des pouzzolanes (Leduc). *Ms. Oct.*, 633.
Combustion dans les foyers industriels (Baudouard). *ScP.* 5 *Oct.*, 833.
Eaux. Stérilisateur Waterhouse Forbes. *Fi. Oct.* 295.
Égouts. Résidu bactériel irréductible et l'humus (Rideal). *CN.* 27 *Sept.*, 149.
Émaillage. E' 28 *Sept.*, 322; 4 *Oct.*, 347.
Essences et parfums. Divers. *Cs.* 30 *Sept.*, 926.
— Essence de thym (Jeancard et Satie). *ScP.* 5 *Oct.*, 893.
— La cinchonine (Jungfleisch et Leger). *ScP.* 5 *Oct.*, 880.
Ferrocyanures de calmium et de plomb (Miller et Fischer). *CN.* 4 *Oct.*, 170.
Gaz d'éclairage. Puissance calorifique. Calorimètres Hempel. *Cs.* 30 *Sept.*, 880.
— à eau carburé. *Gc.* 12 *Oct.*, 385.
Gazogène Porter. *Gc.* 5 *Oct.*, 371.
Graisses diverses. *Cs.* 30 *Sept.*, 908.
Huile de lin et ses falsifications. *Cs.* 30 *Sept.*, 909.
Hydrogène. Sa place dans le système périodique (Martin). *CN.* 27 *Sept.*, 155.
— Spectre de l'— et de ses composés (Trowbridge). *American Journal of science. Oct.*, 310.
Industrie chimique anglaise à la fin du XIXe siècle (Frankland). *CN.* 20 *Sept.*, 137.
— Rapport du Chief Inspector. *Cs.* 30 *Sept.*, 893.
Laboratoire. Divers. *Cs.* 30 *Sept.*, 932.
— Dosage de l'acide carbonique dans l'eau (Elms et Benneker). *CN.* 4 *Oct.*, 164.
— — du soufre dans la pyrite de fer (Anenzat). *Ms. Oct.*, 633.
— — de la chaux par le citrate (*Id.*), 650.
— — du phosphore et du carbone dans l'acier. *Ms. Oct.*, 646. 647.
— — de l'albumine. (*Id.*), 654.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Laboratoire. Dosage du potassium dans les sels de potasse. (*Id.*), 663.
— — de petites quantités de manganèse. (*Id.*), 648.
— — de l'argent par fonte plombeuse et coupellation causes des pertes (Prost) *Ru. Sept.* 354.
— — Volumétrique du bismuth. *Id.* 650.
— — du cuivre. *Id.*, 650.
— — de l'acide phosphorique. (*Id.*), 660.
— Analyse du ferro-silicium et du silico-spiegel. *Ms. Oct.*, 644.
Manganèse. Sulfate de sa sensibilité (Richards et Fraprie). *CN.* 27 *Sept.*, 156.
Résine et Vernis. *Cs.* 30 *Sept.*, 911.
Nitrocelluloses. Les (Lunge et Bebie). *CN.* 20, 2 *Sept.*, 144, 153, 4, 11 *Oct.*, 166, 178.
Optique. Le Réfractomètre, formules du (Cornu). *CR.* 16 *Sept.*, 463.
Papier. Divers. *Cs.* 30 *Sept.*, 923.
Platine et Iridium. Dosage dans la mousse de platine (Leidié et Quennessen). *ScP.* 5 *Oct.*, 841.
Séchoir. Dispositions actuelles. *E'.* 11 *Oct.*, 386.
Sélenium. *E.* 21 *Sept.*, 412.
Sucrerie. Divers. *Cs.* 30 *Sept.*, 915.
Sulfure de carbone. Industrie du. *E.* 27 *Sept.*, 453.
Tannerie. Divers. *Cs.* 30 *Sept.*, 912.
Teinture. Divers. *Cs.* 30 *Sept.*, 887, 890, 893. *MC.* 1er *Oct.*, 246.
— Théorie de la (Schell). *Ms. Oct.* 625.
— Substitution de la gélatine à l'albumine pour fixer les pigments insolubles et les couleurs d'aniline sans mordants (Binder et Spuder). *DcM. Juillet*, 330.
— Action des phosphores alcalins sur les mordants de chrome (Binder et Zundel). *Id.*, 331.
— Carminone. *Cs.* 30 *Sept.*, 887.
— Colorants oxyazoïques sulfonés (Sisley). *ScP.* 5 *Oct.*, 862.
— Progrès de l'impression des tissus (Sansone et Caberti). *Mc.* 1er *Oct.*, 241.
Théorie atomique (Rucker). *Rs.* 5 *Oct.*, 417.
Uranium et Vanadium. Analyse des minerais. *Ms. Oct.*, 647.
Verre opalin et albâtré. *Cs.* 30 *Sept.*, 899.

COMMERCE ET ÉCONOMIE POLITIQUE

Allemagne. Mouvement économique, rapport décennal du ministère des Travaux publics. *Ef.* 12 *Oct.*, 501.
Arbitrage et conciliation aux États-Unis (Willoughby). *Musée social. Sept.*
Belgique. Récentes lois sociales (Nyssens). *Rso* 16 *Oct.* 541.
Brevets et marques de fabrique déposées au Conservatoire des arts et métiers. *Ri.* 28 *Sept.*, 389.
Concentration et dispersion de l'industrie et du commerce. *Ef.* 28 *Sept.*, 429.
France. Recensement des industries et professions dans le Sud-Est et l'Ouest-Midi. *Ef.* 12 *Oct.*, 499.
Industrie chimique anglaise. Situation à la fin du XIXe siècle (Frankland). *CN.* 20 *Sept.*, 137.
Japon. Situation financière. *Ef.* 28 *Sept.*, 434.
Mineurs. Revendications des. *Rso.* 16 *Oct.*, 589; au congrès international de Londres. *Musée social. Août.*
Platine. Production, prix et emploi. *Ef.* 12 *Oct.*, 503.
Population et exportation. *E.* 27 *Sept.*, 451.
Taxe nouvelle sur les terrains non bâtis. *Ef.* 21 *Sept.*, 393.
Syndicats en France. *Ef.* 28 *Sept.*, 433.

CONSTRUCTION ET TRAVAUX PUBLICS

Chauffage et ventilation. Université de Glasgow. *E'.* 20 *Sept.*, 312.
Ciments. Tuyaux en ciment et mortier. *Le Ciment. Sept.*, 133.
— armé. Ouvrages en. *Le Ciment. Sept.*, 143.
— Épreuves des. *ZOI*, 11 *Oct.*, 665.
Exposition de Dusseldorf en 1902. *Dp.* 5 *Oct.*, 629.
Maçonneries. pendant les gelées emploi de la soude. *Le Ciment. Sept.*, 131.
Marbre. État de l'industrie du — en France (Boyer). *Rgds.* 15 *Sept.*, 781.
Mortiers. Expérience sur l'adhérence des. *Le Ciment. Sept.*, 137.
Ponts à arc articulés Théorie des (Lean). *E'.* 28 *Sept.*, 323.
— de Redheugh. *E.* 4 *Oct.*, 484.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ponts. Lépine à Paris. *Ac. Oct.*, 146.
République Argentine, son développement. *Ef.* 5 *Oct.* 466.
Russie. Industrie du fer et de l'acier en. *Ef.* 5 *Oct.*, 461.
Sociétés par actions. (Statistique.) *Ef.* 5 *Oct.*, 463.
Tunnel du Simplon. *E'.* 28 *Sept.*, 328.
Ventilation des locaux habités. *Gm. Sept.*, 221.
Voûtes. Résistance des. *Ac. Oct.*, 154.

ÉLECTRICITÉ

Accumulateurs. Résistance intérieure. *Elé.* 12 *Oct.*, 225.
Analyseur d'induction Rémond. *Ln.* 12 *Oct.*, 317.
Câbles électriques. Fabrication. *G*. 12 *Oct.*, 388.
Convection électrique. Effet magnétique de la (Crémieu). *ACP. Oct.*, 145.
Courants alternatifs. Etude graphique (Hanappe). *Ru. Sept.*, 306.
Diélectriques. Pertes d'énergie dans les (Steinmetz). *EE.* 5 *Oct.*, 27.
— passage du courant au travers des diélectriques liquides (Schweidler). *EC.* 5 *Oct.*, 29.
Distributions. Sur la Tyne. *E'.* 20 *Sept.*, 293. — Polyphasées (Eborall). *SA.* 27 *Sept.*, 773. 4, 11 *Oct.*, 785, 797.
— réglage Feldmann. *EE.* 12 *Oct.*, 50.
Disjoncteurs électro-pneumatiques au métropolitain de New-York. *Elé.* 5 *Oct.*, 209.
Dynamos à l'Exposition. *EE.* 21, 28 *Sept.*, 438, 465.
— de 400 kw. *E'.* 20 *Sept.*, 309.
— Alternateurs. Compoundage en excitation compensée. *Elé.* 21 *Sept.*, 184.
— Théorie graphique des moteurs asynchrones (Blondel). *EE.* 28 *Sept.*, 482.
— Démarreur automatique pour moteurs polyphasés. *Ie.* 10 *Oct.*, 457.
— Alternomoteur sans balais (Fisher Hinnen). *EE.* 5 *Oct.*, 5.
Éclairage. Régime des (Bochet). *EE.* 5 *Oct.*, 30.
— Résistance et force électro-motrice (Duddell et Ayrton). *RsL.* 27 *Sept.*, 512.
— *Arc*. Lampe de la Compagnie de Nancy. *Elé.* 21 *Sept.*, 177.
Éclairage à doubles paires de charbon (Brillié). *EE.* 5 *Oct.*, 33.
— — lampe Bromer. *Elé.* 5 *Oct.*, 213.
— — Recherches sur l'arc à courant continu (Laporte et Léonard). *EE.* 28 *Sept.*, 482.
— — (Peukert). *Ie.* 10 *Oct.*, 451.
— — Résistance et force contre-électromotrice. *Id.*, 454.
— — Arcs en vase clos. *EE.* 28 *Sept.*, 504.
— *Incandescence*. Lampe Nerst. *Ri.* 28 *Sept.*, 387.
Électro-chimie. Fabrication du ferro-silicium (Gin). *Bam. Sept.*, 981.
— Divers. *Cs.* 30 *Sept.*, 905.
— Actions électro-chimiques sur l'acétylène. *EE.* 5 *Oct.*, 36.
— Séparation simultanée du fer et du nickel des mélanges de leurs solutions (Kuster). *EE.* 5 *Oct.*, 39.
Étalonnage des appareils électriques (Broderick). *EM. Oct.* 24.
Mesures. Indicateur de fréqaence Lincoln. *Ie.* 2 *Sept.*, 431.
— Appareils de la General Electric C° pour courants alternatifs. *EE.* 5 *Oct.*, 22.
— Étalonnage et essai des machines électriques (Kapp). *Ie.* 10 *Oct.*, 145.
— Mesure industrielle des faibles résistances (Edgecumbe). *EE.* 5 *Oct.*, 24.
— — des courants sinusoïdaux (Wien). *EE.* 5 *Oct.*, 24.
— Méthodes stroboscopiques pour déterminer la fréquence et le glissement (Bemsekke). *EE.* 5 *Oct.*, 27.
— Boîte à mesures pour câbles Edelmann. *Elé.* 5 *Oct.*, 217.
— Compteurs de la Luxsche Industrirwerk. *EE.* 12 *Oct.*, 63.
— Galvanomètres très sensibles (Mendenhall et Waidner. *American Journal of Science. Oct.*, 249.
— Thermo-électrique Margot. *EE.* 12 *Oct.*, 64.
— Méthode pour examiner la résistance et l'isolement des conducteurs (Rabinowicz). *EE.* 12 *Oct.*, 62.
Oscillations électriques d'ordre supérieur. Recherches expérimentales (Lamolte). *AcP. Sept.*, 205.
— (Réflexion métallique des) (Chendmann). *EE.* 12 *Oct.*, 65.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Stations centrales. Battersea. *E'*. 4 *Oct.*, 349.

Signaux horaires Kintner. *Élé*. 28 *Sept.*, 193.

Souffleur d'étincelles d'Arsonval. *Ie*. 10 *Oct.*, 458.

Télégraphie *sans fil*. Divers (Turpain). *EE*. 21 *Sept.*, 425. Antibes-Calvi. *Ln*. 21 *Sept.*, 258. Rôle des antennes (Blondel). *EE*. 21 *Sept.*, 453. Théorie des cohéreurs (Guthe et Throwbridge). *EE*. 5 *Oct.*, 17.

— Multiplex et ordinaire sur un même circuit (Mercadier). *CR*. 16 *Sept.*, 472.

Téléphone. Nouveau régime français. *Elé*. 12 *Oct.*, 227.

Transport de forces de San Ildefonso. Mexico. *Gc*. 12 *Oct.*, 377.

Transformateurs synchrones et asynchrones (Essais de). *Gc*. 21 *Sept.*, 340.

HYDRAULIQUE

Filtres mécaniques Mather et Platt. *E*. 20 *Sept.*, 402.

Norias (Travail des). *Ap*. 10 *Oct.*, 470.

Pompes rapides Erhardt. *E*. 20 *Sept.*, 403.

— triple Evans. *Ri*. 5 *Oct.*, 393.

— à l'Exposition de 1900 (Gutermenth). *VDI*, 12 *Oct.*, 1441.

Turbines. Usine de Chèvres. *Ri*. 21 *Sept.*, 373.

— radiales (les) (Muller). *Dp*. 28 *Sept.*, 619.

— à l'Exposition de 1900. *VDI*, 28 *Sept.*, 1386.

— Hemmer. *RM*. *Sept.*, 350.

— Tyler (*Id.*), 352.

Zuiderzee (Le). *E'*. 28 *Sept.*, 324.

MARINE, NAVIGATION

Brise-glaces Scotia. *E'*. 20 *Sept.*, 308.

Canot descenseur Welin. *E'*. 28 *Sept.*, 337.

— Canal Dortmund-Ems. *VDI*. 5 *Oct.*, 1406.

Constructions navales. Vitesse et forme des quilles. *E'*. 28 *Sept.*, 333.

— Organisation des ateliers (Dunn). *RM*. *Sept.*, 318.

Hélices (Réactions des). Analyse graphique (Adam). *E*. 20 *Sept.*, 429.

Machines marines Mac Kie et Baxter. *E*. 27 *Sept.*, 443.

— à l'Exposition de Glasgow. *VDI*. 12 *Oct.*, 1449.

Marines de guerre. Armement des navires marchands (Carnt). *E*. 20 *Sept.*, 431.

— Russie. Croiseur Novic. *E'*. 11 *Oct.*, 377.

— Turquie. Cuirassé Mesondie. *E*. 11 *Oct.*, 529.

— Perte du torpilleur Cobra. *E*. 27 *Sept.*, 452.

— Les sous-marins. *E'*. 13 *Oct.*, 384.

Torpilles Whitehead. Ateliers de Fiume. *E*. 20 *Sept.*, 395.

Marine marchande anglaise et ses concurrents. *E*. 27 *Sept.*, 435.

Paquebots. Transatlantique Philadelphia. *E'*. 20 *Sept.*, 305.

Pas de Calais (Navigation du). Histoire. *E'*. 4 *Oct.*, 345.

Phares. Progrès en France (Quinette de Rochemont). *E*. 20 *Sept.*, 419.

Port de Bilbao. *E*. 27 *Sept.*, 460.

MÉCANIQUE GÉNÉRALE

Air comprimé. Compresseurs Boreas. *E*. 4 *Oct.*, 475. Normand, Frank, Little, Dujardin. *RM*. *Sept.*, 369.

Bascule automatique Denison. *E*. 4 *Oct.*, 483.

Calcul. Machine Torrès à résoudre les équations. *RM*. *Sept.*, 269.

Chaudières. Essais de vaporisation (Guédon). *Bam*. *Sept.*, 867.

— (Conduite économique des) (Hague). *EM*. *Oct.*, 91.

— à tubes d'eau Passmann. *E'*. 20 *Sept.*, 310. Stratton, Belleville, du Temple, Armstrong et Day, Hammond, Parker, Wiggrell. *RM*. *Sept.*, 332.

— Foyer Rossell. *Ri*. 21 *Sept*,, 375.

— Grilles mécaniques. Diverses. *Dp*. 21 *Sept.*, 599. Meldrum et Clayton, Proctor. *RM*. *Sept.*, 336.

— Pompe alimentaire Clark-Chapmann, *Ri*. 28 *Sept.*, 381.

Crosse Clay. *RM*. *Sept.*, 367.

Embrayage Philippe. *Gc*. 28 *Sept.*, 357.

Essorage de l'acide carbonique du gaz de bois. *Ri*. 12 *Oct.*, 408.

Laboratoire de mécanique de l'école technologique de Stuttgard (Bach). *VDI*. 21. *Sept.*, 1333.

Levage. Tapis roulants. Exposition de 1900. *VDI*. 21 *Sept.*, 1349.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Levage. Ascenseur hydro-électrique Otis. *AMa.* 28 *Sept.*, 1031, 5 *Oct.*, 1055.
— Dépôt du Philadelphia-Reading. *RM. Sept.*, 348.
— Élevateurs Haviland et Farmer. Murray. *RM. Sept.*, 353.
— Frein Andrews. *RM. Sept.*, 367.
— Transporteur Temperley. *Rgc. Oct.* 382.

Machines-outils. Ateliers de construction de machines marines. Puissance nécessaire pour les actionner (Crighton et Riddell). *E.* 20 *Sept.*, 422.
— Outillage des machines (Ashford) *E.* 11 *oct.*, 505.
— A l'exposition de Buffalo. *AMa.* 28 *Sept.*, 1023, 5 *oet.*, 1050.
— Alésoir vertical. Hoefer. *AMa.* 21 *Sept.*, 996.
— Affûteuse Guest. *RM. Sept.*, 355.
— Forgeage à l'étampe. *E.* 4 *Oct.*, 469.
— Cloutière Roth. *RM. Sept.*, 357.
— Acier pour outils Taylor-White. *RM. Sept.*, 361.
— Meule de front. Gorton. *AMa.* 21 *Sept.*, 990; à rectifier Norton. *RM. Sept.*, 357.
— Machines à tailler les pignons Gleason. *RM. Sept.*, 311.
— Perceuse radiale Western. *AMa.* 21 *Sept.*, 986. Électrique Hopkinson. *EE.* 12 *Oct.*, 42. Aléseuse portative Capitaine. *Gc.* 5 *Oct.*, 368. Multiple Whitte et Popp. *Ri.*, 11 *oct.*, 405.
— Raboteuse porte-outil Lehman et Sobotka. *RM. Sept.* 363.
— Tour vertical double. Smith et Coventry *E'.* 4 *Oct.*, 361; Électrique Lubert. *EE.*, 12 *Oct.*, 43. Von Pitler, Muller. *RM. Sept.*, 305; à manivelles Moll. *Ri.* 5-12 *Oct.*, 395-404.
— Fraiseuses. Diviseur universel. *AMa.* 21 *Sept.*, 998.
— Taraudeuse pour écrous Riggs. *RM. Sept.*, 364.

Machines à bois. Fendeuse. Glover. *E.* 27 *Sept.*, 435.

Moteurs à vapeur. à l'Exposition de 1900, Schmidt et Delu. *Ru. Sept.*, 249. Construction en 1900 (Sauvage). *AM. Juin*, 579.
— Demi-fixe Wolf Compound. *Dp.* 5 *Oct.*, 640.

Moteurs à vapeur. Rapide Sisson. *E'.* 20 *Sept.*, 293.
— Condenseur Schaffstadt. *RM. Sept.*, 380.
— Distributions Thirron, Fitchburg, Stegen, Buckeye. *RM. Sept.*, 380.
— Écoulement de la vapeur (Rateau). *E.* 27 *Sept.*, 444.
— Récupérateur Rateau. *E.* 27 *Sept.*, 466.
— Turbine Hodgkinson. *RM. Oct.*, 379.
— **à gaz** Butler. *RM. Sept.*, 383. Forward. *E.* 11 *Oct.*, 517.
— — Allumage électrique Holtzer, Cabol. *Ri.* 28 *Sept.*, 385.
— — Refroidissement des (H. Shaw). *E.* 20 *Sept.*, 327.
— — Étude des — à l'université de Gœttingue (Meyer). *RM.* 22 *Sept.*, 1340.
— — A gaz de hauts fourneaux (Deschamps). *RM. Sept.*, 290.
— **à alcool**. Concours des. *Ri.* 21 *Sept.*, 378; *E'.* 4 *Oct.* 358.
— **à pétrole**. Panhard-Levassor. *RM.. Sept.*, 383.
— — Carburateur Moorwood Bennett. *E.* 4 *Oct.*, 480.

Puissance. Prix de revient de la (Gray). *Fi. Oct.*, 275.

Résistance des matériaux. Essais au choc sur les barreaux entaillés (Charpy. Pourcet). *Gc.* 28 *Sept.* 351-354.
— Facteurs de sûreté (les) (Smith). *E'.* 11 *Oct.*, 388.

Ventilateurs. (Théorie des). *E'.* 28 *Sept.*, 335; *AMa.* 28 *Sept.*, 1033.

MÉTALLURGIE

Alliages. Le Magnalium (Wilson) (Diegel). *Société d'Encouragement de Berlin. Sept.* 298; *Ms. Oct.*, 642.
— Analyse des métaux blancs (Ibbotson et Brearley). *CN.* 4 *Oct.*, 167.

Aluminium. Importance commerciale. *E.* 27 *Sept.*, 464.

Bronze. Poudre de, — fabrication en Allemagne. *USR. Sept.*, 65.

Cuivre. Réduction des minerais en Europe. *USR.* 1 *Sept.*
— Effet des petites quantités d'arsenic (Kewis). *Ms. Oct.*, 639.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Fer et acier. Traitement rationnel des aciers. (Ridsdale). *E.* 4 *Oct.*, 498. Acier Martin. *SuE.* 1 *Oct.*, 1021.

Théorie des aciers. J. Von Jonsdorf. *Société d'Encouragement de Berlin. Sept.*, 194.

— Aciéries américaines. *SuE.*, 15 *Oct.*, 1097.

— Acier au nickel. Applications industrielles (Guillaume). *EM. Oct.*, 79.

— Coke. Industrie de sous-produits (Irvin) *EM. Oct.* 41.

Fonderies. Aux États-Unis. *E'.* 28 *Sept.*, 321. 4-11 *Oct.*, 349, 374.

— Équilibre des appareils oscillants (Demogeot). *Bam. Sept.* 910.

— Amélioration des (Longmuir). *EM. Oct.*, 60.

Hauts fourneaux. Constitution des laitiers. *SuE.* 1 *Oct.*, 1024.

— Américains. Manutentions. *SuE.* 1 *Oct.*, 1035.

MINES

Brésil. Ressources minières. *Eam.* 5 *Oct.*, 429.

Bourrage. Rapport de la commission des explosifs. *AM. Juin.* 563.

Cuivre. Mines d'Ashio, Japon. *EM. Oct.*, 69.

Électricité. Emploi dans la Californie du Nord. *Eam.* 14 *Sept.*, 330.

Galène. Prospectage au district de Joplin. *Eam.* 21 *Sept.*, 361.

Hongrie. Industrie minérale en 1899. *Am.*, *Juin*, 621.

Or. Grown Mountain, Géorgie. *Eam.*, 21 *Sept.*, 355.

Pétroles du Wyoming. *Eam.* 21 *Sept.*, 358.

Préparation mécanique. Concentration des minerais en Cornouailles. *Eam.* 14 *Sept.*, 327.

Ventilateur Guibal de 6 mètres de diamètre à Anzin. *Pm. Oct.*, 150.

Zinc. Mines au Kansas. *Eam.* 14 *Sept.*, 326.

Le Gérant : Gustave Richard.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

100e ANNÉE. NOVEMBRE 1901.

BULLETIN

DE

LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

ARTS MÉCANIQUES

Rapport présenté au nom du *Comité des Arts mécaniques* sur la presse pour huileries, dite a pression de champ, de M. Heuclin, par **M. Ed. Sauvage.**

Dans la presse présentée par M. L. Heuclin, ingénieur à Dunkerque, les graines oléagineuses, qu'il s'agit de comprimer, sont disposées en galettes rectangulaires relativement minces, et la pression s'exerce non sur le plat, mais latéralement sur les petits côtés : cette disposition est faite pour faciliter l'écoulement de l'huile par les deux grandes faces de la galette.

Pour former ces galettes, les graines sont introduites, à l'aide d'une trémie, entre les plaques d'acier, qu'on peut écarter pour la facilité du chargement : une pression normale les rapproche ensuite à la distance voulue. La galette étant maintenue par des fermetures sur trois de ses faces latérales, on fait pénétrer contre la quatrième face un piston plat et mince, poussé par une presse, hydraulique de préférence.

Pour l'écoulement de l'huile, les deux plaques latérales qui enserrent la galette sont revêtues de feuilles d'acier munies de perforations et de rainures suffisamment petites.

L'appareil peut être multiple, et présenter une série de galettes parallèles, pressées par des pistons en même nombre.

D'après M. Heuclin, cette pression latérale, substituée à la pression sur la grande face, permet d'appauvrir plus complètement les matières comprimées.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'appareil dispense de l'emploi des sacs dans lesquels on enferme souvent les graines à presser. Cette suppression est évidemment désirable. Il semble que les canaux ménagés pour l'écoulement de l'huile sont assez petits pour ne pas être engorgés par les matières solides, étant donnée la grande surface des plaques à perforations et à rainures.

Le tableau ci-dessous, communiqué par M. Heuclin, donne le résultat de la compression de tourteaux de pavot des Indes, de sésame et de graines de coton, épais de 4 centimètres. Avec une épaisseur de 10 centimètres, les résultats sont à peu près les mêmes, ainsi qu'avec d'autres graines oléagineuses.

PRESSE DE CHAMP HEUCLIN TRAVAILLANT SANS TISSUS

Résultats obtenus avec des tourteaux de 4 centimètres d'épaisseur.

Dimension des tourteaux, 50 × 20 × 4 cm.

NATURE de la GRAINE.	DURÉE DE LA PRESSION.	PRESSION SUR LE CHAMP du tourteau au cm².	HUILE CONTENUE dans 100 kg. de graines.	HUILE RESTANT dans le tourteau par 100 kg. de graines pressées.	TENEUR EN HUILE par 100 kg. DU TOURTEAU après la pression.	HUILE EXTRAITE par la pression de 100 kg. de graines.	OBSERVATIONS.
	minutes.	kg.		kg.	p. 100.		
Pavot des Indes, non cylindré, la graine mise telle quelle dans la presse.	15	300	48	9,5	15,40	38,5	La pression à froid.
Pavot des Indes, non cylindré, la graine mise telle quelle dans la presse.	15	400	48	7	11 à 12	41	La pression à froid.
Sésame non cylindré, la graine mise telle qu'elle dans la presse.	15	300	50	10	16,40	40	La pression à froid.
Coton cylindré et passé sous les meules, chauffé et humecté, 2e pression.	15	300			5,40		La pression à froid.

Il est à remarquer qu'après compression les graines restent entières, ce qui permet de reconnaître facilement la nature des tourteaux.

Le Comité des *Arts mécaniques* vous propose de remercier M. Heuclin de son intéressante communication et de publier dans le *Bulletin* de la Société le présent rapport.

Signé : SAUVAGE, *rapporteur.*

Lu et approuvé en séance, le 8 novembre 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ARTS MÉCANIQUES

RAPPORT fait par **M. A. Brüll**, *au nom du Comité des Arts mécaniques* sur un *foyer du système Kudlicz, construit par* **M. Ch. Donders**, *fondeur à Nancy.*

M. Ch. Donders, fondeur et constructeur à Nancy, 1, rue de la République, a soumis à la Société un foyer pour générateurs de vapeur et fourneaux de divers genres. L'invention de ce système de foyer remonte à 1891 ; elle est due à M. Kudlicz, fondeur à Prague, et elle a été accueillie avec faveur en Autriche et en Allemagne.

Votre rapporteur a étudié la communication de M. Donders et il s'est livré à une enquête sur le fonctionnement d'un certain nombre de foyers en service. Il a recueilli ainsi d'intéressants renseignements qui lui ont été fort obligeamment donnés par divers ingénieurs.

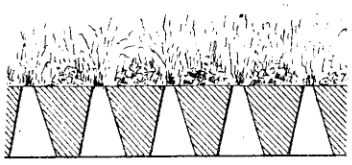


Fig. 1.

M. Donders exploite le brevet français de ce foyer depuis 1895 et il a apporté à la construction quelques perfectionnements.

Le foyer Kudlicz a été combiné pour brûler tous les combustibles. Il paraît surtout intéressant pour l'utilisation des menus maigres et des résidus de peu de valeur tels que tannée, sciure de bois, charbons schisteux séparés par triage ou lavage des tout-venants des houillères, poussiers de coke, escarbilles, fraisil de boîte à fumée de locomotives.

Le foyer Kudlicz est muni d'une soufflerie à jets de vapeur et fonctionne ainsi à tirage forcé sous pression. Cette pression est variable suivant la nature du combustible et l'allure du feu. Elle est souvent de quelques centimètres d'eau.

Pour les chaudières à vapeur, la grille est formée (fig. 1 à 4) par un jeu de plaques juxtaposées, en fonte, de 3 à 4 centimètres d'épaisseur, percées de trous coniques de 20 millimètres à l'entrée et de 3 à 4 millimètres à la sortie. Il y a, par mètre carré de grille, environ 1 300 de ces trous, ce qui

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

donne seulement de 1 à 1,5 décimètre carré à la section de passage de l'air.

Les plaques perforées constituent la face supérieure d'un caisson plat en tôle et fonte, ayant toute la longueur du fourneau et légèrement incliné vers l'arrière. Suivant la largeur du fourneau, le foyer comprend un ou plusieurs de ces caissons. Chacun d'eux est relié à l'avant à la boîte à tuyères. Celle-ci fait saillie sur la façade de la chaudière.

L'avant de la boîte à tuyères porte les injecteurs à vapeur qui aspirent

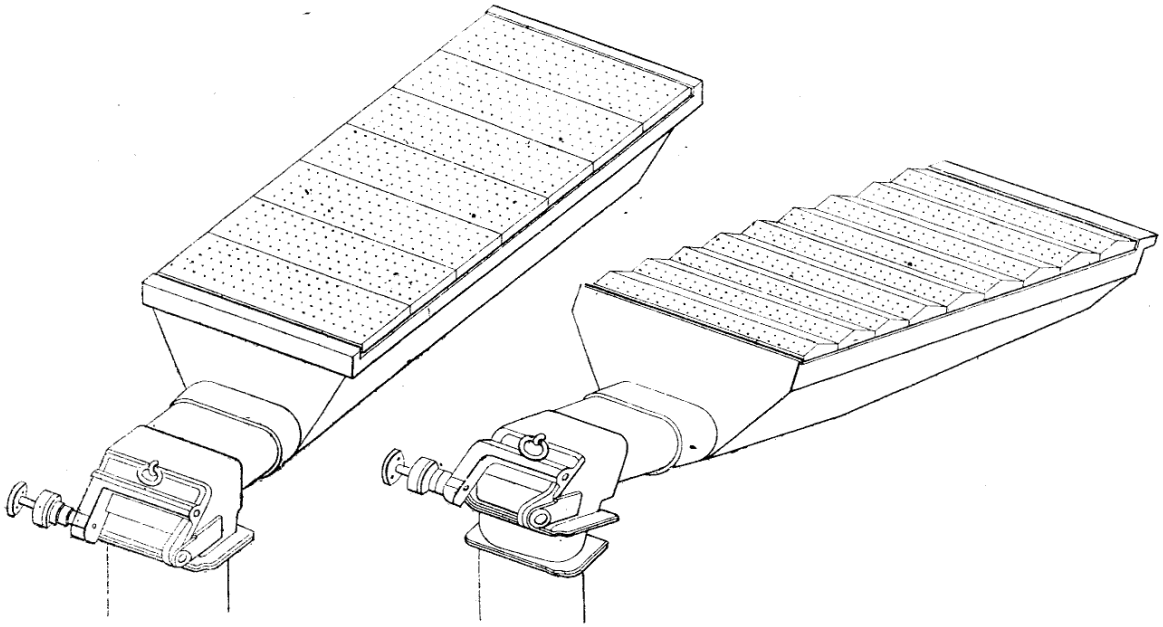


Fig. 2 et 3. — Grilles *Kudlicz* à surfaces planes et inclinées.

l'air de l'extérieur et le refoulent dans le caisson. Il y a généralement trois tuyères coniques de 3 à 4 millimètres de diamètre s'engageant au centre d'orifices circulaires de 10 centimètres de diamètre. Le mélange d'air et de vapeur traverse les trous de la grille et soulève le combustible menu chargé sur cette grille; celui-ci se trouve ainsi dans de bonnes conditions pour se brûler complètement.

Les injecteurs sont alimentés par une prise de vapeur établie sur la chaudière même. Ils sont pourvus de vannes de réglage.

La grille se charge et se nettoie comme une grille ordinaire.

La boîte à tuyères est munie d'un couvercle à charnière légèrement

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

incliné, qui permet de s'assurer du bon fonctionnement de la soufflerie. On peut aussi, par cet orifice, introduire dans le caisson, une petite raclette pour retirer le peu de cendres qui viendrait à tomber de la grille. Cette quantité est toujours très petite.

Le refroidissement de la grille par le courant très divisé d'air et de

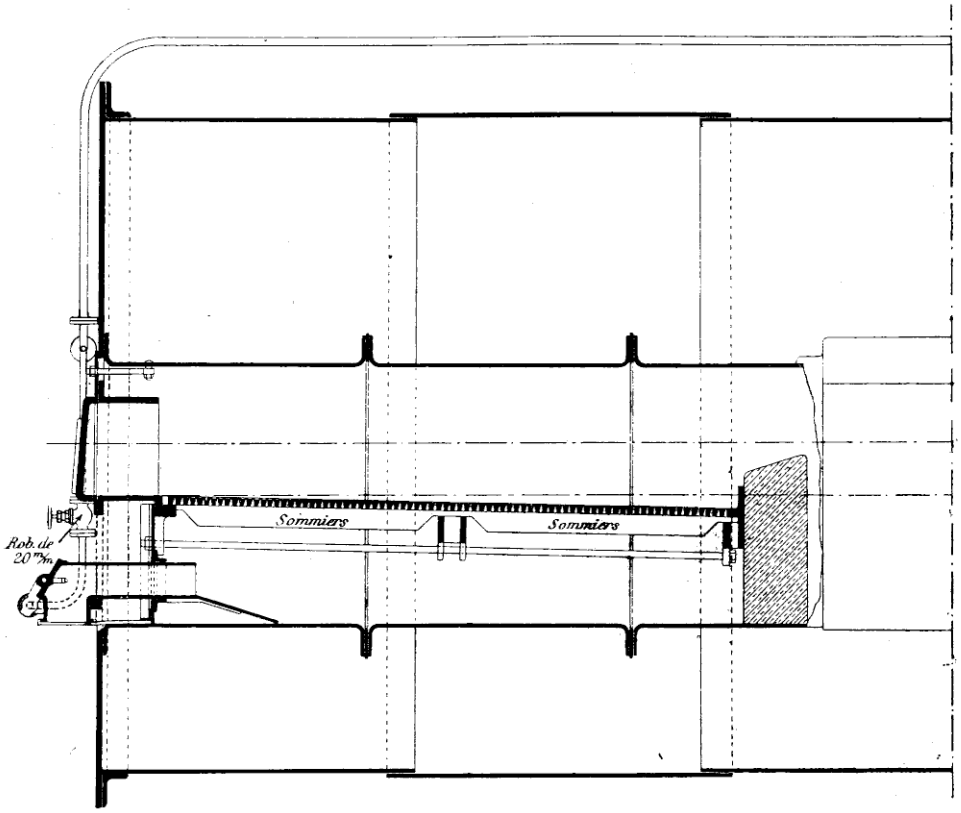


Fig. 4. — Grilles *Kudlicz* pour chaudière à foyer intérieur.

vapeur humide qui la traverse empêche l'adhérence des mâchefers ; ceux-ci s'enlèvent facilement.

L'activité du feu se règle en faisant débiter plus ou moins de vapeur par les injecteurs.

Les cendres provenant d'un combustible pulvérulent, sont très ténues, et sont entraînées dans les carneaux où elles se déposent. Il faut les extraire de temps en temps, ce qui exige des arrêts d'autant plus fréquents que le vide disponible dans les carneaux est moins grand.

On peut facilement et rapidement installer le foyer Kudlicz sous tous les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

types de chaudières pour peu que les carneaux soient asséz grands. Ce foyer convient surtout aux générateurs pourvus de cheminées insuffisantes; il supplée au tirage par l'insufflation de l'air. Un autre avantage de ce foyer est de s'opposer aux rentrées si préjudiciables de l'air extérieur par les maçonneries poreuses ou disloquées des générateurs en créant une pression dans toutes les parties du fourneau.

La grille Kudlicz, dont le principe est favorable à une combustion complète, ne donne pas lieu à une production abondante de fumée noire.

Lorsqu'on substitue à une grille ordinairc une grille Kudlicz de même surface, on peut obtenir, malgré la consommation des injecteurs, une quantité de vapeur aussi grande qu'auparavant. Cette production n'est obtenue qu'en brûlant des menus de bon charbon tels, par exemple, que les menus d'anthracite.

Il n'en est naturellement plus de même lorsque la substitution est suivie d'un changement de combustible et de l'emploi de déchets de faible capacité calorifique. Ceux-ci exigent, de plus, un soufflage énergique qui entraîne une forte consommation de vapeur. La quantité de vapeur disponible se trouve réduite et il faudrait, pour la maintenir, augmenter la surface de grille.

M. Donders nous informe que plus de cinq cents foyers Kudlicz sont actuellement en service en France. Il produit un grand nombre de témoignages de satisfaction accompagnant souvent une nouvelle commande.

Votre rapporteur a vu un foyer Kudlicz en service dans les importants établissements de M. Lemoine, fabricant d'essieux et de ressorts à Ivry-sur-Seine.

Cette grille était alimentée avec du fraisil repris dans les résidus accumulés provenant des divers foyers de l'établissement et qui couvraient une grande surface de terrain.

Le fonctionnement de l'appareil est satisfaisant. Le nettoyage du carneau pour l'enlèvement des cendres doit se faire assez fréquemment.

Il est remarquable de voir produire de la vapeur avec un combustible aussi médiocre que le fraisil dont un échantillon est mis sous vos yeux.

Quatre foyers Kudlicz sont en fonctionnement dans les ateliers des chemins de fer de l'Est, à Épernay. Les générateurs sous lesquels ils sont installés sont du type semi-tubulaire à deux bouilleurs. Leur surface de chauffe est de 120 mètres carrés et la surface de la grille est de $3^{m2},34$.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le combustible employé est le fraisil de boîte à fumée de locomotives dont la composition moyenne est la suivante :

Carbone	65 p. 100
Matières volatiles	4 —
Cendres	22 —
Eau	8 —

L'allumage seul se fait avec des briquettes ou de la houille de bonne qualité.

Le fraisil a remplacé des menus demi-gras d'Anzin, dont la composition était, en moyenne :

Carbone	65 p. 100
Matières volatiles	15 —
Cendres	18 —
Eau	2 —

Les essais faits aux ateliers d'Épernay ont montré que le pouvoir de vaporisation du fraisil n'était que les deux tiers de celui du charbon qu'il a remplacé. La production de vapeur utile est de 4 kilogrammes par kilogramme de fraisil introduit sur la grille.

La quantité de fraisil brûlé par heure et par mètre carré de surface de grille varie de 60 à 120 kilogrammes.

L'emploi du fraisil présente de légers inconvénients : la conduite du feu est plus difficile qu'avec la houille parce qu'il faut charger le feu plus fréquemment et enlever souvent les mâchefers qui sont abondants. De plus, il faut nettoyer souvent les carneaux.

Malgré ces inconvénients et bien que la puissance de vaporisation se trouve diminuée en raison du faible pouvoir calorifique du fraisil, l'emploi de ce combustible permet de réaliser une notable économie.

Les quatre foyers Kudlicz installés à Épernay consomment annuellement 2 400 tonnes de fraisil qui représentent le chargement de 600 wagons.

La compagnie des chemins de fer de l'Ouest a fait installer successivement quatorze grilles Kudlicz dans les ateliers de Sotteville.

Le combustible employé est aussi le fraisil de boîte à fumée. Une sensible économie est réalisée sur le prix de revient de la force motrice, malgré les frais de manutention et la dépense importante de vapeur des injecteurs.

La Société houillère de Flines-les-Raches (Nord) a successivement installé seize foyers Kudlicz qui lui donnent satisfaction. La vapeur est produite avec des fines maigres et impures à 9 p. 100 de matières volatiles.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le moyen employé dans les applications qui viennent d'être rapportées pour produire une pression sous la grille en entraînant directement l'air par des jets de vapeur est facile à installer et fonctionne simplement. Par contre, comme on le sait, il est peu économique, le rendement en est médiocre. Votre rapporteur croit savoir, bien qu'il n'ait pu faire d'expériences à ce sujet, que les injecteurs consomment au moins le dixième de la vapeur produite par le générateur desservi. Avec certains combustibles pauvres, cette proportion est sans doute dépassée.

Mais rien n'empêcherait, dans certains cas spéciaux, de rechercher une économie sur cette consommation de vapeur par l'emploi de ventilateurs pour alimenter la soufflerie. On construit aujourd'hui des ventilateurs

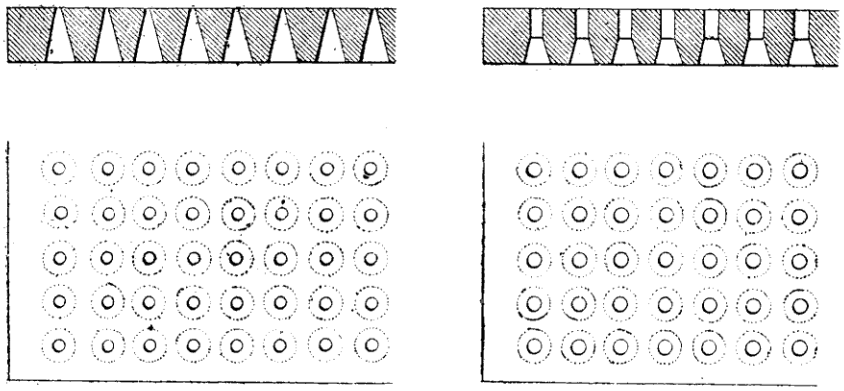


Fig. 5 et 6. — Grilles *Kudlicz* pour résidus de boîtes à fumée de locomotives, ateliers de Sotteville.

à rendement élevé qui peuvent se commander très aisément par l'électricité et dont le débit se règle facilement. On munirait chaque foyer d'un ventilateur ou l'on alimenterait tout un groupe à l'aide d'un seul appareil et d'une canalisation appropriée.

Comme on le voit, les services rendus par le foyer Kudlicz sont importants et ils sont bien appréciés. Les industriels qui ne sont pas trop à l'étroit pour la production de la vapeur, estiment beaucoup la possibilité d'utiliser des combustibles médiocres, d'un prix peu élevé.

Pour ces raisons, le Comité des Arts mécaniques vous propose, Messieurs, de remercier M. Donders de son intéressante communication et de voter l'insertion au *Bulletin* du présent rapport accompagné des croquis du foyer Kudlicz et d'une légende explicative.

Signé : A. Brüll, *rapporteur.*

Lu et approuvé en séance, le 8 novembre 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ARTS MÉCANIQUES

RAPPORT fait par **M. Édouard Simon**, au nom du *Comité des Arts mécaniques*, sur un *système de manivelle de sûreté pour appareils de levage*, breveté s. g. d. g, par **M. Charles Fagedet**, contremaître mécanicien, demeurant à Paris, 10, rue Delambre.

MESSIEURS,

Dans les appareils de levage tels que treuils, grues, cabestans, etc., le détour plus ou moins brusque, plus ou moins accéléré des manivelles, lors de la descente de la charge, occasionne fréquemment des accidents graves. Aussi de nombreux dispositifs ont-ils été proposés et essayés en vue d'y obvier; la plupart reposent sur l'intervention soit de freins placés à portée de l'ouvrier, soit de manchons d'embrayage permettant de maintenir ou de dégager la charge suivant besoin. L'un des plus simples, appliqué au cric et imaginé par M. Dubois, a été présenté ici même par la *Société alsacienne de constructions mécaniques* et a fait l'objet d'un rapport favorable de la part de notre collègue, M. Sauvage (1). Ces divers systèmes ne sont cependant pas exempts d'inconvénients et le principal tient à l'obligation, pour l'opérateur, d'effectuer lui-même le détour de la manivelle, ou de laisser ce détour se produire à une allure plus ou moins vive.

Avec le dispositif breveté par M. Fagedet, la manivelle n'est actionnée que pendant l'ascension de la charge; elle reste toujours immobile au cours de la descente. A cet effet, l'inventeur solidarise la manivelle avec un manchon conique, qui porte la roue d'encliquetage et qui s'engage à frottement doux sur un second cône fixé à l'extrémité de l'arbre de l'appareil. Un ressort assure, par l'intermédiaire d'une vis de serrage, l'emboîtement des deux cônes et, par suite, l'entraînement de l'arbre dans le sens de rotation de la manivelle. Aussi longtemps que le ressort agit, l'adhérence des surfaces emboîtées détermine le levage, ou bien la suspension de la charge au

(1) *Bulletin de la Société d'Encouragement*, 1892. 4e série, t. VIII, p. 832.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cran d'arrêt du cliquet. Pour déterminer la descente, il suffit de desserrer légèrement la vis à l'aide d'un levier à main, qui simultanément comprime le ressort; ce desserrage, en diminuant l'adhérence des cônes, permet, sous l'effort de la charge, un désemboîtement partiel et le détour de l'arbre, sans que le manivelle, solidaire du cône extérieur, participe au mouvement.

Aucune fausse manœuvre n'est à redouter, car si l'ouvrier abandonne

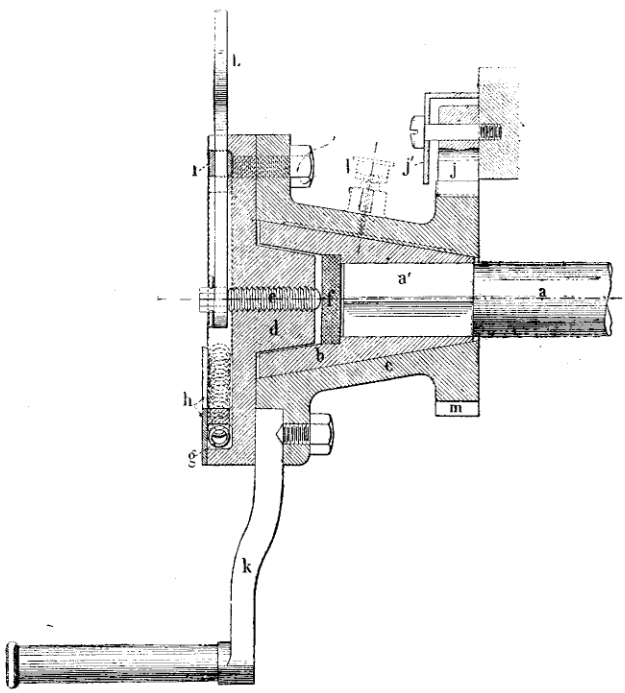


Fig. 1. — Coupe A B (fig. 2).

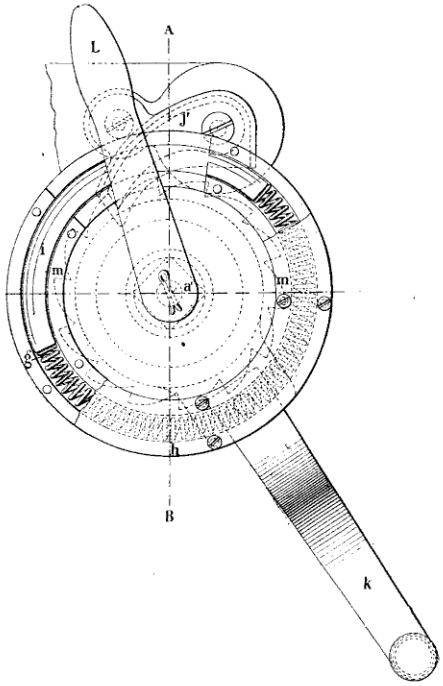


Fig. 2. — Vue en bout.

a, arbre de treuil. — *a'*, carré de l'arbre *a*. — *b*, cône fixé sur le carré *a'*. — *c*, manchon conique à rochet. — *d*, plateau fermant le manchon *c*. — *e*, vis de serrage. — *f*, grain en acier recevant la vis *e*. — *h*, plaque de recouvrement du ressort *g*. — *g*, ressort agissant par l'intermédiaire de la pièce *i* sur le levier I. — *i*, pousse-levier. — *j*, cliquet. *j'* couvre-cliquet fixé à demeure. — K, manivelle. — L, levier à main pour déterminer et régler la descente de la charge. — *l*, graisseur. — *m*, *m*, dents du rochet.

momentanément le levier dont il vient d'être question, le ressort se détend et détermine l'arrêt immédiat du déroulement.

L'appareil Fagedet a été monté dans les ateliers Marinoni, et nous devons à l'obligeance du directeur, M. Jules Michaud, d'avoir pu en constater le bon fonctionnement. Après avoir fait soulever à la grue un cylindre de machine typographique pesant environ 300 kilogrammes, nous avons très aisément, et d'une main, réglé et suspendu la descente de ce cylindre à plusieurs

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

reprises. La solution du problême semble donc aussi pratique qu'élégante. En vous demandant, Messieurs, de remercier l'inventeur de sa très intéressante communication, nous avons l'honneur de vous proposer l'insertion au *Bulletin*, du présent rapport, accompagné de deux dessins et d'une légende explicative.

Signé : Édouard Simon, *rapporteur.*

Lu et approuvé en séance le 8 novembre 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MÉTALLURGIE

ACIER

NOTE SUR UNE VARIANTE DU PROCÉDÉ AU MINERAI

PAR **M. E. de Loisy.**

Depuis la communication à la Société des Ingénieurs civils (1), où M. A. Pourcel a résumé d'une façon lumineuse les conditions théoriques et économiques de la production de l'acier Martin en partant de fonte qu'on affine par addition de minerai (procédé au minerai ou *Ore Process*), suivant l'antique procédé de Réaumur appliqué à nos engins modernes, il n'a été fait, à ma connaissance, que peu de communications sur ce sujet.

Parmi les plus récentes, il convient de citer celle de M. A. Moneill, ingénieur des usines Carnegie, à Pittsbourg, faite à la réunion de l'Iron and Steel Institute en mai 1900, et celle du professeur H. M. Howe, au Congrès de 1900.

L'une et l'autre m'ont engagé à demander l'hospitalité du *Bulletin* de la Société d'Encouragement pour ces quelques notes sur une variante consacrée en Russie par plusieurs années de pratique, mais inconnue, je crois, en France.

Elle mérite cependant l'attention des métallurgistes à plusieurs points de vue. Elle est un exemple typique de l'ore process absolu, je veux dire de l'emploi unique de fonte, sans addition de riblons ; elle permet un affinage très régulier et rapide, une excellente déphosphoration, et, de plus, conduit à un boni en métal plus élevé qu'on ne l'observe d'habitude.

Je veux parler de la modification connue en Russie sous le nom de procédé des frères Goriaïnof. Elle consiste essentiellement à préparer à l'avance une sorte de scorie affinante, composée d'un mélange de minerai de fer et de chaux — qui, comme on le sait, est fusible entre certaines limites de composition — et à y incorporer ensuite, soit liquide, soit solide, la fonte à affiner. Il serait fort aisé de citer nombre d'usines où la fusibilité, *a priori* paradoxale, du mélange de chaux et de peroxyde de fer, a été utilisée au Martin ; mais je crois que l'utilisation systématique de ce phénomène n'a pas été faite avant ces deux ingé-

(1) Comptes rendus de la Société des Ingénieurs civils, mai 1891.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nieurs. Quoi qu'il en soit du côté historique de la question, je décrirai le procédé Goriaïnof tel qu'il se pratique depuis une dizaine d'années en Russie, en exposant avec plus de détails ce que j'ai été à même d'étudier à l'usine de Nadiejdinski, dans le nord de l'Oural.

Voici la description qu'en donne le professeur J. Timé, à la suite d'une visite à l'usine de Briansk à Ekaterinoslaw, en 1894, dont l'un des deux frères Goriaïnof était directeur.

« Cette usine a mis en œuvre, en 1894, un perfectionnement du procédé Martin par les frères Goriaïnof consistant en l'emploi de minerai fondu dans une proportion de 25 p. 100 de la fonte à traiter.

« Cette modification a eu pour résultats la possibilité de diminuer le scrap, et de réduire de 12 à 6 heures la durée d'une opération, et par conséquent d'augmenter la production du four et de diminuer le prix de revient du lingot. » D'après les documents fournis au professeur Timé, ce prix de revient serait tombé de 178 francs à 137 francs la tonne. Je ne citerai pas les chiffres détaillés qu'il donne, attendu qu'ils se rapportent à des conditions trop spéciales — une usine nouvelle et un pays neuf — pour être comparables avec les données courantes.

« La marche du procédé est la suivante : on fond au préalable, sur la sole d'un four Martin, du minerai de fer (c'était alors du minerai de Karnovatka contenant 87,32 Fe_2O_3, 7,70 S_1O_2, 2,87 Al_2O_3); pour le liquéfier, on employait 17,6 p. 100 de dolomie, qu'on a d'ailleurs bientôt remplacé par 40 de chaux. Le minerai fond facilement. Après fusion, on verse dans le four la fonte liquide. Il se produit alors une violente effervescence de toute la masse, qui augmente jusqu'à quatre fois de volume; aussi les fours ordinairement employés pour le procédé au minerai se sont-ils trouvés peu appropriés, et a-t-il fallu en construire de plus fortes dimensions. Pour fondre à l'avance le minerai et abréger ainsi l'opération, on projetait alors à l'usine de Briansk un petit four spécial chauffé aux résidus de naphte avec foyer Nobel. La cuvette du four était formée de blocs de fer chromé équarris, dont les joints étaient remplis à refus de fer chromé moulu arrosé d'un épais lait de chaux (1). »

C'est dans des conditions à peu près identiques que le procédé Goriaïnof fut introduit à l'usine de Nadiejdinski. Cette usine, construite après l'obtention d'une importante commande de rails pour le Transsibérien, n'avait guère à hésiter sur le procédé à choisir pour l'obtention de son métal. Ses quatre fourneaux au bois, non munis encore d'appareils à vent chaud, donnaient une fonte trop froide pour une marche régulière au Bessemer. D'autre part, la rareté du riblon dans l'Oural (et Nadiejdinski est à 300 kilomètres du chemin de fer, les

(1) *Gorny Journal*, mai 1897.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

voies d'eau, fort détournées d'ailleurs, n'étant navigables que 2 à 3 mois d'été), la restreignait à peu près exclusivement à l'ore process.

De fait, elle est actuellement munie de 5 fours Martin de 13 t. 1/2, dont 4 à sole neutre marchant en fonte et minerai, et 1 à sole acide passant seul les chutes de rails produites à l'usine.

Les fours ne présentent pas de particularité spéciale. La sole et les piédroits sont en fer chromé; cette matière est, on le sait, fort abondante dans l'Oural où nombre d'usines l'utilisent (1); les gazogènes au bois sont de grandes cuves rectangulaires.

La coulée de l'opération précédente étant faite, on répare la sole en y jetant 400 kilogrammes de dolomie calcinée et 200 de fer chromé pulvérisé : cette opération dure de 20 à 40 minutes. On procède ensuite au chargement du minerai et de la chaux, le premier à l'état de tout venant; la seconde était chargée primitivement en poudre ; on reconnut plus tard qu'il était préférable de la charger en morceaux de la grosseur du poing, la fusion n'en était pas retardée, et la durée du four sensiblement accrue à cause du moindre entraînement des poussières qui scorifiaient les brûleurs et les chambres.

Le chargement dure une vingtaine de minutes, et la fusion complète du mélange deux heures à peu près. La fonte est alors chargée à l'état solide. La charge se compose exclusivement de gueuses, qu'on remplace partiellement, parfois par une lingotière hors service, chargée telle quelle sans la casser. La composition de la fonte s'écarte peu de la moyenne suivante :

C	3,40 — 3,90
Mn	0,40 — 0,60
Cu	0,01 — 0,10
Ph	0,020 — 0,035
S.	0,010 — 0,025

Quant au silicium, il oscillait de 0,25 à 1,10 avec la fonte au vent froid, pour atteindre jusqu'à 2,40 avec l'emploi du vent chaud à partir de juin 1899.

(1) Je crois nécessaire de donner quelques détails sur la manière dont le fer a été dosé séparément à l'état de protoxyde et de peroxyde dans ces composés.

Tout d'abord pour le mélange ferro-calcaire, cela ne présente aucune difficulté ;ce composé finement pulvérisé étant presque immédiatement soluble dans l'acide chlorhydrique ou l'acide sulfurique étendu au demi, légèrement chauffés, il suffisait de faire deux attaques successives, l'une dans un courant de CO^2 pour ne doser que FeO, et l'autre avec réduction subséquente pour doser Fe total Fe_2O^3 par différence.

La scorie, par contre, est beaucoup plus difficile à attaquer. On peut arriver à y déterminer séparément ces éléments de deux façons qui ont toujours donné des résultats extrêmement concordants et, par conséquent, se corroborent l'une l'autre: soit en attaquant la scorie avec un grand excès de fondant sans action oxydante ni réductrice, à base de borates et carbonates alcalins, par exemple; soit, plus aisément, en la dissolvant par HFl pur ou mélangé de SO^4H^2 dans un courant de CO^2.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le chargement durait de 30 à 50 minutes, la fusion de la charge et la période d'ébullition 2 heures à 2 h. 1/2 et l'affinage calme, avec la mise au point, 1 heure à 1 h. 1/2. L'opération totale prenait un peu moins de 8 heures, et on arriva aisément, à la fin de 1898, à faire 3 opérations 1/2 par 24 heures au début de la campagne, et à ne pas tomber au-dessous de 3 à la fin.

La campagne d'un four atteignait 220 à 250 coulées de 13 t. 5. La qualité secondaire des produits réfractaires et des briques de silice en particulier, fabriquées à l'usine même avec des matières premières des environs, rendrait assez peu juste la comparaison avec des fours où l'on emploie des produits de première marque.

La scorie préalable, que, pour éviter toute confusion dans ce qui suit, je désignerai sous le nom de mélange ferro-calcaire, présentait la composition suivante :

TABLEAU I

	SiO^2	Al^2O^2	Fe	GaO	MgO	MnO	Cu	Ph	S
Minerai ordinairement employé.	3,24	1,43	64,76	1,32	0,28	0,39	0,10	0,026	0,04
Minerai ordinairement employé.	3,50	1,45	64,50	1,33	0,31	0,36	0,11	0,032	0,03
Mélange ferro-calcaire . .	4,18	4,08	50,36	20,39	1,53	0,39	»	»	»
» »	5,10	2,47	55,30	13,46	0,71	0,69	»	»	»
» »	4,68	2,13	56,47	13,75	2,59	0,95	»	»	»
» »	5,87	1,01	56,22	15,30	0,83	1,01	»		»

On comprend aisément que la fonte étant chargée à l'état solide, chaque gueuse fond baignée dans le mélange affinant, et chaque goutte, pour ainsi dire, gagne le fond du bain en abandonnant presque immédiatement son silicium et son phosphore, comme le montrent les analyses faites au cours d'une même opération, que je cite plus loin.

Le carbone, naturellement, s'élimine avec plus de lenteur et son départ s'accompagne du bouillonnement bien connu, lequel va s'affaiblissant jusqu'à l'affinage complet.

Les tableaux II et III indiquent la marche d'une opération.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU II

HEURES DES PRISES.	SiO_2	Al^2O^3	FeO	Fe^2O^3	MnO	CaO	MgO		C	SI	Mn	Ph	S
Mélange { 11h,55	4,18	4,08	20,37	49,32	0,39	20,35	1,53						
Mélange { 1 heure.	4,08	4,21	21,96	47,38	0,39	20,43	1,53						
Moyenne de la charge.									3,90	1,62	0,44	0,030	»
2h,45	32,14	7,06	12,47	1,54	3,35	35,36	8,01		1,20	0,074	0,20	0,011	0,015
3h,50	31,69	7,24	8,61	1,74	3,24	38,31	8,89		1,00	0,025	0,21	0,010	0,014
4h,20	31,34	8,15	7,55	0,87	3,09	40,01	9,01		0,80	0,037	0,22	0,010	0,013
4h,45	29,72	7,14	6,85	2,45	2,85	41,06	10,08		0,48	0,052	0,22	0,011	0,011
5h,10	28,72	7,11	6,85	1,72	2,78	41,32	11,69		0,44	0,028	0,90	0,012	0,013
5h,35 addition 5h,42	29,44	7,83	6,15	2,01	0,96	41,53	11,91		0,42	0,110	0,90	0,010	0,011

Charge : Fonte grise. . . . . 555 pouds = 9t,100
— truitée. . . . . 200 — = 3t,280
Boccages lingotières. . 105 — = 1t,700
14t,080

Addition : Ferro-manganèse. . . 10 pouds = 0t,164
Ferro-silicium . . . . 6 — = 0t,098
0t,262
14t,342

Minerai. . . 170 pouds = 2t,780
Chaux . . . 90 — = 1t,465

Ajouté pendant l'opération :

Minerai. . . 38 pouds = 0t,620
Chaux . . . 19 — = 0t,310
Obtenu : lingots. . . . . 894p = 14t,650
1/2 lingot et scrap. 9p = 0t,147
14t,797

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU III

HEURES		SiO_2.	FeO.	Fe_2O_3	CrO_3	MnO	CaO	MgO	Fe		C	Si	Mn	Ph.	S
	Mélange	2,42	23,10	43,81	—	0,37	23,39	3,56	48,06						
	Fonte										3,74	2,27	0,65	0,056	0,020
2h,20	dès la fusion.	30,04	21,59	1,24	0,68	4,23	24,15	6,87	17,64		2,19	0,030	0,17	0,010	0,020
2h,35		30,52	13,06	0,41	1,10	4,24	30,37	7,93	10,36		1,69	0,030	0,17	0,018	0,014
2h,45		30,46	10,24	0,70	1,12	4,13	25,98	8,13	8,47		1,58	0,027	0,16	0,020	0,015
2h,55	Addition de minerai. . .	29,56	13,41	1,56	1,14	4,08	24,15	8,12	11,52		1,42	0,023	0,16	0,018	0,014
3h,5	» de chaux.	28,08	13,06	1,39	1,30	4,05	29,07	10,42	11,14		1,15	0,022	0,17	0,018	0,014
3h,20	» de minerai.	28,06	13,02	1,71	1,36	4,01	27,71	10,78	11,37		0,96	0,023	0,16	0,012	0,015
3h,35	» »	27,32	12,67	1,70	1,39	3,95	27,82	10,92	11,18		0,76	0,019	0,15	0,018	0,014
3h,55	Chaux et minerai	27,92	11,47	1,97	1,42	3,92	28,11	10,83	10,33		0,60	0,018	0,16	0,012	0,013
4h,5		28,68	10,27	1,49	1,44	3,91	29,05	10,97	9,04		0,50	0,022	0,15	0,013	0,013
4h,10		28,78	9,59	1,32	1,36	3,92	30,11	11,04	8,17		0,44	0,010	0,19	0,014	0,014
4h,15		29,58	8,84	1,87	1,05	3,87	30,55	12,06	8,18		0,41	0,011	0,18	0,018	0,013
4h,25	Addition	29,52	8,06	1,96	1,30	3,87	31,33	11,66	7,65		0,32	0,013	0,19	0,018	0,013
4h,30		29,26	8,24	1,07	1,27	4,46	30,03	11,48	7,15		0,40	0,031	0,98	0,022	0,012
	Dans la poche, au début.	30,66	5,86	0,50	1,64	6,89	27,63	8,57	5,55		0,43	0,015	0,68	0,027	0,011
	Fin de la coulée. . . .										0,43	0,016	0,67	0,027	0,011
	Éprouvette forgée. . . .										0,45	0,016	0,67	0,026	0,012

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La charge de l'opération du tableau III était :

Minerai. 200 p = 3t,280	ajouté en marche	45 p	= 0t,740
Chaux . 60 p = 0t,983		20 p	= 0t,328
Fonte grise		578 p	= 9t,500
» truitée.		240 p	= 3t,940
Boccages lingotières..		82 p	= 1t,350
			14t,790

Addition :

Ferro-manganèse à 78 p. 100.	10 p	= 0t,164
Fonte manganésée à 2,5 p. 100	3 p	= 0t,050
Ferro-silicium à 10 p. 100.	5 p	= 0t,080
		0t,294
		15t,084

On a obtenu :

Lingots.	922[20] p	= 15t,130
Scraps		0t,410
		15t,540

On peut, sur le tableau III, suivre l'attaque de la sole par les teneurs croissantes de la scorie en magnésie.

Il est possible d'étudier de plus près le mécanisme de l'affinage, c'est-à-dire les réactions qui se produisent entre le mélange ferro-calcaire et le bain métallique.

Tout d'abord cette fusion paradoxale de deux éléments séparément infusibles — je ne tiens pas compte de la silice, en trop petite quantité pour avoir une action efficace — évoque l'idée d'une combinaison. En fait, on connaît plusieurs combinaisons du sesquioxyde de fer avec les métaux alcalins et alcalino-terreux, où ce corps se comporte comme un acide ferrique.

Pelouze a décrit le ferrite de calcium $Fe_2O_3(CaO)^4$ obtenu par voie humide; H. Sainte-Claire Deville a préparé par voie sèche le ferrite de magnésium $MgOFe_2O_3$, Frémy ceux de K, Na et Ebelmen un ferrite de zinc $ZnOFe_2O_3$ cristallisé comme la franklinite (1). C. List a obtenu par voie humide les ferrites $CaOFe_2O_3$, $BaOFe_2O_3$, $MgOFe_2O_3$, $CuOFe_2O_3$, $MnOFe_2O_3$, et J. Percy, dans une expérience qui se rapproche davantage des conditions qui nous occupent, a préparé un ferrite de calcium en cristaux volumineux, à éclat métallique, en chauffant au rouge blanc, et laissant lentement refroidir, un mélange d'oxyde

(1) Pelouze, *Ann Ph. et Ch.* XXXIII, p. 5.— C. List, *Deutsche Chem. Gesellschaft*, 1878, p. 1512. — J. Percy, *Philosophical Magazine*, XLV, p. 665. — G. Rousseau et Bernheim, *C. R.*, 106 et 107, *passim*.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ferrique et de chaux, ou de carbonate de chaux. Enfin G. Rousseau et Bernheim ont obtenu des ferrites hydratés de K et Na.

La formation d'une combinaison analogue dans le mélange ferro-calcaire est fort probable; je n'ai pas eu le loisir de la caractériser.

Mais il était naturel de penser que ce mélange pouvait absorber aisément de l'oxygène en formant des combinaisons analogues aux ferrates de la forme FeO_3R. On connaît en effet les ferrates solubles de K et Na, donnant par double décomposition les ferrates insolubles $BaFeO^4$, $SrFeO^4$, $CaFeO^4$. On conçoit qu'un tel composé, riche en oxygène, éliminerait avec une grande énergie les métalloïdes de la fonte et que la rapidité de l'opération en serait grandement augmentée.

En réalité, il n'en est pas ainsi : tous les essais que j'ai tentés, tant au laboratoire qu'aux fours eux-mêmes, pour produire, par oxydation directe — la seule intéressante ici —, une telle combinaison, n'ont pas donné de résultats. Ce corps eût été facile à caractériser et à doser par la réaction qui a servi à J. de Mollins pour en établir la composition (1).

$$2FeO^4Ba + 8KI + 16\,HCl = 2BaCl^2 + 8KCl = 2FeCl^2 + 8H^2O + 4I^2$$

Au contraire, j'ai observé que ce mélange ferrocalcaire, sous l'influence d'une atmosphère tant soit peu réductrice, perdait une partie de son oxygène avec la plus grande facilité, et qu'on arrivait aisément au four Martin lui-même à obtenir un composé contenant presque exclusivement le fer à l'état de protoxyde.

Les deux expériences suivantes me paraissent caractéristiques à cet égard.

La première a été faite sans rien changer à la manière dont le fondeur conduisait son gaz.

Le mélange, fini de charger à 7 h. 15, était à peu près fondu à 8 h. 10 au moment où l'on a prélevé la première éprouvette :

	Heures.	Fe_2O_3	Fe O	Fe total.
Prélevé à :	8,10	49,62	26,65	55,31
—	8,30	37,01	38,22	55,63
—	8,45	36,04	39,27	55,78
—	9,10	27,07	56,98	56,94

ce qui donne la courbe suivante, où les ordonnées représentent le fer correspondant au protoxyde ou au peroxyde (fig. 1) :

La quantité à l'origine a été calculée d'après le rapport respectif, de Fe_2O_3 à Fe O dans le minerai employé (Tableau I).

(1) J. de Mollins, *Deutsche Chem. Gesellschaft*, 1871, p. 626.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La seconde expérience, au contraire, a été conduite en maintenant le gaz

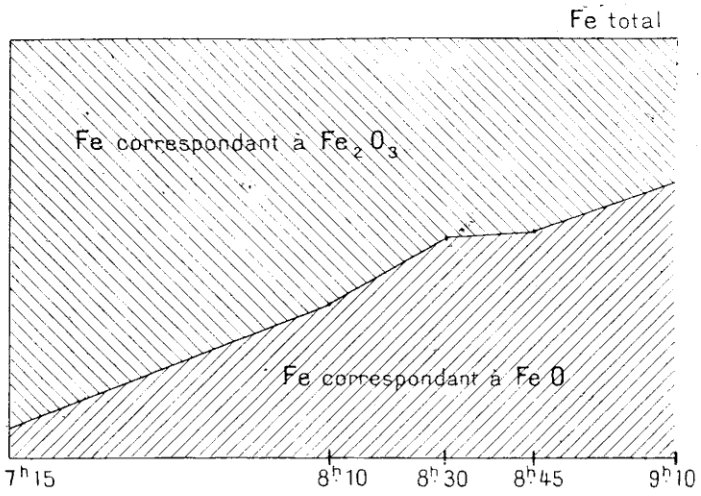


Fig. 1.

aussi réducteur que possible, tout en assurant la chaleur nécessaire à la fusion :

	Heures.	Fe_2O_3	Fe O	Fe total.
Fini de charger :	1,25	»	»	»
—	2,00	51,33	18,98	50,79
—	2,30	39,10	30,99	51,47
—	2,50	21,78	46,47	51,37
—	3,35	2,91	63,08	51,14

résultats que représente le graphique suivant (fig. 2) :

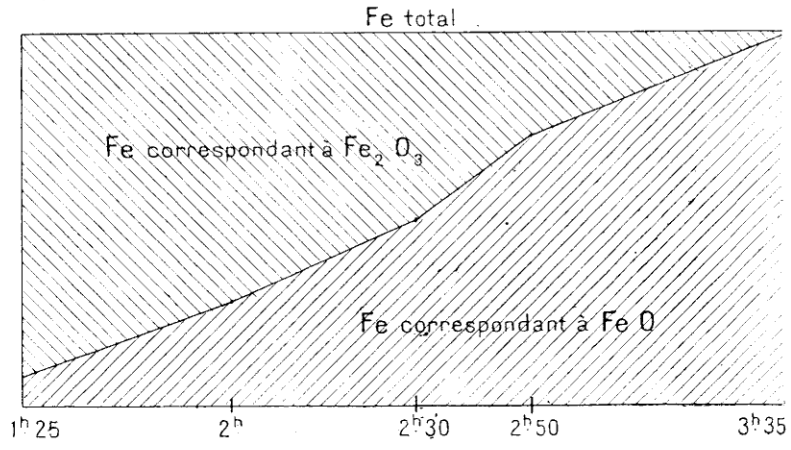


Fig. 2.

On voit combien est aisée, dans ce mélange, la réduction à l'état de FeO. Il

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

semblerait donc que cette réaction soit désavantageuse au point de vue de la rapidité de l'affinage subséquent, et qu'on aurait tout intérêt à laisser, par une oxydation ménagée, le fer à l'état de sesquioxyde, si du moins on ne peut l'amener à un état plus avancé d'oxydation. Mais, malgré nombre d'essais, il ne m'a pas été possible d'observer une différence sensible entre la durée d'opérations où le mélange avait été réduit à dessein, et d'opérations où il avait au contraire été maintenu en atmosphère oxydante pendant la fusion. Or, en y regardant de plus près, on voit que, loin d'être défavorable, cette facile réduction du mélange est une condition d'économie avantageuse pour le procédé.

Comparons en effet les deux réactions : suivant que l'on opère l'oxydation d'une même quantité de métalloïdes — silicium, pour fixer les idées — en mettant en jeu l'une ou l'autre des réactions, l'on aura :

Avec Fe^2O^3 :

$$Si + \frac{2}{3} Fe^2O^3 = SiO_2 + \frac{4\ Fe}{3} + 80{,}7\ \text{cal.} \quad (1)$$

Avec FeO :

$$Si + 2FeO = SiO_1 + Fe = 70\ \text{cal.} \quad (2)$$

réaction qu'il faut faire précéder de la suivante pour amener Fe_2O_3 à l'état de FeO :

$$Fe_2O^3 + CO = 2\ FeO \times CO^2 + 15\ \text{cal.} \quad (3)$$

Donc, déjà, au point de vue thermique l'une et l'autre sont à peu près équivalentes, et l'avantage resterait même à la seconde.

Mais considérons maintenant la quantité de fer que chacune apporte au bain métallique :

Pour 1 kilogramme de Si la première donne $\frac{4 \times 56}{3 \times 28} = 2^{kg},66$ de fer, et la seconde $\frac{2 \times 56}{28} = 4$ kilogrammes, soit 1,5 fois plus que la première, en mettant en jeu, évidemment, une quantité de minerai 1,5 fois plus grande aussi.

Or ces $1^{kg},33$ en plus, ainsi directement transformés en acier, n'ont pas nécessité les frais de fabrication de la fonte, non plus que les frais de l'opération Martin, puisque loin d'avoir besoin d'être affinés, comme s'ils étaient introduits à l'état de fonte, ils sont le véhicule du produit affinant dont ils constituent en quelque sorte un sous-produit.

Les seuls frais dont on devrait les grever seraient donc ceux de la réduction par l'oxyde de carbone suivant l'équation (3). Mais on a vu combien cette réduction était aisée, et que, sans la chercher intentionnellement, on la produisait sur les deux tiers de la masse. Il y a donc tout lieu de croire qu'elle ne nécessite pas un excédent de combustible bien sensible.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU IV. — **Semaine du 16 au 22 juin 1899.**

	JOURNÉES DE TRAVAIL.		NOMBRE DE COULÉES.		CHARGÉ		EMPLOYÉ		OBTENU			BONI
	Pendant la semaine.	Depuis le commencement de la campagne.	Pendant la semaine.	Pendant la campagne.	FONTE (pouds).	MINERAI (pouds).	BOIS (sagènes cubiques).	DOLOMIE (pouds).	LINGOTS entiers.	MOULAGE	SCRAPS et 1/2 lingots.	sur la FONTE.
Four n° 2.	7	19	22	58	18 696	3 813	36,34	633	19 429[10]	290	510	1 533[10]
Four n° 3.	7	53	20	135	17 104	3 033	42,66	576	17 199[10]	»	1 190	1 285[10]
Four n° 4.	7	34	19	91	16 424	3 330	45,43	563	17 386[10]	»	455	1 417[10]
Total de la semaine pour les 3 fours.	21	106	61	304	52 224	10 178	124,43	1 773	54 014	290	2 155	4 235[30]
Depuis le 1er janv.	40	6	11	43	983 811 fonte 13 465 chutes 1 340 lingotiers	190 396	2 997,24	3 906	1 028 391	1 130	29 417	60 322,5

POUR 100 DE FONTE ON A OBTENU :	PENDANT LA SEMAINE.	DEPUIS LE 1er JANVIER.
Lingots. . . .	103,98	103,09
Scraps	4,12	2,94
d'où : Boni	8,10	6,04

POUR 100 DE LINGOTS ON A EMPLOYÉ :	PENDANT CETTE SEMAINE.	DEPUIS LE 1er JANVIER.
Fonte	96,68	95,66
Chutes.	»	1,31 (chargées aux fours basiques pendant les arrêts du four acide).
Scraps et boccages. .	»	0,13
Boni.	7,84	5,85
Dolomie.	3,28	3,29
Bois (en m³ par tonne).	1,35	1,70

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On brûle 1st,65 à 1st,75 de bois de pin par tonne de lingot, ce qui correspondrait à peu près à 300 kilogrammes de houille, si l'on adopte les chiffres de Scheurer-Kestner (1), c'est-à-dire à une consommation très faible.

Les réactions théoriques que j'ai citées plus haut, et implicitement supposées complètes, ne se produisent évidemment pas quantitativement sur toute la masse de minerai chargée. Il doit se produire un équilibre chimique, variable avec la température, qui, pour une scorie et une fonte de compositions données, déterminent la quantité de fer que le minerai abandonne à la scorie et celle qui passe dans le bassin métallique. Mais, quelles que soient ces conditions de répartition, il demeure certain qu'on a tout intérêt à utiliser la seconde des deux réactions, c'est-à-dire la réduction préalable de Fe_2O_3 en FeO, puisque, toutes choses égales d'ailleurs, elle augmente la quantité d'acier provenant du minerai, c'est-à-dire, en quelque sorte, la quantité de fer obtenue par « procédé direct ».

Il ressort de cet examen qu'un des avantages du procédé Goriaïnof est l'augmentation du boni en métal résultant de cette possibilité de réduction préalable du mélange ferro-calcaire pendant sa fusion.

De fait la fabrication accuse des chiffres plus élevés qu'avec l'ore process ordinaire.

Voici, par exemple, les résultats d'une semaine, extraits du livre de roulement; qui sont donnés dans le tableau de la page ci-contre.

Il peut être intéressant d'examiner à quel moment se fait cette rentrée du fer du minerai dans le bain métallique, si elle est progressive ou concorde avec une phase déterminée de l'opération.

Les analyses des éprouvettes métalliques renseignent déjà à cet égard, en montrant la marche de l'affinage, corrélatif de cette rentrée du métal. Mais il est un élément de la scorie qui le montre d'une façon beaucoup plus nette encore. C'est l'alumine : ce corps, en effet, ne peut être introduit par la fonte, comme la silice; il ne peut provenir que de la sole; mais celle-ci, revêtue de dolomie comme je l'ai dit plus haut — laquelle n'en contient, calcinée, que 1,50 environ, moyenne de six analyses — a beau se laisser dissoudre par la scorie, on ne pourrait expliquer ainsi que la teneur en alumine du mélange ferro-calcaire soit seulement moitié de celle de la scorie immédiatement après la fusion de la fonte, ainsi que l'indique le tableau V.

Il faudrait en effet, concomitamment, qu'il se dissolvât une proportion de magnésie équivalente — et la dolomie employée en contenait 33 à 34 p. 100 — ce qui n'a pas lieu d'après les teneurs qu'accuse la scorie : le tableau V indique, pour sept opérations différentes, la composition du mélange ferro-calcaire immédiatement avant la charge de la fonte, puis celle de la scorie dès que la charge

(1) Scheurer-Kestner, *Pouvoir calorifique des combustibles.*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

métallique est fondue. Elles montrent toutes que, dans la scorie, la teneur en alumine est à peu près le double de ce qu'elle était dans le mélange : la moyenne est 2,02. Puisque cet élément n'est introduit qu'en quantités infimes par la dolomie de la sole, il faut admettre que la scorie s'est concentrée au double, autrement dit que la quantité totale en est deux fois moindre que celle du mélange ferro-calcaire. Cette diminution ne peut être due qu'à la quantité de fer cédée dans l'intervalle au bain métallique, quantité d'autant plus grande qu'elle se trouve masquée par l'apport de silice provenant de la fonte et dont la teneur est jusqu'à dix fois plus forte dans la scorie que dans le mélange.

TABLEAU V

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	CaO	MgO	Fe	$\frac{Al_2O_3 \text{ scorie}}{Al_2O_3 \text{ mélange}}$
I mélange	3,00	2,21	43,73	21,58	24,07	2,12	47,396	2,36
I scorie	31,70	5,22	1,10	7,84	39,79	9,68	6,87	
II mélange	5,02	2,31	34,60	29,17	23,23	2,28	46,91	1,90
II scorie	31,22	4,39	0,91	8,48	29,22	8,15	7,20	
III mélange	3,06	2,42	39,67	26,80	22,49	1,07	48,628	1,64
III scorie	27,26	3,97	2,27	9,69	40,17	7,76	9,115	
IV mélange	2,32	2,82	26,49	21,24	21,91	1,71	49,08	2,15
IV scorie	27,30	6,08	1,43	7,14	42,12	9,88	6,564	
V mélange	3,04	3,18	43,87	29,93	21,05	1,75	48,54	1,84
V scorie	28,02	5,85	1,87	6,01	41,16	9,66	5,986	
VI mélange	2,88	2,65	17,29	52,77	19,72	1,12	53,15	1,905
VI scorie	30,94	5,05	1,98	9.41	38,95	10,17	8,707	
VII mélange	5,52	2,21	44,41	17,02	22,75	3,38	44,33	2,43
VII scorie	29,06	5,37	1,39	6,53	39,83	11,36	6,055	
Composition moyenne des mélanges	3,55	2,54	38,84	38,34	22,17	1,91	48,29	»
Composition moyenne des scories	29,34	5,16	1,56	7,87	41,60	9,52	7,21	»
Rapport de l'élément $\frac{\text{scories}}{\text{mélange}}$	8,26	2,03	$\frac{1}{24,90}$	$\frac{1}{4,86}$	1,88	4,98	$\frac{1}{6,69}$	»

La courbe ci-jointe (fig. 3), qui traduit les variations de composition de la scorie citée dans le tableau II, met ce fait en évidence.

On voit donc que l'affinage du silicium se produit à peu près complètement pendant la fusion de la charge, ainsi que l'avait déjà très nettement constaté

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. Pourcel. « Les analyses prouvent, écrivait-il, que pendant la fusion le silicium passe tout entier dans la scorie ; le phosphore s'oxyde ensuite en proportion plus grande que le carbone. Lorsqu'on traite une fonte blanche où le manganèse est incorporé à l'état de carbure, c'est ce corps qui résiste le plus énergiquement à l'action oxydante. Tandis que le phosphore est déjà réduit à l'état de traces, 0,015 à 0,02, on dose encore dans le métal 0,15 à 0,20 de manga-

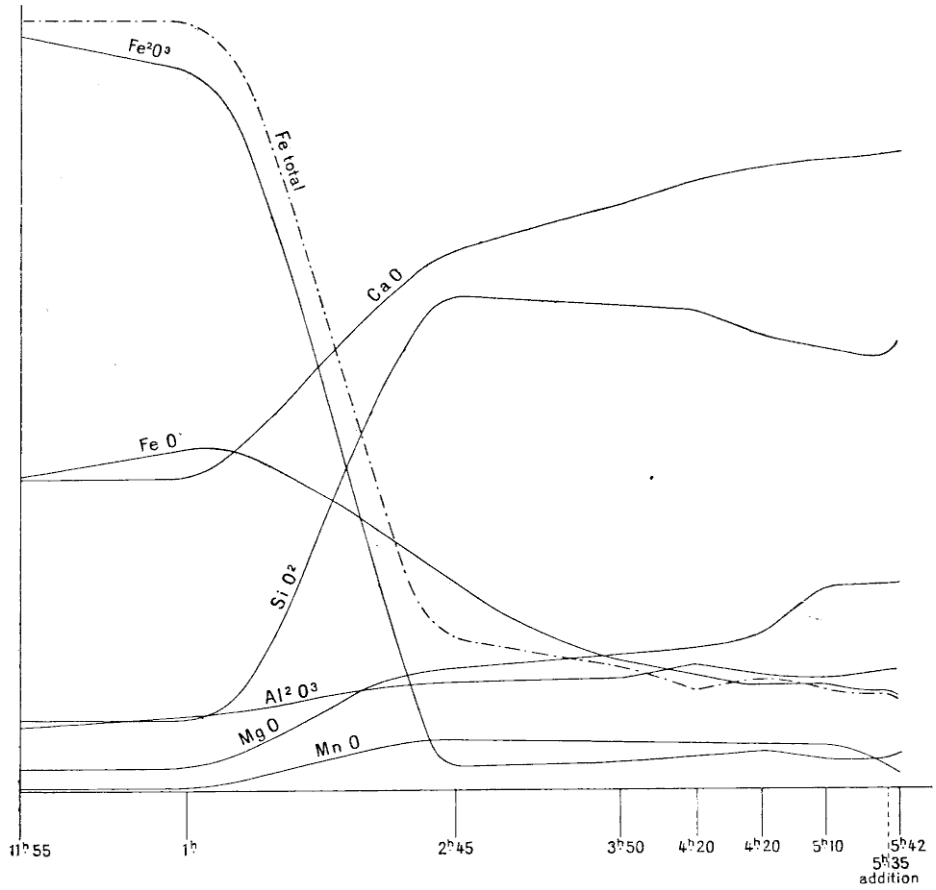


Fig. 3.

nèse. » Les analyses que j'ai citées à mon tour confirment absolument ces résultats.

Quant à l'élimination du phosphore, la grande pureté des fontes traitées à Nadiejdinski empêchait toute investigation sérieuse de ce côté. Tout ce que l'on peut constater, sur les analyses citées plus haut, c'est que la minime quantité de phosphore contenue s'élimine également pendant la fusion, et que la scorie le laisse partiellement rentrer après l'addition recarburante. Le décrassage, tout à fait inutile avec de pareilles fontes, n'était en effet pas pratiqué.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On peut dire, toutefois, qu'*a priori* le procédé Goriaïnof est dans d'excellentes conditions pour déphosphorer, puisqu'il donne, avant la fusion même du métal, une scorie oxydante et ultrabasique.

Mais, à ce sujet, nous trouvons des documents expérimentaux intéressants dans la communication faite à la Réunion de l'Iron and Steel Institute à Londres, en mai 1901, par M. Ambroz Moneill, ingénieur des usines Carnegie à Pittsburg. Le procédé qu'il décrit comme son invention propre est exactement celui des frères Goriaïnof, qu'il a reproduit sans le connaître, fort probablement. Au lieu de charger la fonte solide comme nous le faisions à Nadiejdinski — où cependant l'installation avait été organisée pour la charge liquide — il la charge liquide, comme à l'usine de Briansk. Mais j'emprunte la description même de l'auteur : « Les fours étaient de 40 tonnes. On commence par charger 3 tonnes de calcaire, répandu sur toute la sole, puis 10 à 12 tonnes de minerai selon la teneur en silicium de la fonte. Le minerai employé était de l'hématite rouge du lac Supérieur, contenant Fe 64, Ph 0,10, Si 3, Mn 0,10. On chauffe environ une heure et demie jusqu'à ce que le minerai soit près de fondre, mais non tout à fait fondu, et l'on ajoute alors la fonte liquide prise soit du mélangeur, soit directement du fourneau. Cette fonte contenait :

C	3,90 — 4,10
Ph	0,50 — 0,80
Si	0,50 — 0,90
Mn	0,80 — 0,90
S	0,04 — 0,07

Il se produit une réaction vive, mais non tumultueuse. Comme la température des parties composant le bain n'est relativement pas très élevée, l'oxydation du phosphore se produit avec une extrême rapidité. En même temps que lui, s'oxydent le silicium, le manganèse et une partie du carbone. Cette partie de l'opération est caractérisée par la formation rapide d'une scorie basique. Au bout d'une heure à peu près, le phosphore est éliminé du métal, c'est-à-dire que sa teneur est inférieure à 0,04, de même que le silicium et le manganèse. La scorie produite bouillonne fortement et se déverse d'elle-même par-dessus le seuil; il serait désirable de faire un décrassage complet; on se contente en pratique d'enlever les huit dixièmes de la scorie de manière à laisser le bain à peine recouvert par celle qui reste. A ce moment, c'est-à-dire une heure après l'addition de la fonte liquide, la scorie et le métal présentent à peu près la composition suivante :

SiO_2	20 p. 100	C	2 — 2,5
Fe	20-25	Ph	» 0,04
P_2O_5	3-5	S	» 0,04
CaO	20-25	Si	traces.
		Mn	traces.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Je ferai remarquer en passant que cette scorie me paraît bien pauvre en chaux et que ce doit être là une cause de sa richesse en fer.

Le reste de l'opération se continue comme d'habitude. On élève la température, et la décarburation se produit alors jusqu'au point désiré. On l'accélère, à l'occasion, en ajoutant du minerai.

Voici les chiffres que cite l'auteur pour deux fours :

Nombre de coulées par semaine (de 6 j. de travail). .	18	16
Tonnes de métal fondues	718	662
Métal obtenu pour 100 tonnes chargées	101,3	103,1
Durée moyenne d'une coulée	7h,39	8h,20

Le boni en métal serait sans doute plus élevé avec une scorie plus calcaire et avec réduction préalable du minerai par les gaz pendant sa fusion.

En résumé, le procédé au minerai modifié par les frères Goriaïnof me paraît présenter plusieurs avantages sérieux : l'opération est sensiblement abrégée, la déphosphoration rapide et complète, l'affinage extrêmement régulier. Les usines de Nadiejdinski fabriquent depuis plusieurs années par ce procédé un acier à rail d'une composition remarquablement constante. Il est inutile d'ajouter qu'il se prête également bien à la fusion fonte et riblons ; dans ce cas, la durée est notablement abrégée ; avec le même four, qui donne 3-3,5 coulées par vingt-quatre heures, on atteint aisément quatre coulées en chargeant moitié fonte et moitié riblons.

L'acier extra-doux s'obtient également sans difficulté spéciale.

Notons enfin qu'on pourrait encore gagner une heure à une heure et demie par coulée en fondant à part, dans un petit four spécial, le mélange ferro-calcaire

E. DE LOISY.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MÉTROLOGIE

LA CONVENTION DU MÈTRE ET LE BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

PAR **Ch.-Éd. Guillaume** (1).

RÉSULTATS DES MESURES DE LONGUEUR

L'un des points essentiels du programme du Bureau international devait consister à fournir, aux États signataires de la Convention du Mètre, des étalons de longueur et de masse parfaitement étudiés. Nous avons vu déjà que la Commission internationale avait adopté, pour les étalons de longueur, une forme et une matière spécialement étudiées par Tresca et Sainte-Claire Deville. La construction de ces étalons incomba à la Section française, qui fit établir deux séries d'étalons; les uns, pour lesquels on utilisa une coulée faite au Conservatoire, contenaient de petites quantités de ruthénium et de fer, avec des traces de rhodium et de cuivre; les autres, livrés par MM. Johnson, Matthey et C^ie^, à Londres, et achevés par les soins de la Section française, furent trouvés, conformément aux indications de Sainte-Claire Deville, contenir presque exactement neuf parties de platine pour une d'iridium, sans impuretés appréciables. Les premières comparaisons destinées à mettre le Bureau en possession d'une copie du mètre des Archives furent exécutées, sous la surveillance d'une commission mixte (2), par MM. Benoît et G. Tresca.

Ces comparaisons eurent lieu au Conservatoire des Arts et Métiers, dans l'automne 1881 et dans l'hiver suivant. Elles furent exécutées, comme il a été dit, par la méthode optique, l'objet réfléchi dans chacune des faces terminales du mètre des Archives étant une pointe très fine en métal. La mise au point a toujours été contrôlée par le procédé Cornu, et on a fait varier la température entre 4° et 18°. L'étalon à traits désigné par le symbole I_2 dont la valeur a été déterminée par ces comparaisons fut remis au Comité international par la Section française en présence de M. Tirard, ministre du Commerce de la République française, le 22 avril 1882. L'équation résultant, pour cet étalon, de toutes les comparaisons réduites à 0° était égale à $+ 6\,\mu,03$; mais, considérant que le chiffre décimal était incertain de toute sa valeur, on a conservé pour cet étalon l'équation $+ 6\,\mu$.

(1) Voir le *Bulletin* d'août et d'octobre 1901.

(2) Membres de la commission, MM. Broch, Foerster, Stas, pour le Comité international; Dumas, Tresca, Cornu, pour la Section française.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Aussitôt en possession de cette copie du mètre des Archives, on s'occupa, au Bureau international, de créer une série d'autres étalons semblables, destinés à l'usage du Bureau, puis les étalons commandés par les États furent mis à l'étude au fur et à mesure de leur livraison par la Section française.

Détermination des subdivisions du Mètre. — Parmi les premiers étalons étudiés au Bureau international, se trouvait une règle normale, divisée en millimètres, et destinée à fournir des longueurs quelconques inférieures à 1 mètre. Son étude achevée, on se trouva en possession de décimètres, de centimètres et de millimètres parfaitement connus, et on put, en particulier, mesurer la valeur micrométrique des vis adaptées aux microscopes des divers comparateurs.

Il est superflu d'indiquer le détail des études très complètes auquelles la première règle normale fut soumise par M. Benoît. Depuis cette époque déjà lointaine, les procédés de recherche ont pu être un peu simplifiés, et il sera plus intéressant d'indiquer leur état actuel.

Remarquons d'abord que l'on peut posséder des étalons de toute longueur millimétrique inférieure à 1 mètre sans avoir à déterminer les erreurs de division de tous les traits d'une règle. Si l'on connaît la position de tous les traits centimétriques et celle des traits millimétriques du premier centimètre, on pourra toujours, en combinant un trait centimétrique avec un trait millimétrique, convenablement choisis, obtenir la valeur exacte d'une longueur quelconque. Ou bien aussi, le même résultat sera obtenu si l'on connaît tous les décimètres et les millimètres du premier décimètre. Dans les deux cas, le nombre des traits qu'il faut connaître est le même; mais la première combinaison a l'avantage de fournir un grand nombre d'intervalles centimétriques se contrôlant les uns par les autres. Ainsi, lorsqu'on voudra déterminer une longueur de 55 centimètres par exemple, on aura le choix entre quarante-six intervalles différents, dont le premier est compris entre les traits 0 et 550, le dernier entre les traits 450 et 1 000.

L'étude des subdivisions d'une règle a lieu, comme le calibrage d'un thermomètre, par la comparaison des divers intervalles entre eux. La règle étant portée dans un comparateur longitudinal, on place, sur le même support, et dans son alignement exact, une règle auxiliaire ayant 100 millimètres de longueur. L'un des microscopes vise alors le premier trait de cette règle (fig. 31, p. 461) et l'un des traits limitatifs de l'un des décimètres de la règle; puis, par un déplacement simultané des deux étalons portés sur le même chariot, on amène sous les microscopes le second trait de la règle auxiliaire et le second trait limitatif du décimètre qu'on lui compare. Lorsque cette opération a été faite pour tous les intervalles décimétriques de la règle, on connaît la différence de chacun d'eux par rapport à la règle auxiliaire, et par conséquent leurs différences entre eux.

A la rigueur, ces données suffiraient pour déterminer les erreurs de position

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de tous les traits décimétriques, mais elles seraient sans contrôle, et pourraient couvrir de grosses erreurs, telles que des fautes d'écriture, toujours possibles; de plus, l'incertitude des corrections, due à la simple addition des erreurs fortuites, irait en croissant des bouts au milieu de la règle.

Voici comment le contrôle est obtenu : les microscopes sont amenés à une distance de 200 millimètres environ, et on mesure, en fonction de cette distance, les intervalles 0-200, 100-300,... 800-1 000. Puis, les amenant à une distance de 300 millimètres, on leur compare les intervalles 0-300,... 700-1 000, et ainsi de suite, pour finir par une comparaison des intervalles 0-900 et 100-1 000. En faisant les différences, on élimine la distance des microscopes, qui n'a évidemment aucune signification, et de laquelle on n'exige que d'être peu variable pendant la mesure, les comparaisons étant toujours faites un certain nombre de fois à l'aller et au retour. La comparaison des décimètres est faite, en général, par un procédé plus compliqué, pour la seule raison que les grands microscopes

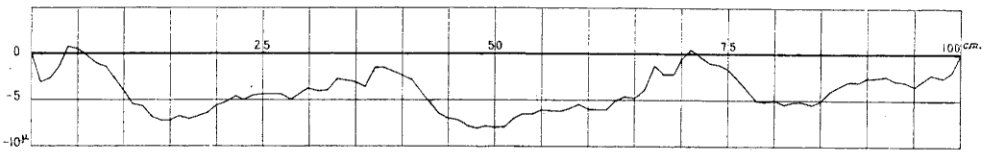


Fig. 46. — Résultat de l'étude d'une règle.

du comparateur universel ne peuvent pas être rapprochés jusqu'à 100 millimètres.

En traitant toutes les observations par un système de compensation très simple, on obtient les valeurs de tous les décimètres.

On établit ensuite la correspondance entre les décimètres deux à deux, le premier avec le sixième, le second avec le septième, etc., et on compare chaque centimètre de l'un avec tous les centimètres du correspondant, par la méthode suivante : les microscopes étant placés à 41 centimètres, on compare les intervalles 90-100 et 500-510, ou plutôt les intervalles 90-500 et 100-510. Puis, plaçant les microscopes à 42 centimètres, on fait les comparaisons 80-500, 90-510, 100-520, qui donnent la valeur relative des intervalles 80-90, 90-100, avec 500-510, 510-520, et ainsi de suite, pour finir par comparer les intervalles 0-10 et 590-600. Un même calcul donne alors les corrections de tous les centimètres des deux intervalles correspondants. La même opération, répétée pour tous les intervalles, fournit les corrections de tous les centimètres de la règle.

Le même procédé s'applique aux millimètres du premier centimètre, dont on choisit le correspondant en un endroit quelconque de la règle, par exemple à l'autre extrémité ou au milieu. De cette façon, un grand nombre d'intervalles millimétriques seront donnés par deux ou même par trois combinaisons dis-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tinctes, ce qui permet de choisir suivant la commodité de l'installation d'une expérience, et a, de toutes façons, l'avantage d'offrir un contrôle.

Les erreurs de division des règles modernes bien exécutées ne sont pas très considérables, et, surtout, elles présentent une continuité suffisante pour permettre au besoin une interpolation pour les millimètres. La figure 46 montre à titre d'exemple, les erreurs de division d'une règle construite par la Société genevoise et étudiée récemment.

ÉTUDES DES MÈTRES PROTOTYPES. DILATATION

Je donnerai maintenant un rapide résumé des travaux auxquels a conduit la détermination des étalons métriques de premier ordre distribués aux États.

Tout d'abord, il fallut déterminer leur dilatation. Cette opération fut exécutée par la méthode absolue pour l'une des règles, celle portant le numéro 6, et par la méthode relative pour les autres. De plus, toutes les règles appartenant au Bureau international furent étudiées par la méthode absolue, de telle sorte que l'on put établir une compensation entre tous les résultats absolus et relatifs obtenus.

Nous fûmes chargés, M. Benoît et moi, de l'ensemble de ces déterminations. Chacun de nous fit quarante séries de mesures de la longueur de la règle principale, à des températures comprises entre 0° et 38°, ordonnées en groupes alternativement ascendants et descendants. Puis, trente autres règles en plus des étalons du Bureau, lui furent comparées à huit températures. Voici un exemple d'une telle détermination :

Dilatation relative des règles N^os^ 1 et 6.

Températures.	[1] — [6]	Obs. — Calc.
°	μ	μ
0,139	+ 1,16	— 0,03
4,762	+ 1,26	— 0,16
10,548	+ 0,83	+ 0,23
21,217	+ 0,83	+ 0,17
24,606	+ 1,21	— 0,24
31,060	+ 0,77	+ 0,16
33,996	+ 1,16	— 0,24
37,298	+ 0,80	+ 0,09

Les observations des deux premières colonnes étant introduites dans la formule

$$y = x + \alpha t,$$

on détermine les valeurs de x et de α qui satisfont le mieux à l'ensemble des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

résultats observés; puis, reportant ces valeurs dans toutes les équations, on trouve les erreurs résiduelles inscrites dans la dernière colonne.

La comparaison nous dit que, pour chaque degré dont la température s'élève, la règle N° 1 se dilate de $0_{\mu},0063$ en moins que la règle N° 6 prise comme type.

On ne s'en tint pas là; à chaque extrémité de chacune des règles, on préleva un échantillon de 15 millimètres de hauteur, et M. Benoît détermina, au moyen de l'appareil Fizeau, la dilatation du métal de la moitié des règles. Les résultats de ces mesures, dont on ne tint pas compte, il est vrai, dans les équations finales, eurent néanmoins pour effet de donner un excellent contrôle de l'homogénéité de l'alliage.

Il est utile d'indiquer rapidement en quoi consiste une mesure au moyen de l'appareil Fizeau.

L'échantillon à étudier est d'abord placé sur les trois pointes repoussées dans la plate-forme (fig. 45, p. 481); puis, la lentille étant posée sur les trois vis, on éclaire le tout à la lumière du sodium descendant verticalement sur le trépied; on observe les franges à l'œil nu et on agit sur les vis de manière à modifier l'inclinaison de la lentille jusqu'à ce qu'on aperçoive un petit nombre de franges, 4 ou 5 par exemple, sur toute la surface de l'échantillon, ce qui accuse une variation d'épaisseur de la lame d'air, d'un bord à l'autre, inférieure à 2 microns. On place ensuite le trépied dans son étuve, puis on porte le tout à la température la plus élevée, de manière à bien lui donner son assise. Au bout d'une douzaine d'heures, on observe la température et on note la position des franges. On abaisse alors le thermo-régulateur et, douze heures plus tard, on peut faire une seconde observation. Une mesure complète comprend en général de 25 à 30 observations.

En définitive, le résultat compensé de toutes ces observations fournit une relation entre la dilatation des vis du trépied et celle de l'échantillon, exprimée en fonction de la longueur d'onde de la lumière employée, après qu'on a fait une petite correction pour tenir compte de la petite différence d'épaisseur égale à celle de la lame d'air. Toutes ces dimensions sont d'ailleurs mesurées au sphéromètre avec le plus grand soin.

Quant à la dilatation même du trépied, elle a été déterminée antérieurement par des observations faites par une méthode identique, en établissant des interférences avec une différence de marche de 10 millimètres environ.

Je n'insisterai pas, pour le moment, sur les corrections à appliquer aux mesures pour tenir compte de la variation de densité, et par conséquent d'indice de réfraction de l'air. Cette question sera étudiée plus tard, à propos des résultats généraux.

Équations des règles. — Le travail de détermination des règles de premier ordre devant être fondamental pour l'établissement du système métrique, il ne fallait

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

négliger aucune précaution pour assurer à cette étude le plus haut degré de perfection. Il fut donc décidé que les comparaisons seraient tout à fait symétriques et aussi nombreuses que le permettait le temps dont on disposait.

Le diagramme suivant, établi par le Dr O.-J. Broch, servit à organiser ces mesures :

On porta les numéros des règles en cinq rangées de six règles chacune, et on combina chaque nombre du tableau avec tous ceux de la même ligne et de la même colonne, ce qui donna toutes les combinaisons des règles que l'on devait comparer deux à deux entre elles. En outre, toutes furent comparées au prototype provisoire.

Chacune des combinaisons donna lieu à quatre comparaisons, faisant intervenir les règles dans des positions différentes et symétriques, après des retournements bout pour bout sous les microscopes, et un échange d'avant en arrière par rapport aux observateurs.

Le calcul de cet imposant ensemble de comparaisons, faites en majeure partie par MM. Boinot et Isaachsen, conduisit à une première valeur de chaque étalon en fonction du prototype provisoire. On choisit alors, parmi tous les étalons, celui dont l'équation, déduite du prototype, se rapprochait le plus de la valeur du mètre des Archives, savoir le N° 6, dont la valeur avait été trouvée égale à $I_2 - 5\mu,99$, et qui fut dès lors désigné par M.

La règle N° 6 fut alors mise en dehors du tableau, remplacée par une autre, et chacune des règles lui fut comparée. Enfin, un nouveau calcul fournit les équations définitives des étalons par rapport à la règle N° 6, qui fut déclarée le prototype international. La compensation de tous les résultats lui avait fait attribuer la valeur $I_2 - 6\mu,03$ à 0°, valeur qui, par un singulier hasard, se trouva être rigoureusement identique à celle qu'on s'était proposé de réaliser.

Les comparaisons qui viennent d'être décrites ont été faites au comparateur Brunner. Les microscopes de ce comparateur ont aussi servi à déterminer la valeur de chacun des millimètres tracés de part et d'autre des traits limitatifs des mètres, et destinés à servir pour la mesure de la tare des microscopes dans les comparaisons futures.

On se rendra compte de la perfection réalisée dans la confection des règles en comparant entre eux les nombres ci-dessous, qui montrent à la fois le degré d'homogénéité réalisé dans la fabrication de l'alliage (1), et la précision

(1) L'égalité des coefficients du terme en T^2 est arbitraire. Ce coefficient est très difficile à déterminer, et les observations ne pouvaient pas donner sa valeur avec une suffisante précision ; d'autres recherches avaient montré qu'il était certainement beaucoup plus semblable dans les diverses règles que les observations directes ne pouvaient l'indiquer ; on s'est donc borné à déduire ce coefficient d'une moyenne d'un grand nombre de règles, et à calculer le coefficient du terme en T, de manière à satisfaire le mieux possible aux observations.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

avec laquelle les tracés ont été faits par M. Gustave Tresca. Ces premiers résultats furent soumis à la Conférence générale de 1889 et sanctionnés par elle, après quoi les étalons furent attribués par tirage au sort aux États, ainsi qu'il est indiqué ci-après :

Prototypes en alliage pur.

$\mathfrak{M} = 1^m + 8\mu,651\ T + 0\mu,00100\ T^2$

$I_2 = 1^m + 6\mu,0 + 8\mu,644\ T + 0\mu,00100\ T^2$

Étalons.	Valeurs à 0°.	Dilatations.		États.
	m μ	μ	μ	—
N° 1 =	1 — 1,1	+ 8,657 T	+ 0,00100 T²	Italie.
N° 2 =	1 — 1,5	+ 8,665 T	—	Suisse.
N° 3 =	1 + 0,5	+ 8,642 T	—	Norvège.
N° 4 =	1 — 0,8	+ 8,632 T	—	France.
N° 5 =	1 + 2,3	+ 8,647 T	—	Finlande.
N° 7 =	1 + 0,3	+ 8,649 T	—	Bavière.
N° 8 =	1 — 0,4	+ 8,648 T	—	France.
N° 9 =	1 — 1,2	+ 8,643 T	—	Italie.
N° 10 =	1 — 0,8	+ 8,659 T	—	Portugal.
N° 11 =	1 — 0,3	+ 8,650 T	—	Acad. de Saint-Pétersbourg.
N° 12 =	1 — 0,3	+ 8,638 T	—	Belgique.
N° 13 =	1 + 0,3	+ 8,647 T	—	Bureau international.
N° 14 =	1 — 1,3	+ 8,646 T	—	Hongrie.
N° 15 =	1 — 0,9	+ 8,655 T	—	Autriche.
N° 16 =	1 — 0,6	+ 8,653 T	—	Grande-Bretagne.
N° 17 =	1 + 0,9	+ 8,653 T	—	Espagne.
N° 18 =	1 — 1,6	+ 8,642 T	—	Allemagne.
N° 19 =	1 + 1,1	+ 8,655 T	—	Autriche.
N° 20 =	1 + 0,8	+ 8,673 T	—	France.
N° 21 =	1 + 2,3	+ 8,665 T	—	États-Unis.
N° 22 =	1 — 1,3	+ 8,667 T	—	Japon.
N° 23 =	1 — 1,0	+ 8,661 T	—	Belgique.
N° 24 =	1 + 1,8	+ 8,670 T	—	Espagne.
N° 25 =	1 + 0,7	+ 8,648 T	—	Mexique.
N° 26 =	1 + 0,9	+ 8,647 T	—	Bureau international
N° 27 =	1 — 1,6	+ 8,657 T	—	États-Unis.
N° 28 =	1 + 0,5	+ 8,650 T	—	Russie.
N° 29 =	1 — 2,8	+ 8,674 T	—	Suède.
N° 30 =	1 + 2,8	+ 8,638 T	—	Serbie.
N° 31 =	1 + 0,6	+ 8,658 T	—	France.

Prototypes en alliage du Conservatoire.

Étalons.	Valeurs à 0°.	Dilatations.		États.
	m μ	μ	μ	—
N° 1 =	1 + 8,3	+ 8,637 T	+ 0,00100 T²	Belgique.
N° 3 =	1 + 2,7	+ 8,624	—	Danemark.
N° 12 =	1 + 3,3	+ 8,634	—	États-Unis.
N° 13 =	1 + 3,3	+ 8,633	—	Bureau international.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Une autre série, moins importante, d'étalons de platine iridié fut étudiée ultérieurement et ces étalons furent distribués, à partir de 1892, aux États dont les commandes étaient parvenues trop tard au Comité international.

Précision des résultats. — Il est intéressant de se demander quel est l'ordre de l'exactitude atteinte dans ces diverses déterminations, et quel est le degré d'uniformité qui a été garanti dans l'établissement du Système métrique par la distribution des étalons de premier ordre à tous les États ayant adhéré à la Convention du mètre. On pourrait, à cet égard, suivre un procédé pour ainsi dire automatique, et consulter la valeur des erreurs probables des équations trouvées; mais il est certainement plus correct d'examiner en détail chacune des phases de l'opération très complexe qui a conduit à ce résultat, et d'en déduire une estimation globale de l'erreur restante. C'est ce qu'a fait M. Benoît, dans son rapport présenté à la Conférence générale de 1889, en un passage qui mérite d'être textuellement rapporté.

« Si l'on considère en effet :

« 1° Que l'erreur probable de la détermination d'une règle par rapport au prototype international, résultant des comparaisons au comparateur Brunner, a été trouvée de $\pm 0\mu, 04$ pour les règles de la première série, et de $\pm 0\mu, 06$ pour les règles de la seconde;

« 2° Que l'incertitude du coefficient de dilatation du prototype international paraît difficilement, d'après la concordance extrêmement satisfaisante des déterminations directes et des vérifications indirectes de ce coefficient, devoir faire craindre des erreurs qui dépasseraient $+ 0\ \mu, 1$ dans les longueurs calculées du prototype, entre les limites de température des observations;

« 3° Que les déterminations des coefficients de dilatation des autres prototypes, par la méthode relative, peuvent faire craindre à leur tour, en moyenne, des erreurs qui seraient, dans le même intervalle de température, un peu plus grandes, sans dépasser pourtant beaucoup cette limite;

« 4° Que les erreurs introduites par l'emploi de ces coefficients, pour les réductions des observations de la température de comparaison à la température zéro, ont dû nécessairement se compenser dans une certaine mesure, et s'éliminer partiellement, aussi bien que les erreurs des comparaisons elles-mêmes, par l'effet des combinaisons variées suivant lesquelles les règles ont été comparées, et des différences de température de ces diverses comparaisons;

« 5° Que, en outre, les erreurs restantes, du fait de ces coefficients de dilatation, se trouvent combinées, dans les équations finales de toutes les règles, avec les erreurs des comparaisons elles-mêmes, de manière à donner au résultat total une probabilité qui croît à partir de zéro et tend vers un maximum pour les températures voisines des températures ambiantes ordinaires; qu'en conséquence, il est permis de s'attendre à ce que, dans toute application de l'équation

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'une règle à des opérations faites à la température ordinaire d'un laboratoire, une part au moins de ces erreurs devra disparaître;

« On pourra conclure que les équations des prototypes données ci-après conduiront à la connaissance des longueurs absolues de ces prototypes avec une incertitude probable moyenne qui, dans les conditions habituelles des opérations métrologiques, c'est-à-dire jusqu'à 20° ou 25° de température, sera comprise entre $0^{\mu},1$ et $0^{\mu},2$, et dépassera peut-être un peu cette dernière limite pour des températures plus élevées. Telle est, en effet, l'évaluation de l'approximation qui nous paraît réellement avoir été atteinte. Une étude attentive de tous les détails de cette longue et complexe suite d'opérations nous a convaincu que, si le travail était intégralement recommencé, la discordance moyenne entre les nouveaux résultats et les anciens pourrait être très sensiblement de l'ordre de grandeur que nous venons d'indiquer(1). »

Les étalons ayant été distribués comme il a été dit précédemment, le mètre prototype international fut enfermé dans un caveau, d'où il ne sortit plus que pour des comparaisons importantes faites en 1892. Depuis cette époque, il n'a pas été extrait du caveau, et tous les résultats fournis par le Bureau international ont été déduits des étalons qui lui avaient été attribués, le mètre n° 26, la règle n° 13 de l'alliage du Conservatoire, puis, plus tard, comme contrôle, d'une autre règle en alliage Matthey, désignée par le symbole T_3, et qui avait été comparée au prototype international. Ce dernier est accompagné d'un mètre témoin, le n° 13 de l'alliage Matthey, attribué par le sort au Bureau.

PERMANENCE DES ÉTALONS

Les considérations qui précèdent nous renseignent sur l'homogénéité atteinte dans la diffusion de l'unité métrique au moment même des comparaisons ou très peu après cette époque. Mais il est légitime de se demander si la conservation des étalons sera suffisamment parfaite pour que l'exactitude des déterminations ne soit pas en partie illusoire. A cette question, d'une importance capitale pour la permanence du Système métrique, la comparaison des règles permet de répondre par une probabilité. On pourrait penser, il est vrai, que, toutes les règles se modifiant lentement et simultanément, leurs équations relatives devront rester identiques si même leur valeur absolue a changé. Cependant, les observations peuvent donner une certitude un peu plus grande. Parmi les étalons comparés au Bureau international, il en est d'époques diverses et de fabrications différentes. Certains d'entre eux n'ont été employés qu'exceptionnellement, et

(1) *Travaux et Mémoires*, t. VII, p. 81.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

OBSERVATEURS.	DATES.	DÉBUT	l_2	26	T_2	13	T_1	T_2	IV
			μ	μ	μ	μ	μ	μ	μ
Benoit.	1881	l_2, T_1 et T_2	»	»	»	+ 3,26	(+ 76,07)	(+ 80,63)	»
—	1882	l_2	»	»	»	»	+ 76,07	+ 80,63	»
—	1884	l_2	»	»	»	+ 2,81	+ 75,80	+ 80,32	»
Boinot.	1888	l_2	»	»	»	+ 2,93	+ 75,58	+ 80,31	— 26,82
Boinot et Isaachsen. .	1889	l_2 et M	+ 6,03	+ 0,85	»	+ 3,30	»	»	»
Benoit, Guillaume et Ozenne.	1892	M	»	»	+ 1,55	»	»	»	»
Benoit, Chappuis et Guillaume.	»	M	»	+ 0,75	»	»	»	»	»
Benoit et Guillaume. .	1894	26	»	+ 0,89	+ 1,52	+ 3,33	+ 75,65	+ 80,22	— 26,62
MOYENNES.			+ 6,03	+ 0,80	+ 1,53	+ 3,13	+ 75,73	+ 80,37	— 26,72

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sont restés, pendant des périodes très longues, enfermés dans un caveau à une température presque constante, tandis que d'autres ont été soumis à des variations fréquentes et étendues de la température, de telle sorte que, s'il existe quelque variation absolue, elle se manifestera probablement par des changements relatifs avec le temps.

En rassemblant les résultats obtenus, en diverses circonstances, par la comparaison des règles du Bureau international, on peut établir le tableau ci-contre des équations par rapport au prototype international.

Quelques mots d'explication sont ici nécessaires : les mètres M, 26, T_3 et 13 sont les seuls qui possèdent un tracé parfait. Les règles T_1 et T_2, faites en 1880, ont des traits très larges et sur poli mat. Les traits de la règle IV sont défectueux. On ne pourra donc apprécier, avec les exigences actuelles, et imposer les limites de précision que l'on pense avoir obtenues récemment qu'aux règles du premier groupe. Or on voit immédiatement que, pour toutes les comparaisons faites entre ces étalons seuls, la concordance est parfaite entre des observations distantes de plusieurs années. Le résultat apparemment différent trouvé avec les règles T_1 et T_2 ne peut pas lui être sérieusement opposé. On remarquera, en effet, que ces étalons n'ont jamais été comparés *directement* au prototype international, auquel tous les résultats sont rapportés, et que, de plus, la comparaison avec la règle n° 13, faite en 1881, conduit à un résultat pratiquement identique à ceux trouvés pour cette règle, en 1889 et 1893. Le premier de ces nombres avait été déduit d'une comparaison avec T_1 et T_2, comparés eux-mêmes à I_2.

Le tableau ci-contre confirme donc tout d'abord l'indication donnée au sujet de la limite de précision atteinte dans les comparaisons, et rend très improbable une variation relative des étalons.

ÉTALONS A BOUTS

Quelques États avaient demandé, dès l'origine des travaux de la Commission internationale du Mètre, qu'il leur fût remis des étalons à bouts en platine iridié, d'une construction très parfaite. La confection de ces étalons et leur détermination fut entreprise après celle des mètres à traits. Leur section, calculée par H. Tresca, était celle d'un X symétrique par rapport à un plan horizontal. Les extrémités, travaillées optiquement par M. Gustave Tresca, étaient perpendiculaires à la règle.

On employa, pour déterminer ces étalons, le procédé optique précédemment décrit, et, pour quelques-uns d'entre eux, celui des palpeurs. C'est au cours de ces mesures que l'on fut conduit à faire la critique du procédé optique, et, finalement, on convint d'adopter, pour les *différences* des règles, celles qui avaient été données par le procédé optique, tandis que leur valeur absolue fut déduite des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

comparaisons faites par les palpeurs. Malgré des mesures très nombreuses et de minutieuses vérifications, il ne sembla pas, finalement, que les équations de ces étalons fussent, à beaucoup près, déterminées avec la même certitude que celles des étalons à traits.

ÉTALONS DIVERS

Les attributions du Bureau international ne sont pas limitées, ainsi que nous l'avons vu, à la détermination de tous les éléments des étalons métriques. Il a aussi pour mission l'étude des étalons anciens ou de ceux d'autres systèmes de mesures encore en usage, et dont il est intéressant de connaître la relation exacte avec le mètre. Enfin, conformément au vœu émis par l'Association géodésique internationale en 1867, il a, dans son programme général, l'étude des étalons employés à la mesure de la Terre.

Ces divers travaux ont constitué une part d'autant plus importante dans les occupations du Bureau international, que les étalons qui viennent d'être énumérés présentent entre eux de grandes différences quant à leur forme, à leur construction, à la perfection de leur définition, soit par des traits, soit par des surfaces, et ont obligé à créer des appareils auxiliaires presque pour chaque cas particulier. Il est d'ailleurs assez difficile d'établir entre eux une classification, certains de ces étalons ayant été employé en Géodésie et dans le Service des Poids et Mesures. Tel fut le cas, par exemple, de la toise de Bouguer et La Condamine, dite toise du Pérou, qui resta, jusqu'à l'avènement du système métrique, l'étalon fondamental des mesures de l'ancien système français. Nous ne pourrons donc les passer en revue que dans un ordre imparfait. Les quelques détails qui seront donnés à propos de chacun d'eux en montrera bien toute la diversité.

Toise du Pérou et règles de Borda. — La célèbre Toise du Pérou est une barre plate en fer, terminée par deux talons dont la distance, prise à une ligne du fond, définit la valeur. En outre, deux points marqués dans le prolongement des talons en donne une autre valeur, qui, dans tous les usages, fut considérée comme identique avec la première. Cette toise fut doublée pour constituer l'une des règles de Borda, d'où l'on partit pour déterminer le mètre. Si donc, pratiquement, le mètre fut déduit, comme nous l'avons vu, du Module de Borda, sa valeur numérique, au moment du passage d'un système à l'autre, fut indiquée en fonction de la Toise du Pérou. La relation admise était :

$$1 \text{ toise} = 1{,}949\,036\,6 \text{ mètre, ou } 1 \text{ mètre} = 0{,}513\,074\,0 \text{ toise.}$$

Cette toise fut déterminée, en 1887 et en 1890, par rapport aux étalons du Bureau, par M. Benoît, qui fit, dans les premières comparaisons, des détermi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nations dans l'air, à des températures comprises entre 3°,22 et 18°,87, et en déduisit un coefficient de dilatation égal à 0,00001156, tandis que les nouvelles comparaisons, comprenant 48 mesures, furent limitées à des températures comprises entre 16°,23 et 18°,33, enserrant de près la température de 16°,25 C. (13° R), à laquelle cet étalon était défini. Pour ces comparaisons, la règle était prise entre deux pièces d'acier, la touchant par la génératrice d'un cylindre, et que l'on rapprochait ensuite. Les pièces utilisées étaient au nombre de huit, formant six combinaisons indépendantes.

L'état de la Toise, assez défectueux si on le compare à la perfection des étalons actuels ne permit pas d'atteindre dans ces mesures une très grande exactitude; quelques-unes d'entre elles donnèrent, en effet, des résultats s'écartant de la moyenne d'un peu plus d'un centième de millimètre. Cependant, les déterminations de 1887 et celles de 1891 ne diffèrent de leur moyenne commune que de 3μ environ.

La toise à points fut déterminée par des visées au microscope. Mais, ces points, qui avaient servi aux opérations faites avec les compas à verge, sont aujourd'hui en très mauvais état, et les pointés laissent une assez grosse incertitude.

Les valeurs trouvées finalement par M. Benoît sont les suivantes :

	m
Toise à points. . . .	1,949001;
Toise à bouts	1,949090.

Ces résultats sont rapportés à la température de définition, c'est-à-dire à 16°,25 C. Ils concordent entre eux dans les limites du dixième de millimètre qu'on n'avait pas prétendu dépasser dans la confection de la toise.

Les quatre règles de Borda ont été décrites précédemment. Leur étude au Bureau international consista d'abord dans la détermination de leur longueur, à l'aide de palpeurs. Ces mesures ont été faites sans que les règles eussent quitté leurs supports de bois; puis elles en furent retirées, et on détermina leur dilatation en se repérant sur des traits tracés à la distance de 3 mètres. Ce travail a été fait entièrement au comparateur géodésique, et, comme la longueur des règles, égale à 2 toises, est peu inférieure à 4 mètres, on donna aux palpeurs une longueur telle que la règle, ainsi complétée, atteignît 4 mètres entre repères. La valeur des palpeurs, entre les mêmes repères, fut ensuite déterminée au comparateur universel.

Borda indique, dans son rapport inséré dans le célèbre ouvrage *Base du Système métrique*, que le mètre doit être égal à $0^{mod},256\,537$, d'où l'on déduit : Module $= 3^{m},898\,073$.

Il indique en outre :

$$[2] = M - 4^{\mu}; \quad [3] = M - 8^{\mu}; \quad [4] = M - 8^{\mu}.$$

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Or, les mesures, faites par M. Benoît et moi en 1894, ont donné :

		m	Différences.
A 16°,25	Module	= 3,898 068	— 5μ
—	N° 2	= 3,898 014	— 55
—	— 3	= 3,898 057	— 8
—	— 4	= 3,898 084	— 19

La dernière colonne indique les différences par rapport aux valeurs de Borda. Une seule d'entre elles est importante et dépasse sensiblement les limites de la précision que l'on prétendait atteindre à la fin du XVIII^{e} siècle. Or un procès-verbal conservé aux archives du Bureau des Longitudes (1) constate que, au cours d'une mesure faite ultérieurement aux environs de Brest, cette règle tomba sur les chevalets, et dut être redressée.

L'erreur commise dans le passage du module au mètre est si petite qu'on est obligé d'attribuer une concordance aussi remarquable à une part d'heureuse chance. Nos propres observations supporteraient facilement une partie de la différence, et, d'autre part, la comparaison du mètre des Archives avec le mètre I_2 ne peut prétendre à une exactitude meilleure que le micron.

Toise de Bessel et toise n° 9 du Bureau géodésique prussien. — La toise dont Bessel a fait le point de départ de ses célèbres mesures a joué un rôle important dans la géodésie de l'Europe centrale. C'est à elle, en effet, qu'ont été comparés directement ou indirectement la plupart des étalons géodésiques qui ont été employés en Allemagne et dans les pays voisins depuis sa construction par Fortin, en 1823, jusqu'à la création du Bureau international.

Cette toise est constituée par une barre de fer doux à bouts plans, d'un poli médiocre. Comparée par Arago et Zahrtmann à la toise du Pérou, elle fut trouvée plus courte que cette dernière de 1/1278 de ligne, c'est-à-dire de 1μ,8.

La toise n° 9 est aussi en fer, à section rectangulaire. Elle se prolonge par de petits cylindres tournés avec des surfaces terminales en saillie et parfaitement polies. Elle porte une inscription indiquant qu'elle a été trouvée de $0^{lig},00331$ (7μ,4) plus longue que la toise de Bessel.

M. Benoît a trouvé, pour ces deux étalons, les valeurs, à 16°,25 C. et les dilatations suivantes :

	m	
Toise de Bessel.	1,949 061	α = 0,000 011 60
— N° 9	1,949 067	α = 0,000 011 06

On voit tout d'abord que la comparaison entre ces toises avait donné un résultat très sensiblement exact. Mais la valeur de la toise de Bessel qui, suivant

(1) Voir WOLF, *Recherches historiques sur les étalons des poids et mesures de l'Observatoire de Paris*, etc. (*Annales de l'Observatoire, Mém.*, t. XVII, p. 37).

Comptes rendus de l'Académie des sciences, t. CXII, p. 770; 1891.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

le rapport légal alors admis entre le mètre et la toise du Pérou, devait être égale à 1,9490348, se trouve être de 26μ.2 plus grande, ou, en valeur relative, de 1/74 000.

Toutes les longueurs exprimées en valeurs métriques en partant de cette toise doivent être augmentées dans cette proportion. Or, comme le faisait remarquer M. le général Derrécagaix, lorsque les résultats des mesures de M. Benoît furent connus, la triangulation française, comparée par les côtés communs à celle des pays dans lesquels on était parti de la toise de Bessel, accuse une différence systématique dont la moyenne est de 1/66 000. Donc, en définitive, si l'on corrige les résultats d'après les comparaisons récentes, on ramène la discordance à n'être plus que de 1/600 000, quantité qui est à la limite de précision des opérations géodésiques.

Par les comparaisons qui viennent d'être indiquées, on put ainsi faire disparaître une anomalie jusque-là inexplicable, et qui avait conduit les géodésiens à épuiser toutes les hypothèses pour arriver à en trouver la cause.

La double-toise N de Poulkovo et les doubles-toises autrichiennes. — Le premier de ces étalons est constitué par une robuste barre de fer, dont les extrémités, tournées en goujons, ont leurs faces terminales parfaitement polies. Il avait été comparé en 1852, à Poulkovo, à une copie de la toise de Bessel, puis en 1869, par Clarke, à Southampton, à d'autres copies de la même toise, enfin à Berlin, en 1877, à la toise n° 9 dont il vient d'être question. Les comparaisons au Bureau international ont été exécutées par M. Sokoloff et moi, en 1893. En adoptant la valeur correcte de la toise de Bessel et de celles qui en dérivent, on trouve les valeurs suivantes fournies par ces quatre groupes de comparaisons, à 16°,25 (1) :

	m
Poulkovo, 1852.	3,898 153
Southampton. 1869.	3,898 164
Berlin, 1877..	3,898 143
Sèvres, 1893	3,898 162

On signala, dès le début, dans les comparaisons de Berlin, faites avec interposition d'une lame de verre, une cause d'erreur dont la correction devrait augmenter un peu le résultat. Jusque-là, on avait adopté pour la double toise N la valeur 3m,898 101. Or, comme toutes les mesures géodésiques faites en Russie avaient été rapportées à cet étalon, on a été conduit à en modifier sensiblement les résultats.

Les doubles-toises autrichiennes sont des barres plates en fer, à bouts plans, portées sur des poutres en bois. Leur construction remonte à l'année 1810.

(1) A. Sokoloff, Comparaison de la double-toise N de l'observatoire de Poulkovo avec le mètre international (*Bull. de l'Acad. imp. des Sc. de Saint-Pétersbourg*, 1894).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Elles ont été déterminées, comme les règles de Borda et la règle N, au moyen de palpeurs qui les complétaient à 4 mètres. Les mesures de leur équation et celle de leur dilatation ont été exécutées par M. Benoît et moi, en 1894. La comparaison antérieure de ces règles au mètre avait été fort médiocre; en revanche, leur détermination en fonction de la toise de Vienne (*Wienerklafter*) avait été bien faite par Stampfer en 1850. On put, dès lors, déduire des nouvelles comparaisons à la fois la valeur métrique de la triangulation autrichienne et celle de la toise de Vienne, dont la valeur, d'après cet ensemble de comparaisons, est égale à $1^{m},896513$.

Le yard. — Le rapport légal du yard au mètre avait été déduit des comparaisons faites par Arago et Kater, qui avaient conduit à admettre :

1 yard = 0,914383 mètre ou 1 mètre = 39,37079 pouces.

Les comparaisons de Clarke avaient fourni, pour la valeur du yard, un résultat supérieur de 1/100 000 au nombre qui précède, et M. Tittmann avait adopté, d'après un ensemble de comparaisons diverses, un nombre encore plus élevé. L'incertitude de ces résultats rendait nécessaire une nouvelle comparaison précise et systématique, qui a été faite, en 1895, par M. Benoît. Dans ce but, deux étalons du Yard, comparés à l'*Imperial standard*, furent envoyés au Bureau international, où ils furent à leur tour comparés à une règle divisée, l'une en bronze (N), l'autre en platine iridié (IV), puis comparés de nouveau entre eux. L'équation relative de chacune des règles a été établie par seize séries de comparaisons, faites en doublant les huit combinaisons de position de deux règles, l'une par rapport à l'autre. Bien que les dilatations des diverses règles fussent connues, on s'attacha à ne faire les comparaisons qu'à des températures assez voisines de celle à laquelle le yard est défini, savoir 16°,667 C. (62° Fahrenheit).

En réduisant le tout à la température moyenne de 15°,5, on trouva les résultats immédiats donnés ci-après (P.C.VI et N° 12, yards en bronze: N et IV (1), règles du Bureau international) :

		μ	μ
P.C.VI	— N	= + 92,62	— 0,10
N° 12	— N	= + 99,00	+ 0,41
P.C.VI	— IV	= + 278,58	— 0,16
N° 12	— IV	= + 284,95	— 0,15
P.C.VI	— N° 12	= — 6,37	+ 0,25
IV	— N	= — 185,95	— 0,31

Les erreurs résiduelles inscrites dans la dernière colonne, et résultant de la compensation de ces six résultats partiels combinés entre eux pour donner la valeur relative des quatre règles, montrent bien le degré de précision atteint dans ces mesures très importantes.

(1) Respectivement entre les divisions 80-994 et 6-920.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La conclusion finale de ce travail est contenue dans les relations suivantes :

1 yard = 0,9143992 mètre ou 1 mètre = 39,370113 pouces.

valeurs qui diffèrent de 1/57 000 de celle qui avait été admise jusque-là. Le rapport légal a été modifié à la suite de ces mesures.

ÉTALONS GÉODÉSIQUES MODERNES

Tous les étalons géodésiques modernes sont des règles à traits ayant en général, 4 mètres de longueur. Leur emploi sur le terrain est le suivant :

Les extrémités d'une base géodésique, dont la longueur est de quelques kilomètres, sont marquées par des repères scellés dans le sol. Un chevalet portant

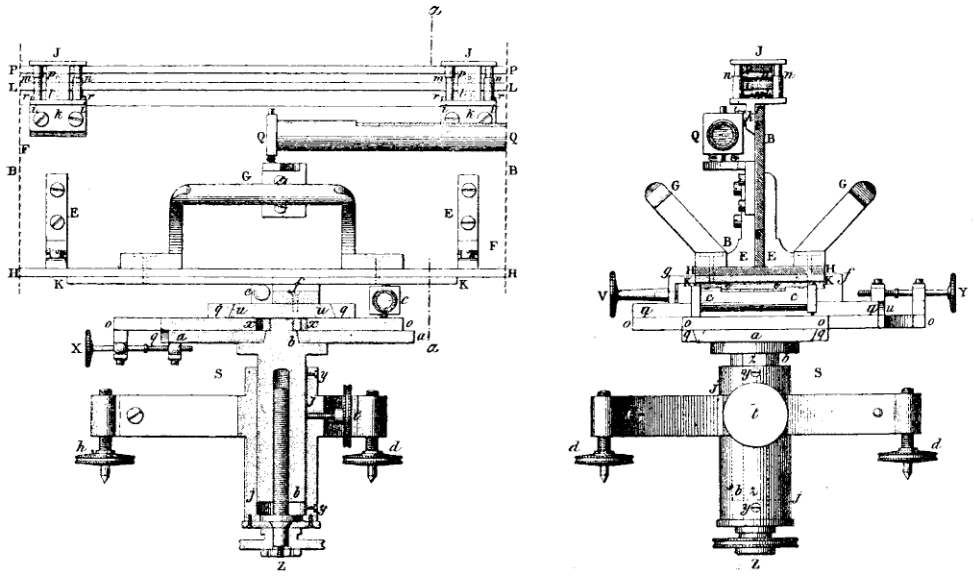


Fig. 47. — Règle géodésique sur le terrain; détail des supports.

une lunette plongeante est d'abord placé au-dessus du premier repère, de manière à faire coïncider l'image de ce dernier avec le réticule de la lunette. Celle-ci est alors remplacée par un microscope à court foyer, qui constitue le point de départ de la mesure. A une distance de 4 mètres de ce premier microscope, on en place un second, aligné dans la direction de la base, et entre les deux, en des points déterminés d'avance, on pose deux autres supports (fig. 47) munis d'organes de réglage, et sur lesquels on dispose la règle, dont on amène l'un des traits limitatifs dans le champ du premier microscope, tandis que l'on achève de régler le second de manière à pouvoir pointer l'autre trait limitatif (fig. 48, ensemble). On mesure alors, au moyen de la règle, la distance des microscopes, puis on

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

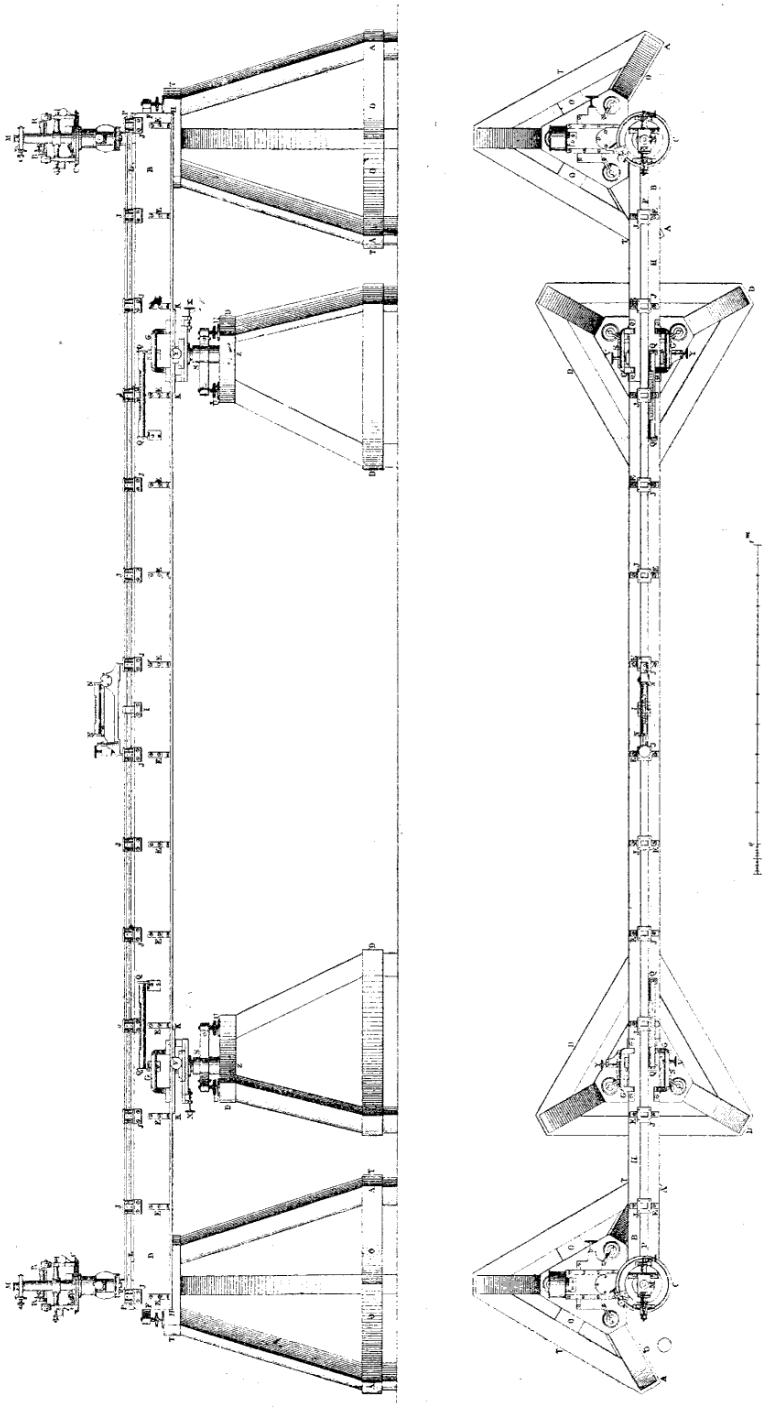


Fig. 48. — Règle géodésique sur le terrain ; élévation et plan.
(D'après Ibañez et Saavedra : *Expériences faites avec l'appareil à mesurer les bases.*)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

reporte en avant celui qui était en arrière, on transporte simultanément les supports et la règle, on détermine une seconde portée de 4 mètres, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on atteigne l'autre extrémité de la base ou un repère de fin de journée qui fait intervenir de nouveau la lunette plongeante. Les appareils sont couverts d'une baraque, les protégeant contre les variations trop brusques de la température, et que l'on transporte en même temps.

On comprend que, malgré cette précaution, la mesure de la température vraie

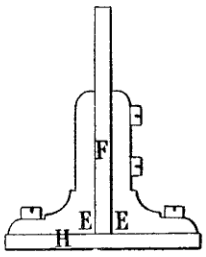


Fig. 49 *a*.

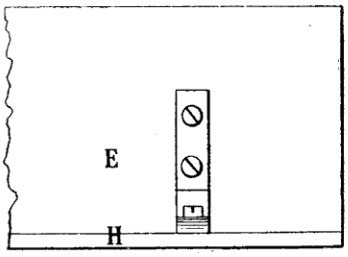


Fig. 49 *a'*.



Fig. 49 *b*.

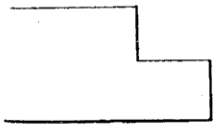


Fig. 49 *b'*.

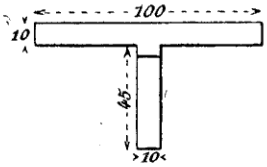


Fig. 49 *c*.

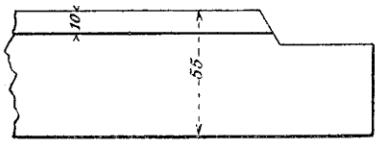


Fig. 49 *c'*.

Règles géodésiques monométalliques.

des étalons constitue l'une des difficultés principales d'une mesure de base. Certaines règles monométalliques, munies de thermomètres appliqués contre la barre, sont employées sans autre protection que celle de la baraque. Dans d'autres cas, on maintient la règle en permanence plongée dans l'eau ou noyée dans de la glace pilée, ce qui complique singulièrement les transports et les manipulations. Enfin, à l'exemple de Borda, on emploie fréquemment aujourd'hui le système bimétallique platine-laiton.

Parmi les règles-étalons ayant joué un rôle important dans la géodésie

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

du dernier quart de siècle, il convient de citer les étalons en fer du général Ibañez et du Service géographique de l'armée française, constitués par de robustes barres obtenues par l'assemblage, au moyen d'équerres E, d'une lame verticale F, avec une lame horizontale H (fig. 49 *a* et *a'*); la règle de 10 pieds anglais appartenant au Service géodésique de la colonie du Cap, se composant d'une simple barre très robuste, entaillée à ses extrémités, de manière à mettre à découvert le plan des fibres neutres (fig. 49 *b* et *b'*); cette barre, enfermée dans une boîte de bois, est accompagnée de deux thermomètres, dont les réservoirs sont noyés dans des trous pratiqués à sa partie supérieure; les règles de Suède,

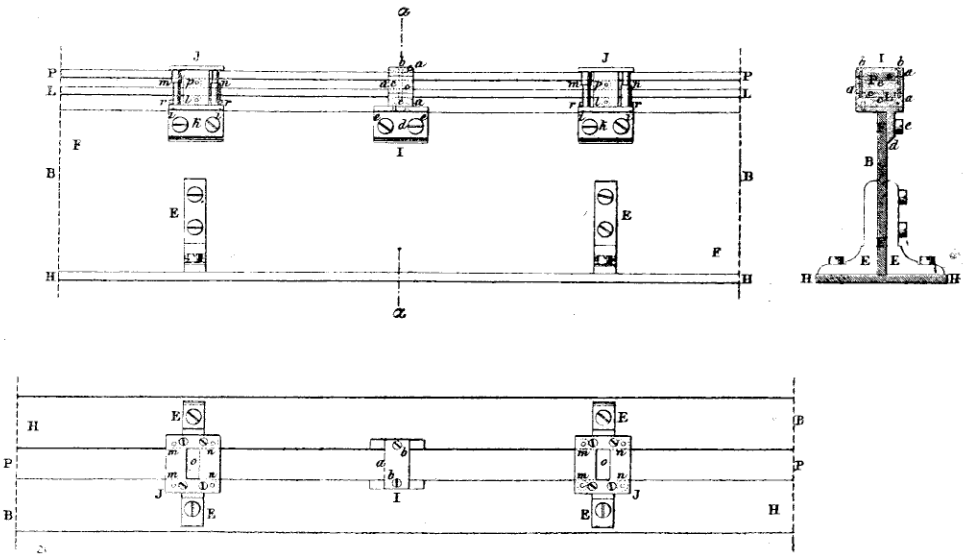


Fig. 50. — Règle géodésique bimétallique; plan, élévation et coupe.

de Norvège et de la République Argentine (fig. 49 *c* et *c'*), en fer doux de Suède, d'une seule pièce, entaillées aux extrémités jusqu'au plan des fibres neutres. Les éléments de ces trois étalons identiques ont été calculés par le Dr O.-J. Broch.

Les règles bimétalliques importantes ont toutes été construites par Brunner; elles sont au nombre de cinq appartenant respectivement à la France, à l'Espagne, à l'Allemagne, à l'Italie et à l'Égypte. Elles se composent (fig. 50) d'un support de fer H E F semblable à la barre constituant la règle monométallique Ibañez, au sommet duquel on a fixé un certain nombre de pièces de laiton J portant deux rouleaux superposés sur lesquels viennent se placer une règle de laiton L et une règle de platine P. Une fenêtre pratiquée dans cette dernière (fig. 51) laisse émerger une pièce fixée à la règle de laiton, portant une division qui vient affleurer en regard d'une autre division pratiquée sur le bord de la fenêtre. On

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

lit, à chaque portée, à la fois le trait principal de la règle de platine et la division de la règle de laiton la plus voisine, ou aussi les deux traits comprenant entre eux celui de la règle de platine, et l'on en déduit, au moyen d'une table calculée d'avance, la longueur de la règle de platine, considérée comme étalon principal.

La discussion des avantages et des inconvénients des deux systèmes d'étalons nous entraînerait loin de notre sujet ; d'ailleurs, nous aurons l'occasion de mentionner quelques progrès réalisés dans la construction de ces étalons à la suite des travaux faits au Bureau international. Pour le moment, il suffira d'indiquer rapidement les études auxquelles ont donné lieu les étalons qui viennent d'être énumérés, études analogues à celles qui ont été exécutées sur deux règles de fer faisant partie de l'outillage du comparateur géodésique. Ces règles, désignées par G_1 et G_2, sont semblables à la règle de fer du général Ibañez. Les

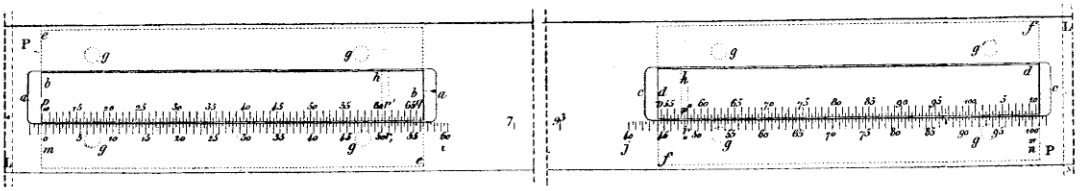


Fig. 51. — Règle géodésique ; fenêtre de la règle de platine (vraie grandeur).

tracés en sont cependant plus fins et pratiqués sur des goujons de platine iridié, enfoncés profondément dans la face supérieure de la règle qu'ils affleurent.

L'étude de ces divers étalons a consisté en des étalonnages répétés, en partant d'un mètre étalon, vérifiés par des comparaisons directes des longueurs correspondantes, et notamment de leur longueur totale, et enfin, en une mesure très complète de leur dilatation.

Les mesures de dilatation au comparateur géodésique sont très pénibles. Il s'agit, en effet, d'amener à des températures différentes, et d'y maintenir, dans d'étroites limites, deux auges de 4 mètres de longueur, et de plus de 50 centimètres de largeur et de profondeur ; puis, lorsque la température est parfaitement réglée, d'effectuer une série de comparaisons des deux règles dont une, ramenée chaque jour à la même température, sert de terme fixe, et dont l'autre est à l'étude. Or, lorsque la température que l'on veut atteindre pour l'une des auges est très éloignée de la température ambiante, le réglage exige une douzaine d'heures, et les observations plusieurs heures. La préparation de l'expérience, commencée par un aide, débute vers 4 heures du matin, et dure jusqu'au milieu de l'après-midi. Les mesures, faites en double, prennent souvent

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

une partie de la soirée. De cette façon, en une forte journée de travail, chacun des observateurs arrive à déterminer un couple de valeurs correspondantes de la température et de la longueur de la règle, c'est-à-dire à marquer un point sur la courbe des dilatations. On voit qu'avec les arrêts inséparables d'opérations aussi pénibles, une détermination complète, comprenant en général vingt mesures exige bien près d'un mois de travail.

L'étude des règles du Bureau international a été faite en 1884 par M. Benoît, avec ma collaboration. Malgré des difficultés de toute nature, augmentées du fait que le comparateur géodésique n'avait pas encore fonctionné, et nécessita quelques retouches au cours du travail, les résultats furent très concordants; en effet, les dilatations trouvées par chacun des observateurs ont été les suivantes :

Étalons.	Obs.	Formules.	Allongements de 0° à 40°.
Règle G_1.	B	$\alpha = (11\,439 + 7{,}32\,t)\,10^{-9}$	1 877 μ
	G	$(11\,440 + 7{,}52\,t)\,10^{-9}$	1 878
Règle G_2.	B	$(11\,403 + 7{,}96\,t)\,10^{-9}$	1 875
	G	$(11\,389 + 8{,}14\,t)\,10^{-9}$	1 874

La concordance ressort surtout de la comparaison des allongements calculés entre 0° et 40°, c'est-à-dire sur un intervalle plus étendu que celui des mesures directes.

Règles bimétalliques de l'Institut géodésique prussien, du Service géographique de l'Armée française, et de l'Institut géodésique d'Espagne. — Ces trois règles, sur lesquelles repose la triangulation de plusieurs grands pays, ont été soumises à des études très complètes et qui, pour les deux premières, ont été répétées à diverses reprises, après les mesures fondamentales sur le terrain.

Pour la première et la troisième, les études ont été faites par M. Benoît avec ma collaboration. Pour la règle française, les mesures ont été dirigées aussi par M. Benoît, mais avec la collaboration de MM. le commandant (aujourd'hui colonel) Defforges, et MM. les commandants Bourgeois, de Mussy, de Fonlongue, Barisien et Tracou. L'ensemble de ces études n'a donné lieu jusqu'ici qu'à des rapports présentés au Comité international, et insérés soit dans les *Procès-verbaux*, soit dans les *Rapports aux Gouvernements* et à des notices remises par M. Benoît, aux directeurs des services intéressés; mais ces notices n'ont pas été livrées à la publicité, et je me bornerai à indiquer ici les résultats principaux de ces études.

La règle bimétallique de l'Institut géodésique prussien fut remise au Bureau international pour la première fois en 1886, et y resta quelques mois; elle y revint en 1891, pour y rester deux ans. Pendant ces deux périodes, elle a été

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

soumise aux études suivantes : Mesure de la dilatation; étalonnage par G_2 puis par I_2; comparaison avec la règle bimétallique française; comparaison avec la règle monométallique française; comparaison avec G_1; enfin, en 1891, étalonnages à trois températures différentes en partant de l'étalon N° 26 en platine iridié. En outre, un certain nombre de traits voisins des extrémités ont été déterminés, et des expériences ont été faites par M. Benoît en vue de mesurer l'effet des flexions des règles ou du support sur la longueur totale de l'étalon de platine ou de celui de laiton.

Pour la règle française, les études n'ont pas été moins complètes. La dilatation a été mesurée par trois observateurs différents, MM. Benoît, Defforges et Tracou, les étalonnages ont été faits avec de nombreux contrôles, en 1887, puis de 1890 à 1893; enfin en 1901 après les mesures en Roumanie et en Turquie, et avant le départ de l'expédition du Pérou, la règle a été étalonnée de nouveau par M. Benoît et moi.

La règle espagnole a été étudiée seulement après les principales mesures des bases d'Espagne, et n'a fait qu'un séjour au Bureau international, où elle a pu être comparée, en série fermée, aux règles similaires de France et de Prusse, après avoir été étalonnée avec les mêmes soins que les précédentes.

Les règles bimétalliques construites par Brunner constituent certainement des étalons géodésiques très supérieurs aux étalons anciens. Les frottements, qui ont dû intervenir d'une façon marquée dans les règles de Borda, ne produisent plus, dans les règles modernes, que de petites déformations qui ne laissent guère subsister, sur l'équation que l'on doit admettre à un moment donné dans les mesures de laboratoire, que des incertitudes inférieures aux erreurs inévitables des mesures d'angles. On peut craindre seulement que, dans les opérations sur le terrain, leur construction délicate ne permette pas d'en tirer tous les avantages qu'elles posséderaient comme instruments de laboratoire, et on peut se demander si, finalement, on n'obtiendrait pas des résultats aussi bons ou même meilleurs avec des appareils moins parfaits en apparence, mais plus rustiques et moins sujets à des déformations accidentelles.

Les mesures faites par M. Benoît ne sont pas sans donner quelques craintes à cet égard. Plaçant, entre chacune des règles et l'un des quatorze rouleaux qui la supportent, une cale d'épaisseur connue, il a pu déterminer l'effet des flexions sur l'un ou l'autre des étalons. Ces effets sont naturellement très différents pour les deux règles, puisque celle de platine est tracée près du plan des fibres neutres, tandis que, pour celle de laiton, la face supérieure en est assez éloignée. Les cales employées par M. Benoît avaient $0^{mm},23$; elles étaient introduites séparément entre l'une des règles et l'un quelconque des rouleaux, ou deux rouleaux placés symétriquement par rapport au centre de la règle.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Voici quelques-uns des résultats trouvés pour la règle allemande; ceux qui ont été fournis par les autres étalons leur sont pratiquement identiques.

Rouleaux relevés simultanément.	Platine.	Laiton.
	μ.	μ.
1 et 14	— 3,0	— 22,9
2 — 13	+ 5,4	+ 30,6
3 — 12	— 1,4	— 7,2
4 — 11	— 0,1	— 0,3

Les signes des écarts s'expliquent facilement si l'on considère le sens des dénivellations esquissées dans la figure 52.

Ces résultats montrent que, dans les opérations sur le terrain, on devra éviter avec le plus grand soin les poussières qui, en s'introduisant entre les règles et leurs supports, pourraient produire des flexions et modifier la distance des traits de repère.

Règles en fer d'Espagne, de France, de Suède, de Norvège, de la République Argentine. — La première règle géodésique en fer étudiée au Bureau fut celle que Brunner construisit sur les indications du général Ibañez. En 1885, M. Benoît détermina sa dilatation, en fit l'étalonnage, et la soumit à des épreuves diverses en vue de mesurer les variations accompagnant des déplacements donnés des points de support. La règle française fut étudiée ultérieurement, avec la collaboration de M. le commandant (aujourd'hui général) Bassot, et de M. le capitaine (aujourd'hui colonel) Defforges. Ces deux règles ne présentèrent, soit dans la mesure de dilatation, soit dans l'étalonnage, aucune anomalie qui ne pût s'expliquer par des erreurs d'observation, les pointés étant, il est vrai, rendus assez difficiles par le fait que les traits des règles, destinés à être observés avec un grossissement moindre que celui des microscopes du Bureau, étaient un peu trop larges pour être pointés dans de très bonnes conditions. C'est peut-être pour cette raison que des mesures, faites toujours pour un même mode de support des règles, mais après que celles-ci eurent été soulevées soit par le milieu, soit par les bouts, donnèrent des résultats indécis. Les règles G_1 et G_2, du même système, mais dont l'ajustage avait été moins parfait, tandis qu'au contraire leurs traits étaient plus fins, avaient montré des longueurs un peu différentes dans ces conditions et on avait été conduit finalement à libérer complètement la lame verticale, et à la considérer comme constituant seule la règle géodésique, la semelle horizontale n'étant plus qu'un support destiné à la maintenir au moyen de quelques équerres servant seulement de guides.

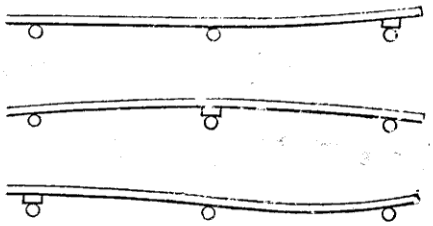


Fig. 52.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Des expériences spéciales, faites sur la règle française, ont montré que, si l'on déplace les rouleaux de 1 cm. symétriquement au voisinage des points normaux de support, la distance des traits extrêmes de la règle se modifie d'environ 1 micron. On devra donc avoir soin, en campagne, de placer toujours les rouleaux sensiblement à la même distance, repérée par des traits marqués à la peinture sur la semelle de la règle.

Les trois autres règles, construites, comme il a été dit, sur les indications du Dr Broch, présentent, par rapport aux précédentes, l'avantage d'être d'une seule pièce, et d'être tracées sur le plan des fibres neutres. De cette manière toute crainte relative à des déformations résiduelles attribuables à un mode de support antérieur est éliminée, et, de plus, la position des rouleaux devient à peu près indifférente dans d'assez larges limites. Cependant, comme les règles n'ont plus la forme d'un T renversé, et sont dépourvues de semelles (fig. 49 c et c'), on a fixé, pour plus de commodité, les rouleaux à la règle.

Ces barres, tracées seulement dans les échancrures pratiquées aux extrémités pour atteindre le plan des fibres neutres, ne purent pas être étalonnées mètre par mètre. Leur longueur a été mesurée par M. Benoît, au moyen de comparaisons avec plusieurs des règles géodésiques de premier ordre qui se trouvaient au Bureau au moment de leur étude. Je déterminai ensuite leur dilatation par la méthode relative.

Des trois règles qui viennent d'être mentionnées, deux surtout ont joué un rôle important en géodésie; ce sont les règles d'Espagne et de Suède. La première a servi à mesurer la plupart des bases espagnoles et les trois bases suisses. La seconde a été emportée par l'expédition suédo-russe, rentrée récemment du Spitzberg, après une campagne de deux ans.

La règle française a été employée à des mesures de contrôle; mais les vraies valeurs des bases françaises ont été déduites de la règle bimétallique.

Par l'ensemble des études qui viennent d'être rapidement esquissées, et qui ont nécessité plusieurs années d'un travail assidu, le Bureau international a pu résoudre, au moins en une première approximation, l'une des plus importantes questions de son programme général. Non seulement il a pu, grâce aux mesures d'étalons anciens, faire disparaître à tout jamais des anomalies qui avaient donné lieu à d'abondantes discussions parmi les géodésiens, mais encore il a pu fournir, aux principaux pays d'Europe, les éléments de correction des règles nouvelles, construites en utilisant toutes les ressources de la technique moderne, et qui, soit avant leur étude, soit ultérieurement, ont servi à établir les bases de départ de tous les grands réseaux de triangles qui sillonnent le continent européen.

L'action du Bureau ne s'est pas arrêtée là; par la force même des choses,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des études prolongées et répétées, dans des conditions où les causes d'erreurs étaient éliminées aussi bien que possible, ont fait apercevoir les petits défauts qui auraient échappé indéfiniment dans des études entrecoupées, et dans des conditions où les petites erreurs pouvaient être aussi bien attribuées aux observations qu'à des défauts des instruments. En mettant en évidence de légères imperfections qu'on n'avait pas soupçonnées auparavant, les études faites au Bureau international ont permis d'y remédier et de modifier, pour l'avenir, la construction des règles de bases de manière à en rendre l'emploi plus certain. Nous aurons l'occasion d'y revenir.

DÉTERMINATION DES MASSES

Méthode et instruments.

Le seul procédé usité pour la comparaison précise des étalons de masse consiste dans l'emploi de la balance à bras égaux. Mais un calcul élémentaire montre, immédiatement, que la haute précision requise dans ces comparaisons ne peut pas être réalisée dans l'ajustage d'un fléau, de telle sorte que, dans des pesées exactes, on ne peut se dispenser de faire usage d'un procédé éliminant autant que possible le défaut d'égalité parfaite des deux bras. On peut, dans ce but, procéder par double pesée, ainsi que l'indiqua Borda, ou par échange des poids sur les plateaux, procédé enseigné par Gauss. Si l'on pouvait admettre que, entre les deux parties d'une pesée par l'une de ces méthodes, le rapport des bras fût resté identique, on pourrait s'en tenir à cette seule opération. Mais il est facile de se rendre compte du fait que des variations extrêmement faibles et presque inévitables de la température peuvent modifier ce rapport d'une quantité supérieure à celle des erreurs que l'on cherche à éviter. On se rapprochera certainement des conditions réelles en supposant que la température varie lentement et d'une façon continue dans la cage d'une balance convenablement disposée; et, en faisant un certain nombre de pesées alternées, on éliminera aussi complètement que possible cette variation.

Nous avons vu quelles ont été, dans la construction des salles d'observation du Bureau international, les précautions prises en vue de réaliser des conditions de température aussi bonnes que possible autour des instruments; dans des salles ainsi aménagées, la présence d'un opérateur au voisinage d'une balance constitue l'élément perturbateur de beaucoup le plus considérable.

Pour remplir les conditions qui viennent d'être indiquées, les balances devront permettre l'échange des poids sur les plateaux, et toute la manœuvre en général, sans nécessiter le voisinage immédiat de l'observateur. Pendant toutes les opérations, la cage de la balance devra rester fermée, aussi bien pour

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

éviter les variations rapides de la température que les remous de l'air ou la chute des poussières sur les plateaux ou sur les poids.

Ces diverses conditions ont pu être réalisées par l'emploi d'ingénieux mécanismes, qui existent au Bureau international sous deux formes très différentes. Le premier est dû à M. Arzberger, de Vienne, et a été réalisé par M. Schorss dans les balances de M. Rueprecht, l'autre a été imaginé et construit par M. Bunge, à Hambourg.

Balances de Rueprecht. — Dans les balances de Rueprecht (fig. 53), les plateaux r portent un évidement en forme de croix, avec une ouverture latérale. Tout près des plateaux se trouvent, portées par des bras fixés à des axes verticaux, des croix s disposées de manière à pouvoir traverser de haut en bas les vides des plateaux. Autour de la colonne de la balance, est disposé un transporteur constitué par deux plateaux solidaires x, montés sur une roue dentée, et pouvant décrire une demi-circonférence autour de la colonne.

Ces divers organes sont commandés par des pièces masquées dans le socle de la balance, et que l'on actionne de l'extérieur en agissant, par une rotation continue, sur des tiges qui émergent seules, et auxquelles on peut fixer des tringles légères de plusieurs mètres de longueur.

Pour échanger les poids sur les plateaux, on actionne, par l'une de ces tringles, et par l'intermédiaire d'une roue d'angle, la roue dentée C, solidaire de l'excentrique D en contact avec le disque F, portant l'axe de rotation de la croix. Celle-ci se trouve, au début de l'opération, sous le plateau de la balance, sur lequel repose l'un des poids par l'intermédiaire d'une plaque de quartz ou de platine. L'un des segments de l'excentrique soulève d'abord la croix, dont la tige est butée contre un guide qui l'empêche de tourner. Au plus haut de sa course, le disque entre en contact avec le deuxième segment de l'excentrique, centré sur l'axe de la roue C, et qui lui communique un simple mouvement de rotation sans changer son niveau. Enfin, le troisième segment, symétrique du premier, laisse descendre, dans le transporteur, la croix qui le traverse de haut en bas, et dépose le poids en son milieu. On fait alors décrire une demi-circonférence au transporteur, puis on agit, sur les croix mobiles, en sens contraire du premier mouvement, de manière à ramener les poids sur les plateaux. Les poids étant en place, on manœuvre deux autres tringles qui déclenchent successivement les plateaux et le fléau par l'intermédiaire de pièces coudées commandées par des vis à plusieurs filets.

Pour l'observation, le fléau porte un petit miroir o, au-dessus duquel se trouve un prisme à réflexion totale p, fixé au bâti de la balance. Près des manivelles de commande des tringles, c'est-à-dire à 4 mètres de distance environ, est placée une lunette servant à observer les mouvements d'une échelle divisée, réfléchie dans le prisme et le miroir mobile.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Grâce à cet ensemble d'organes, on peut, après avoir préparé une pesée,

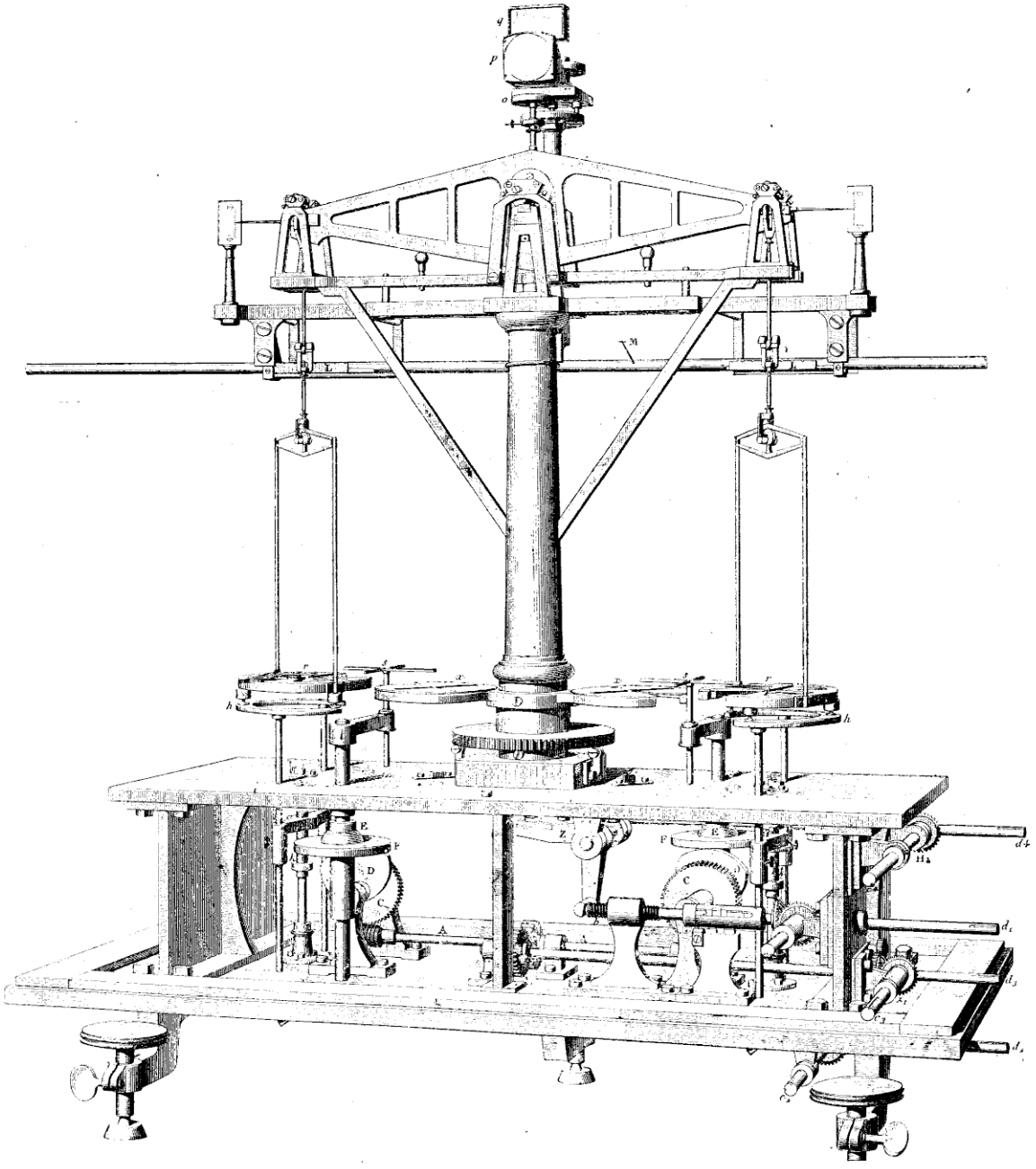


Fig. 53. — Balance *Rueprecht*, munie du mécanisme de transposition de M. Arzberger.

abandonner la balance de manière à laisser s'établir l'équilibre de tempéra-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ture, puis, sans s'approcher à moins de quatre mètres de l'instrument, déclencher les plateaux et le fléau, observer les oscillations, arrêter la balance, échanger les poids, bref, procéder à toutes les opérations de la pesée.

Le Bureau international possède trois balances munies du mécanisme qui vient d'être décrit.

Balance de Bunge. — Cette balance (fig. 54 et 55) est spécialement destinée

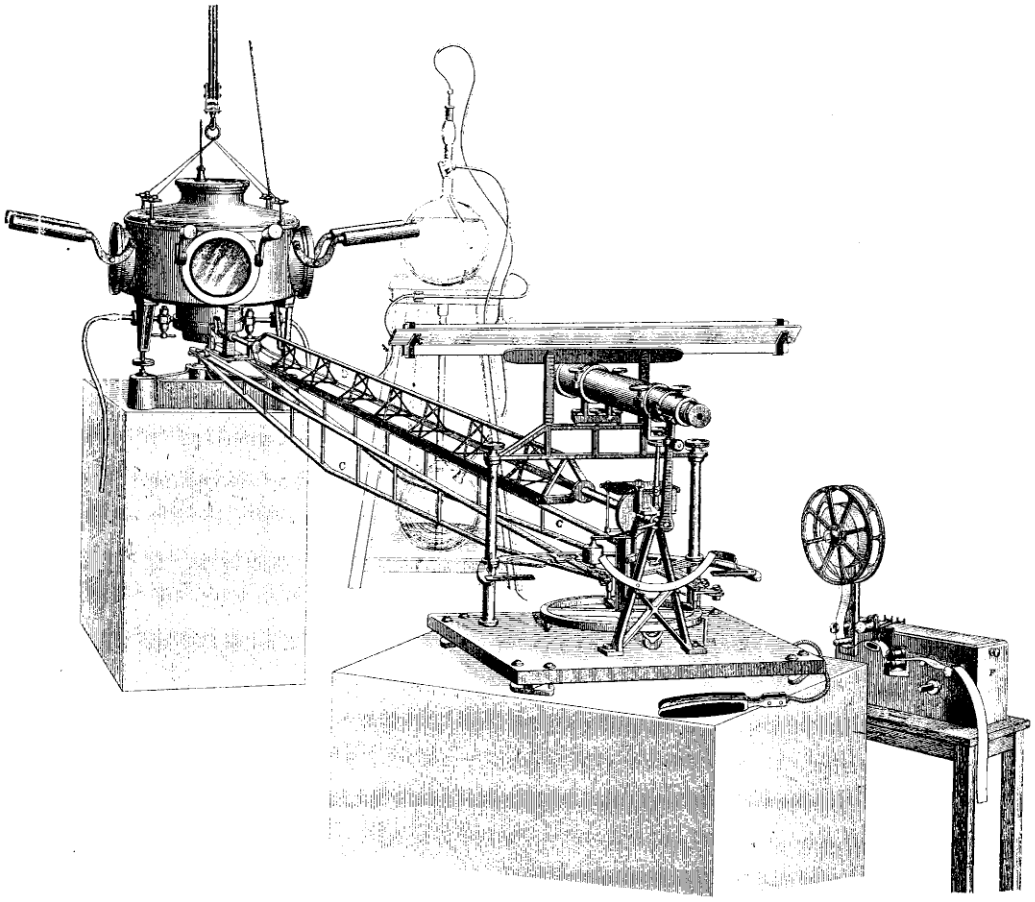


Fig. 54. — Balance de *Bunge* destinée aux pesées dans le vide.

aux pesées dans le vide. Elle permet d'opérer le déclenchement et les transpositions comme dans la balance Rueprecht, et, de plus, d'ajouter des poids additionnels à droite ou à gauche, pour établir l'équilibre, ou déterminer la sensibilité.

Les plateaux sont en forme de croix, et le transporteur est constitué par un bras tournant autour du pilier, et portant à ses extrémités des plaques évidées *a* qui peuvent, par un mouvement vertical, enlever les poids ou les remettre, ou

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les échanger par une rotation d'une demi-circonférence. En arrière de la balance se trouve une sorte d'étagère e, représentée en plan au-dessous de la balance, et portant une série de poids filiformes posés par leurs extrémités dans deux rainures en regard. Une sorte de cuiller mobile peut être amenée au-dessous de l'étagère, la traverser de bas en haut, enlever un poids, et venir le poser à

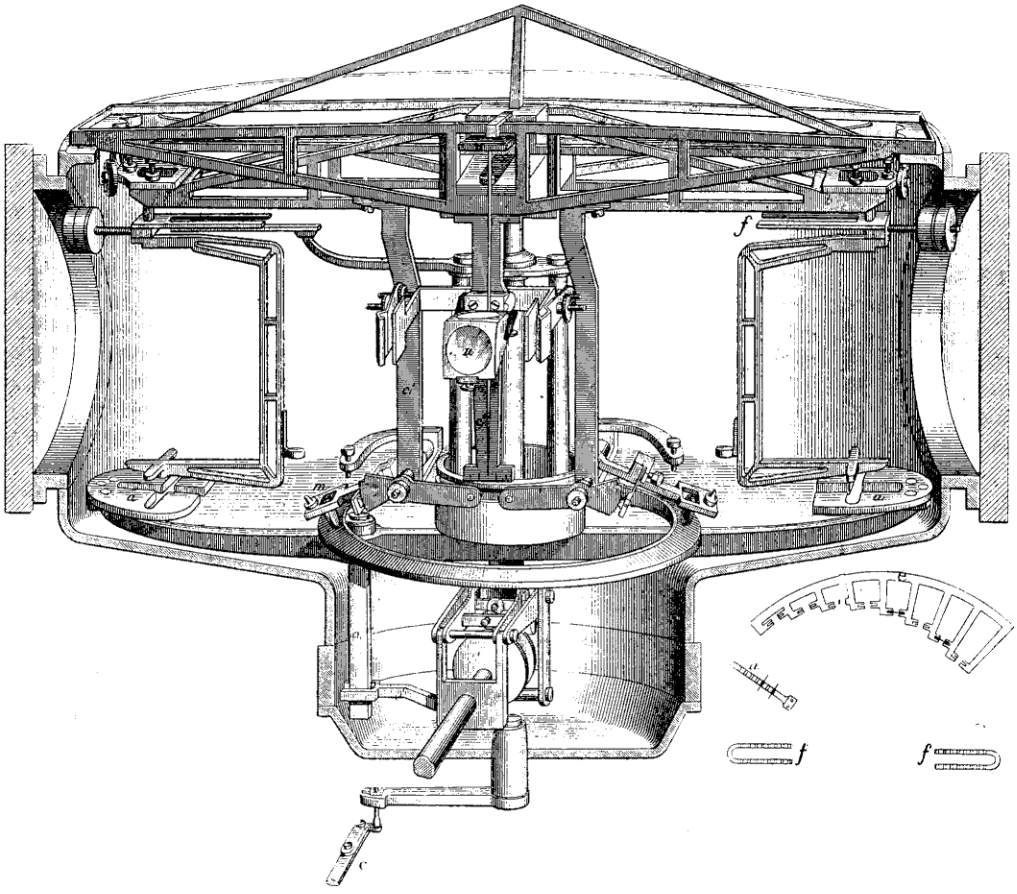


Fig. 55. — Balance de *Bunge*; détail.

droite ou à gauche dans une pièce f en forme d'U fixée à la suspension du plateau.

Tous les mouvements sont transmis de l'extérieur par des axes rodés et graissés comme des robinets, et effectuant une série de mouvement très ingénieusement combinés. Le mouvement destiné à poser les poids additionnels, par exemple, est commandé par un quadrilatère CC agissant à la manière d'un pantographe, et dont tous les mouvements sont répétés par une pièce que

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'observateur a constamment sous les yeux, lui donnant une image exacte des transpositions effectuées.

La balance est enfermée dans une cage en cuivre épais, percée de fenêtres circulaires fermées par des glaces qui s'appuient sur les bords rodés des fenêtres.

On voit, sur la figure 54, une pompe pneumatique, imaginée par M. Thiesen, et dans laquelle la glycérine passant d'une grosse sphère de verre dans une sphère inférieure aspire l'air à la partie supérieure de l'appareil. On fait, au moyen d'une machine pneumatique ordinaire, un vide partiel dans la boule inférieure, pour provoquer l'écoulement de la glycérine.

Balance Stückrath. — Dans les balances qui viennent d'être décrites, le fléau est porté sur un couteau, ainsi que les plateaux; ou, plus exactement, ceux-ci sont suspendus à un système articulé comprenant deux couteaux en croix. Mais on arrive plus aisément à un réglage parfait, dans les balances à faible charge, en substituant à l'arête d'un couteau deux pointes fines en pierre dure. Ce dispositif a été employé dans une petite balance de Stückrath, dont la charge maxima est de 1 gramme.

Balances hydrostatiques. — Ces balances elles-mêmes ne diffèrent pas, en principe, de celles qui viennent d'être décrites. Cependant, comme dans ces instruments, l'échange des poids sur les plateaux est impossible, le mécanisme de transposition n'existe pas, et on opère par la méthode de Borda. Le vase contenant l'eau dans laquelle le corps doit être immergé se trouve dans un compartiment situé au-dessous de la cage proprement dite, avec laquelle il ne communique que par les tubes destinés à laisser passer les fils servant à suspendre à l'un ou à l'autre des plateaux, le corps à peser.

Une pesée hydrostatique comprend deux opérations. Dans l'une, le corps à peser est suspendu à la balance, que l'on équilibre par des poids placés sur des plateaux; dans l'autre, le corps est enlevé et remplacé, du même côté, par des poids qui ramènent l'équilibre.

Les dispositions permettant la manœuvre du corps immergé sont intéressantes; elles font partie du vase d'immersion, et ont été réalisées, au Bureau international, sous des formes diverses.

Dans un appareil construit sur les indications de M. Marek, le vase est porté par un plateau P (fig. 56) placé au sommet d'une colonne C à laquelle on peut donner, au moyen de la roue R, filetée intérieurement, un mouvement de haut en bas sans rotation. Le corps est porté par un plateau E suspendu à la balance et qui, pendant les pesées, se trouve à une petite distance d'un support en forme de croix, posé sur le fond du vase. Lorsque la première pesée a été faite, on agit sur la roue R de manière à enlever le corps à déterminer. La balance reste alors chargée de tout l'équipage additionnel qui avait servi à la première pesée, tandis qu'elle est débarrassée du corps seul dont on veut connaître le poids dans l'eau.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La charge que l'on placera sur le plateau supérieur pour ramener l'équilibre

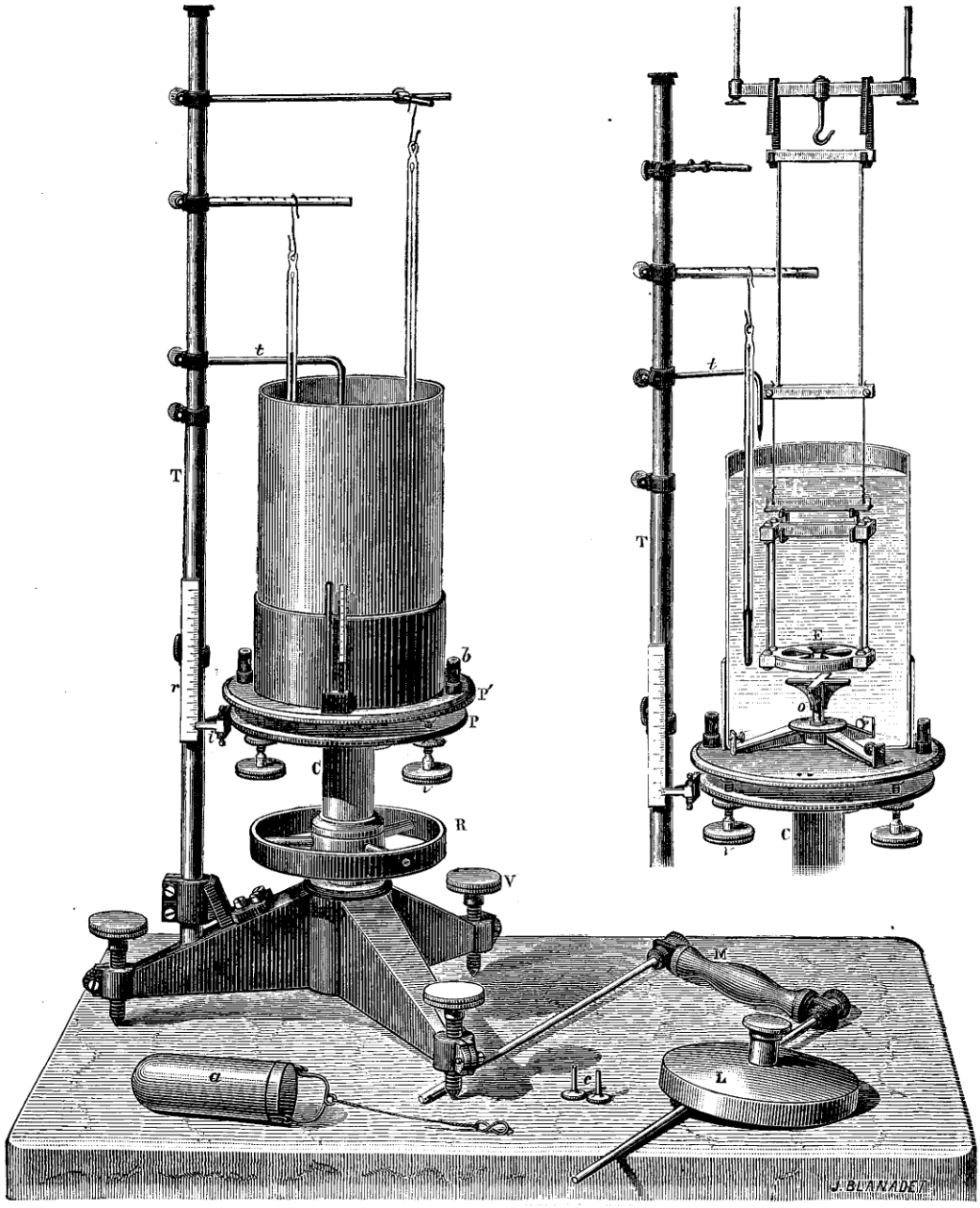


Fig. 56. — Vase et appareils auxiliaires pour les pesées hydrostatiques.

sera donc égale au poids cherché, à la petite correction près due à l'immersion

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

plus grande, dans la deuxième pesée, des fils très fins supportant le plateau inférieur à travers la surface libre de l'eau. Le support représenté dans la figure 56 a été remplacé plus tard par celui de la figure 57, permettant de n'employer qu'un fil de suspension.

M. Marek et M. Thiesen ont modifié ultérieurement le support inférieur de manière à permettre de coucher les cylindres pour faciliter le dégagement des bulles qui se déposent toujours sur les corps immergés, et dont on se débarrasse par ébullition dans un vide relatif (fig. 58 et 61).

M. Chappuis a remplacé plus tard le mouvement général du vase par un dis-

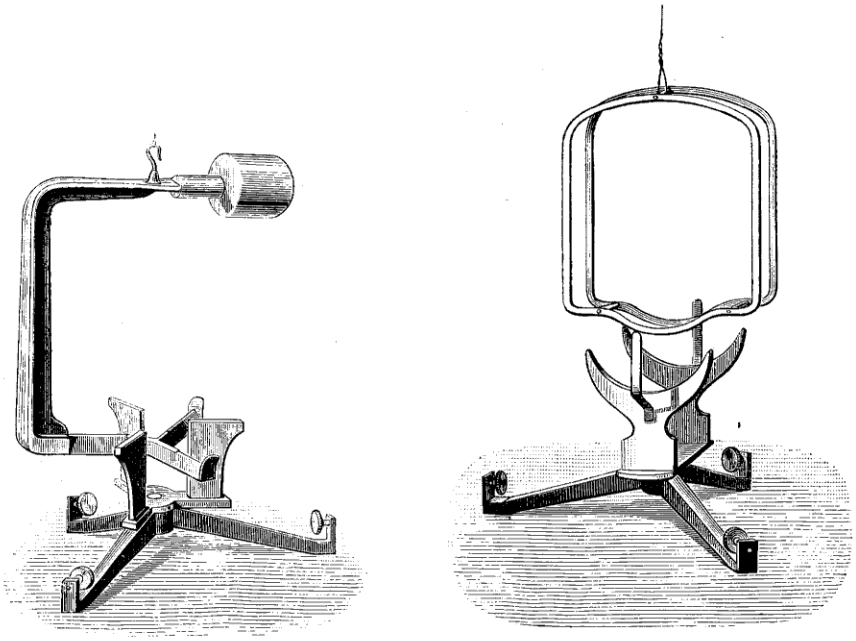


Fig. 57 et 58. — Supports pour les pesées hydrostatiques.

positif permettant de soulever seulement le support à l'aide de deux tringles auxquelles il est fixé.

Dans un travail récent, au cours duquel il était nécessaire de faire des pesées hydrostatiques de cylindres d'assez fortes dimensions, j'ai employé un vase (fig. 59), construit sur mes indications par MM. Bariquand et Marre, et dont la capacité est de vingt litres environ. Ce vase est muni, sur deux génératrices diamétralement opposées, de deux vis dont le mouvement est rendu synchrone par une roue dentée tournant sur un axe fixé au fond du vase. Ces vis assurent le mouvement simultané de deux barrettes dans lesquelles sont serrées des sangles élastiques, se moulant sur le cylindre qu'elles portent, et s'adaptant, par conséquent, à des cylindres de dimensions très différentes. L'étrier suspendu

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

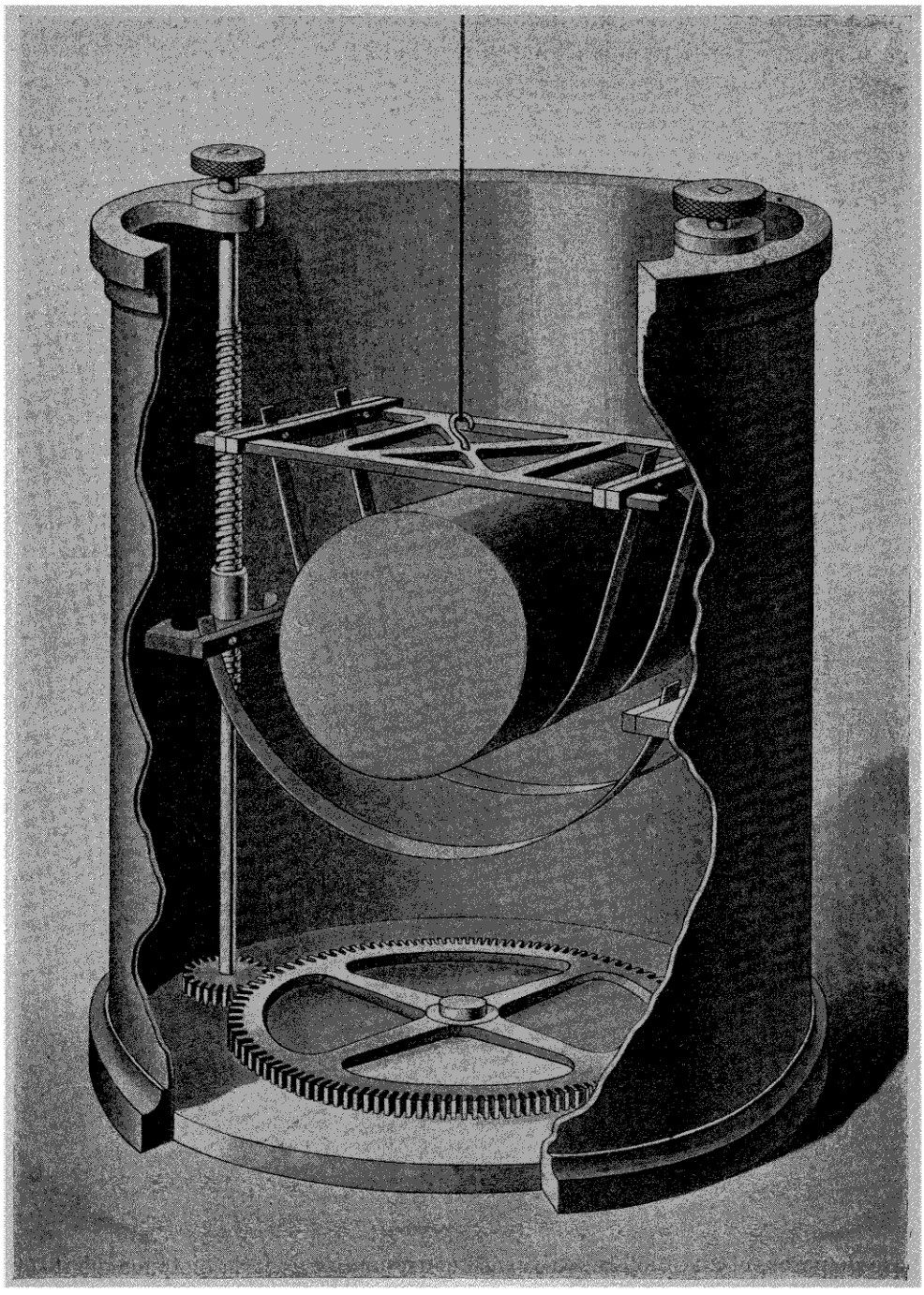


Fig. 50. — Vase servant aux pesées hydrostatiques de cylindres de grandes dimensions.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

au fléau porte également deux barrettes que l'on peut éloigner plus ou moins du centre de suspension, suivant les dimensions des cylindres que l'on se pro-

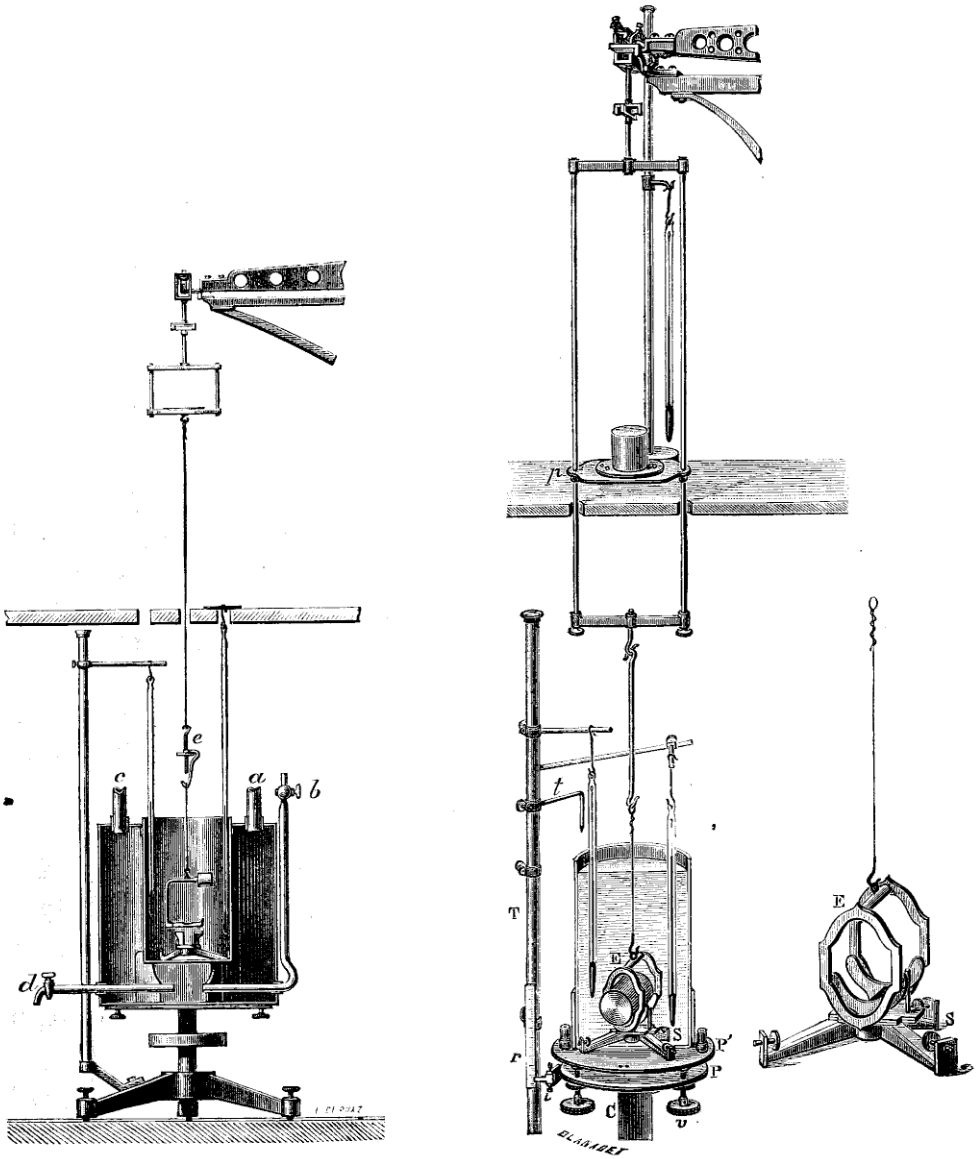


Fig. 60 et 61. — Organisation des pesées hydrostatiques.

pose de peser, et auxquelles sont fixées deux sangles dont la distance peut être réglée à volonté.

Le vase est posé sur une plaque de verre rodée, que l'on peut recouvrir d'une cloche dans laquelle on fait le vide, afin de chasser toutes les bulles

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

entraînées par l'étrier et le cylindre. La plaque est portée par un chariot roulant sur deux rails, et facilitant le transport de l'appareil.

Les figures 60 et 61 montrent, l'une en élévation, l'autre en perspective, divers détails de l'organisation d'une pesée hydrostatique, dans la cage proprement dite de la balance, et dans une cage inférieure qui en est solidaire.

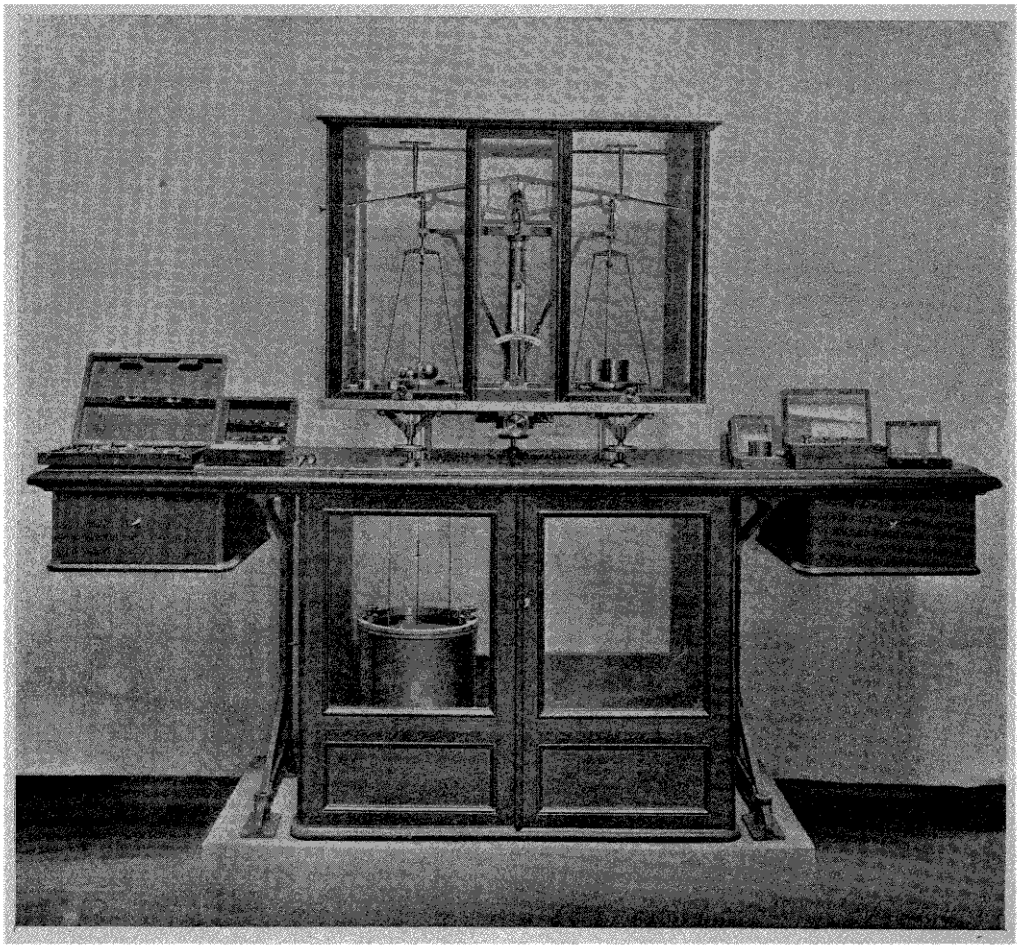


Fig. 62. — Grande balance hydrostatique de *Rueprecht*.

Dans l'un des cas, le vase contenant l'eau distillée est à doubles parois, permettant de réaliser une uniformité plus grande de la température par un brassage énergique de l'eau contenue dans l'espace annulaire. Ce vase, construit sur les indications de M. Thiesen, lui a servi à déterminer la dilatation de l'eau par la pesée d'un cylindre de quartz. La pièce *e* de la même figure facilite, à la fois, le réglage en hauteur et l'orientation de l'étrier suspendu à la balance.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La principale balance hydrostatique du Bureau international est représentée dans la figure 62. On reconnaît, dans la cage inférieure, le vase de la figure 59, et, sur le plateau de droite, une tare formée par des poids en nickel, tandis que, à gauche, des poids en platine iridié établissent l'équilibre de la balance, à laquelle l'étrier est resté suspendu. Cette balance permet de peser jusqu'à 5 kilogrammes.

La cause d'erreur la plus importante dans les pesées hydrostatiques réside dans les actions capillaires qu'éprouve le fil de suspension en traversant la surface de l'eau. Le mouillage irrégulier qui se produit en général, et la variation de forme du ménisque amortissent très rapidement les oscillations de la balance, qui sont réduites, après deux ou trois élongations, à un mouvement rapide et de peu d'amplitude, dans lequel le bord du ménisque ne quitte plus le point du fil auquel il s'est arrêté, et forme comme une pellicule élastique ajoutant son action à celle de la pesanteur.

Plusieurs physiciens ont tenté d'éliminer dans la mesure du possible, par une certaine combinaison des observations et un mode de calcul particulier, les erreurs dues à ce phénomène. Mais la solution complète de cet important problème a été donnée pour la première fois par M. F. Kohlrausch, qui, par l'emploi d'un fil platiné, a obtenu un mouillage très régulier, augmentant à peine l'amortissement, et n'ayant plus aucune action sur l'équilibre. Depuis qu'on emploie au Bureau international le procédé de M. Kohlrausch, la précision des pesées hydrostatiques a considérablement augmenté.

RÉSULTATS DES PESÉES

Principe d'une pesée. — Dans la comparaison des deux étalons de masse, on ne cherche pas à réaliser l'égalité complète; la petite différence qui subsiste est exprimée en fonction d'un coefficient que l'on nomme la *sensibilité de la balance*, et qui correspond exactement à la tare des micromètres dans les comparaisons des étalons de longueur. Il existe cependant, entre ces deux coefficients, une différence importante, c'est que la tare des micromètres est pratiquement constante, tandis que, dans les balances très sensibles, les inclinaisons correspondant à une même surcharge dépendent de la charge existante, et varient même, dans des proportions qui sont loin d'être négligeables, par des circonstances fortuites dont il est impossible d'évaluer l'effet. Ces variations obligent à déterminer la sensibilité à chaque pesée, en ajoutant, à la plus faible charge, une masse additionnelle qui la fait passer au-dessus de l'autre charge. Dans les pesées de précision faisant intervenir 1 kilogramme de chaque côté, la charge additionnelle est de l'ordre du milligramme. Dans les pesées hydrosta-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tiques de corps volumineux, elle atteint 10 milligrammes tandis qu'elle se réduit au dixième de milligramme dans les plus petites balances. La sensibilité s'exprime en fonction des divisions de l'échelle dont le mouvement apparent, observé dans la lunette, indique les déplacements du fléau. Les balances de premier ordre servant à la comparaison des kilogrammes ont une sensibilité de 25 à 50 divisions par milligramme. La lecture directe du dixième de division dans les élongations à droite et à gauche, d'où l'on déduira la position d'équilibre, correspond donc à quelques millièmes de milligramme. Or, le centième de milligramme est égal au cent millionième des grandeurs que l'on compare, et des pesées successives ne peuvent donner une concordance de cet ordre que si l'égalité ou plutôt le rapport, très peu différent de l'unité, des bras du fléau se maintient avec une approximation de cet ordre dans des opérations successives constituant la pesée complète. Une telle constance exigerait que la différence de température des deux bras se maintînt invariable à une fraction de millième de degré près, ou que, dans les repos successifs que l'on fait subir au fléau pour échanger les poids, l'arête de contact, comme aussi la position des couteaux aux extrémités du fléau, se retrouvât la même avec une approximation de l'ordre du millième de micron.

Ces considérations nous montrent en premier lieu quel degré d'uniformité et de constance la température doit posséder à l'intérieur d'une balance de précision; mais elles font douter aussi de la possibilité d'arriver à soulever et à reposer le fléau et les plateaux avec une précision telle qu'il n'en résulte pas des erreurs hors de proportion avec la sensibilité de la balance. En réalité, les conditions se renouvellent, dans les balances très bien construites, avec une constance surprenante, et bien supérieure à ce que l'on pourrait penser. Toutefois, cette constance n'est pas absolue, et on élimine mieux les erreurs fortuites en opérant plusieurs transpositions dans une même pesée qu'en cherchant à déterminer avec une très grande précision la position d'équilibre pour chaque opération individuelle.

Dans ces derniers temps, on a cherché à réduire encore les petites erreurs provenant des arrêts des balances en munissant les fléaux ou les arrêtages d'organes assurant un contact permanent des couteaux avec leurs plans (1).

Étalonnage. — La comparaison de deux étalons du kilogramme se réduisant finalement à l'expression de leur différence en fonction d'un étalon de 1 milligramme, ce dernier devient, au même titre que le millimètre dans la comparai-

(1) L'emploi de la balance pour la détermination de la constante de la gravitation nécessite des précautions encore très supérieures à celles qu'il est possible de prendre dans la comparaison des étalons. M. Poynting, à Birmingham, MM. König, Richarz et Krigar-Menzel, à Spandau, ont été ainsi conduits à se servir de la balance dans des conditions beaucoup plus parfaites que celles qui sont décrites ici.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

son des longueurs, l'étalon secondaire dont il convient tout d'abord de posséder une valeur exacte.

L'étalonnage d'une série de poids, permettant de descendre successivement du kilogramme au milligramme, est donc une opération fondamentale, qui doit précéder tout ensemble de comparaisons précises de masses presque égales entre elles. Cet étalonnage peut se faire d'après divers diagrammes, qui reviennent tous, finalement, à comparer un certain nombre d'étalons entre eux et à leur somme. Par exemple, on pourra comparer au kilogramme les étalons de 500, 200 et 100 grammes, ceux de 200 étant en double. On comparera ensuite 500 au reste, les deux pièces de 200 entre elles, puis la pièce de 100 avec une autre pièce de même valeur prise dans une autre série, et considérée comme pièce auxiliaire, aux deux étalons de 200. La pièce auxiliaire de 100 sera remplacée, dans une boîte complète, par l'ensemble formé par les pièces de 50, 20, 20 et 10; puis on passera à la série 5, 2, 2, 1, et ainsi de suite, la pièce de 1 de la plus petite série (1 gramme ou 1 milligramme suivant l'étendue des boîtes) étant doublée dans la boîte elle-même, ou par une pièce prise dans une autre boîte.

Le diagramme qui vient d'être indiqué n'est pas le seul qui puisse être employé, ni même celui qui se prête au calcul le plus simple et le plus symétrique. On trouvera dans les publications du Bureau international l'indication de diverses combinaisons, plus ou moins avantageuses suivant le but que l'on poursuit, auxquelles on s'est arrêté dans divers cas.

Le Bureau international possède, outre un certain nombre d'étalons en platine iridié du kilogramme, deux boîtes de platine iridié construites par Oertling à Londres, une série complète, de 400 grammes à 1 gramme, d'étalons en quartz construits par Laurent à Paris, et un certain nombre de séries de moindre importance.

Le prototype international et les prototypes nationaux. — En 1878, MM. Johnson, Matthey et Cie furent chargés de fournir à la Section française de la Commission internationale du mètre, trois cylindres de platine iridié pur destinés à constituer des étalons du kilogramme. Ces cylindres, livrés au printemps 1879, furent d'abord fortement comprimés au moyen du plus puissant balancier de la Monnaie de Paris, et remis à l'habile constructeur Collot pour leur ajustage approximatif. Pendant ce temps, l'alliage était analysé indépendamment par Stas et H. Sainte-Claire Deville.

Le premier ajustage fut contrôlé par des comparaisons faites avec le kilogramme de l'Observatoire de Paris (copie de celui des Archives), au moyen d'une balance installée à l'École normale supérieure. Puis on entreprit des comparaisons des trois nouveaux kilogrammes avec l'étalon des Archives, mis à la disposition de la Commission. Enfin, après un nouvel ajustage, on procéda aux com-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

paraisons définitives, qui eurent lieu à l'Observatoire de Paris. J.-B. Dumas et l'amiral Mouchez prirent part aux pesées au nom de la Section française, avec O.-J. Broch et J.-S. Stas représentant le Comité international; ils furent aidés par MM. Collot et Clément.

Au cours de ces opérations, le volume des trois nouveaux étalons fut déterminé par des pesées hydrostatiques; mais on craignit qu'une telle opération ne fût susceptible de modifier la masse de l'étalon des Archives, et on se borna à estimer son volume aussi bien qu'on put par d'autres procédés. Le 18 octobre 1880, les membres de la Commission signèrent le procès-verbal d'achèvement du travail, et formulèrent ainsi sa conclusion :

« On peut donc déclarer, avec toute certitude, que le kilogramme KIII et le kilogramme des Archives de France coïncident, quant au poids dans le vide, dans la limite de l'incertitude dans laquelle on se trouve sur le volume du kilogramme des Archives. »

Le kilogramme KIII fut remis au Comité international en même temps que le Mètre I, dans la séance du 26 avril 1882, dont il a été question plus haut.

Dans sa séance du 4 octobre de la même année, le Comité international décida que, « jusqu'à l'époque du sanctionnement définitif des nouveaux prototypes, on adopterait, pour les travaux du Bureau international des Poids et Mesures, comme unité de poids, le kilogramme KIII ». Enfin, dans sa séance du 3 octobre 1883, il prit la résolution suivante :

« Le Comité international des Poids et Mesures,

« Considérant que la résolution n° 31 de la Commission internationale du mètre, d'après laquelle le choix des prototypes internationaux parmi tous les autres prototypes devait avoir lieu seulement à la fin de toutes les opérations ayant servi à établir les équations relatives des prototypes, a été dictée essentiellement par l'intention d'assurer ainsi la plus grande égalité possible entre les nouveaux prototypes métriques et les prototypes des Archives;

» Vu qu'il résulte du Rapport de la Commission mixte, présenté au Comité dans la dernière session, que le poids du kilogramme KIII est identiquement égal à celui du kilogramme des Archives, dans les limites des erreurs de détermination; et que, par conséquent, on ne peut pas admettre la possibilité qu'un autre des kilogrammes prototypes puisse se rapprocher davantage du kilogramme des Archives;

» Considérant, d'un autre côté, que, si l'on choisit dès à présent le prototype international, auquel il faudra rapporter les équations de tous les autres, on pourra simplifier notablement le schéma, et diminuer considérablement le nombre de toutes les combinaisons de pesées qui doivent servir à la détermination des équations; et que, en outre, on assurera ainsi, d'une manière plus facile et plus complète, l'égalité des erreurs probables des équations de tous les prototypes;

» Considérant enfin que, si le prototype international n'était choisi qu'après avoir passé par toutes les combinaisons de comparaisons avec tous les autres prototypes, il serait exposé à bien plus d'usure et d'accidents que si, en le choisissant dès à présent, on le réservait jusqu'à la fin des opérations, pour le comparer ensuite, conformément à la résolution n° 31 de la Commission du mètre, à tous les autres prototypes, dans l'air et dans le vide, opérations pendant lesquelles le kilogramme international pourra rester tranquillement placé sur le plateau de la balance

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

» Faisant usage du droit que l'article 3 des dispositions transitoires lui a réservé, de modifier les décisions de la Commission internationale de 1872, le Comité décide :

» Le kilogramme KIII, dont l'équation par rapport au prototype des Archives a été déterminée égale à zéro par la Commission mixte, est choisi pour prototype international du kilogramme. »

La commande des quarante kilogrammes prototypes destinés aux États fut transmise par le gouvernement français à MM. Johnson, Matthey et Cie, en septembre 1882. En mai de l'année suivante, le platine, analysé par Stas et Debray, fut trouvé parfaitement pur. L'iridium, fréquemment vérifié, ne fut reconnu à un état de suffisante pureté qu'au mois de février 1884. Jusque-là, il avait toujours contenu des quantités de fer et de rhodium dépassant la tolérance. Les cylindres eux-mêmes, trop lourds de 30 à 130 grammes, furent livrés au Bureau en septembre 1884. Après un premier ajustage fait par M. Collot, et suivi du marquage au brunissoir, les kilogrammes, trop lourds de quelques milligrammes, furent rapportés au Bureau, où M. Thiesen entreprit la détermination de leur densité par des pesées hydrostatiques. Enfin, un dernier ajustage, par des retouches méthodiques, fréquemment contrôlées par des pesées, amena les kilogrammes à leur masse définitive.

Au fur et à mesure de leur ajustage, les kilogrammes entrèrent dans les comparaisons prévues. Comme pour les mètres, on les disposa en un rectangle, qui comprenait sept lignes et six colonnes, et chaque kilogramme fut comparé aux cinq autres étalons de la même ligne et aux six autres de la même colonne; en outre, tous furent comparés au prototype international. Chaque comparaison comprit quatre pesées complètes; les étalons étant portés dans toute l'opération sur de petits plateaux en quartz, on échangeait, après la deuxième pesée, leurs positions sur les plateaux, de manière à éliminer complètement ces derniers.

Les pesées furent ainsi poursuivies pendant plusieurs années simultanément sur deux balances Rueprecht, et sur la balance Bunge, qui, en raison de sa bonne fermeture, servit aux comparaisons avec le prototype international qui resta ainsi, autant que possible, à l'abri de la poussière, et soustrait à des nettoyages toujours dangereux. Les pesées furent exécutées par M. Thiesen, aidé de M. Kreichgauer.

Le résultat de tout ce travail est donné dans le tableau ci-après. La limite de tolérance pour l'ajustage avait d'abord été fixée à 0,2 milligramme; mais, par suite d'un polissage trop énergique, quelques étalons ayant dépassé la limite de la tolérance, le Comité international ne crut pas devoir retarder l'achèvement du travail par trop de rigueur, et accepta tous les étalons dont le défaut de masse ne dépassait pas 1 milligramme. Cette décision fut sanctionnée par la Conférence internationale de 1889.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Prototype.	Densité.	Valeur.
ℜ.	21,55148	1 kg.

Numéro du prototype.	Densité.	Valeur. kg mg	Distribution.
1. .	21,5398	1 + 0,002	Témoin de ℜ.
2. .	21,5460	— 0,053	Roumanie.
3. .	21,5417	+ 0,021	Espagne.
4. .	21,5436	— 0,075	États-Unis.
5. .	21,5455	+ 0,018	Italie.
6. .	21,5441	+ 0,169	Japon.
7. .	21,5487	— 0,330	(Disponible).
8. .	21,5430	+ 0,260	(Disponible).
9. .	21,5423	+ 0,282	Bureau international.
10. .	21,5426	+ 0,228	Portugal.
11. .	21,5466	+ 0,008	Serbie.
12. .	21,5485	+ 0,068	Russie.
13. .	21,5439	— 0,154	France.
14. .	21,5462	+ 0,247	Autriche.
15. .	21,5335	+ 0,226	Bavière.
16. .	21,5480	+ 0,056	Hongrie.
17. .	21,4979	+ 0,211	France.
18. .	21,5454	+ 0,070	Royaume-Uni.
19. .	21,5453	— 0,276	Italie.
20. .	21,5509	— 0,039	États-Unis.
21. .	21,5511	+ 0,063	Mexique.
22. .	21,5504	1 + 0,053	Allemagne.
23. .	21,5496	+ 0,061	Finlande.
24. .	21,5459	— 0,191	Espagne.
25. .	21,5411	+ 0,107	France.
26. .	21,5469	— 0,032	Acad. de St-Pétersbourg.
27. .	21,5520	+ 0,145	Danemark.
28. .	21,5117	+ 0,210	Belgique.
29. .	21,5380	— 0,949	(Disponible).
30. .	21,5466	+ 0,123	Japon.
31. .	21,5491	+ 0,162	Bureau international.
32. .	21,5476	+ 0,070	(Disponible).
33. .	21,5482	+ 0,061	Autriche.
34. .	21,5511	— 0,073	France.
35. .	21,5476	+ 0,191	France.
36. .	21,5498	+ 0,157	Norvège.
37. .	21,5458	+ 0,244	Belgique.
38. .	21,5474	+ 0,183	Suisse.
39. .	21,5509	— 0,118	Japon.
40. .	21,5470	— 0,037	Suède.
KI. .	21,5531	+ 0,127	Témoin de ℜ.
KII. .	21,5531	— 0,474	France.

L'examen de la colonne des densités montre que l'alliage des kilogrammes est très homogène à tous les points de vue. Un seul étalon présente une densité sensiblement trop faible, due probablement à l'existence d'une petite cavité. Cet étalon ne révéla, d'ailleurs, aucune anomalie, ni aucune variation dans les comparaisons, ou à la suite des pesées hydrostatiques. La cavité supposée est donc sans aucune communication avec l'extérieur.

Dans les comparaisons des prototypes entre eux, on a trouvé, comme erreur probable d'une pesée, une valeur moyenne de $0^{mg},007$ environ, et comme erreur probable de l'équation d'un étalon, $0^{mg},002$.

VARIABILITÉ DES ÉTALONS DE MASSE

Le calcul complet des erreurs résiduelles des pesées qui viennent d'être décrites a fait apparaître certaines variations de quelques-uns des étalons dans le cours des trois années sur lesquelles ces comparaisons se sont réparties. De plus, certains d'entre eux ont montré, après des lavages, une valeur un peu supérieure à leur valeur normale, suivie d'une diminution progressive qui les y ramenait en quelques semaines. Ces variations, cependant, sont

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

restées en général de l'ordre du centième de milligramme, et une seule d'entre elles a atteint 0,04 milligramme. La cause de ces variations n'a pas été parfaitement élucidée. D'ailleurs, les étalons variables ont été en petit nombre, et la plupart des étalons ont accusé des valeurs relatives constantes, dans les limites des erreurs possibles des pesées.

Les petites variations constatées au cours des déterminations, comme aussi la possibilité d'une usure par l'emploi des étalons, ou d'une absorption des gaz de l'atmosphère dans certaines conditions particulières, fait désirer un contrôle périodique des étalons nationaux. Ce contrôle a commencé dix années après la distribution des prototypes, et quelques États ont renvoyé leurs étalons de masse au Bureau international. Un certain nombre de comparaisons ont déjà été faites; mais, en étudiant de près les limites d'erreurs des résultats, il a semblé que, par suite d'un emploi presque continu pendant une vingtaine d'années, les principales balances du Bureau étaient un peu moins bonnes qu'au début. Le travail fut alors interrompu, et les balances renvoyées aux constructeurs. L'achèvement du travail a été remis à une date ultérieure. Cependant, on peut dès maintenant indiquer, à titre tout à fait provisoire, les conclusions suivantes, empruntées à un rapport présenté récemment au Comité international par M. Benoît (1).

Huit étalons du kilogramme ayant été comparés, en série fermée, par groupes de deux avec les deux étalons d'usage du Bureau, n° 9 et n° 31, les écarts entre les valeurs nouvelles et les anciennes, en supposant la moyenne des étalons du Bureau demeurée invariable, seraient les suivants :

Numéros des prototypes.		mg
2	(Roumanie).	+ 0,001
5	(Italie).	+ 0,020
22	(Allemagne)	— 0,016
28	(Belgique).	— 0,013
36	(Norvège).	+ 0,013
37	(Belgique).	+ 0,027
38	(Suisse)	+ 0,021
40	(Suède).	+ 0,007

Ces écarts sont, comme on le voit, très minimes, et ne dépassent pas sensiblement les erreurs possibles des déterminations récentes, encore incomplètes et beaucoup moins étendues que les comparaisons anciennes.

Si cependant on soumet ces expériences à une discussion minutieuse, on s'aperçoit que les valeurs par rapport au n° 9 diffèrent en moyenne de celles qui ont été trouvées par le n° 31 de $0^{mg},04$ en moyenne; et finalement, on trouve que

(1) Procès-verbaux des séances de 1900.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les étalons 31, 22 et 28 pourraient avoir diminué de 4 centièmes de milligramme environ, tandis que, pour les sept autres, les écarts entre les anciennes valeurs relatives et les nouvelles se tiennent dans des limites beaucoup plus restreintes.

Plusieurs de ces étalons ont servi à de nombreuses opérations, et ont pu subir un peu d'usure ; et on ne pourra formuler des conclusions certaines que lorsque des comparaisons étendues auront été faites avec des kilogrammes restés sous cloche depuis l'époque des premières déterminations. Pour le moment, on devra considérer les variations indiquées ci-dessus comme représentant un maximum des changements qui ont pu réellement se produire. Elles devront être certainement plus petites dans l'avenir, soit qu'on doive les attribuer à des causes naturelles, dont l'action doit tendre vers une limite, soit que l'usure ait pu jouer un rôle important, et qui ira aussi en s'atténuant lorsque les comparaisons fondamentales avec les étalons nationaux de second ordre auront été achevées.

(*A suivre.*)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MARINE

LES MARINES DE GUERRE MODERNES

Par M. L. de Chasseloup-Laubat (1).

JAPON

(MONOGRAPHIES)

Cuirassés. — Yashima. — Shikishima. — *Gardes-côtes.* — Hi-Yei. — Matsushima. — *Croiseurs cuirassés.* — Chyoda. — Asama. — *Croiseurs protégés.* — Naniwa Kan. — Yoshino.

CUIRASSÉS

YASHIMA

Le *Yashima* a été construit à Elswick et lancé le 23 février 1896.

Le *Fuji Yama*, similaire, a été construit aux Thames Iron Works, et lancé le 31 mars 1896.

Dimensions :

Longueur totale.	125m,57
— à la flottaison (non compris l'éperon).	121m,91
Largeur.	22m,40
Tirant d'eau moyen.	8 mètres.
Déplacement.	12400 tonnes.

Coque. — Coque en acier; double fond; compartiments étanches. Deux mâts militaires; deux cheminées au milieu, sur l'axe.

Protection. — Ceinture blindée en acier harveyé de 59 mètres de longueur sur 2m,44 de hauteur, dont 1m,52 au-dessous de la flottaison au tirant d'eau normal. Au milieu, la ceinture a 457 millimètres; son épaisseur diminue jusqu'aux extrémités, où elle se réduit à 356 millimètres. Les extrémités sont reliées par des traverses normales à l'axe, de 356 millimètres, passant en avant de la base des tourelles.

Au-dessus de la ceinture, blindage de 100 millimètres jusqu'au pont principal.

(1) Voir le *Bulletin* de mars, avril, septembre, octobre, décembre 1900; février, juin, octobre 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pont plat blindé à 60 millimètres ; ce pont est à 0m.90 au-dessus de l'eau dans sa partie centrale, il s'abaisse au-dessous de la flottaison aux extrémités.

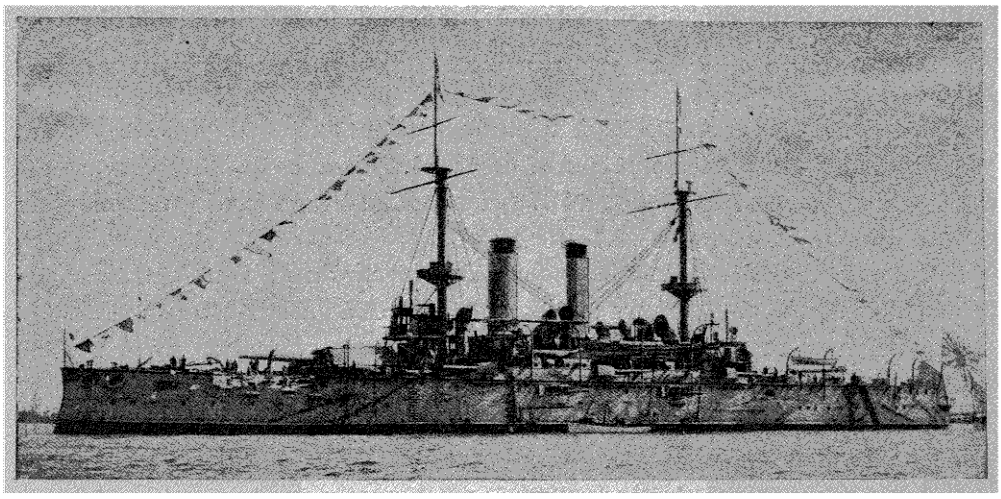


Fig. 176. — *Yashima.*

Deux tourelles barbettes en forme de poire, dans l'axe, à l'avant et à l'arrière ; chacune d'elles est pourvue d'un blindage de 356 millimètres, descendant jus-

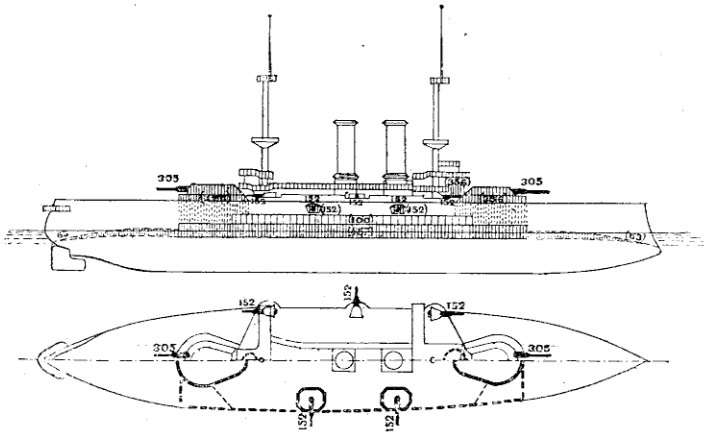


Fig. 177. — *Yashima.*

qu'au pont principal. Au-dessous jusqu'au pont blindé, le blindage n'a plus que 229 millimètres, mais il se trouve en arrière du blindage de 100 millimètres.

A chaque barbette il y a deux écrans de 101 millimètres d'épaisseur entre le pont principal et le pont blindé ; ces écrans ne sont pas tout à fait normaux à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la section transversale, celui d'avant incline un peu vers l'arrière et celui d'arrière vers l'avant. En arrière de ces écrans et par suite des barbettes, le blindage a une épaisseur de 127 millimètres.

Blockhaus blindé à 356 millimètres à l'arrière de la tourelle avant; il y a un deuxième poste à l'arrière avec blindage de 76 millimètres. Tous les blindages sont en acier harveyé.

Machines. — Deux machines à triple expansion, avec cylindres de 1m,016, 1m,499 et 2m,235 de diamètre et course de 1m,14. Puissance de 9 750 chevaux au tirage naturel avec 17n,26, et de 14 075 chevaux au tirage forcé (pression d'air de 37 millimètres), avec vitesse de 19n,22 (1).

Dix chaudières cylindriques dans quatre compartiments; deux de trois chaudières chacun à l'avant, et deux de deux chaudières à l'arrière; vapeur à 10kg,9.

Approvisionnement de charbon de 700 tonnes, pouvant être porté à 1 200 tonnes.

Armement :

4 canons de 305 millimètres, deux dans chaque barbette avec commandement de 7m,55 et champ de tir de 240°.

10 canons de 152 à tir rapide en casemates blindées à 152 millimètres, savoir : six sur le pont supérieur et quatre sur le pont principal; les deux canons de l'avant sur le pont supérieur ont un champ de tir de 90° en avant et de 60° en arrière; les deux canons de la partie centrale embrassent 60° de chaque côté.

20 canons de 47 millimètres, à tir rapide, dont 8 sur les passerelles, 8 sur le pont principal et 4 dans les pavois;

4 canons de 25 millimètres, à tir rapide, dans les hunes;

5 tubes lance-torpilles dont 4 sous-marins.

Le *Yashima* est destiné à porter pavillon d'amiral. Il a 640 hommes d'équipage.

SHIKISHIMA

Mis en chantier aux *Thames Iron Works* le 1er mai 1897, lancé le 1er novembre 1898, a fait ses essais en septembre 1899. Agencé pour porter pavillon amiral.

Trois autres similaires : *Hatsuse*, lancé à Elswick le 27 juin 1899, *Mikasa* lancé le 8 novembre 1900 à Barrow et *Asahi* lancé à Clydebank (Chantiers John

(1) Aux essais, le *Fuji* a donné :

Tirage naturel : 16n,8 avec 10 200 chevaux indiqués ;
Tirage forcé : 18n,58 avec 14 100 chevaux et 120 tours.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Brown et Cie) le 3 mars 1899. Ces navires sont les plus grands cuirassés à flot.

Dimensions :

Longueur totale.	133m,50
— entre perpendiculaires.	121m,92
Largeur	23 mètres.
Tirant d'eau moyen.	8m,30
Déplacement.	15 000 tonnes.

L'*Asahi* et le *Mikasa* ont un tonnage de 15 200 avec 129m,50 de longueur entre perpendiculaires.

Coque. — Coque en acier, avec double fond; cloisonnement longitudinal et transversal. Quilles latérales. Deux mâts militaires; trois cheminées entre les mâts. Éperon robuste.

Protection. — Tous les blindages sont en acier au nickel harveyé. Ceinture

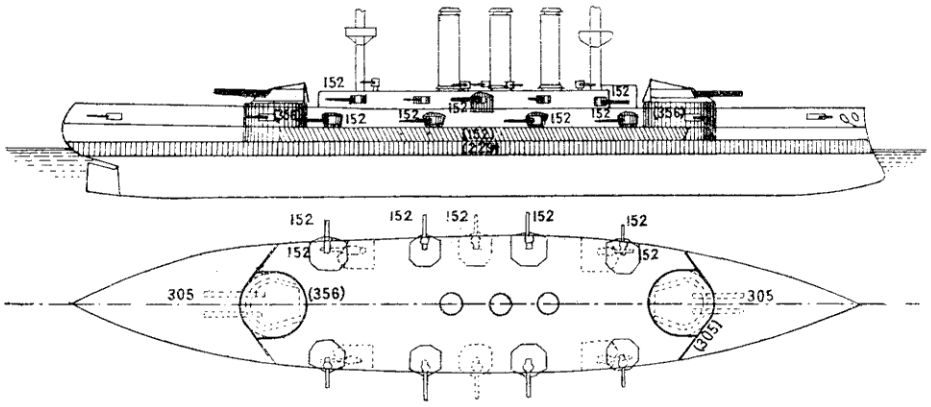


Fig. 178. — *Shikishima.*

totale de 2m,50 de hauteur, dont 1m,70 au-dessous de la flottaison normale; épaisseur de 229 millimètres au milieu dans toute la hauteur sur 47m,50 de long; cette épaisseur diminue vers les extrémités jusqu'à 102 millimètres (1).

Au-dessus de la ceinture, jusqu'au pont principal, blindage de 152 millimètres sur une longueur de 76m,20 entre les deux tourelles barbettes; celles ci sont reliées à la ceinture par des traverses blindées courbes à 305 millimètres et à la cuirasse mince par des traverses de 152 millimètres.

(1) Sur le *Mikasa*, la ceinture présente à l'avant un épanouissement formé d'une plaque de 51 millimètres et venant renforcer l'éperon. La ceinture légère s'élève jusqu'au pont supérieur pour former un réduit blindé dans lequel se trouvent 10 canons de 152 millimètres. En revanche le pont blindé n'aurait que 51 millimètres d'épaisseur dans la partie horizontale et 76 millimètres aux pentes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pont blindé trapézoïdal, s'élevant au milieu à 0m,80 au-dessus de la flottaison et rejoignant en abord le can inférieur de la ceinture. Épaisseur: 63 millimètres, avec plaques supplémentaires de 37 millimètres sur les parties inclinées dans le flotteur blindé central; en dehors de ce flotteur, pont sous-marin blindé à 63 millimètres.

Le pont principal est aussi blindé à 25 millimètres dans le flotteur centrale

Deux barbettes à plan circulaire, sur l'axe, à l'avant et à l'arrière, blindés.

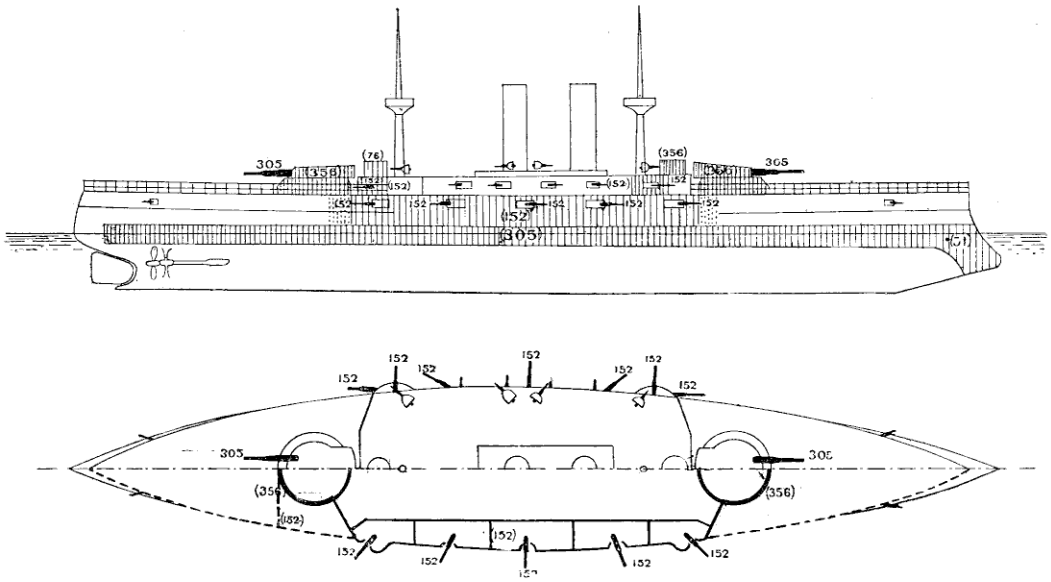


Fig. 179. — *Mikasa.*

à 356 millimètres au-dessus du pont supérieur et à 250 millimètres au-dessous jusqu'au pont blindé; manœuvre hydraulique.

Blockhaus à l'avant, blindé à 356 millimètres, avec tube de 203 millimètres; poste de commandement à l'arrière blindé à 76 millimètres.

Machines. — Deux machines à triple expansion, avec cylindres de 0m,864, 1m,346, et 2m,134 de diamètre et course de 1m,219. Vingt-cinq chaudières Belleville, avec surface de chauffe totale de 3716 mètres carrés. Vapeur à 21 kilogrammes détendue à 17kg,6 aux machines. La puissance aux essais a été, sur le mille mesuré, de 14 667 chevaux indiqués, avec une vitesse de 19n,03 au tirant d'eau normal (1).

(1) Aux essais de consommation au tirage naturel (mars 1900) l'*Asahi* a donné 12 947 chevaux et une vitesse de 17n,5, avec une consommation de 0k,72 par cheval-heure; le 23 mars, quatre courses sur un parcours de 12 1/4 milles marins, avec gros vent, ont donné 10 000 chevaux et 18n,3 au tirage forcé. Pour le *Mikasa* et l'*Hatsuse* la vitesse serait également de 18 à 18 1/2 nœuds.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Approvisionnement de charbon de 700 tonnes, pouvant être porté à 1 400.

Armement. — 4 canons de 305 millimètres (40 calibres), à tir rapide, par paires dans les barbettes, avec champ de tir de 240° dans toutes les positions ; manœuvre hydraulique.

14 canons de 152 millimètres, de 45 calibres, à tir rapide, dans des casemates blindées à 152 millimètres à l'extérieur et à 51 millimètres à l'intérieur, dont 8

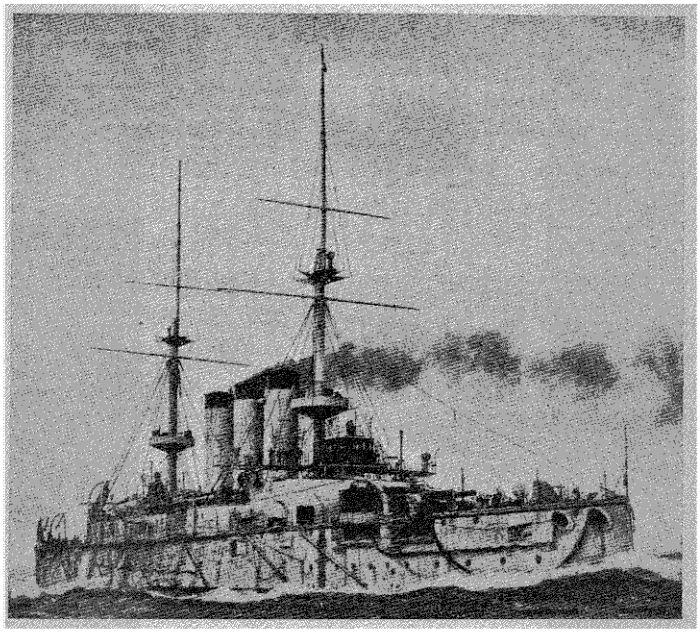


Fig. 180. — *Shikishima.*

sur le pont principal en flancs et 6 sur le pont supérieur tirant, 2 en chasse, 2 en retraite et 2 par le travers (1) ;

20 canons de 76 millimètres, à tir rapide ;

12 canons de 47 millimètres, à tir rapide ;

5 tubes lance-torpilles dont 4 sous-marins (2).

Le *Shikishima* portera pavillon d'amiral. Son équipage sera de 741 hommes.

Pour le *Mikasa* l'équipage prévu est de 935 hommes.

(1) Sur les autres navires les 14 canons de 152 millimètres sont répartis ainsi qu'il suit : 10 sur le pont principal dans une batterie centrale blindée et 4 sur le pont supérieur, aux angles de cette batterie. Une muraille en acier règne en arrière des canons de 152 de la batterie centrale.

(2) Le tube aérien a été supprimé sur l'*Asahi* et sur le *Mikasa*.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

GARDES-COTES

HI-YEI.

Ce navire a été lancé en 1878.

Dimensions :

Longueur	70m,40
Largeur	12m,40
Tirant d'eau	5m,28
Déplacement	2200 tonnes.

Coque. — Fer et acier.

Protection. — La coque est protégée par une ceinture de 114 millimètres. Ce n'est pas un cuirassé dans le sens usuel du terme; il n'y a pas de cuirasse contre les coups d'enfilade et pas de pont cuirassé.

Machine. — Une seule machine développe une force de 2490 chevaux.

Aux essais, la vitesse correspondante a été de 13 nœuds.

L'approvisionnement de charbon est de 280 tonnes.

Armement. — L'armement se compose de : 3 canons Krupp de 17 centimètres, et 6 de 15 centimètres; 6 canons de 76 millimètres à tir rapide, 4 mitrailleuses ou canons-revolvers complètent l'armement.

Équipage. — L'équipage est de 308 hommes.

Ce bâtiment a une valeur militaire des plus médiocres; il sert actuellement de navire-école.

MATSUSHIMA

Deux autres navires semblables : *Isukushima* et *Hashidate*, avec cette seule différence que le gros canon est à l'avant au lieu d'être à l'arrière comme sur le *Matshushima*.

Le *Matsushima* et l'*Itsukushima* ont été construits aux Forges et Chantiers de la Méditerranée, à la Seyne, où ils furent lancés en 1889 et 1890. L'*Hashidate* a été construit à l'arsenal de Yakoshika, où il fut lancé en 1891.

Le *Matsushima*, par suite de la disposition de sa grosse artillerie, est beaucoup plus marin que les deux autres navires. C'est sans doute pour cette raison que l'amiral Ito l'avait choisi pour porter son pavillon à la bataille du Yalou.

Dimensions :

Longueur extrême	99 mètres.
Longueur de flottaison en charge	95m,15
Longueur entre perpendiculaires	90 mètres.
Largeur	15m,54
Tirant d'eau en charge, arrière	6m,45
— — moyen	6m,05
Déplacement	4278 tonnes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Coque. — Coque en acier, à double fond flottaison cellulaire; deux cloisons longitudinales et treize cloisons transversales étanches. Un mât militaire, une cheminée dans l'axe en avant du mât.

Protection. — Pont blindé sous-marin, dont le livet est à 1m,75 au-dessous de la flottaison avec 0m,97 de bouge dans la maîtresse partie. Ce pont est formé de tôles d'acier de 20 millimètres, réduites à 10 millimètres en abord, et rivées sur un double bordé formé de deux tôles de 10 millimètres.

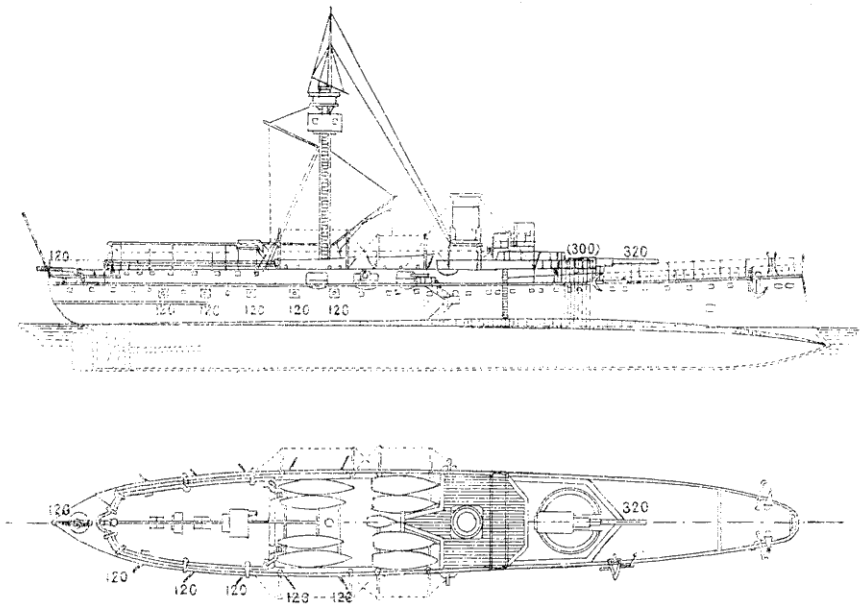


Fig. 181. — *Hashidate.*

Tourelle blindée à 300 millimètres, reliée aux œuvres vives par un tube de 1m,86 de diamètre intérieur, blindé à 250 millimètres.

Blockhaus blindé à 100 millimètres.

Machines. — Deux machines à triple expansion. Les diamètres des cylindres sont : 0m,390, 0m,620 et 1m,440, avec course commune de 1 mètre. Les deux hélices sont en bronze, à quatre ailes. Puissance maximum : 5 760 chevaux. Vitesse, 17 nœuds.

Deux groupes de chaudières formés chacun de trois corps cylindriques à trois foyers, soit six corps et dix-huit foyers (1). Timbre à 12 kilogrammes. Surface de grille : 36 mètres carrés; surface de chauffe : 1 418 mètres carrés. Approvisionnement de charbon de 400 tonnes avec surcharge possible.

(1) Va recevoir des chaudières Belleville à économiseurs.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Armement. — L'armement de guerre de l'*Itsukushima* et du *Hashiaate* se compose de :

1 canon Canet de 32 centimètres (38 calibres), en tourelle à l'avant, avec champ de tir de 270°;

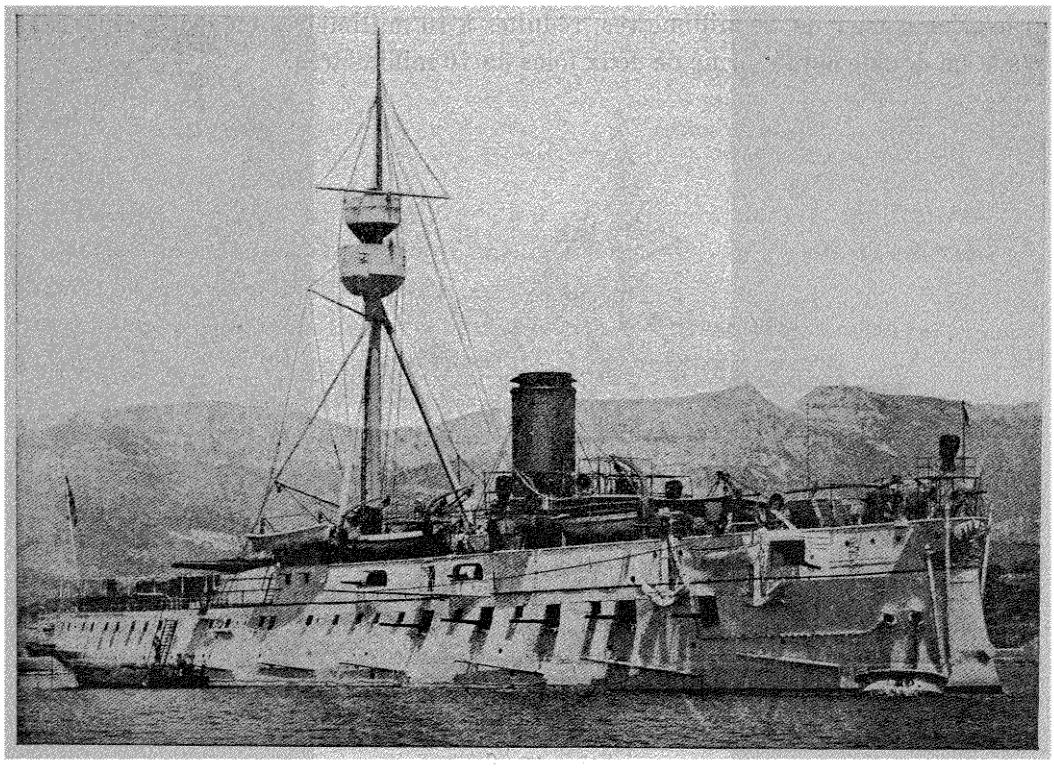


Fig. 182. — *Matsushima.*

10 canons Canet de 12 centimètres, à tir rapide, en batterie à l'arrière de la tourelle;

1 canon Canet de 12 centimètres, à tir rapide, en barbette à l'arrière

Le navire peut tirer :

	Centimètres.
En chasse.	2 canons de 12
En retraite	1 — de 32
Par le travers	1 — de 32 et 6 de 12.

Le *Matsushima* a : 1 canon Canet de 32 centimètres, de 38 calibres de longueur, en tourelle à l'arrière, avec champ de tir de 270°;

12 canons Canet de 12 centimètres, à tir rapide, en batterie sur l'avant de la tourelle.

Les deux canons avant peuvent faire feu en chasse.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le navire peut donc tirer :

		Centimètres.
En chasse.	2 canons	de 12
En retraite.	1 —	de 32
Par le travers	1 —	de 32 et 6 de 12

L'armement de chacun des trois navires se complète par :
5 canons Hotchkiss de 57 millimètres à tir rapide ;
11 mitrailleuses Hotchkiss de 37 millimètres ;
4 tubes lance-torpilles, 2 fixes à l'avant et à l'arrière, 2 mobiles par le travers ;
436 hommes d'équipage avec un amiral à bord.

CROISEURS CUIRASSÉS

CHIYODA

Construit chez James et George Thomson à Clydebank (Glascow) ; lancé en 1889. A pris part à la bataille du Yalou.

Dimensions :

Longueur.	94m,50
Largeur.	12m,80
Creux	7m,21
Tirant d'eau moyen	4m,27
Déplacement	2,450 tonnes.

Coque. — Formes élégantes ; l'avant forme éperon et le brion de l'étrave est assez arrondi. 84 compartiments étanches. Gouvernail partiellement balancé. Trois mâts ; une seule cheminée.

Protection. — Un pont cuirassé règne de bout en bout. Vers le milieu du navire la partie plate de ce pont est au-dessus de la flottaison. Elle se raccorde sous la ligne de flottaison en abord avec la coque à l'aide de deux parties inclinées.

Ce pont, d'une épaisseur totale de 25 millim., est formé de deux tôles : la tôle supérieure est en acier chromé et la tôle inférieure en acier Martin-Siemens. On a voulu ainsi placer extérieurement un métal dur de façon à faire ricocher les projectiles, et intérieurement un métal mou faisant office de matelas, de pare-éclats, et pouvant être bosselé sans se rompre.

Sur les deux tiers environ de la longueur le bâtiment a une bande de cuirasse d'acier chromé assez étroite et ayant une épaisseur d'environ 10 centimètres ; il a également deux tranches de cellulose.

Enfin, les soutes à charbon complètent la protection.

Machines. — Deux machines verticales à triple expansion. Elles développent ensemble 5600 chevaux à l'allure de 230 tours à la minute. On atteint alors une vitesse d'environ 19 nœuds.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La vapeur est fournie par six générateurs en tôle d'acier de $5^m,50$ de long et de $2^m,12$ de diamètre. Ces chaudières sont placées dans deux compartiments étanches où l'on produit le tirage forcé à l'aide de ventilateurs de $1^m,52$ de diamètre tournant à 250 tours à la minute et actionnés par une machine spéciale, à cylindre unique, et à action directe.

Approvisionnement de charbon de 240 tonnes, pouvant être doublé.

Armement. — L'armement comprend :

10 canons Armstrong, de 120 millimètres, à tir rapide, ainsi répartis : 1 à l'avant, 1 à l'arrière, 4 de chaque bord.

14 canons Hotchkiss de 47 millimètres, tir rapide;

3 mitrailleuses;

Il y a 3 tubes lance-torpilles.

Équipage de 320 hommes.

ASAMA

Lancé le 23 mars 1898, à Elswick.

Le *Tokiwa*, navire semblable, a été lancé à Elswick le 6 juillet 1898. deux autres semblables, *Idzumo* et *Iwate*, en construction dans les mêmes chantiers ont été lancés le premier en septembre 1899, le second en avril 1900. Le *Yakumo*, lancé en 1899 aux chantiers Vulcan, à Stettin et l'*Adzuma*, lancé également en 1899 aux chantiers de la Loire à Saint-Nazaire, ne diffèrent que légèrement des croiseurs construits à Elswick.

Dimensions :

Longueur entre perpendiculaires	$124^m,40$
Largeur	$20^m,48$
Tirant d'eau moyen.	$7^m,40$
Déplacement.	9 750 tonnes.

Coque. — Coque en acier; franc-bord élevé. Deux mâts militaires; deux cheminées dans l'axe entre les mâts pour l'*Asama* et le *Tokiwa*, trois cheminées pour les autres.

Protection. — Ceinture harveyée totale de 178 millimètres au centre, s'amincissant jusqu'à 88 millimètres aux extrémités, sur $2^m,13$ de hauteur, dont $0^m,61$ au-dessus de la flottaison (1). Au-dessus, blindage de 152 millimètres sur 79 mètres de longueur, s'élevant sur la hauteur de la batterie jusqu'au pied des casemates pour l'artillerie moyenne, entre les tourelles dont il vient protéger la base.

Les tourelles barbettes sont blindées à 152 millimètres et pourvues de carapaces; le blockhaus d'avant est blindé à 305 millimètres, celui d'arrière à 76; les casemates à 152 millimètres, et les tubes à munitions à 76 millimètres.

(1) Ceinture de 152 millimètres seulement sur le *Yakumo* et l'*Adzuma* pour lesquels le pont blindé a 63 millimètres d'épaisseur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pont blindé trapézoïdal en acier doux de 51 millimètres sur toute sa largeur, descendant en abord jusqu'au can inférieur de la cuirasse et formant la partie inférieure du caisson blindé. Un autre pont blindé de 25 millimètres règne au-dessus du réduit central cuirassé.

Machines. — Deux machines à triple expansion, à quatre cylindres (1), avec course de 990 millimètres, construites par MM. Humphrys, Tennant et C°. Douze chaudières cylindriques (2) donnant la vapeur à 10^{kg},9. Aux essais (février 1899), l'*Asama*, à pleine puissance, au tirage naturel, a donné un peu plus de 13 000 chevaux à 140 tours et avec une vitesse moyenne de 20^{n},37. Aux essais au tirage

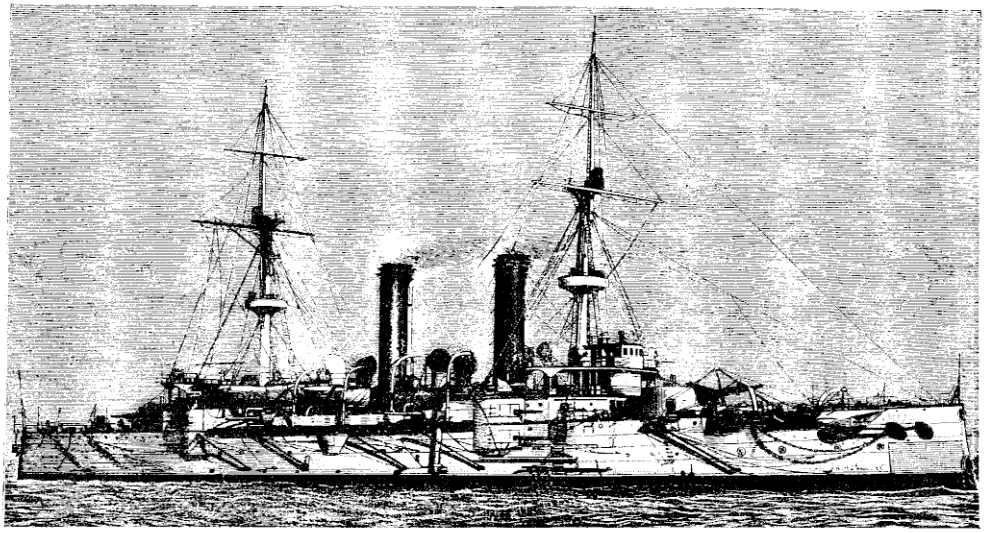


Fig. 183. — *Asama.*

forcé, avec une mer calme, mais un fort vent, la vitesse réalisée (mesurée au loch) a été de 22^{n},07, et la puissance de 19 000 chevaux, au régime de 158 tours.

Approvisionnement normal de charbon : 700 tonnes, pouvant être porté à 1 500.

Armement. — 4 canons de 203 millimètres, à tir rapide (45 calibres), par paires dans les tourelles barbettes axiales, avec champ de tir de 160° de chaque côté ; commandement de 7^{m},69 pour les pièces de l'avant et de 7^{m},30 pour celles de l'arrière ;

14 canons de 152 millimètres, à tir rapide (3), savoir : 6 sur le pont principal ; et 4 sur le pont supérieur.

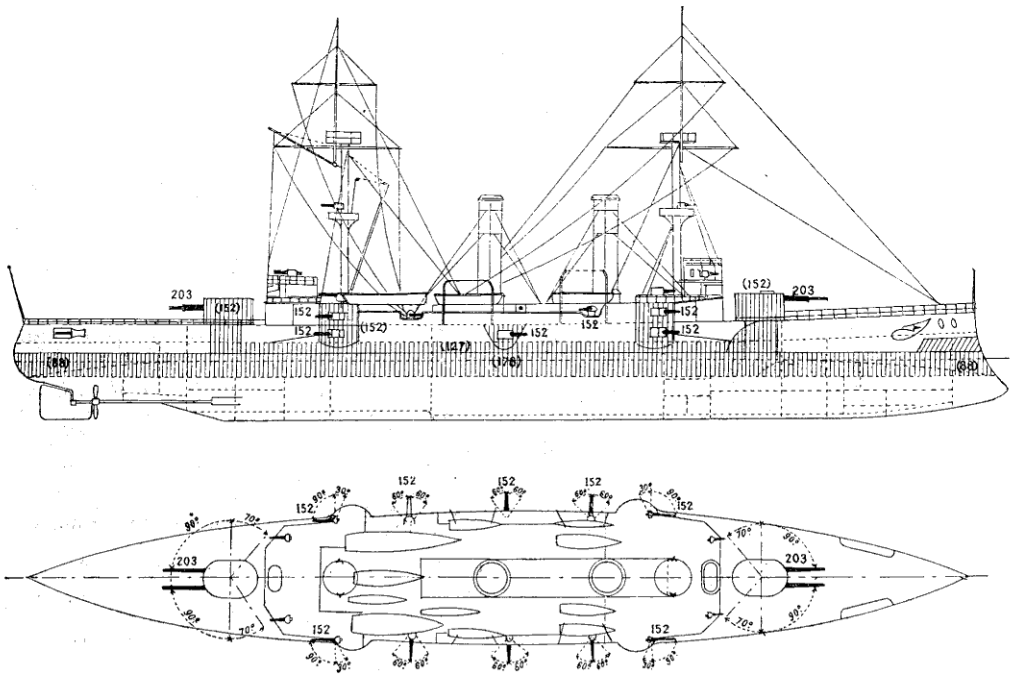
(1) Il y a deux cylindres basse pression.

(2) Les autres croiseurs similaires auront des chaudières Belleville.

(3) Sur le *Yakumo* et l'*Adzuma*, il y a 4 canons de 152 millimètres en casemates aux quatre angles de la batterie sur le pont principal et 6 sur le pont principal, protégés par des masques, au centre du navire.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ces 10 canons sont placés dans des casemates blindées à 152 millimètres;


203
(152)
152
(152)
(127)
(178)
(88)
(152)
203
(88)
152
152
152
152
152
152
203
203
152
152
152
152
152
152

4 casemates supérieures (avant et arrière) sont superposées aux casemates correspondantes du réduit inférieur et les prolongent.

Les 4 autres canons de 152 millimètres sont placés sur le pont supérieur et protégés par de simples masques.

12 canons de 76 millimètres, tir rapide;

7 canons de 47 millimètres, tir rapide;

5 tubes lance-torpilles, dont 4 sous-marins (1).

Équipage de 500 hommes pour l'*Asama* et le *Yakumo*, de 670 pour l'*Iozumo* et l'*Iwate*.

CROISEURS PROTÉGÉS

NANIWA KAN

Construit à Elswick, sur les plans de sir William White, ainsi que le navire identique *Takatchiho Kan*. Ces deux navires ont été lancés en 1885.

Dimensions :

Longueur entre perpendiculaires	91m,44
Largeur.	14 mètres.
Tirant d'eau moyen	5m,64
Déplacement.	3650 tonnes.

Coque. — Coque en acier; compartiments étanches. Éperon très robuste. Deux mâts, une cheminée centrale.

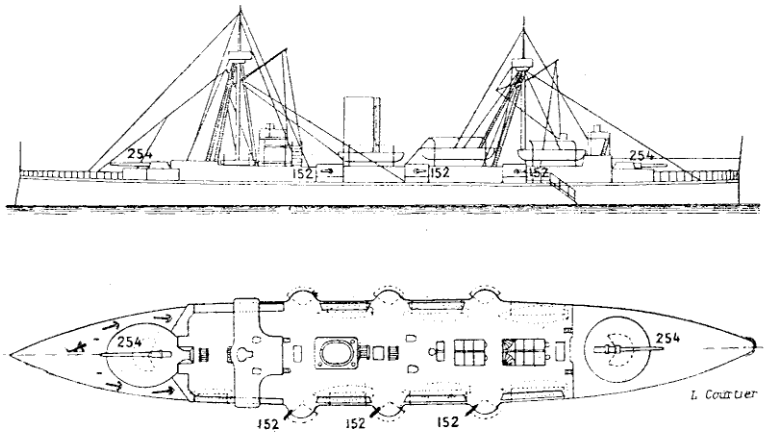


Fig. 186. — *Naniwa-Kan.*

Protection. — Pont blindé, en dos de tortue, de 50 millimètres dans la partie horizontale située, dans l'axe, à 0m,305 au-dessus de la flottaison et 76 millimètres

(1) Sur l'*Idzumo* et l'*Iwate*, le tube aérien est supprimé.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dans les parties inclinées qui descendent en abord jusqu'à 1m,22 au-dessous de la flottaison.

Blockhaus protégé à 50 millimètres.

Machines. — Machines horizontales, d'une puissance de 7235 chevaux, donnant une vitesse de 18n,72. Deux hélices. Pour le *Takatchiho*, la puissance est de 7120 chevaux et la vitesse 18n,77.

Dix chaudières cylindriques en deux compartiments.

Approvisionnement de charbon de 350 tonnes, pouvant être porté à 800.

Armement. — 2 canons de 254 millimètres, dans l'axe, un à chaque extrémité, en barbettes, à manœuvre hydraulique, avec champ de tir de 240°.

6 canons de 152 millimètres, tir rapide, par le travers en encorbellement;

6 canons de 47 millimètres, à tir rapide;

Toutes ces pièces sont pourvues de masques en acier;

10 mitrailleuses;

4 tubes lance-torpilles aériens;

350 hommes d'équipage.

YOSHINO

Construit à Elswick, par la maison Armstrong, et lancé en 1892. Ressemble

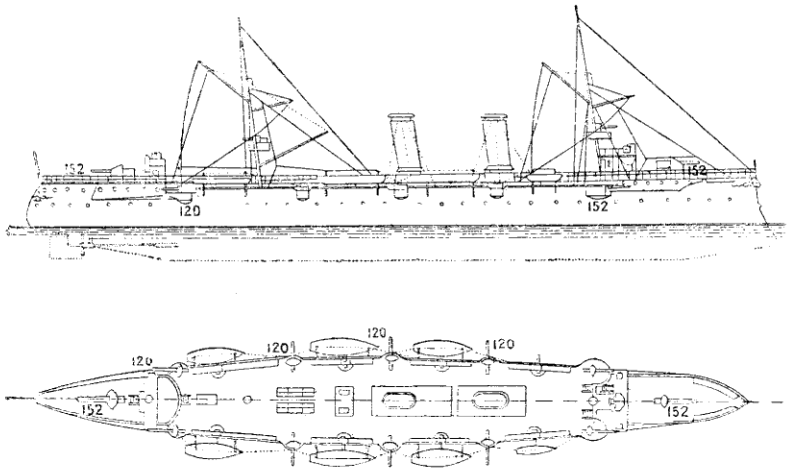


Fig. 187. — *Yoshino.*

beaucoup au *9 de Julio* et au *25 de Mayo*, construits également par Armstrong, mais il est plus grand et a un double fond.

Dimensions :

Longueur	106m,68
Largeur	14m,17
Tirant d'eau	5m,18
Déplacement	4150 tonnes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le *Kasagi* et le *Chitose*, lancés : le premier à Philadelphie, en 1898, le second à San Francisco, en 1899, sont des *Yoshinos* d'un déplacement un peu plus fort

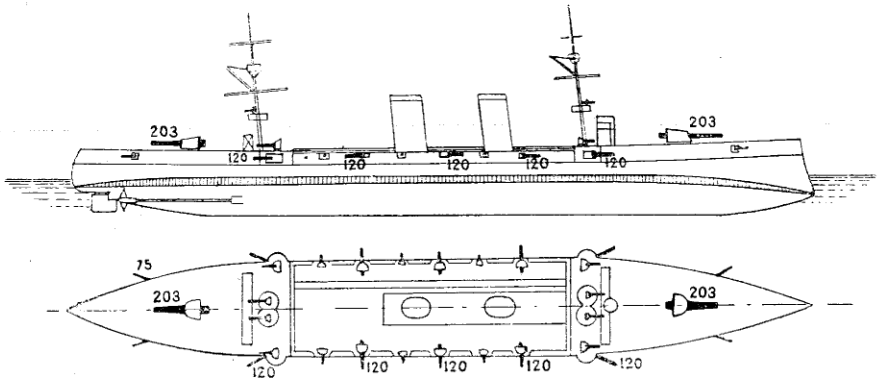


Fig. 188. — *Takasago.*

(4 900 tonnes); il en est de même pour le *Takasago*, construit à Elswik et dont le déplacement est de 4 250 tonnes.

Coque. — La coque en acier est très cloisonnée et assez faible d'échantillon;

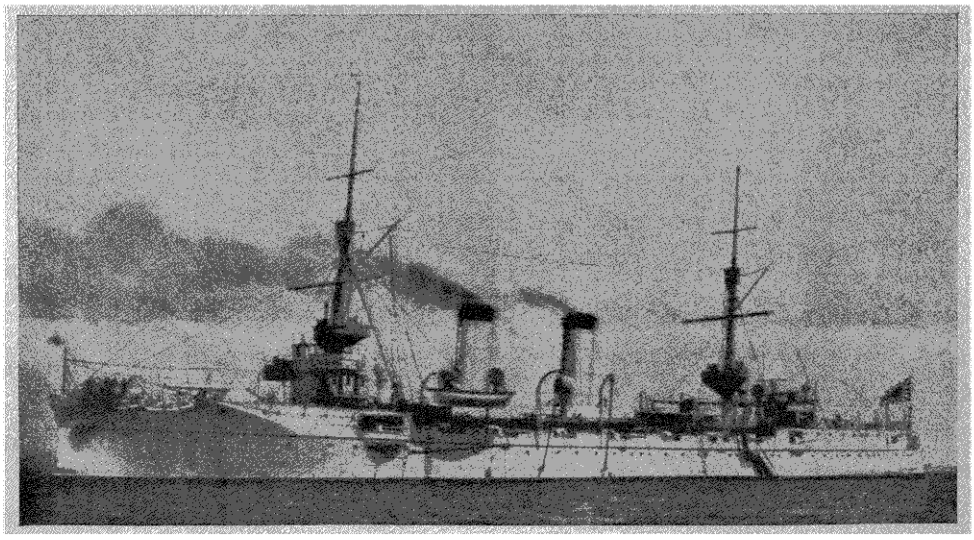


Fig. 189. — *Takasago.*

double fond; compartiments étanches. Deux mâts militaires; deux cheminées sur l'axe entre les mâts.

Protection. — Le pont cuirassé en dos de tortue, a une épaisseur de 43 millimètres dans la partie horizontale et de 114 à 89 millimètres sur les pentes. Le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

poste du commandant est très légèrement blindé à 102 millimètres. Ces blindages sont en acier.

Machines. — Deux machines à triple expansion et quatre cylindres, développant ensemble 15 750 chevaux au tirage forcé, 10 320 au tirage naturel, actionnant chacune une hélice. Course du piston : 838 millimètres. Aux essais au

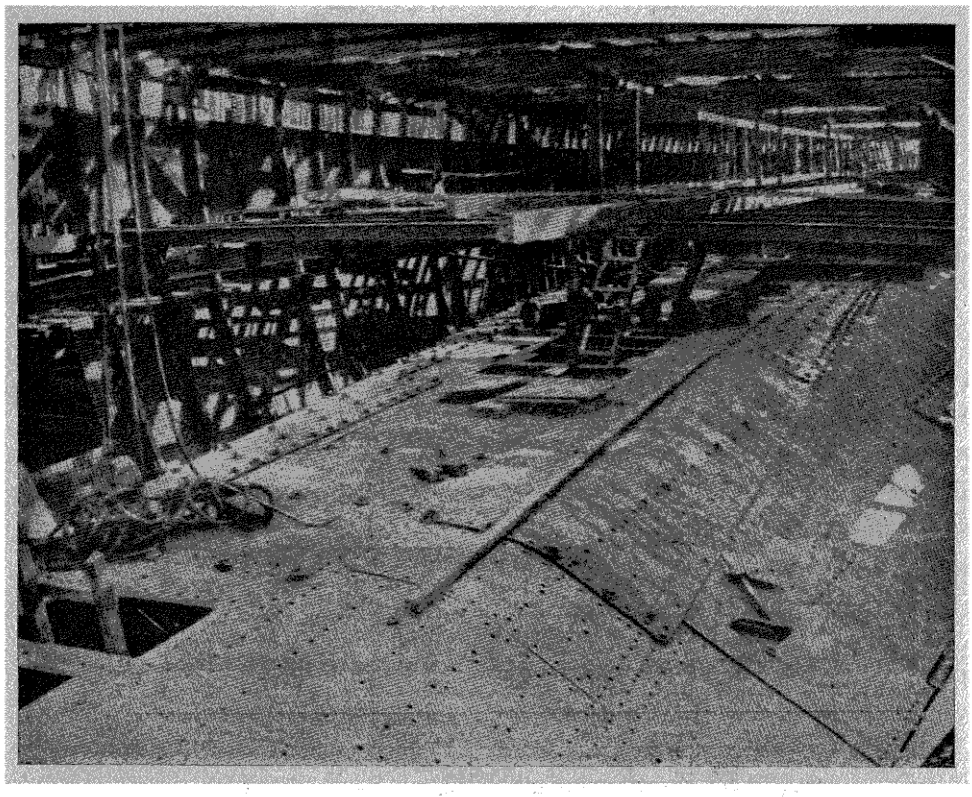


Fig 190. — *Chitose* (pont blindé).

tirage naturel, la vitesse a été de 21ⁿ,6; elle s'élève à 23 nœuds avec le tirage forcé (1).

Huit chaudières cylindriques pour le *Yoshino* et le *Takasago ;* douze pour les deux autres.

L'approvisionnement normal de charbon est de 350 tonnes, mais il peut être fortement augmenté.

Armement. — 4 canons de 152 millimètres, à tir rapide, dont 2 dans l'axe, à l'avant et à l'arrière, avec champ de tir de 270°, et 2 en encorbellement, à l'avant, pouvant tirer en chasse directe et jusqu'à 60° en retraite, soit un angle total de tir de 150°:

(1) Le *Chitose* aurait fait 23ⁿ,7 aux essais (*Scient. American,* 29 juillet 1899).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

8 canons de 120 millimètres, à tir rapide, dont 6 sur les flancs, avec champ de tir de 120°, et 2 à l'arrière, pouvant tirer en retraite et par le travers jusqu'à 135° à partir de la retraite directe;

22 canons de 47 millimètres, à tir rapide;

5 tubes lance-torpilles.

Le bâtiment peut tirer :

En chasse directe avec 3 canons de 152 millimètres, en retraite avec 1 canon de 152 millimètres et 2 de 120 millimètres;

Par le travers avec 3 canons de 152 millimètres et 4 de 120 millimètres.

Sur le *Takasago*, le *Kasagi* et le *Chitose*, l'artillerie est ainsi composée :

2 canons de 203 millimètres, à tir rapide (4 coups en 64 secondes) dans l'axe à l'avant et à l'arrière, protégés par des masques de 115 millimètres, avec champ de tir de 270°;

10 canons de 120 millimètres, à tir rapide, sur le pont supérieur : 6 tirant par le travers, 2 par le travers et en retraite et 2 par le travers et en chasse; également avec masques.

La petite artillerie comme sur le *Yoshino*.

350 à 400 hommes d'équipage.

(*A suivre.*)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MÉTALLURGIE

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES ALLIAGES CUIVRE-ALUMINIUM

Note de **M. Léon Guillet**, présentée par M. DITTE (1)

Les alliages cuivre-aluminium ont déjà été l'objet d'études très approfondies de la part de M. Le Chatelier (2).

J'ai pensé, qu'en appliquant à ces alliages la méthode que j'ai décrite pour ceux de tungstène et d'aluminium et pour ceux de molybdène et d'aluminium, je pourrais isoler les combinaisons des métaux cuivre-aluminium prévues par la courbe de fusibilité et par les recherches métallographiques. La présente Note a pour objet les résultats de ces recherches.

Je suis parti d'oxyde de cuivre chimiquement pur, que j'ai préparé en traitant du cuivre électrolytique par l'acide azotique et en calcinant l'azotate obtenu.

Toutes les expériences ont été faites sur 500^{gr} de matière, à l'exception toutefois de celles très riches en aluminium, qui sont beaucoup moins violentes que les premières, et dans lesquelles j'ai agi sur 3^{kg} de mélange.

J'ai toujours utilisé Al en grains scindés entre les tamis 25 et 30; il est impossible, par suite de la violence de la réaction, d'utiliser Al en poudre. Voici les résultats auxquels je suis arrivé :

1° La limite d'inflammation a lieu pour la réaction correspondant théoriquement au composé $Cu\,Al^4$;

2° L'expérience correspondant à la formation théorique de Cu donne un culot qui n'est pas attaqué par H Cl étendu et ne correspond qu'à 95, 49 pour 100 Cu;

3° Tous les culots compris entre les expériences qui donneraient théoriquement Cu et Cu^5 Al sont de couleur or; ils ne sont pas attaqués par HCl étendu et ne semblent formés que de Cu + la combinaison Cu^3Al;

4° Les culots des expériences correspondant à la formation théorique Cu^4Al et Cu^3Al laissent dans HCl étendu un résidu très nettement cristallisé, qui correspond à la formule Cu^3Al. Ce composé est un de ceux prévus par les recherches de M. Le Chatelier.

L'analyse faite par voie électrolytique a donné :

Cu : 87,11; 87,65; 87,75. En théorie : 87,55

5° Les culots correspondant à la formation théorique de Cu^2Al Cu Al traités par HCl étendu laissent un résidu très bien cristallisé. Si l'on attaque ce résidu par l'acide azotique concentré, on obtient, en très petite quantité (2 à 3 pour 100), une poudre noire insoluble dans cet acide et dans l'eau régale. Cette poudre a un aspect cristallin très net au microscope et semble être un siliciure d'aluminium et de cuivre très riche en silicium (73 pour 100). Quant à la partie soluble dans l'acide azotique, elle correspond au composé Cu Al.

On trouve ce produit sous forme de petits cristaux dans les culots; mais ils sont très difficiles à isoler. Ce doit être la combinaison qu'a indiquée M. Le Chatelier dans son étude micrographique des alliages cuivre-aluminium, et qu'il donnait comme voisine de Cu Al.

6° Les culots donnés par les expériences qui conduisaient aux composés Al^2Cu et Al^3Cu sont entièrement cristallisés. On y trouve, à l'intérieur de grands alvéoles, de magnifiques cristaux en aiguilles, qui atteignent jusqu'à 2^{cm} et 3^{cm} de longueur. Ces cristaux peuvent être aisément séparés

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 28 octobre 1901, p. 684.

(2) *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, avril 1895, juin 1899, septembre 1900.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de la masse, mais ils sont toujours recouverts d'aluminium. C'est l'expérience correspondant à la formation théorique de Cu^3Al qui donne les meilleurs résultats. Comme ils sont attaqués par H Cl et K OH étendus, on ne peut les avoir purs qu'en opérant comme il suit: on les traite par l'acide azotique concentré et bouillant: l'aluminium s'y dissout très lentement et l'on voit très nettement le moment précis où commence l'attaque des cristaux: on arrête alors l'action de l'acide. Ces cristaux correspondent à la formule Al^2Cu.

Ces cristaux se présentent également sous forme de grandes lamelles qu'il est, en général, fort difficile de séparer de la masse. Ces lamelles rappellent absolument par leurs dispositions les microphotographies de l'alliage Al^2Cu données par M. Le Chatelier [1].

Si, d'autre part, on broie très finement la masse du culot contenant ces cristaux, et si on la traite, comme je l'ai dit, par l'acide azotique, on obtient la même combinaison Al^2Cu, en poudre cristalline.

Les culots obtenus dans les expériences correspondant à Al^3Cu ne sont formés que par le composé $Al^2Cu + Al$ en excès plus ou moins grand.

Je résumerai mes recherches dans le tableau suivant :

Expériences correspondant à la formation théorique de	Composition du culot brut.	Composition du résidu dans H Cl étendu.	
Cu	Cu = 95,55	Cu = 95,53	
$Cu^{10}Al$	Cu = 90,44	Cu = 90,50	
Cu^5Al	Cu = 88,34	Cu = 88,55	
Cu^4Al	Cu = 87,02	Cu = 77,35	} Composé Cu^3Al.
Cu^3Al	Cu = 86,94	Cu = 87,11	
Cu^2Al	Cu = 68,46	Cu = 69,02	Composé Cu Al
Cu Al	Cu = 65,89	Cu = 68,96	+ siliciure d'aluminium.
Cu Al^2	Cu = 53,32	Cu = 54,04	} Composé Al^2Cu.
Cu Al^3	Cu = 49,56	Cu = 54,24	
Cu Al^4	Culot mêlé d'alumine et ne pouvant être trié.		

En résumé, en appliquant à l'oxyde de cuivre la méthode que j'ai indiquée pour les acides tungstique et molybdique, j'ai pu isoler les trois combinaisons qui ont été signalées dans les études de M. Le Chatelier et qui correspondent aux formules Cu^3Al, CuAl, Al^2Cu, la combinaison CuAl étant obtenue mélangée avec 2 à 3 pour 100 d'un siliciure de cuivre et d'aluminium.

(1) *Bulletin de la Société d'Encouragement*, septembre 1900.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHIMIE

SUR UNE NOUVELLE MÉTHODE DE MANIPULATION DES GAZ LIQUÉFIÉS EN TUBES SCELLÉS.

Note de M. **Henri Moissan** (1).

Depuis quelques années, nous avons eu l'occasion de faire un assez grand nombre de réactions au moyen de gaz liquéfiés, et nous pensons qu'il est utile d'indiquer quelques-unes des précautions que nécessitent ces expériences.

On sait que la question de la liquéfaction des gaz, dont l'étude a été reprise à partir des importantes recherches de notre confrère M. Cailletet, est entrée aujourd'hui dans une voie véritablement industrielle.

Nous manions maintenant avec facilité l'acide carbonique solide et l'air liquide; il est vraisemblable que, dans peu de temps, les belles expériences de M. Dewar sur la liquéfaction de l'hydrogène pourront être réalisées dans la plupart des laboratoires. Il nous sera possible de parcourir ainsi une gamme de températures très étendue, depuis la température du four électrique, 3500°, jusqu'à celle de l'ébullition de l'hydrogène liquide, — 225°.

Lorsque nous avons exécuté, en collaboration avec M. Dewar, dans le beau laboratoire de la *Royal Institution*, nos recherches sur la liquéfaction du fluor, nous avons utilisé couramment, pour l'obtention des températures de — 80°, l'évaporation lente d'un mélange d'acide carbonique solide dans l'alcool éthylique (2).

Voulant appliquer ce procédé aux nombreuses manipulations d'un laboratoire de chimie, nous avons cherché tout d'abord quel était le liquide qui nous permettait de dissoudre l'acide carbonique solide en plus grande quantité et, par conséquent, d'obtenir un froid plus intense. Nous indiquerons rapidement quelques-unes des expériences qui ont été faites à ce sujet. Le mélange d'acide carbonique solide et de liquide était placé dans un vase à espace annulaire vide d'air pour que la perte par rayonnement fût aussi petite que possible. Pour activer l'évaporation, on faisait traverser le mélange par un courant d'air rapide. Ce gaz avait été séché au préalable par son passage dans deux grands flacons de dix litres, dont le premier contenait des fragments de ponce imbibés d'acide sulfurique et le second de gros morceaux de chlorure de calcium poreux. En employant l'air à la température ordinaire du laboratoire, c'est-à-dire à — 18°, on obtient avec alcool éthylique et l'alcool méthylique une température constante de de — 85°.

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 11 novembre 1901, p. 768.

(2) On sait depuis longtemps que, d'après les indications de Faraday et de Thilorier, on peut employer un mélange d'éther et d'acide carbonique solide pour obtenir ces basses températures. Cette manipulation n'est devenue pratique dans les laboratoires que depuis la préparation industrielle de l'acide carbonique liquide. En 1888, MM. Cailletet et Colardeau ont publié dans nos *Comptes rendus* une Note sur l'étude des mélanges réfrigérants obtenus avec l'acide carbonique solide et ils ont atteint les températures suivantes : éther éthylique, — 77°; chlorure de méthyle, — 82°; acide sulfureux, — 82°; éther acétamylique, — 78°; trichlorure de phosphore, — 76°; alcool absolu, — 72°, et liqueur des Hollandais, — 60°. En faisant le vide sur ces mélanges, ainsi que Faraday l'avait conseillé, ils ont obtenu avec le chlorure de méthyle une température de — 100°.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Avec l'acide carbonique solide et le chlorure de méthyle ou bien l'aldéhyde éthylique, la température s'abaisse à — 90°. L'éther acétique saturé d'acide carbonique solide, avec lequel il paraît former une combinaison, descend à — 95°. Enfin, l'acétone, qui dissout une quantité d'anhydride beaucoup plus grande, prend une température de — 98°.

Pour cette raison, nous donnons toujours, dans le laboratoire, la préférence au mélange d'acétone et d'anhydride carbonique.

Lorsque l'on a besoin d'atteindre une température plus basse, on peut l'obtenir facilement en refroidissant l'air sec qui active l'évaporation du mélange réfrigérant. Pour cela, on fait passer cet air dans un serpentin métallique au milieu d'un premier mélange d'acétone et d'anhydride carbonique maintenu à la température de — 80°. L'air froid, arrivant alors dans le second mélange d'acétone et d'anhydride en excès, peut abaisser sa température jusqu'à — 110°.

Pour les températures plus basses, il faut employer l'air liquide, ou mieux l'oxygène liquide. On obtient ainsi, et d'une façon constante, une température de — 182°,5. S'il était besoin de températures moins élevées on peut utiliser l'ébullition de l'oxygène ou celle de l'air liquide sous pression réduite.

Lorsque l'on veut faire réagir un gaz liquéfié sur un solide, on peut utiliser la pression qu'il fournit à la température ordinaire si son point critique est assez élevé pour le maintenir liquide dans un tube de verre scellé.

La difficulté consiste seulement à sceller le tube contenant le gaz liquéfié. Pour tourner cette difficulté, il suffit de refroidir le tube suffisamment pour faire passer tout le corps liquide à l'état solide. Dans ces nouvelles conditions, on peut faire le vide dans le tube contenant le gaz solidifié au moyen d'une trompe à mercure et sceller ensuite le verre avec facilité. Avec quelque habitude et en laissant une épaisseur de verre assez grande dans la partie effilée, on obtient des tubes pouvant résister à des pressions de 200^{atm} à 300^{atm}.

Pour ces expériences, nous employons couramment des tubes en cristal de 10^{mm} de diamètre extérieur et de 6^{mm} de diamètre intérieur. Nous avons maintenu dans ces tubes, pendant des années, soit de l'ammoniac, soit du chlore, soit de l'hydrogène sulfuré liquides.

Si les pressions doivent être plus fortes, nous utilisons des tubes de 7^{mm} de diamètre extérieur et de 3^{mm} de diamètre intérieur. Nous conservons dans de semblables tubes scellés et dans les mêmes conditions, de l'acétylène liquide et de l'acide iodhydrique liquide. Cette méthode s'applique très bien dans le laboratoire à la conservation des gaz secs et purs.

Enfin, lorsque la pression doit s'élever jusqu'à 300^{atm}, nous employons des tubes n'ayant plus que $1^{mm},5$ de diamètre intérieur et 6^{mm} de diamètre extérieur.

Nous rappellerons à ce sujet les expériences que nous avons faites sur le sulfammonium, sur l'action de l'iode en présence de l'ammoniac, ou sur l'action de l'acétylène liquide sur les métaux alcalins.

Lorsque l'on solidifie de l'acétylène, on remarque que ce corps prend très facilement l'état cristallin. Sorti du tube de verre, cet acétylène solide peut être allumé en un point, et il brûle alors avec une flamme fuligineuse comme un morceau de camphre ou de benzine solide.

C'est en appliquant ces méthodes que, dans notre laboratoire, M. Defacqz a pu étudier l'action de l'acide iodhydrique liquide sur certains chlorures métalliques, et que M. Lebeau a pu poursuivre ses recherches sur l'action des métaux alcalins en présence de l'hydrogène arsénié liquide.

Lorsque l'expérience est terminée, l'étude des produits de la réaction est très facile. Il suffit de refroidir le tube pour solidifier tous les gaz qui s'y trouvent et de disposer l'extrémité effilée du tube en communication avec une pompe ou une trompe à mercure. On casse ensuite la pointe de verre du tube scellé, puis, en laissant lentement s'élever la température de l'appareil, on peut fractionner les différents corps gazeux et liquides qui se sont produits. Les corps non volatils à la température ordinaire restent au fond du tube. Avant de casser la pointe du tube refroidi, il est utile de s'assurer par une expérience préliminaire que tous les gaz sont solidifiés.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Certaines précautions doivent toujours être prises dans ces expériences ; en particulier, on doit avoir des gaz aussi purs que possible et, surtout, il faut éviter toute trace d'humidité. Nous ajouterons que toutes les réactions dans lesquelles l'hydrogène peut être mis en liberté ne peuvent pas être étudiées par cette méthode. La pression à l'intérieur du tube de verre devient trop forte et les tubes éclatent. Enfin, si l'on évitait l'explosion, il faudrait pousser le refroidissement, dans ce cas, jusqu'à la solidification de l'hydrogène, ce qui actuellement est assez difficile.

Du reste, dans ces conditions, la réalisation de ces expériences dans le verre devient à peu près impossible. En effet, lorsqu'on soumet un tube de cristal à la température d'ébullition de l'oxygène, il se trempe et se brise souvent en revenant à la température ordinaire. Cette propriété complique singulièrement les expériences entreprises au-dessous de — 200°. On peut éviter en partie cette difficulté en laissant les tubes revenir très lentement à la température ordinaire et en les maintenant pendant plusieurs heures à des températures intermédiaires de — 110° et de — 50°.

Nous ferons remarquer, en terminant cette Note, que ces manipulations sont toujours dangereuses et que l'on doit prendre de grandes précautions dans le maniement des tubes de verre renfermant des gaz et des liquides sous des pressions élevées.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

NOTES DE MÉCANIQUE

ESSAIS POUR DÉTERMINER LA VARIATION DE LA RÉSISTANCE A LA TRACTION ET DE L'ALLONGEMENT DE RUPTURE DU BRONZE AVEC LA TEMPÉRATURE, d'après *M. C. Bach.*

M. C. Bach a publié (1) la suite des résultats d'essais que nous avons donnés dans le numéro de mars 1901 du *Bulletin* (p. 398). Ces nouveaux essais ont porté sur du bronze dont la composition était la suivante :

87 cuivre ; 8,7 étain ; 4,3 zinc.

Ce bronze essayé à la température de 20° a donné les résultats consignés dans le tableau I.

TABLEAU I

DÉSIGNATION du bronze.	DIAMÈTRE d	SECTION $\frac{\pi}{4} d^2$	LONGUEUR de la partie cylindrique du diamètre d	CHARGE DE RUPTURE P	CHARGE DE RUPTURE $P : \frac{\pi}{4} d^2$	ALLONGEMENT de rupture sur 200 mm.	STRICTION
	cm	cm²	mm	kg	kg par cm²	p. 100	p. 100
Sch B 6 a	2,00	3,14	220	7360	2344	12,8	14,3
— 7 a	2,00	3,14	220	7770	2475	15,3	16,2
— 8 a	2,00	3,14	220	7520	2395	12,7	18,8
— 9 a	2,00	3,14	220	7840	2497	20,3	20,7
— 10 a	2,00	3,14	220	7670	2443	14,8	17,2
				MOYENNES.	2431	15,2	17,4

La détermination de la striction est incertaine en raison des irrégularités de la cassure.

L'analyse de douze échantillons a donné :

Cuivre . . . . . 85,90 à 87,00 p. 100
Étain. . . . . 8,78 à 9,75 —
Zinc . . . . . 3,64 à 4,30 —

(1) *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 19 octobre 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

A) ESSAIS DES BARRETTES 2 A 4 A LA TEMPÉRATURE ORDINAIRE.

Les barrettes 1 à 3 avaient la même section cylindrique médiane $\left(\frac{\pi}{4} \times 2{,}01^2\right) = 3^{cm2},17$; la barrette n° 4 avait un diamètre de $2^{cm},005$ et une section de $3^{cm2},16$; la longueur d'essai était, pour les quatre barrettes, de 15 centimètres. Les essais ont été faits en appliquant aux barrettes des efforts variables modifiés toutes les 2 minutes, jusqu'à ce que les allongements totaux permanents et élastiques fussent constants.

Barrette n° 1.

1er ESSAI

Température de 21°,4 à 21°,5.

Charges extrêmes en kg.		Allongement sur 15 cm. en 1/1000 de cm.			Différence entre les allongements permanents.
totale.	kg. par cm²	totale.	permanente.	élastique.	
					2,51
500 et 1 000	157,7 et 315,5	2,51	0,00	2,51	
					2,51
500 et 1 500	157,7 et 473,2	5,05	0,03	5,02	
					2,57
500 et 2 000	157,7 et 630,9	7,88	0,29	7,59	
					2,64
500 et 2 500	157,7 et 788,6	11,33	1,10	10,23	

2e ESSAI

Température de 22°,3 à 22°,6.

Charges extrêmes en kg.		Allongement sur 15 cm. en 1/1000 de cm.			Différence entre les allongements permanents.
totale.	kg. par cm²	totale.	permanente.	élastique.	
					2,59
500 et 1 000	157,7 et 315,5	2,59	0,00	2,59	
					2,57
500 et 1 500	157,7 et 473,2	5,16	0,00	5,16	
					2,56
500 et 2 000	157,7 et 630,9	7,72	0,00	7,72	
					2,53
500 et 2 500	157,7 et 788,6	10,30	0,05	10,25	

Les allongements élastiques consécutifs du deuxième essai, ont donné comme valeur moyenne :

$$\frac{2{,}59 + 2{,}57 + 2{,}56 + 2{,}53}{4} = 2{,}56,$$

d'où un coefficient d'allongement de :

$$\frac{2{,}56}{1\,000 \times 15 \times 157{,}7} = \frac{1}{924\,000.}$$

La suite de l'essai à la traction a donné les résultats suivants :

Résistance à la traction (R)	2 705 kg. par cm²
Allongement de rupture sur 200 millim. (mesuré après rupture) (A)	22 p. 100
Contraction (S)	26,8 p. 100
Coefficient d'énergie, ou travail mécanique que la barrette absorbe jusqu'au moment où la charge maximum est appliquée; correspondant à l'aire B B C D (fig. 1), rapporté au centimètre cube de la masse primitive de la barrette (x)	$4^{kg},69$ par cm³

$$\frac{\text{Coefficient d'énergie } (x)}{\text{Résistance de rupture à la traction (R)} \times \text{allongement de rupture (A) par centimètre}} = \frac{4{,}69}{2\,705 \times 0{,}00022} = 0{,}79.$$

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

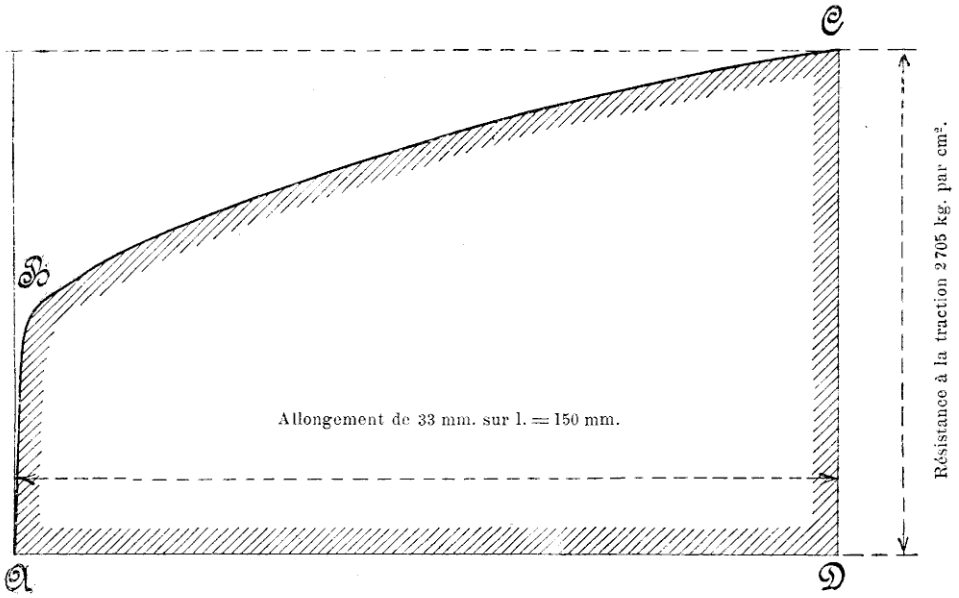


Fig. 1.

Barrette n° 2.

1er ESSAI

Température de 19°,5 à 20°,0.

Charges extrêmes en kg.		Allongement sur 15 cm. en 1/1000 de cm.			Différence entre les allongements permanents.
totale.	kg. par cm²	totale.	permanente.	élastique.	
500 et 1 000	157,7 et 315,5	2,46	0,10	2,36	2,36
500 et 1 500	157,7 et 473,2	5,09	0,25	4,84	2,48
500 et 2 000	157,7 et 630,9	8,12	0,61	7,51	2,67
500 et 2 500	157,7 et 788,6	11,55	1,48	10,07	2,56

2e ESSAI

Température de 22°,2 à 22°,9.

Charges extrêmes en kg.		Allongement sur 15 cm. en 1/1000 de cm.			Différence entre les allongements permanents.
totale.	kg. par cm²	totale.	permanente.	élastique.	
500 et 1 000	157,7 et 315,5	2,52	0,00	2,52	2,52
500 et 1 500	157,7 et 473,2	5,04	0,00	5,04	2,52
500 et 2 000	157,7 et 630,9	7,59	0,01	7,58	2,54
500 et 2 500	157,7 et 788,6	10,15	0,06	10,09	2,51

Allongement élastique moyen :

$$\frac{2,52 + 2,52 + 2,54 + 2,51}{4} = 2,53;$$

coefficient d'allongement :

$$\frac{2,53}{1\,000 \times 15 \times 157,7} = \frac{1}{935\,000}.$$

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La suite de l'essai à la traction a donné les valeurs suivantes :

R. . . . . 2 432 kg. par cm²
A. . . . . 15,6 p. 100
S. . . . . 21,1 —
x correspondent à l'aire A B C D (fig. 2) et rapporté au cm³ de la masse primitive de la barrette. . . . . 3kg,07 par cm³

$$\frac{x}{\text{R} \times \text{A (par centimètre de longueur, en mètres)}} = 0{,}81.$$

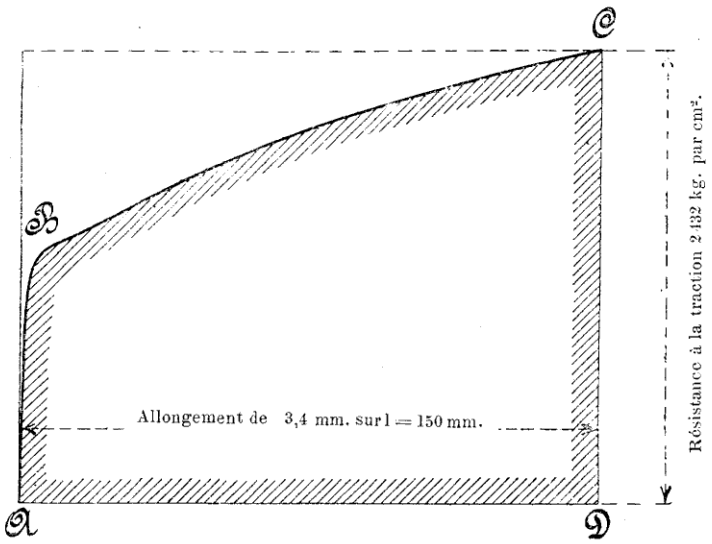


Fig. 2.

Barrette n° 3.

1er ESSAI

Température de 20°,8.

Charges extrêmes en kg.		Allongement sur 15 cm. en 1/1000 de cm.			Différence entre les allongements permanents
totale.	kg. par cm²	totale.	permanente.	élastique.	
500 et 1 000	157,7 et 315,5	2,71	0,00	2,71	2,71
500 et 1 500	157,7 et 473,2	5,42	0,00	5,42	2,71
500 et 2 000	157,7 et 630,9	8,12	0,00	8,12	2,70
500 et 2 500	157,7 et 788,6	10,86	0,03	10,83	2,71

2e ESSAI

Température de 20°,0.

Charges extrêmes en kg.		Allongement sur 15 cm. en 1/1000 de cm.			Différence entre les allongements permanents
totale.	kg. par cm²	totale.	permanente.	élastique.	
500 et 1 000	158,2 et 316,5	2,61	0,04	2,57	2,57
500 et 1 500	158,2 et 474,7	5,49	0,28	5,21	2,64
500 et 2 000	158,2 et 632,9	8,55	0,63	7,92	2,71
500 et 2 500	158,2 et 791,1	12,15	1,50	10,65	2,73

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cette barrette confirme le fait, constaté déjà dans les essais antérieurs sur du bronze, que, tandis que, dans le premier essai, les allongements croissent plus rapidement que les tensions, dans le deuxième, c'est-à-dire après que la charge a été appliquée déjà ils leur sont proportionnels.

Allongement élastique moyen :

$$\frac{2,71 + 2,71 + 2,70 + 2,71}{4} = 2,71,$$

Coefficient d'allongement :

$$\frac{2.71}{1\,000 \times 15 \times 137,7} = \frac{1}{872\,900}.$$

R	2 372 kg. par cm²
A	13,9 p. 100
S	21,1 —
x correspondent à l'aire A B C D (fig. 3) et rapporté au cm³ de la masse primitive de la barrette	3kg,07 par cm³

Rapport :

$$\frac{x}{R \times A \text{ (par centimètre de longueur, en mètres)}} = 0,81.$$

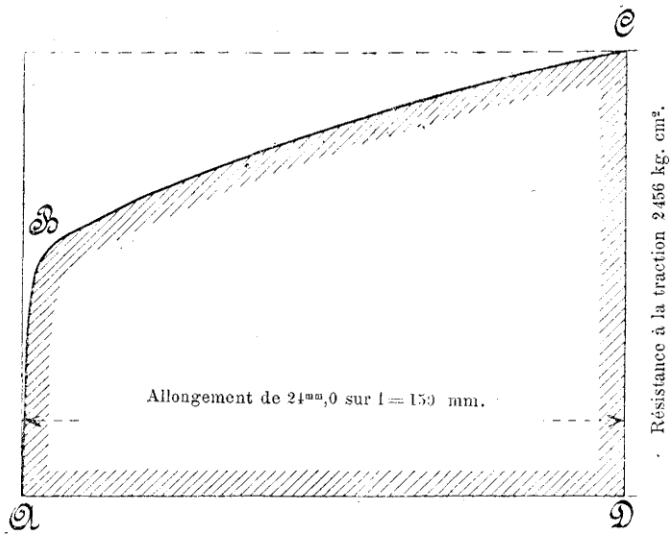


Fig. 3.

Barrette n° 4.

1er ESSAI

Température de 20°,8 à 21°,0.

Charges extrêmes en kg.		Allongement sur 15 cm. en 1/1000 de cm			Différence entre les allongements permanents.
totale.	kg. par cm²	totale.	permanente.	élastique.	
500 et 1 000	158,2 et 316,5	2,69	0,00	2,69	2,69
500 et 1 500	158,2 et 474,7	5,38	0,00	5,38	2,69
500 et 2 000	158,2 et 632,9	8,04	0,00	8,04	2,66
500 et 2 500	158,2 et 791,1	10,76	0,04	10,72	2.68

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

2e ESSAI

Température de 20°,0 à 20°,3.

Charges extrêmes en kg.		Allongement sur 15 cm. en 1/1000 de cm.			Différence entre les allongements permanents.
totale.	kg. par cm²	totale.	permanente.	élastique.	
500 et 1 000	157,7 et 315,5	2,59	0,02	2,57	2,57
500 et 1 500	157,7 et 473,2	5,38	0,17	5,21	2,64
500 et 2 000	157,7 et 630,9	8,54	0,53	8,01	2,80
500 et 2 500	157,7 et 788,6	12,73	1,91	10,82	2,81

Allongement élastique moyen :

$$\frac{2,69 + 2,69 + 2,66 + 2,68}{4} = 2,68$$

Coefficient d'allongement :

$$\frac{2,68}{1\,000 \times 15 \times 158,2} = \frac{1}{835\,400}.$$

Résistance à la traction (R) . . . . . 2 456 kg. par cm²
Allongement de rupture sur 200 millim. (mesuré après rupture) (A) . . . . . 16 p. 100
Striction (S) . . . . . 16,1 p. 100
Coefficient d'énergie, correspondant à l'aire A B C D (fig. 4) (x) . . $3^{kg},28$ par cm³

$$\frac{x}{\text{R} \times \text{A (par centimètre de longueur en mètres)}} = 0,83.$$

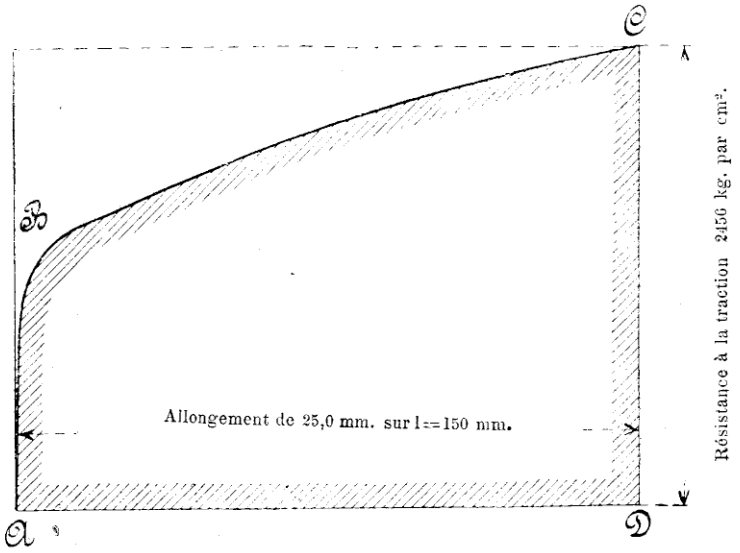


Fig. 4.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les moyennes des résultats des quatre éprouvettes sont les suivantes :

Coefficient d'allongement $\left(\frac{1}{914\,000} + \frac{1}{935\,000} + \frac{1}{872\,900} + \frac{1}{885\,400}\right) : 4 = \frac{1}{904\,000}$ environ.

(R) Résistance à la traction : $\frac{2\,705 + 2\,432 + 2\,372 + 2\,256}{4} = 2\,491$ kg. par cm^2;

(A) Allongement de rupture : $\frac{22,0 + 15,6 + 15,9 + 16,0}{4} = 17,4$ p. 100;

Striction : $\frac{26,8 + 21,1 + 21,1 + 16,1}{4} = 21,3$ p. 100;

(x) Coefficient d'énergie : $\frac{4,69 + 3,07 + 3,05 + 3,28}{4} = 3^{kg},52$ par cm^3;

$$\frac{x}{\text{R} \times \text{A (par centimètre de longueur, en mètres)}} = 0,81.$$

La barrette n° 1 était donc supérieure à tous les points de vue aux trois autres.

Le bronze essayé précédemment (*Bulletin* de mars 1901, p. 395) avait donné les résultats suivants :

Coefficient d'allongement	$\frac{1}{967\,000}$
Résistance à la traction	2 395 kg par cm^2
Allongement de rupture	36,3 p. 100
Striction	52,1 —
Coefficient d'énergie	$6^{kg},90$ par cm^3

B) *Essais des barrettes n^{os} 5 à 8 et 42 à 47 à la température de 100°.*

Ces barrettes étaient immergées, pendant l'essai, dans un bain de palmine à température assez élevée pour qu'on pût supposer que la température de la barrette atteindrait au moment voulu 100°. En agitant le bain, on obtenait une température presque identique en haut et en bas.

Le four à réchauffer les barrettes est représenté en figures 5 à 6; ainsi qu'on le voit, il est placé dans une machine à essayer verticale.

Les résultats d'essai, ainsi que le montre le tableau III, sont, en ce qui concerne la résistance à la traction et l'allongement de rupture, de beaucoup inférieurs à ceux donnés par les tableaux I et II. Comme d'après l'expérience acquise lorsque les métaux sont *identiques*, on ne peut s'attendre à une diminution notable de la résistance à la traction à 100°, et comme, d'autre part, on a souvent observé, dans le cas du bronze, que des pièces d'un même bronze, auxquelles on attribue une même composition, montrent des écarts considérables au point de vue de leur résistance, on a fait des essais sur d'autres barrettes à 100°; les résultats en sont consignés au tableau IV.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ils diffèrent considérablement des essais du tableau III, et correspondent plutôt à ceux auxquels on pouvait s'attendre après les essais des tableaux I et II.

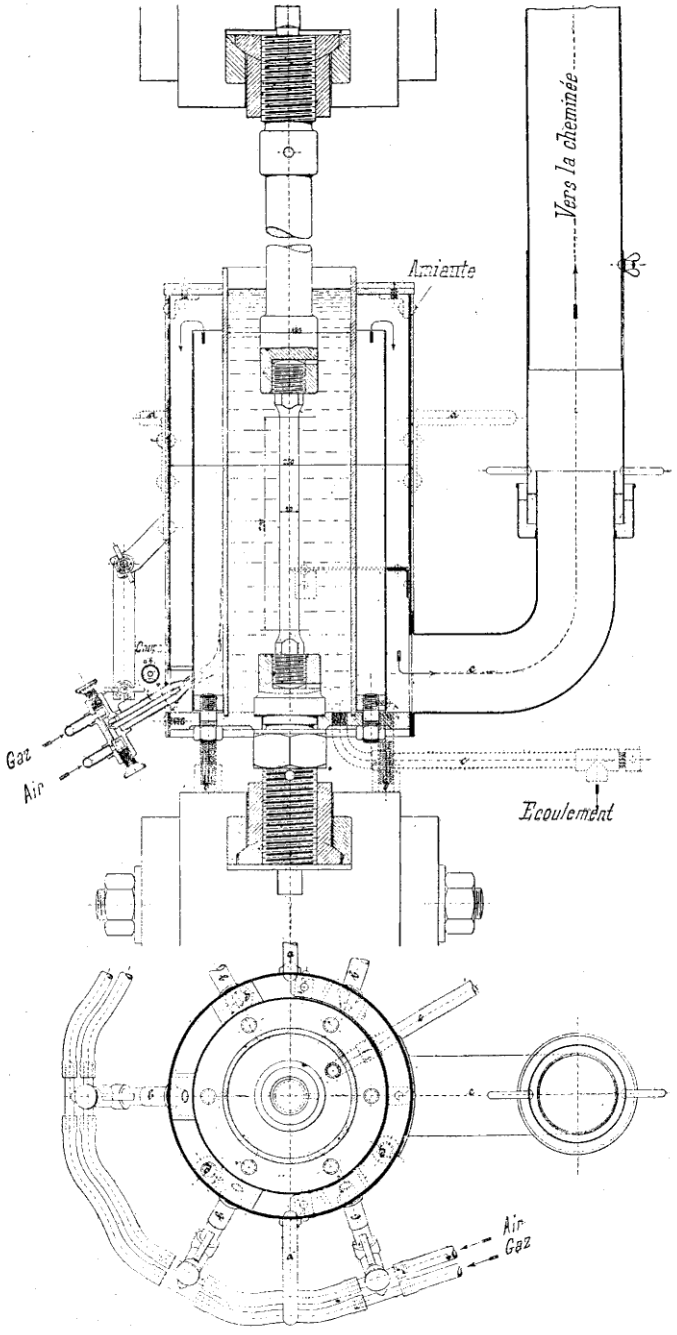


Fig. 5 et 6. — Four à réchauffer les barrettes d'essais.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU III

100°.

DÉSIGNATION. des éprouvettes.	DIAMÈTRE d	SECTION $\frac{\pi}{4}d^2$	LONGUEUR de la partie cylindrique de diamètre d	CHARGE DE RUPTURE P	CHARGE DE RUPTURE $P : \frac{\pi}{4}d^2$	ALLONGEMENT de rupture de 200 mm.	STRICTION.
	cm	cm²	mm	kg	kg par cm²	p. 100	p. 100
Sch B 5	2,00	3,14	220	5 820	1 854	11,6	13,4
— 6	2,00	3,14	220	5 900	1 879	11,5	12,4
— 7	2,005	3,16	220	6 810	2 155	14,9	17,7
— 8	2,005	3,16	220	6 870	2 174	16,8	19,3
— 43	2,00	3,14	220	6 710	2 137	13,1	16,2
			MOYENNES.		2 040	13,6	15,8

TABLEAU IV

100°.

DÉSIGNATION.	DIAMÈTRE d	SECTION $\frac{\pi}{4}d^2$	LONGUEUR de la partie cylindrique de diamètre d	CHARGE DE RUPTURE P	CHARGE DE RUPTURE $P : \frac{\pi}{4}d^2$	ALLONGEMENT de rupture sur 200 mm.	STRICTION.
	cm	cm²	mm	kg	kg par cm²	p. 100	p. 100
Sch B 44	2,005	3,16	220	7580	2399	17,5	17,7
— 45	2,005	3,16	220	8330	2636	23,5	22,2
— 46	2,005	3,16	220	7840	2481	20,0	21,2
— 47	2,00	3,14	220	7510	2392	19,2	18,8
			MOYENNES.		2 477	20,1	20,0

C) *Essais des barrettes n^os 9 à 12 et 39 à 42, à 200°.*

Les barrettes étaient plongées, comme précédemment, dans un bain de palminer

Les résultats d'essais sont consignés au tableau V. Les irrégularités que montrent ces chiffres, ainsi que les défauts des cassures ont rendu nécessaires de procéder aux essais d'autres barrettes, dont les résultats se trouvent au tableau VI.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU V

200°.

DÉSIGNATION.	DIAMÈTRE d	SECTION $\frac{\pi}{4}d^2$	LONGUEUR. de la partie cylindrique de diamètre d	CHARGE DE RUPTURE P	CHARGE DE RUPTURE $P : \frac{\pi}{4}$	ALLONGEMENT de rupture sur 200 mm.	STRICTION.
	cm	cm²	mm	kg	kg par cm²	p. 100	p. 100
Sch B 9	2,00	3,14	220	6120	1949	8,1	11,5
— 10	2,005	3,16	220	7380	2335	14,0	15,9
— 11	2,00	3,14	220	7020	2236	20,2	23,2
— 12	2,00	3,14	220	5900	1879	12,5	13,4
— 40	2,00	3,14	220	6080	1936	10,7	13,4
MOYENNES.					2067	13,1	15,5

TABLEAU VI

200°.

DÉSIGNATION.	DIAMÈTRE d	SECTION $\frac{\pi}{4}d^2$	LONGUEUR de la partie cylindrique de diamètre d	CHARGE DE RUPTURE P	CHARGE DE RUPTURE $P : \frac{\pi}{4}d^2$	ALLONGEMENT de rupture sur 200 mm.	STRICTION
	cm	cm²	mm	kg	kg par cm²	p. 100	p. 100
Sch B 39	2,00	3,14	220	7240	2306	15,0	15,3
— 41	2,005	3,16	220	7780	2462	21,0	23,1
— 42	2,00	3,14	220	7460	2376	17,7	18,8
MOYENNES.					2381	17,9	19,1

D) *Essais des barrettes n^os 13 à 16 à 250°.*

Les résultats d'essais sont donnés par le tableau VII.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU VII

250°.

DÉSIGNATION.	DIAMÈTRE d	SECTION $\frac{\pi}{4} d^2$	LONGUEUR de la partie cylindrique de diamètre d	CHARGE DE RUPTURE P	CHARGE DE RUPTURE $P : \frac{\pi}{4} d^2$	ALLONGEMENT de rupture sur 200 mm.	STRICTION.
	cm	cm²	mm	kg	kg par cm²	p. 100	p. 100
Sch B 13	2,005	3,16	220	6 650	2 104	11,9	14,9
— 14	2,005	3,16	220	6 720	2 127	12,2	14,9
— 15	1,995	3,13	220	6 020	1 923	12,0	13,1
— 16	2,00	3,14	220	6 180	1 968	12,3	13,4
				MOYENNES.	2 031	12,1	14,1

E) *Essais des barrettes n^os 17 à 20 à 300°.*

Les barrettes étaient immergées, pendant la durée de chaque essai, dans un bain composé par parties égales d'azotate de potasse et d'azotate de soude. En agitant le liquide, on obtenait presque la même température en haut et en bas du bain. Les résultats sont consignés au tableau VIII.

TABLEAU VIII

300°.

DÉSIGNATION.	DIAMÈTRE d	SECTION $\frac{\pi}{4} d^2$	LONGUEUR de la partie cylindrique de diamètre d	CHARGE DE RUPTURE P	CHARGE DE RUPTURE $P : \frac{\pi}{4} d^2$	ALLONGEMENT de rupture sur 200 mm.	STRICTION.
	cm	cm²	mm	kg	kg par cm²	p. 100	p. 100
Sch B 17	2,00	3,14	220	4 950	1 576	7,4	8,6
— 18	2,00	3,14	220	5 110	1 627	9,0	13,4
— 19	2,00	3,14	220	5 040	1 605	5,1	6,7
— 20	2,005	3,16	220	5 150	1 630	5,6	6,3
				MOYENNES.	1 610	6,8	8,8

L'aspect des cassures présente beaucoup moins de variations que dans les essai précédents. Une barrette montre des fissures transversales que l'on a déjà observées dans les essais précédents à la température de 300°.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

F) *Essais des barrettes nos 21 à 24 et 38 à 350°.*

Le bain était le même que le précédent. Les résultats sont les suivants :

TABLEAU IX

350°.

DÉSIGNATION.	DIAMÈTRE d	SECTION $\frac{\pi}{4} d^2$	LONGUEUR de la partie cylindrique de diamètre d	CHARGE DE RUPTURE. P	CHARGE DE RUPTURE. $P : \frac{\pi}{4} d^2$	ALLONGEMENT de rupture sur 200 mm.	STRICTION.
	cm	cm²	mm	kg	kg par cm²	p. 100	p. 100
Sch B 21	2,00	3,14	220	3720	1185	»	»
— 22	2,00	3,14	220	3910	1245	2,8	1,9
— 23	2,00	3,14	220	3510	1118	2,1	1,9
— 24	2,00	3,14	220	3460	1102	1,6	1,0
— 38	1,94	2,87	220	3270	1139	1,4	1,0
				Moyennes.	1158	2,0	1,5

La cassure est lisse, correspondant à un allongement et à une striction faibles.

G) *Essais des barrettes nos 25 à 28 et 37 à 400°.*

Même bain que pour E. Les résultats sont donnés dans le tableau X. L'aspect de la cassure est encore plus lisse que dans le cas F.

TABLEAU X

400°.

DÉSIGNATION.	DIAMÈTRE d	SECTION $\frac{\pi}{4} d^2$	LONGUEUR de la partie cylindrique de diamètre d	CHARGE DE RUPTURE P	CHARGE DE RUPTURE $P : \frac{\pi}{4} d^2$	ALLONGEMENT de rupture sur 200 mm.	STRICTION.
	cm	cm²	mm	kg	kg par cm²	p. 100.	p. 100.
Sch B 25	2,00	3,14	220	3150	1003	0,9	0,6
— 26	2,00	3,14	220	3300	1051	1,1	0,6
— 27	2,00	3,14	220	3800	1210	»	»
— 28	2,00	3,14	220	3850	1226	2,5	1,9
— 37	2,005	3,16	220	3390	1073	»	»
				Moyennes	1113	15,2	1,0

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

H) *Essais des barrettes n^os 29 à 32 à 420°.*

Même bain que pour E). Les résultats sont consignés dans le tableau XI. La striction n'était plus déterminée. L'allongement de rupture tombe à 0,5 p. 100 ; la surface des barrettes n'accuse plus aucune modification.

TABLEAU XI

450°.

DÉSIGNATION.	DIAMÈTRE d	SECTION $\frac{\pi}{4} d^2$	LONGUEUR de la partie cylindrique de diamètre d	CHARGE DE RUPTURE P	CHARGE DE RUPTURE $P : \frac{\pi}{2} d^2$	ALLONGEMENT de rupture sur 200 mm.	STRICTION.
	cm	cm²	mm	kg	kg par cm²	p. 100	p. 100
Sch B 29	2,005	3,16	220	2 800	886	»	»
— 30	2,00	3,14	220	2 610	831	0,5	0
— 31	2,00	3,14	220	2 650	844	0,5	0
— 32	2,00	3,14	220	2 390	761	0,4	0
MOYENNES.					831	0,5	0

I) *Essais des barrettes n^os 33 à 36 à 500°.*

Même bain que pour E). Les résultats d'essais sont donnés dans le tableau XII. Au sujet de l'aspect des barrettes, même observation que ci-dessus.

TABLEAU XII

500°.

DÉSIGNATION.	DIAMÈTRE d	SECTION $\frac{\pi}{4} d^2$	LONGUEUR de la partie cylindrique de diamètre d	CHARGE DE RUPTURE P	CHARGE DE RUPTURE $P : \frac{\pi}{4} d^2$	ALLONGEMENT de rupture sur 200 mm	STRICTION.
	cm	cm²	mm	kg	kg par cm²	p. 100	p. 100
Sch B 33	2,00	3,14	220	2320	739	0,3	0
— 34	2,00	3,14	220	2350	748	0,3	0
— 35	2,00	3,14	220	2130	678	»	»
— 36	2,00	3,14	220	1910	608	0,25	0
MOYENNES.					693	0,3	0

Dans la figure 7 on a porté en abscisses les températures et en ordonnées les valeurs moyennes des tableaux II, IV, VI, VIII, IX, X, XI et XII. Les valeurs moyennes des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tableaux III et V sont indiqués par des points isolés sur des abscisses respectives correspondantes à 100° et 200°.

Dans la figure 8 on a porté en ordonnées les allongements de rupture des tableaux

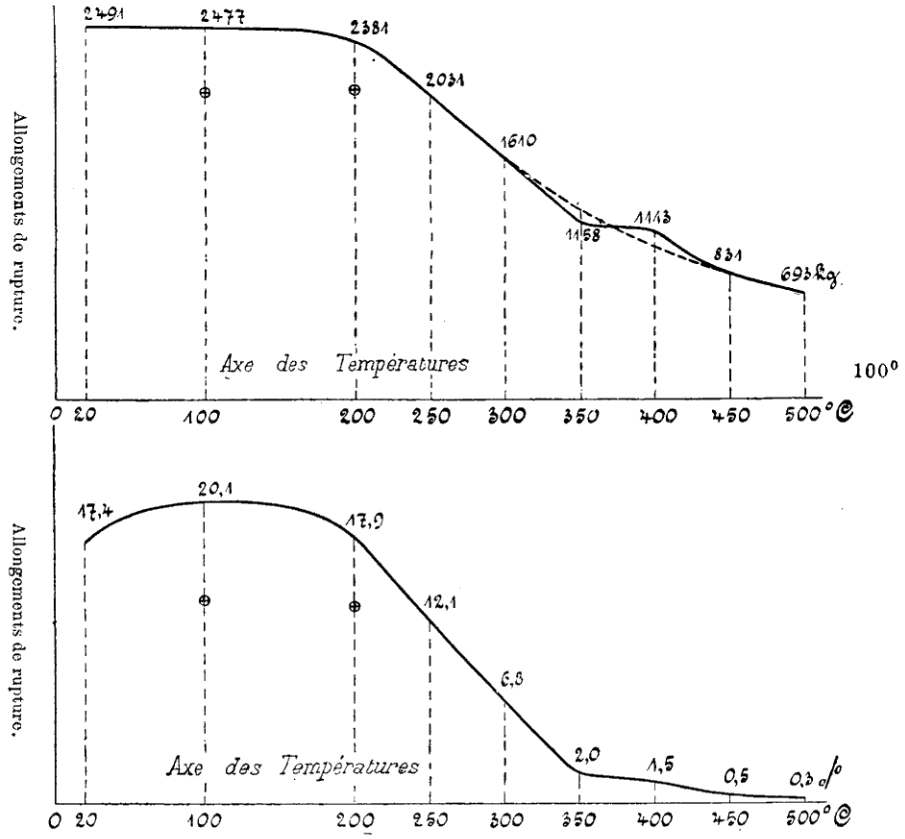


Fig. 7 et 8.

II, IV, VII, VIII, IX, X, XI et XII. Les valeurs moyennes des tableau III et V sont indiquées par des points isolés sur leurs abscisses respectives.

1) *Analyse du bronze.*

Cette analyse est donnée par le tableau XIII,

a)	moyenne des tournures de toutes les barrettes;			
b)	tournures de la barrette	1	(tableau	II)
c)	— —	3	(—	II)
d)	— —	22	(—	IX)
e)	— —	25	(—	X)
f)	— —	28	(—	X)
g)	— de l'une des extrémités de la barrette.	26	(—	X)
h)	— de l'autre extrémité de la barrette.	26	(—	X)
i)	— de l'une des extrémités de la barrette.	27	(—	X)
j)	— — —	27	(—	X)
k)	tournures de la barrette.	47	(—	IV)
l)	— —	47	(—	IV)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les tournures *k* et *l* furent au préalable mélangées aussi intimement que possible le chimiste qui a fait l'analyse ignorait que *k* et *l* provenaient du même métal.

TABLEAU XIII

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
Cuivre	86,67	86,50	86,45	86,35	86,55	86,25	86,63	86,30	85,90	85,93	86,92	87,00
Étain.	8,88	8,78	8,92	8,99	8,90	9,35	8,97	9,10	9,71	9,75	8,95	8,97
Zinc	3,95	4,30	4,20	4,05	3,95	3,95	3,93	4,02	3,95	3,95	3,75	3,64
Plomb	0,498	0,38	0,39	0,58	0,51	0,35	0,44	0,46	0,39	0,36	0,355	0,37
Fer.	0,036	0,05	0,05	0,09	0,08	0,06	0,05	0,07	0,06	0,05	0,055	0,05
Phosphore	0,040	0,025	0,040	0,016	0,018	0,025	0,015	0,021	0,037	0,030	0,020	0,025
Arsenic.	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces
Antimoine	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Soufre	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Etc.												

Récapitulation.

Le bronze essayé qui, à la température ordinaire (tableau II), présentait :

Une résistance à la traction R de . . . . . 2 491 kg. par cm²
Un allongement de rupture A de. . . . . 17,4 p. 100
Une striction S de. . . . . 21,3 —

ne possède plus aux températures que :

V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
100°	200°	250°	300°	350°	400°	450°	500°	
R = 2 477	2 381	2 031	1 610	1 158	1 113	831	693	kg. par cm²
A = 20,1	17,9	12,1	6,8	2,0	1,3	0,3	0,3	p. 100
S = 20,0	19,1	19,1	8,8	1,5	1,0	0	0	—

Si l'on désigne ces valeurs à la température ordinaire par 1, on obtient les rapports suivants :

Résistance à la traction.

20°	100°	200°	250°	300°	350°	400°	450°	500° C.
2 491	2 477	2 381	3 031	1 610	1 158	1 113	831	690
1	0,99	0,96	0,81	0,65	0,46	0,45	0,33	0,28

En d'autres termes, la résistance à la traction est, à 100°, presque la même qu'à la température ordinaire; à 200°, elle est diminuée de 4 p. 100, à 250° de 18 p. 100, à 300°; de 35 p. 100, à 350°; de 54 p. 100, à 400°; de 55 p. 100, à 450°; de 67 p. 100 et à 500° de 72 p. 100.

Dans le cas du bronze précédemment essayé, on a trouvé les rapports suivants :

20°	100°	200°	300°	400°	500° C.
2 325	2 424	2 245	1 358	625	442
1	1,01	0,94	0,57	0,26	0,18

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Allongement de rupture.

20°	100°	200°	250°	300°	350°	400°	450°	500° C.
17,4	20,1	17,9	12,1	6,8	2,0	1,5	0,5	0,3
1	1,16	1,03	0,70	0,39	0,11	0,09	0,03	0,02

L'accroissement considérable de l'allongement de rupture à 160°, ainsi que sa valeur grande à 200° devront être mis au compte des défauts du métal que l'on rencontre souvent dans les bronzes.

Dans les essais précédents avec du bronze, on a trouvé :

20°	100°	200°	300°	400°	500° C.
36,3	35,4	34,7	11,5	0	0
1	0,98	0,96	0,32	0	0

Striction.

20°	100°	200°	250°	300°	350°	400°	450°	500° C.
21,3	20,0	19,1	14,1	8,8	1,5	1,0	0	0
1	0,94	0,90	0,66	0,41	0,07	0,05	0	0

Dans le cas du bronze précédemment essayé, on a trouvé :

20°	100°	200°	300°	400°	500° C.
52,1	47,4	48,2	16,2	0	0
1	0,91	0,93	0,31	0	0

La comparaison entre les diagrammes figures 7 et 8 et ceux que l'on a obtenus dans le cas du bronze auquel nous venons de faire allusion, montre la concordance de la chute des résistances à la traction et des allongements de rupture dès que l'on a dépassé 100° centigrades. Seulement dans le cas du bronze qui nous occupe, la chute est moins rapide, surtout pour l'allongement de rupture qui était, dans les essais précédents, à la température ordinaire, de 36,3 au lieu de 17,4 p. 100.

Au sujet de l'emploi de ce bronze pour les boîtes de soupapes, les tuyaux, etc., on peut tirer les mêmes conclusions que dans le cas du bronze précédemment essayé. *Ce métal doit être exclu partout où il pourrait se trouver au contact de la vapeur fortement surchauffée, et ne peut être recommandé pour de la vapeur même faiblement surchauffée.*

PONT ROULANT DE FONDERIE ACTIONNÉ PAR L'ÉLECTRICITÉ

Ce pont a été construit par la Elektrizitäts-Aktien- Gesellschaft, de Prague-Visotchan, pour les aciéries de Prague, à Klodno. Dans la même fonderie, se trouvent, depuis plus d'un an, trois ponts roulants électriques fonctionnant sans inconvénient avec la même vitesse que celui qui est l'objet de cette notice (1).

Les caractéristiques du pont sont les suivantes :

Puissance	10 tonnes.
Portée	11 mètres.
Vitesse sous charge de 6 à 10 tonnes	12m,25 par minute.
— de 3 tonnes	25 mèt. —
Vitesse de translation du chariot	45 — —
— du pont	90 — —

(1) *Zeitschrift des Vereines deutschen Ingenieure*, 26 octobre 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le pont est actionné par un courant triphasé de 500 volts et de 25 périodes par seconde.

Plate-forme. — La plate-forme est constituée par deux poutres en tôle de section en I (fig. 1 à 2). Pour les raidir dans le sens transversal, on a placé, du côté de la plate-forme du mécanicien, une troisième poutre au milieu de laquelle on a disposé le moteur de translation du pont. Comme ce moteur actionne l'arbre longitudinal par l'intermédiaire d'une vis sans fin et d'une roue hélicoïdale, il se produit une pression sur les dents qui tend à fléchir latéralement la poutre auxiliaire. Pour combattre cette

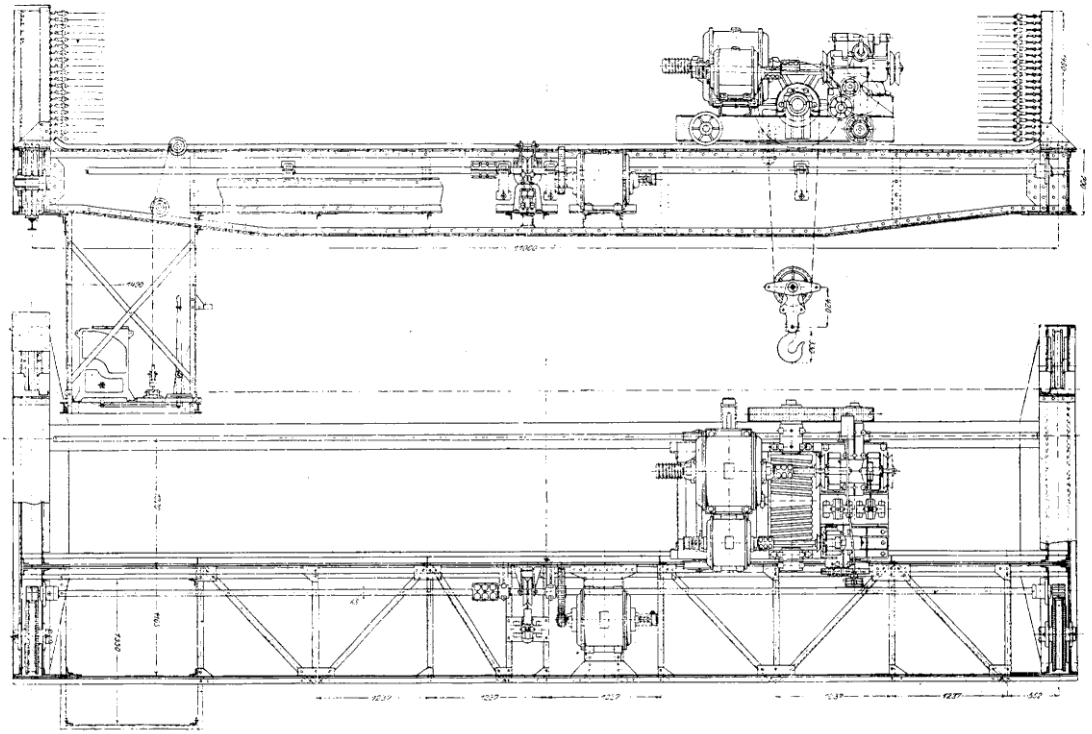


Fig. 1 et 2.

tendance, on a prévu un raidissement; de plus, la possibilité du coinçage de la plate-forme par suite de la répartition inégale de la charge sur les quatre galets de roulement est ainsi atténuée au possible.

Pour abaisser autant que possible le centre de gravité, les poutres de la plate-forme ne sont pas au-dessus de la caisse des engrenages, mais au même niveau, et les âmes de ces poutres sont prolongées jusqu'aux parois extérieures de la caisse auxquelles elles sont rivées. La caisse des engrenages est constituée par poutre en caisson de 700 millimètres de hauteur avec parois frontales closes. La poutre auxiliaire est posée contre ces parois. Les galets de la plate-forme ont 750 millimètres de diamètre; ils sont en acier moulé.

En supposant la charge utile égale à 6000 kilogrammes, le poids de la plate-forme à 5 000 kilogrammes et le poids propre des poutres à 140 kilogrammes par mètre courant,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

elles travaillent à 455 kilogrammes par centimètre carré. L'effort de cisaillement maximum est de 80 kilogrammes par centimètre carré.

Le moteur est placé au milieu de la plate-forme de service et commande, par un pignon en acier forgé, la grande roue en fonte portée par l'arbre longitudinal; le pignon à un pas de 22 millimètres et 22 dents, la grande roue 71 dents de 75 millimètres de large.

L'arbre longitudinal, de 65 millimètres de diamètre, porte à chacune de ses extrémités un pignon en acier à 14 dents de 150 millimètres de large, avec pas de 90 millimètres; chacun d'eux engrène avec une couronne de 84 dents portée par les galets de roulement. Comme le rapport de transmission est de 1 : 19,2, les galets font, à 720 tours par minute de l'arbre du moteur, 37,3 tours par minute, et comme, de plus, le diamètre des galets est de 756 millimètres, la vitesse de translation est de 88 mètres *par minute*. La pression exercée par chaque galet est, le contact entre galet et le rail ayant 60 millimètres de large, de 10 kilogrammes par centimètre carré. En supposant le coefficient du frottement de roulement égal à 0,08, celui du frottement de tourillon à 0,01, on obtient, avec un diamètre de tourillon de 70 millimètres, une résistance au mouvement de 195 kilogrammes environ. Pour le calcul, on a doublé cette valeur, afin de tenir compte du frottement de l'engrenage droit. On obtient, comme la puissance à développer par le moteur, 8 chevaux environ pour une charge de 6 tonnes. On a adopté un moteur de 10 chevaux.

L'arbre est supporté par 4 paliers en forme de console avec coussinets de bronze tout près des pignons. Grâce à la disposition du moteur au milieu de la plate-forme, la torsion de l'arbre est répartie uniformément, de sorte qu'aucun galet ne peut devancer l'autre. On a ainsi évité le coinçage qui se produit dans les ponts roulants à disposition dissymétrique et à grande vitesse de translation.

Le moteur et le mécanisme de translation sont représentés en fig. 3 à 5. Au milieu de l'arbre, immédiatement après le grand engrenage de 71 dents, on a placé un disque de frein muni d'encoches en forme de coin dont l'angle est de 90°. Le ruban du frein est garni de pièces en bois articulées; au milieu, il est divisé par une articulation que l'on peut régler facilement et raidir au moyen de deux vis. Les extrémités du ruban sont suspendues à deux leviers coudés, l'un pour le mouvement d'avant, l'autre pour le retour. L'armature du frein est formée d'un solénoïde à courant alternatif, dont les noyaux en ⊔ sont constitués par des tôles en fer isolées de $0^{mm},3$ d'épaisseur. L'armature est suspendue par deux boulons en bronze à la plaque supérieure de compression et reliée avec un amortisseur de course au-dessous de l'aimant. A la tension de 400 volts, et l'armature étant en son point le plus bas, l'aimant peut exercer un effort de traction de 30 kilogrammes en soulevant la pièce attirée de 50 millimètres. L'enroulement excitateur est monté en parallèle avec l'inducteur du moteur, de sorte que lorsqu'on l'intercale dans le circuit, le frein est desserré par le soulèvement de l'armature. Dès que le courant est coupé, l'armature retombe.

Chariot. — Les figures 6 à 9 montrent que le chariot est peu encombrant et simple. Le moteur destiné à soulever la charge fait 360 tours par minute et développe 42 chevaux; le moteur de translation fait 720 tours et développe 10 chevaux. Les galets de roulement sont chargés uniformément par leur poids propre et celui à soulever. Les rapports de transmission son adaptés de façon que le tambour autour duquel s'enroule la chaîne supportant la charge soit très bas, pour combattre les mouvements de bascule, dangereux dans les ponts à grande vitesse.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le mode de suspension de la charge à la chaîne est très important. Pour réduire le diamètre du tambour et obtenir une grande sécurité contre la rupture des chaînes, on suspend le plus souvent la charge à plusieurs brins de câbles ou de chaînes. Mais comme les flammes des poches à couler auraient pu brûler l'âme en chanvre du câble

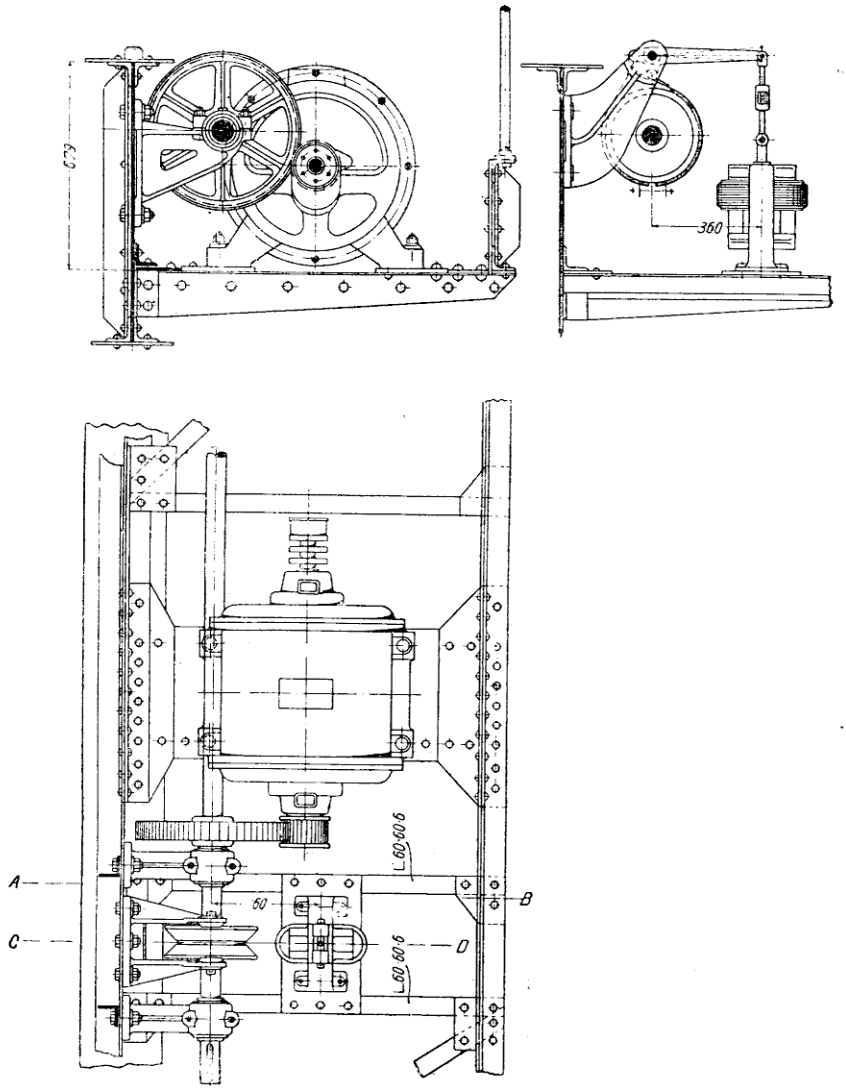


Fig. 3 à 5. — Moteur de translation du pont.

en fil de fer, on a préféré des chaînes calibrées. Pour tenir, de plus, compte de l'obliquité des brins de la chaîne qui se produit lorsqu'on manœuvre rapidement les charges, on a suspendu la chaîne de façon que les quatre brins soient uniformément chargés, même lorsque la charge est soulevée obliquement. On y est parvenu en enroulant les chaînes autour du tambour dans des rainures hélicoïdales à droite et à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

gauche, symétriquement par rapport à l'axe (fig. 8), et en les faisant passer, d'autre part, sur une poutre fixe portée par le chariot qui égalise automatiquement les tensions des différents brins de la chaîne (fig. 7).

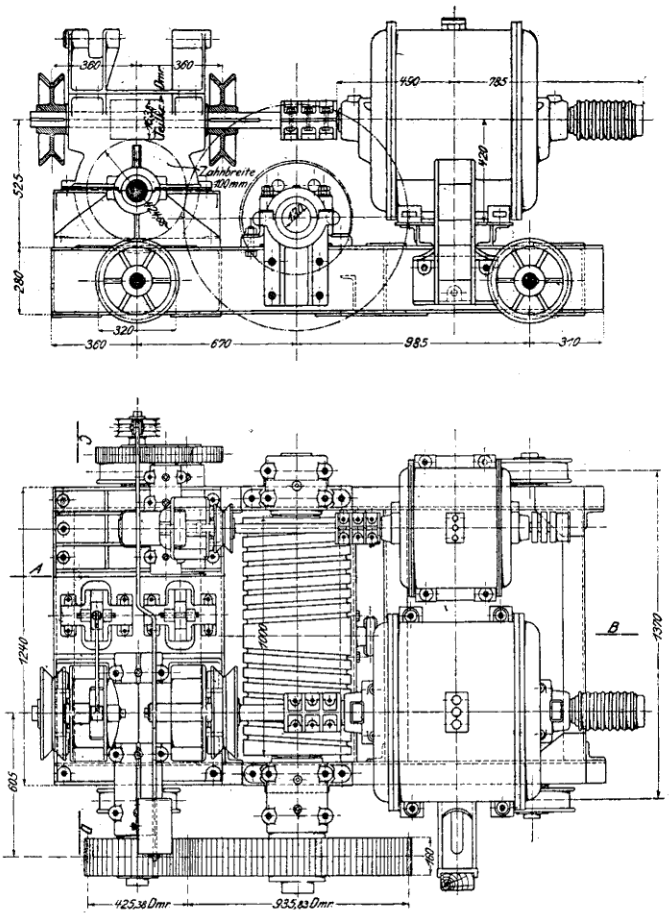


Fig. 6 et 7. — Chariot, élévation et plan.

Les rapports de transmission pour la levée résultent des données suivantes:

Le moteur fait 360 ou 720 tours par minute;
La vis sans fin est à 3 filets, son pas est de $44^{mm},4$;
Roue hélicoïdale : 30 dents en bronze phosphoreux;
Pignon porté par l'arbre de la vis sans fin : 30 dents; pas 44,5, largeur 160 millimètres;
Grand engrenage sur l'arbre du tambour : 66 dents;
Diamètre du tambour : 476 millimètres;
Rapport de transmission des galets de chaines : 1 : 2;

Il en résulte que la vitesse de soulèvement est de 244 millimètres par minute, lorsque le moteur fait 720 tours et que la charge est de 3 tonnes; cette vitesse est de 112 millimètres à 260 tours du moteur et pour une charge de 6 à 10 tonnes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'engrenage hélicoïdal est enfermé dans une boîte en fonte. La vis sans fin, en acier, est trempée et ajustée à la meule; de chaque côté, elle est munie de bagues de butée avec billes en acier. Les paliers de la vis sont à bague de graissage; ils contiennent 21 billes en acier de 13 millimètres de diamètre, et comme la pression, suivant l'axe est, à la charge de 10 tonnes, de 36^{kg},10 environ, chaque bille n'a à supporter que 150 kilogrammes.

Sur l'arbre de la vis, on a disposé deux freins, dont l'un est électro-magnétique et dont l'autre constitue un frein de détresse pouvant être actionné par une pédale située dans la cabine du mécanicien.

Le rendement total de l'appareil de levage est de 65 p. 100, ce qui, en supposant le rendement du moteur égal à 90 p. 100, exige une puissance de 37 chevaux. On a pris un moteur de 70 chevaux.

En ce qui concerne le réglage du moteur on en a réglé la vitesse par le renverse-

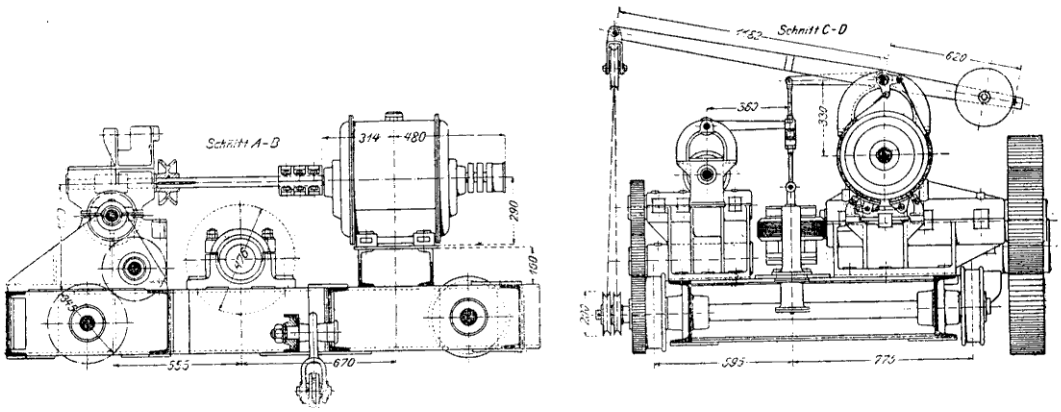


Fig. 8 et 9. — Chariot, vue par bout. Coupe transversale.

ment des pôles. Le mécanicien peut, sans quitter son siège, modifier la vitesse en agissant sur un seul levier. Le moteur est construit pour 8 et 4 pôles; il fait, à 25 périodes par seconde, respectivement 375 et 750 tours, et avec 1 p. 100 de glissement 360 et 700 tours. Le fait que le moteur doit pouvoir développer la même puissance à 360 tours qu'à 720 a rendu son étude assez ardue. En général, il faut supposer que le rendement est le plus favorable à 540 tours, de sorte que le moteur fonctionnera avec un bon rendement, lorsque la charge est maxima, à 360 tours, et, lorsqu'elle est minima, à 720 tours.

L'inverseur de pôles est couplé mécaniquement avec le démarreur, de sorte que les pôles ne sont renversés que lorsque le démarreur du moteur opérant la levée de la charge est au repos et que, par conséquent, ce moteur est dévatté.

Pour la translation du chariot, on emploie un moteur spécial dont les rapports de transmission résultent des données suivantes :

Vis sans fin en acier, pas 22^{mm},22, diamètre moyen 79^{mm},5;
Roue hélicoïdale en bronze phosphoreux : 28 dents, largeur moyenne 60 millimètres;
Roue dentée en acier moulé, portée par l'arbre de la roue hélicoïdale; pas = 25^{mm},8; 27 dents de 65 millimètres de large;
Roue dentée, en acier moulé, sur le deuxième arbre intermédiaire, pas = 25^{mm},8, 34 dents;
Roue dentée, en acier moulé, sur l'arbre du galet de roulement, pas = 25^{mm},8, 42 dents;
Galet de roulement, diamètre : 320 millimètres.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Il en résulte que la vitesse du chariot est de 49^{m},8 par minute. Comme le chariot pèse 5 tonnes et la charge 6 tonnes, la pression totale sur le galet est de 27^{kg},50 et la pression spécifique de 13^{kg},7 par centimètre carré. En supposant les mêmes valeurs que dans le cas de la carcasse du pont roulant, la résistance au mouvement sera,

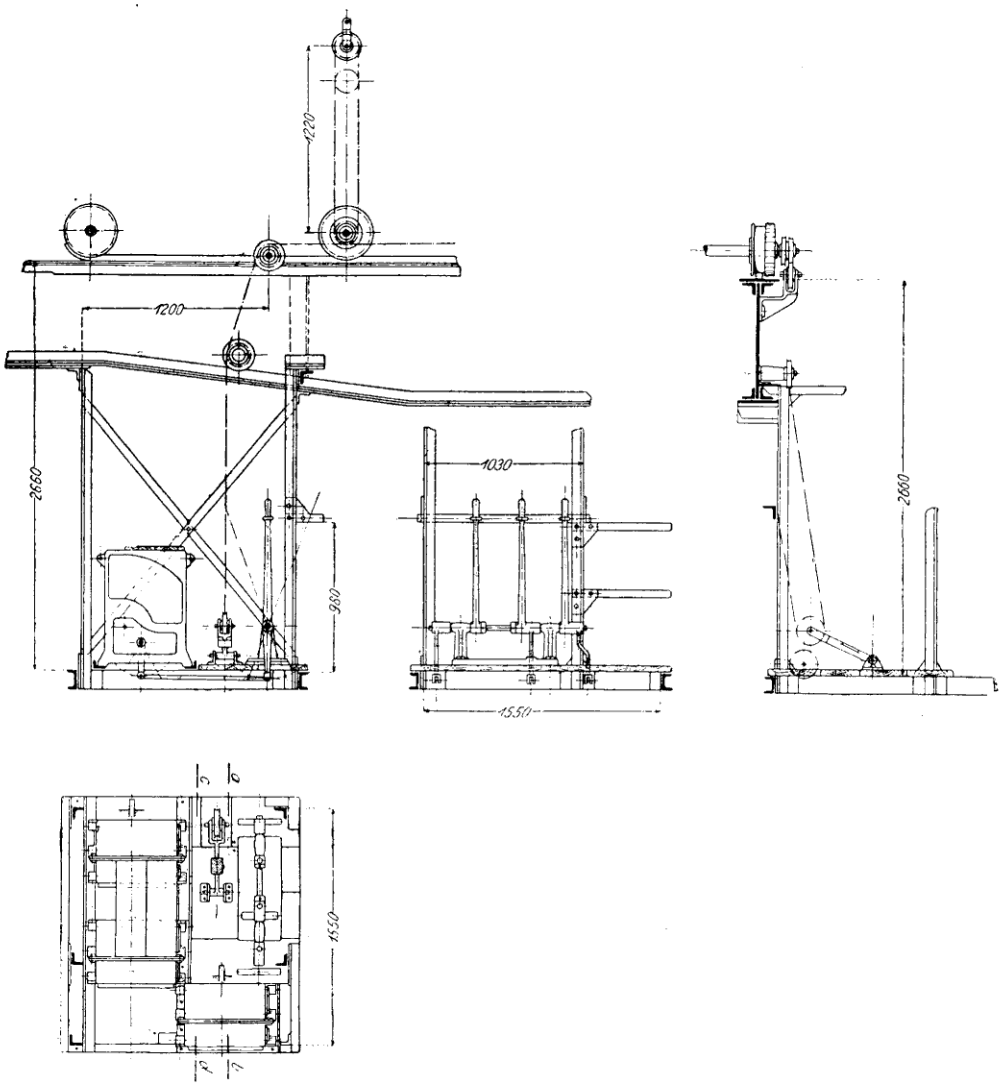


Fig. 10 à 13. — Cabine du mécanicien.

pour un diamètre de tourillon du galet de 60 millimètres, égale à 522 kilogrammes environ. En admettant un rendement, dès la première transmission par engrenages, de 97 p. 100 et celui de deuxième de 98 p. 100, la puissance du moteur sera de 7 et 6. On a pris un moteur de 10 chevaux.

Les fig. 14 à 17 montrent les dispositifs de réglage placé dans la cabine du mécani-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cien. En tournant le dos aux démarreurs, il n'a devant lui que 3 leviers verticaux ; il actionne avec son pied gauche le frein de détresse.

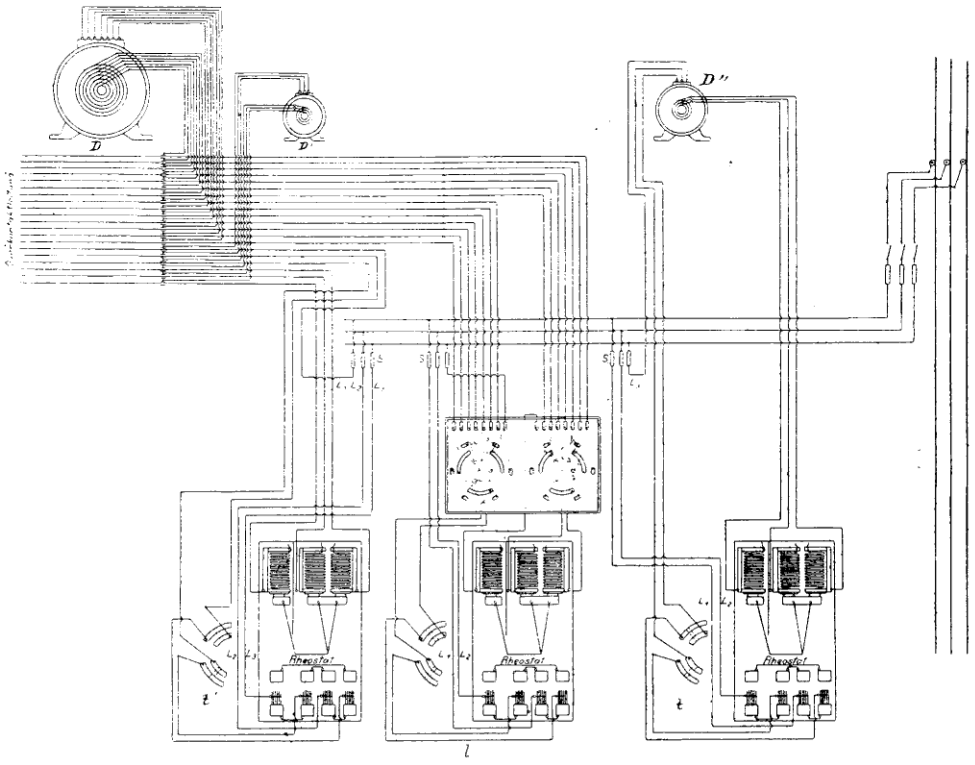


Fig. 14. — Schéma de la distribution.

La prise de courant est effectuée par un contact à galets et ressorts de 3 pôles. Le courant est amené au moteur du chariot, par un contact à galets de 20 pôles.

LES OUTILS PNEUMATIQUES D'APRÈS *M. J. C. Taite.*

Nous avons souvent entretenu nos lecteurs des outils pneumatiques : frappeurs, riveuses, perceuses, amenés, pour la plupart, d'Amérique, et qui commencent à se répandre chez nous ; les figures ci-jointes, empruntées à une communication faite par *M. J. C. Taite* au Congrès des ingénieurs de l'exposition de Glasgow, montrent bien avec quelle facilité ces machines s'appliquent aux travaux les plus divers, principalement sur les chantiers de constructions navales et de montage des ponts.

Le riveur à longue course de *Boyer* (1) permet de river sur les coques de navires des rivets de 40 millimètres de diamètre ; cet appareil, très puissant et relativement doux à la main, est monté sur une articulation sphérique qui lui permet de prendre toutes les directions ; sa distribution s'ouvre par une gâchette ou par une simple valve.

Dans le type de riveuse représenté par la figure 1, le contre-coup du marteau est

(1) *Bulletin.*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

reçu par une bouterolle à air comprimé, symétrique du frappeur, et appuyée sur la poutre en rivetage. Il est fréquemment employé dans le rivetage des coques de navires.

La figure 4 représente l'application de ces appareils au rivetage et au perçage des entreponts de navires ; cet emploi exige des rivets plus longs que le rivetage à la main parce que les rivets posés mécaniquement remplissent complètement leurs trous.

Les figures 2 et 3 montrent l'application aux travaux de ponts, où ils sont des plus précieux en raison de l'économie qu'ils procurent et de la facilité avec laquelle ils s'adaptent au montage grâce à leur extrême mobilité. Au Missouri and Kansas Ry, d'après M. Manning, deux hommes et un chauffeur posent, par journée de 10 heures,



Fig. 1.



Fig. 2.

en moyenne 500 rivets au lieu de 250 avec trois hommes et un chauffeur dans le rivetage à la main ; on a même pu poser, en un jour, avec un seul riveur à air comprimé et un homme de plus pour enlever les boulons d'assemblage, etc., jusqu'à 700 rivets. Les rivets étaient mieux posés qu'à la main, les têtes mieux finies. Le prix des 500 rivets par jour revient à 8 fr. 20 le cent, au lieu de 18 fr. 25 à la main, et en marchant deux fois moins vite. M. Edinger emploie les outils pneumatiques pour le perçage des gros trous de boulons dans les maçonneries des ponts, à la Southern Pacific C°, avec une économie de 50 p. 100, comparée au perçage à la main ; pour le perçage des poutres des charpentes, on arrive à une économie de 50 p. 100 ; l'économie au rivetage est de 35 p. 100 ; le prix des échafaudages est considérablement réduit, car il suffit de les faire pour deux hommes seulement. Au pont de Godaveri, dans l'Inde, M. Walton a employé simultanément le rivetage à la main et à la machine, avec de l'air comprimé

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à 7 kilogrammes dans un réservoir alimentant quatre machines, sans que la pression y baissât au-dessous de $5^{kg},6$; en bonne marche, ces machines posaient, par jour, jusqu'à 1 000 rivets de 25 millimètres, à un prix de revient trois fois moindre que le rivetage à la main. En Angleterre, le rivetage revient, par cent rivets, à 5 fr. 60 au lieu de 13 fr. 10 à la main, pour des rivets de 20 millimètres.

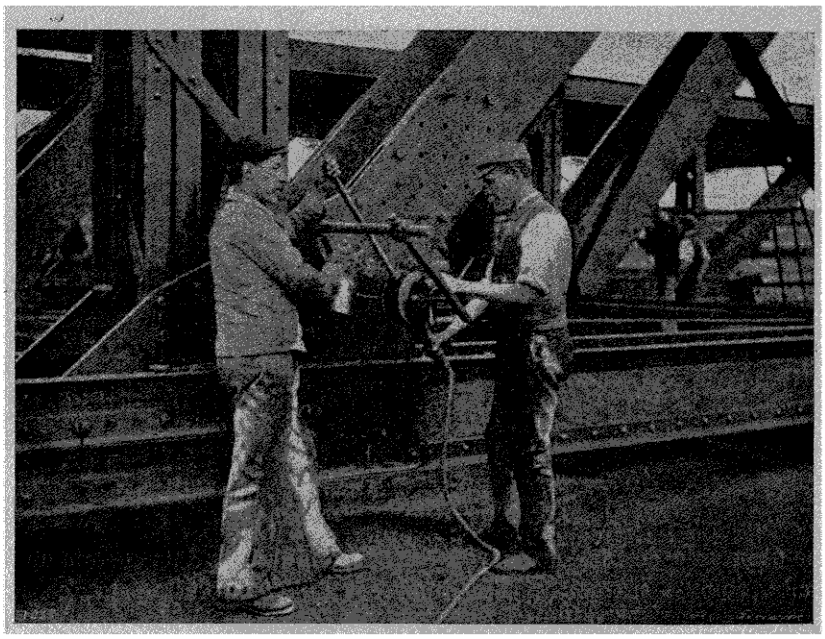


Fig. 3.

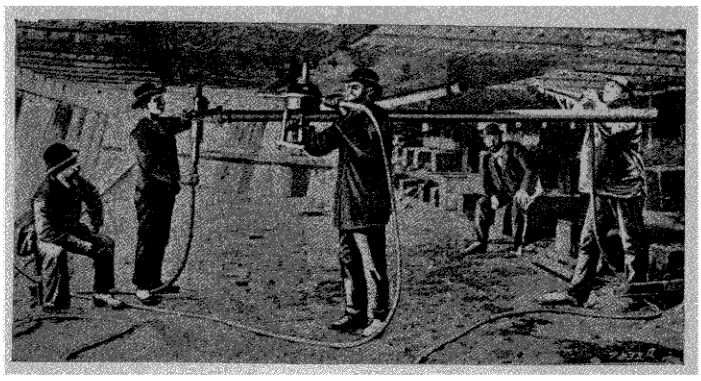


Fig. 4.

La figure 6 montre une ingénieuse disposition des perceuses à air comprimé, employées pour le perçage de longues poutres du ponts.

La figure 7 représente un coupe-tubes de chaudières locomotives; cet outil, emmanché à la place du foret sur la perceuse pneumatique, est pourvu d'un piston

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

poussé par l'air comprimé, et qui pousse un coin passé sous le bloc du coupe-tubes, ainsi pressé contre la paroi du tube à couper. On peut, avec cet outil, couper un tube en acier de 70 millimètres de diamètre en cinq secondes. On emploie fréquemment les outils pneumatiques pour le mandrinage des tubes, le perçage des entretoises, le taraudage de leurs trous, cette opération se faisant avec une économie de 175 francs par chaudière. Le rivetage des soles de wagons par les outils pneumatiques

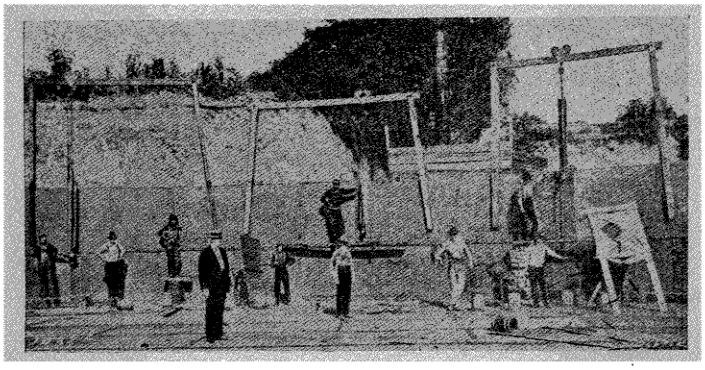


Fig. 5.

donne une économie de 18 fr. 90 par wagon; dans les ateliers d'un chemin de fer français, on cite, comme travaux effectués par ces outils, le découpage, en un quart d'heure, d'un trou de 405 millimètres de diamètre, sur une chaudière de locomotive,

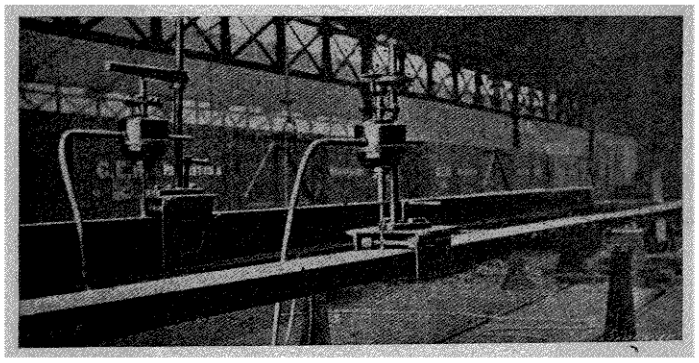


Fig. 6.

en tôles de 11 millimètres, et le mandrinage de tubes de 45 millimètres en 27 secondes.

Les outils pneumatiques s'emploient en chaudronnerie pour le rivetage, le matage et l'ébarbage, notamment pour certaines chaudières à tube d'eau, où l'on ne peut pas employer les riveuses hydrauliques; on les emploie aussi (fig. 9) pour le rivetage des grands réservoirs.

Aux chantiers de construction de navires de Cramp, à Philadelphie, on emploie 236 perceuses pneumatiques, 75 riveuses de coques, 22 de ponts, 41 de poutres,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

144 bouterolles, 390 frappeurs Boyer, 110 ébarbeuses; la longueur totale des tuyaux d'amenée de l'air comprimé est de 13 000 mètres, avec 142 connexions sur les chantiers et 494 sur les coques actuellement en construction. Le prix de revient y est, par rivet, de 13^{cent},20 au lieu de 23^{cent},55 à la main.

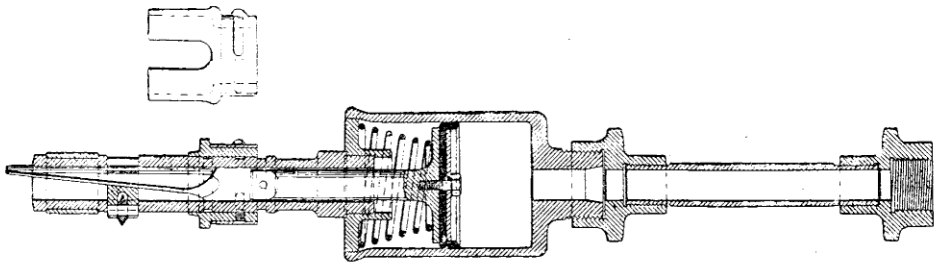


Fig. 7.

Aux forges de Coltness, où l'on employait 90 ouvriers pour le dressage des fontes, on n'en emploie plus que 20 avec des outils pneumatiques et 23 manœuvres, qui seront, peu à peu, éliminés par des outils nouveaux.

POINÇONNEUSE HYDRAULIQUE *Graves*.

Dans cette poinçonneuse construite par les *Camden Iron Works*, à Camden, New-Jersey, l'eau sous pression amenée (fig. 1) par le tuyau 8 (fig. 2 et 4) au distributeur

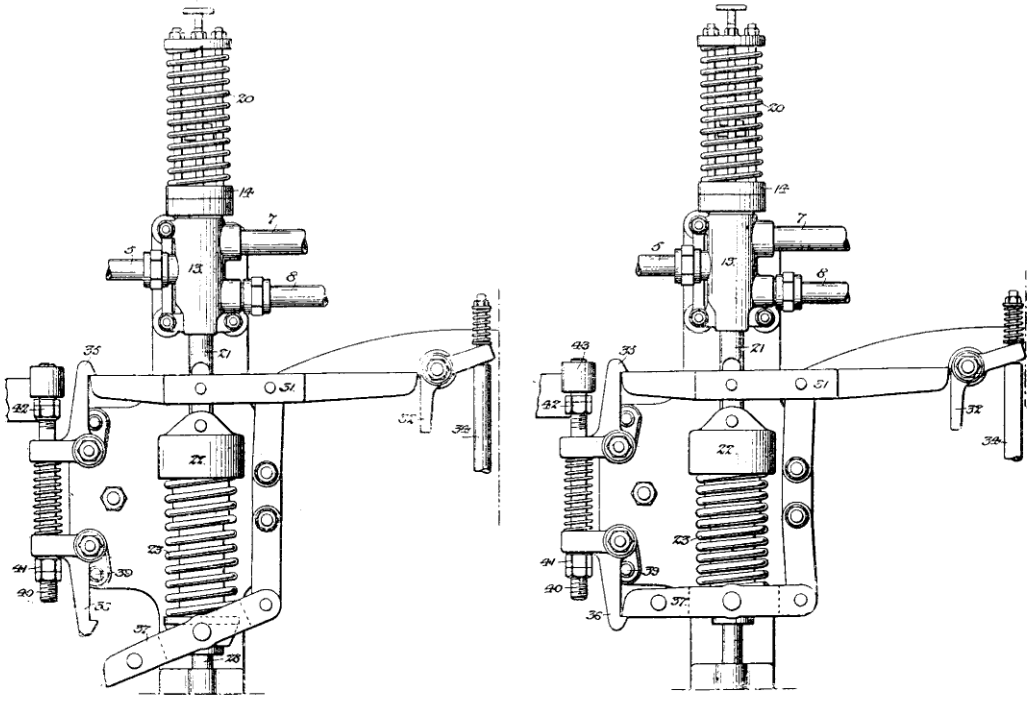


Fig. 1 et 2. — Poinçonneuses *Graves*, détail des déclics.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

13, passe, quand les pièces de ce distributeur occupent les positions figures 4, de 8 au cylindre 4 du piston poinçonneur par les orifices 11 et le tuyau 5; puis, quand le distributeur remonte, son piston 10 sépare 8 de 5 et fait communiquer 5 avec

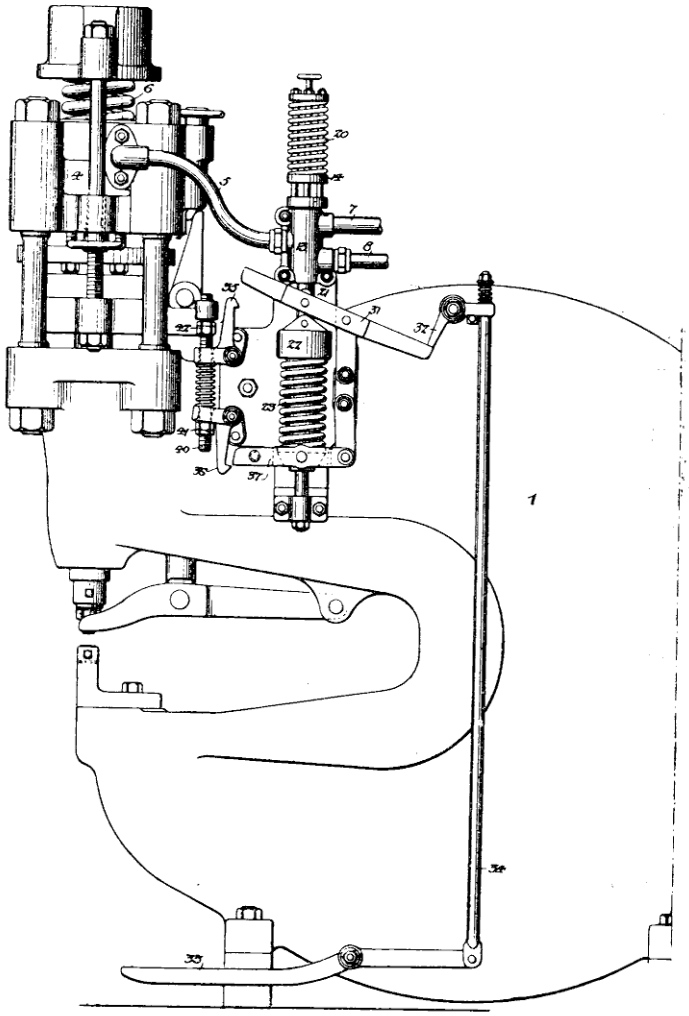


Fig. 3. — Poinçonneuse *Graves*.

l'échappement 7 par les orifices 11; le piston de 4 remonte alors, rappelé par son ressort 6.

La tige 12-21, du distributeur est chargée par un croisillon 14, à ressort 20 et dash-pot 16, et elle repose par son manchon 22-24 (fig. 4) sur le ressort 23, appuyé sur le croisillon 25, solidaire du cylindre 26, qui glisse sur le piston 27, fixe, et à tige 28 creuse, reliée par le tuyau 30 avec le tuyau 5, de sorte que l'eau sous pression entre en 26 et s'en échappe en même temps que dans le cylindre poinçonneur.

Quand les différentes pièces de la machine occupent les positions figure 3, le piston

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

poinçonneur est, ainsi que le distributeur, au haut de sa course, avec 5 et 30 ouverts à l'échappement. Pour faire descendre le poinçon, on abaisse la pédale 35, qui amène le déclic 32 dans la position figure 1, où il permet au ressort 20 d'abaisser le distributeur parce que le cylindre 24 peut descendre librement sur le piston 27, ouvert à l'échappement. A la fin de cette descente du distributeur, le levier 31 vient, comme en figure 2,

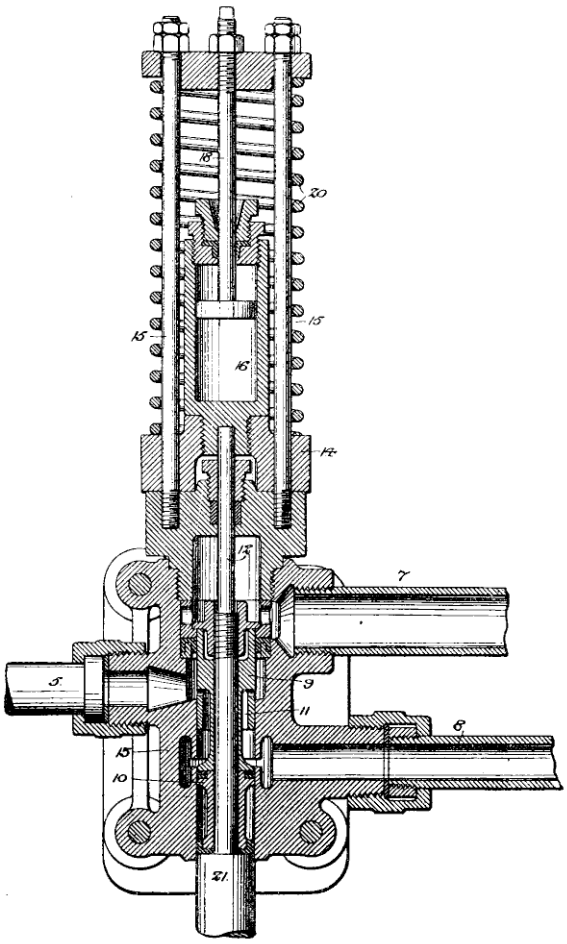


Fig. 4. — Poinçonneuse *Graves*, détail du distributeur.

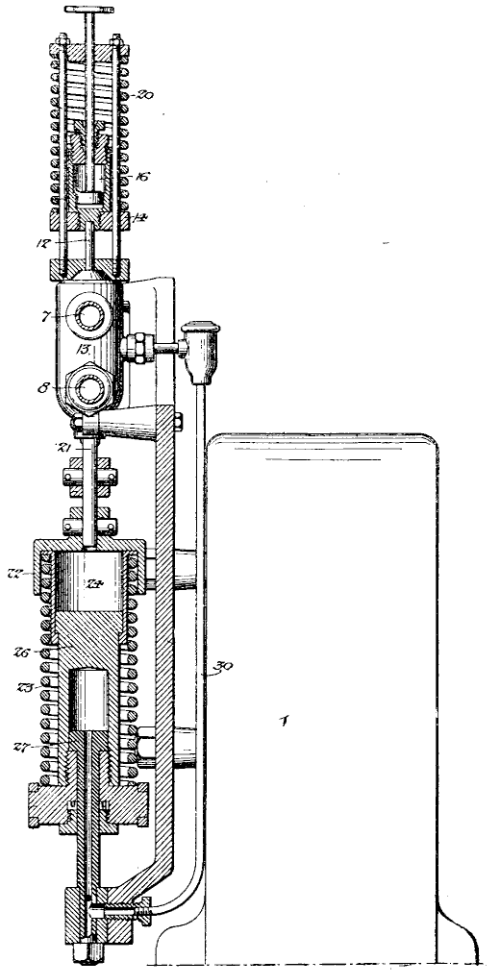


Fig. 5. — Poinçonneuse *Graves*, ensemble du distributeur.

s'enclencher en 35, et l'eau sous pression est admise à la fois sur le piston poinçonneur et dans le cylindre 26 ; le piston poinçonneur descend, et le cylindre 26 monte en comprimant le gros ressort 23, et, à la fin de cette montée, le levier 37 vient, comme en figure 3, s'enclencher en 36.

Quand le piston poinçonneur arrive au bas de sa course, l'écrou 42 de la tige 40, entraînée par ce piston, rompt le déclic 35, laissant le ressort 23, plus puissant que

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

20 et appuyé sur le levier 37, immobilisé par 36, remonter le distributeur de manière qu'il ouvre à l'échappement les cylindres 4 et 26. Le piston poinçonneur remonte alors, et, au haut de sa course, l'écrou 41, rompant le déclic 26, permet aux différentes pièces de reprendre les positions figure 1, avec 31 renclenché par 32, et l'ensemble prêt pour une nouvelle opération.

Si l'on veut que ces opérations : montée et descente du piston poinçonneur, se succèdent sans arrêt, il suffit de maintenir la pédale 33 constamment baissée ; dans ce cas, en effet, dès que le piston poinçonneur, arrivé au haut de sa course, déclenche 36, le piston du distributeur, repoussé par le ressort 20, redescend et rouvre le cylindre 4 à l'admission.

La longueur des courses du piston poinçonneur se règle très exactement par les écrous 41 et 42.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

PROCÈS-VERBAUX

DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

Séance du 12 juillet 1901

Présidence de *M. Linder*, président.

Correspondance imprimée. — M. Collignon présente au Conseil, avec remercîments aux donateurs, les ouvrages signalés à la page 915 du *Bulletin* de juin.

Nominations de membres de la Société. — Sont nommés membres de la Société :

M. Legrand (Victor), ancien président du Tribunal de Commerce de la Seine, présenté par *M. Lavollée;*

M. Paixhans (Louis), à Bretteville-sur-Laize (Calvados), présenté par *M. Quinette de Rochemont;*

M. Radiguet, constructeur d'instruments pour les sciences, à Paris, présenté par *MM. Carpentier* et *G. Richard;*

M. Delagrave (Charles), libraire-éditeur, à Paris, présenté par *MM. Haller et G. Richard.*

Rapports des Comités. — Sont présentés et approuvés les rapports de *MM. Bordet et Daubrée*, au nom des censeurs et de la Commission des fonds, sur l'exercice de 1900.

M. Brull (Arts mécaniques), sur la noria de *M. Lemaire.*

M. Simon (Arts mécaniques), sur le robinet à gaz de *M. Girardville.*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Séance du 25 octobre 1901.

Présidence de M. LINDER, président.

M. le Président annonce que la Société d'Encouragement a reçu, pendant les vacances, les deux dons suivants :

Du *Comité de la classe 32 de l'Exposition de 1900* (Chemins de fer), une somme de 500 francs, pour être affectée à la *Commission des alliages*.

Une somme de 2034 francs du *Comité d'installation de la classe 19* (Machines à vapeur), pour être distribuée, sur les propositions du Comité des Arts mécaniques, en *secours aux inventeurs malheureux ou à leurs familles*.

M. le Président adresse, au nom de la Société d'Encouragement, ses plus vifs remerciements aux Comités des classes 32 et 19.

CORRESPONDANCE. — *M. Collignon*, secrétaire, dépouille la correspondance.

M. Antonio Capello fait part de la mort de son beau-père, *M. Rada y Delgado*, membre correspondant du Comité du commerce.

La *Société française de photographie* met à la disposition de la Société d'Encouragement une carte pour ses conférences de 1901-1902.

M. Robin fils, 79, faubourg du Temple, demande une annuité de brevet pour un *châssis d'automobiles* supprimant le dérapage. (Arts mécaniques.)

M. V. Lefebvre, 82, rue de l'Hôtel-de-Ville, demande une annuité de brevet pour un appareil applicable au *chauffage des ballons*. (Arts mécaniques.)

M. Fraisse remercie la Société de l'annuité de brevet qu'elle lui a accordée pour son système d'éclisse de rails à cornières.

M. L. Weber, 9, passage de la Brie (IX^{e}), demande l'aide de la Société pour l'exécution de *dessins géométriques* destinés à l'enseignement. (Beaux-Arts.)

M. J. Revin, à Avesnes (Nord), envoie de nouveaux renseignements sur sa *machine à jambes*. (Arts mécaniques.)

M. Marcel Lunet, ingénieur, 192, rue Michel-Bizot, dépose un pli cacheté relatif à un *moteur à gaz à détente variable*.

M. Morin, 15, rue Renan, présente de nouveaux renseignements sur sa *turbine à vapeur*. (Arts mécaniques.)

M. Thirion, 139, rue de Bagnolet, demande une annuité pour un *robinet verseur*. (Arts mécaniques.)

M. F. Laur présente, pour concourir au prix du Comité du commerce, son ouvrage sur le *bassin ferrifère de la Lorraine*.

M. A. Cordebart, 12, rue Fromentin, à La Rochelle, présente un apparei *d'alimentation pour chaudières*. (Arts mécaniques.)

M. P. C. Bourdin, 15, boulevard de la Chapelle, se présente comme candidat aux prix pour une découverte empêchant les bois de jouer. (Beaux-Arts.)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. Rinat, 38, rue d'Hauteville, présente à la Société une *lampe électrique à incandescence*. (Arts économiques.)

M. Delaurier, 77, rue Daguerre, présente un *aviateur*. (Arts mécaniques.)

M. A. Pichon, 29, grande-rue, à Villejuif, demande une annuité pour un *moteur hydraulique*. (Arts mécaniques.)

M. P. de Chimkevitch, 42, rue Hamelin, présente un *bateau sous-marin*. (Arts mécaniques.)

M. P. Renaud remercie la Société de la subvention accordée au journal *le Mois scientifique et industriel*.

M. Cusinberge remercie la Société des allocations accordées à d'anciens ouvriers de son usine, qui envoient aussi leurs remerciements.

M. Blérie, à Argenlieu (Oise), présente un *mécanisme d'horlogerie*. (Arts mécaniques.)

M. P. Vallée demande une annuité de brevet pour des *gants à l'usage des bicyclistes*. (Arts économiques.)

M. A. Barbier, 6, rue Janin, à Lyon, présente un *métier pour rubans*. (Arts mécaniques.)

M. L. Tison, 25, boulevard de la République, à Abbeville, présente un produit pour *protéger les zincs et les galvanos*. (Beaux-Arts.)

M. le Directeur de l'École Saint-François-Xavier, à Alexandrie, demande le concours de la Société pour la bibliothèque de ce collège. (Bureau.)

M. Delaurier, 77, rue Daguerre, présente une *roue élastique pour automobiles*. (Arts mécaniques.)

M. Ducretet, 77, rue Claude-Bernard, présente ses *travaux sur la télégraphie sans fils*. (Arts économiques.)

M. F. Bouillon, 152, rue Croix-Nivert, demande une annuité de brevet pour un *moteur à air comprimé*. (Arts mécaniques.)

M. G. Jouanno, 53, rue Dupleix, demande une annuité pour un appareil *à accorder les violons*. (Arts économiques.)

M. Maillard, décorateur, 12, rue des Lions, demande une annuité de brevet pour un *procédé de décoration des meubles*. (Beaux-Arts.)

M. le ministre de l'Agriculture communique à la Société la circulaire suivante, relative à la création, au ministère de l'Agriculture, d'un office de *Renseignements agricoles :*

Ce nouvel organe de mon Administration répond à une nécessité urgente de notre époque. L'ouverture de pays neufs à la grande culture, l'accroissement de production de certains grands pays, le développement considérable des chemins de fer, des voies de navigation, des communications postales et télégraphiques, les progrès importants accomplis par la science agricole, ont modifié, depuis un certain nombre d'années, les conditions économiques de tous les pays. Il en est résulté, en France comme dans tous les vieux États, une crise générale dont souffre l'agriculture. Cette situation difficile de la première de nos industries nationales a éveillé la sollicitude du Gouvernement. Il a voulu offrir aux agriculteurs une aide efficace dans la lutte difficile qu'ils ont à soutenir en organisant, au siège même de l'administration de l'Agriculture, un Office de renseignements agricoles. Cet Office a pour

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mission de fournir au monde agricole des informations rapides, exactes et complètes sur la production nationale et la production étrangère, sur les centres de consommation, sur les prix de l'intérieur et du dehors, sur les conditions de transport, sur les conditions du travail agricole et sur les progrès de toute nature accomplis ou à l'étude pouvant intéresser l'agriculture nationale.

J'ai pensé, Monsieur le Président, que, pour une œuvre entreprise en vue de l'intérêt agricole, il m'était permis de compter sur le concours et la collaboration de tous les groupements d'agriculteurs, et plus particulièrement des sociétés d'agriculture et des comices agricoles. Ces associations, en effet, sont rattachées par des liens étroits au ministère de l'Agriculture qui suit de très près leurs travaux et leur accorde des subventions à titre d'encouragements.

Ce concours et cette collaboration des sociétés d'agriculture et des comices agricoles pourront consister utilement, d'une manière générale, dans l'envoi à l'Office de tous renseignements et documents relatifs à l'agriculture, aux industries agricoles et au commerce des produits agricoles, ainsi que dans la transmission des vœux et *desiderata* touchant les intérêts de l'agriculture.

En centralisant les renseignements recueillis et en les portant ensuite à la connaissance de tous, l'Office établira, au profit des agriculteurs, un lien permanent entre les diverses régions de la France. Quant aux vœux et *desiderata*, ils seront non seulement centralisés par l'Office, mais ils seront, de plus, soumis à une étude sérieuse et approfondie.

Je me réserve, d'ailleurs, de m'adresser fréquemment, sous forme d'enquêtes, aux sociétés et aux comices, afin de m'éclairer de leurs avis et recueillir les renseignements qu'ils pourront posséder sur un certain nombre de questions importantes, dont la solution me semble pouvoir être plus sûrement atteinte en la poursuivant par cette voie.

Je vous remercie à l'avance du concours éclairé que vous voudrez bien me prêter, ainsi que des communications que vous ne manquerez pas, j'en suis persuadé, d'adresser aussi nombreuses et fréquentes qu'il vous sera possible à l'Office de renseignements agricoles. De son côté, ce service s'empressera de vous faire parvenir les renseignements que vous pourriez avoir à lui demander et qu'il serait en mesure de vous fournir.

Communication. — *M. Rateau* fait une communication sur les *Ventilateurs et pompes centrifuges à hautes pressions.*

M. le Président demande si personne n'a d'observation à présenter au sujet de la communication de M. Rateau.

Personne ne prenant la parole, M. le Président remercie M. Rateau de sa remarquable communication, qui sera reproduite au *Bulletin*.

Séance du 8 novembre 1901.

Présidence de *M. H. Le Chatelier*, vice-président.

Correspondance. — *M. Collignon*, secrétaire, dépouille la correspondance.

M. Biard, membre de la Société, ingénieur au chemin de fer de l'Est, fait hommage de son mémoire : « Statistique des *ruptures et avaries de bandages* aux chemins de fer de l'Union allemande (1887-1896). »

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. E. Legier présente à l'examen de la Société son ouvrage sur l'*Histoire de la fabrication du sucre en France*. (Agriculture.)

M. F. de Champville présente, pour concourir au prix du Comité d'agriculture, son ouvrage intitulé : *La France agricole et commerciale*. (Agriculture.)

M. Garçon présente à la Société son *Dictionnaire des industries tinctoriales*, et remercie la Société de l'intérêt qu'elle porte à ses travaux.

M. Bonau remercie la Société de l'annuité de brevet qu'elle lui a accordée pour une *charrue*.

M. le Ministre de l'Agriculture envoie à la Société des cartes d'entrée à *l'Exposition des moteurs et appareils utilisant l'alcool*, ouverte, au *Grand Palais des Champs-Élysées*, du 16 au 24 novembre.

Correspondance imprimée. — *M. Collignon* présente au Conseil, avec remerciements aux donateurs, les ouvrages mentionnés à la page 690 du présent *Bulletin*.

Déclaration de vacance. — *M. Collignon* déclare, au nom du *Comité de mécanique*, une vacance, par suite du décès de M. Hirsch.

Nominations de membres de la Société. — Sont nommés membres de la Société :

M. Beigbeder, ancien ingénieur des poudres et salpêtres, présenté par *M. Gruner*.

M. H. Ernault, constructeur mécanicien, à Paris, présenté par *M. Kreutzberger*.

Rapports des Comités. — Sont lus et approuvés les rapports suivants, présentés au nom du Comité des Arts mécaniques :

M. Brull, sur la *grille Kudlitz*.

M. Sauvage, sur la *presse pour huileries de M. Heuclin*.

M. Simon, sur la *manivelle de sûreté de M. Fagedet*.

Communications. — Sont présentées les communications de :

M. Frugier, sur l'*aluminite*, nouvelle porcelaine.

M. Granger, sur les *laboratoires industriels d'Allemagne*.

M. le Président remercie et félicite vivement *MM. Frugier et Granger* de leurs très intéressantes communications, qui seront reproduites au *Bulletin*.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

LIVRES ET OUVRAGES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE

EN NOVEMBRE 1901

Royal Society of New South Wales. **Proceedings.** 1900. In-8°, 400 p. Édité par la Société à Sydney.

Société d'Agriculture de Valenciennes. **Année 1900. Recueil des lois, ordonnances, règlements et circulaires, concernant les services dépendant du ministère des Travaux publics.** 2e série, vol. IX, 1897, 1898. In-8°, 772 p. Paris, imprimerie Jousset.

Du Comité des Houillères de France. **Mémoires et observations présentés par les propriétaires de houillères à la Commission du travail de la Chambre des députés le 6 novembre 1901, au sujet de la proposition de loi tendant à réduire à huit heures la durée de présence des ouvriers dans les mines.** In-8°, 82 p. Au siège du Comité, 55, rue de Châteaudun.

Note sur les transports par camions automobiles, par M. Bret. In-8°, 107 p. Extrait des *Annales des Ponts et Chaussées*.

Du Ministère du Commerce. **Description des brevets d'invention.** (*1899.*) N° 292 783 à 293 646.

De l'Encyclopédie Leauté. **Le Vin**, par M. H. Astrug. In-8°, 208 p. Paris, Gauthier-Villars.

De la Royal Society, London. **Philosophical Transactions.** Série A (*Mathématiques et Physique*, vol. 195 et 196) et série B (*Biologie*), vol. 193.

Régime des embranchements particuliers des chemins de fer, par M. Jean de la Ruelle. In-8°, 72 p. Paris, Dunod.

Bergbahnen der Schweiz. 1900, par M. E. Stubb. In-8°, 191 p. Wiesbaden, Bergmann.

Agenda agricole et viticole, par M. Vermorel. In-18, 200 p., Montpellier, imprimerie Coulet.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Institution of Civil Engineers, London. **Proceedings.** Vol. CX-LVI (1901).

De la Bibliothèque technologique. **Instruments et méthodes de mesures électriques industrielles,** par M. H. Armagnat. 2e édition. In-8°, 614 p., 228 fig. Paris, Naud.

Prescriptions de sécurité relatives aux installations électriques à courant fort. *Basse, moyenne et haute tensions.* Publiées par l'*Association des électro-techniciens allemands.* 3 plaquettes. In-18, 40 p. Paris, Dunod.

Éléments d'automobiles, par M. J. Baudry de Saunier. In-8°, 192 p., 30 fig. Paris, Dunod.

Société d'Agriculture de la Marne. **Mémoires.** 1899-1900. In-8°, 392 p. Châlons-sur-Marne, imprimerie O. Toble.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

LITTÉRATURE

DES

PÉRIODIQUES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE DE LA SOCIÉTÉ

Du 15 Octobre au 15 Novembre 1901

DÉSIGNATIONS ABRÉGÉES DES PUBLICATIONS CITÉES

Ag. . . . Journal de l'Agriculture.
Ac. . . . Annales de la Construction.
ACP . . . Annales de Chimie et de Physique.
AM. . . . Annales des Mines.
AMa . . . American Machinist.
Ap. . . . Journal d'Agriculture pratique.
APC. . . . Annales des Ponts et Chaussées.
Bam. . . . Bulletin technologique des anciens élèves des écoles des arts et métiers.
BMA . . . Bull. du ministère de l'Agriculture.
CN. . . . Chimical News (London).
Cs. . . . . Journal of the Society of Chemical Industry (London).
CR. . . . Comptes rendus de l'Académie des Sciences.
DoL. . . . Bulletin of the Department of Labor, des États-Unis.
Dp. . . . Dingler's Polytechnisches Journal.
E. . . . . Engineering.
E'. . . . . The Engineer.
Eam. . . . Engineering and Mining Journal.
EE. . . . . Eclairage électrique.
Elé. . . . L'Électricien.
Ef. . . . . Économiste français.
EM. . . . Engineering Magazine.
Es. . . . . Engineers and Shipbuilders in Scotland (Proceedings).
Fi . . . . Journal of the Franklin Institute (Philadelphie).
Gc. . . . . Génie civil.
Gm. . . . Revue du Génie militaire.
IC. . . . . Ingénieurs civils de France (Bull.).
Ie. . . . . Industrie électrique.
Im . . . . Industrie minérale de St-Étienne.
IME. . . . Institution of Mechanical Engineers (Proceedings).
IoB. . . . Institution of Brewing (Journal).
La . . . . La Locomotion automobile.
Ln . . . . La Nature.
Lo. . . . . Locomotion.
Ms. . . . . Moniteur scientifique.
MC. . . . Revue générale des matières colorantes.
N. . . . . Nature (anglais).
PC . . . . Journal de Pharmacie et de Chimie.
Pm. . . . Portefeuille économ. des machines.
RCp . . . Revue générale de chimie pure et appliquée.
Rgc. . . . Revue générale des chemins de fer et tramways.
Rgds. . . . Revue générale des sciences.
Ri . . . . Revue industrielle.
RM. . . . Revue de mécanique.
Rmc. . . . Revue maritime et coloniale.
Rs. . . . . Revue scientifique.
Rso. . . . Réforme sociale.
RSL. . . . RoyalSocietyLondon(Proceedings).
Rt. . . . . Revue technique.
Ru. . . . . Revue universelle des mines et de la métallurgie.
SA. . . . . Society of Arts (Journal of the).
SAF . . . Société des Agriculteurs de France (Bulletin).
ScP. . . . Société chimique de Paris (Bull.).
Sie. . . . . Société internationale des Électriciens (Bulletin).
SiM. . . . Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse.
SiN. . . . Société industrielle du Nord de la France (Bulletin).
SL. . . . . Bull. de statistique et de législation.
SNA. . . . Société nationale d'agriculture de France (Bulletin).
SuE. . . . Stahl und Eisen.
USR. . . . Consular Reports to the United States Government.
VDI. . . . Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure.
ZOI. . . . Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieure und Architekten-Vereins.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

AGRICULTURE

Blés tendres à épi compact. *Ag.* 19 *Oct.*, 613.
— Destruction du charbon. *Ap.* 14 *Nov.*, 619.
— Résistance à l'infection charbonneuse (Grandeau). *Ap.* 19 *Oct.*, 490.
— Origine de l'amidon du grain de blé (Dehérain et Dupont). *CR.* 11 *Nov.*, 774.
Chambres consultatives d'agriculture. *Ag.* 19 *Oct.*, 609.
Bétail. Avenir en France. *Ag.* 26 *Oct.*, 641.
— Fièvre aphteuse (Mesures d'hygiène contre la). *Ag.* 16 *Nov.*, 776.
— Race bovine bretonne. *Ag.* 19 *Oct.*, 618.
— — mancelle. *Ap.* 26 *Oct.*, 529.
— — garonnaise. *Ag.* 26 *Oct.*, 661.
— Lapin bélier. *Ap.* 7 *Nov.*, 596.
— Ferme et moutons d'Orsigny. *Ag.* 9 *Nov.*, 739.
Beurre. Conditions de production dans les Pays-Bas. *Ap.* 24 *Oct.*, 524; 7 *Nov.*, 585.
Chevaux (Toux nocturne des). *Ap.* 19 *Oct.*, 491.
— Russes et hongrois. *Ap.* 19 *Oct.*, 499.
Engrais appliqués aux arbres fruitiers. *Ag.* 19 *Oct.*, 625.
— Solubilité des engrais phosphatés dans les acides organiques (Sutherst). *CN.* 25 *Oct.*, 199.
— Influence des éléments minéraux qui se rencontrent à faible dose dans les plantes, sur le développement de la végétation. *Ap.* 14 *Nov.*, 630.
Epicéas. Restauration des peuplements (Mer). *Ag.* 2-9 *Nov.*, 790, 731.
Fraises (Emballage de). *Ap.* 14 *Nov.*, 627.
Lait. Calcul du mouillage et de l'écrémage simultanés (Genin). *CR.* 4 *Nov.*, 743.
— Effets de la congélation (Bordas et Raczkoroski). *CR.* 4 *Nov.*, 759.
Maïs (Charbon du). *Ap.* 14 *Nov.*, 622.
Métayage et participation aux bénéfices dans l'agriculture. *Ef.* 26 *Oct.*, 573.
Meunerie. Issues de blé de mouture par meules et par cylindres; comparaison (Lindet). *Pc.* 15 *Nov.*, 433.
Osier et les engrais. *Ap.* 24 *Oct.*, 527.
Prairies. Amélioration dans l'arrondissement de Pontarlier. *Ag.* 26 *Oct.*, 657; 5 *Nov.*, 699.
Routes fruitières. *Ap.* 19 *Oct.*, 492.
Scaroles et chicorées. Conservation hivernale. *Ap.* 26 *Oct.*, 533.
Vigne. Utilisation des marcs de vendange. *Ap.* 26 *Oct.*, 525.
— L'*Endemis Botrana* dans la Gironde. *Ap.* 31 *Oct*, 554; 6 *Nov.*, 592.

CHEMINS DE FER

Chemins de fer souterrains (Les). *E.* 25 *Oct.*, 583.
— État français. Statistique 1900. *Rgc. Nov.*, 485.
— métropolitains. New-York. *E.* 18-25 *Oct.*, 547, 576; 8-16 *Nov.*, 637, 675.
— de l'Uganda. Plans inclinés. *Rt.* 10 *Nov.*, 489; *E'.* 1er *Nov.*, 460.
— à une ou deux files de rails, comparés au point de vue de la circulation en courbes (Philippe). *APC.* 1901, n° 22.
— *Électriques* à grande vitesse de l'Allgemeine. *EE.* 26 *Oct.*, 133; *Rt.* 10 *Nov.*, 501.
— — Invalides-Versailles. *Gc.* 26 *Oct.*, 413.
— — Milan-Gallarate. *EE.* 2 *Nov.*, 164.
— — souterrains dans les villes. Enquête du métropolitain de Londres. *E'.* 8-16 *Nov.*, 490, 504; *E.* 8-16 *Nov.*, 658, 689.
— — Locomotives électriques à l'Exposition (Godfernaux). *Rgc. Nov.*, 442.
Frein Stop. *RM. Oct.*, 465.
Locomotives belges à l'Exposition. *Pm. Nov.*, 162.
— américaines (Étude sur les) (Oudet). *RM. Oct.*, 389.
— Type Atlantic (Millwaukee. Saint-Paul). *RM. Oct.*, 459.
— Express de l'État allemand. Essai comparatif. *Rt.* 10 *Nov.*, 497.
— Compound express. Est français. *E.* 25 *Oct.*, 180. de la Société italienne des chemins de fer méridionaux. Essais comparatifs avec les compound de la Compagnie de l'Ouest (Decourt). *Rgc. Nov.*, 411.
— articulée Malet. Chemins bulgares. *E'.* 25 *Oct.*, 16 *Nov.*, 433, 500.
— Tender. 3 couplés Barclay. *E'.* 1er *Nov.*, 449.
— *à air comprimé.* Compagnie de l'Ouest. *Ln.* 26 *Oct.*, 349.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Locomotives (Foyers de) (Richter). *Dp.* 19 *Oct.*, 661.
— entretoises Stroudley. *RM. Oct.*, 464.
Rails. Joints Sneinig et Hofmann. *Rt.* 10 *Nov.*, 502.
Station de Victoria à Nottingham. *E.* 15 *Nov.*, 672.
Signaux. Divers. *Dp.* 16 *Nov.*, 730.
— Enregistreur des disques fermés de la Compagnie du Midi. *Rgc. Nov.*, 439.
Vitesse des express en Amérique et en Europe. *Rgc. Nov.*, 504.
Wagons de 32 tonnes de la Darlington Wagon C°. *E.* 18 *Oct.*, 549.
— de 25 tonnes Pickering. *E.* 1^er^ *Nov.*, 627.
— Train royal canadien. *E'.* 8 *Nov.*, 478.

TRANSPORTS DIVERS

Automobiles. Camions automobiles (Transports par) (Bret). *APC.* 1901, n° 17.
— Détermination de la puissance disponible à la jante. *Ie.* 25 *Oct.*, 469.
— *électriques.* Moteurs et combinateurs. *Pm. Nov.*, 170.
— *à alcool. La.* 17 *Oct.*, 657; 7 *Nov.*, 705.
— *à éther* Desvignes. *LO.* 16 *Nov.*, 106.
— *à pétrole* (De Dion), 6 chevaux. *La.* 17, *Oct.*, 663. Albion. *RM. Oct.*, 466. Panhard-Levassor légère. *LO.* 16 *Nov.* 104. Moteurs à grande et petite vitesse (Lavergne). *Ri.* 19-26 *Oct.*, 418, 422; 2-9 *Nov.*, 433, 449. Volume utile des cylindres. *La.* 7 *Nov.*, 710. Silencieux Buck. *Id.*, 713.
— *à vapeur.* Camion Ellis. *RM. Oct.*, 467.
— Roue directrice Smith. *La.* 17 *Oct.*, 666.
— Arrêt de sûreté Stevens. *La.* 7 *Nov.*, 713.
Tramways parisiens en 1900. *Gc.* 19 *Oct.*, 402.
— *Électriques* Sprague à unités multiples. *Gc.* 26 *Oct.*, 419.
— à courants alternatifs simples sur les lignes de grande longueur. *Ie.* 10 *Nov.*, 495.
— de Budapesth. *ZOI.* 27 *Nov.*, 704.
— à contacts, de Munich. *E'.* 25 *Oct.*, 423; 1^er^ *Nov.*, 445; 8 *Nov.*, 472.
Vélocipèdes. Frein Pugh. *RM. Oct.*, 468.

CHIMIE ET PHYSIQUE

Acétylène. Divers. *Dp.* 2-9-16 *Nov.*, 702, 719, 737. *RCp.* 3 *Nov.*, 571.
Acétylène. (Usine à gaz riche en) du P.-L.-M. *Gc.* 26 *Oct.*, 421.
— Éclairage des locomotives Cook. *Ri.* 2 *Nov.*, 436.
— Chaleur de dissociation (Mixter). *American Journal of Science. Nov.*, 347.
Acide sulfurique sans chambres de plomb, procédé Wenmacken. *Pm. Nov.*, 167.
Air confiné. Régénération par le bioxyde de barium (Desgrez et Balthazard). *CR.* 11 *Nov.*, 791.
Anhydrides sulfurique et disulfurique (Oddo). *ScP.* 5 *Nov.*, 897.
Bichromates alcalins. Fabrication (Beltzer). *Rcp.* 17 *Nov.*, 581.
Brasserie. Divers. *Cs.* 31 *Oct.*, 1008.
Chaux et ciments. Four rotatif. Timm. *Le Ciment. Oct.*, 305.
— Pouzzolanes. Action de l'eau de mer. Artificielles. *Ms. Nov.*, 718, 722.
— Constitution de ciments hydrauliques (Rebuffat). *Ms. Nov.*, 720.
— Théorie de la prise (Zulkowski). *Cs.* 31 *Oct.*, 990.
Chimie. Classification de la littérature chimique au Patent office de Washington (Hill). *CN.* 25 *Oct.*, 203; 1^er^ *Nov.*, 210.
Chlore (Oxyde du) (Reychler). *CN.* 15 *Nov.*, 234.
Calcio-ammonium et lithium-ammonium, décomposition par le chlorure d'ammonium (Moissan). *CR.* 4 *Nov.*, 715.
Catalyse en solutions concentrées (Crafts). *CN.* 25 *Oct.*, 205; 1^er^ *Nov.*, 213.
Caoutchouc. Explosion d'un vulcaniseur. *E.* 18 *Oct.*, 562.
Céramique. Divers. *Cs.* 31 *Oct.*, 988.
Combustibles. Puissance calorifique (Adams). *Cs.* 31 *Oct.*, 973.
Cæsium. Fluorures doubles antimoniaux (Wells et Metryer). *CN.* 18 *Oct.*, 194.
— Chaleur totale de combinaison, valeur minima (De Fourcand). *CR.* 28 *Oct.*, 681.
Dilutions (Points d'inversion des) (Colson). *CR.* 14 *Oct.*, 585.
Eau oxygénée (Recherche et dosage de l'acide oxalique dans l') (Roche). *Ms. Nov.*, 694.
Essences. Diverses. *Gs.* 31 *Oct.*, 1014.
— de Neroli et de petit grain (Jeantard et Satie). *ScP.* 5 *Nov.*, 934.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Essences deterpenées (Leotard). *RCp.* 20 *Oct.*, 546.
— Huile de cade (Cathelineau et Hausser). *ScP.* 5 *Nov.*, 931.
Eaux résiduaires. Épuration biologique (Calmette). *Rs.* 26 *Oct.*, 527.
Eau oxygénée. Action sur l'oxyde d'argent (Berthelot). *CR.* 14 *Oct.*, 555.
Explosifs. Divers. *Cs.* 31 *Oct.*, 1020.
Fluor. Utilisation des gaz fluorés dégagés dans la fabrication des superphosphates (Elschner). *CN.* 8 *Nov.*, 222.
Gaz *liquéfiés*, préparation et application (Mathias). *Rgds.* 30 *Oct.*, 15 *Nov.* 903-965.
— *à l'eau.* Carburé. *Gc.* 19 *Oct.*, 399.
— *à l'air.* Carburé de la Cie du gaz aérogène. *Ri.* 16 *Nov.*, 454.
— Nuisibles. Tours de condensation (Clemmer). *Eam.* 12 *Oct.*, 453.
Goudrons (Progrès de l'industrie des) en Angleterre et en Allemagne (Green). *CN.* 18-25 *Oct.*, 185, 197.
Huiles et graisses. Diverses. *Cs.* 31 *Oct.*, 1003.
Hydrogène. Sa place dans le système périodique (Brauner). *CN.* 15 *Nov.*, 233.
Industries chimiques depuis l'Exposition de 1900 (Guillet). *Gc.* 9, 16 *Nov.*, 21, 44.
Laboratoire. Or et argent, essais au chalumeau (Richards). *CN.* 18. *Oct.*, 192.
— Pipette densimétrique Girardet. *ScP.* 5 *Nov.*, 936.
— Simplification des calculs de chimie (Richards). *CN.* 25 *Oct.*, 201.
— Acidimètre de l'acide phosphorique par les alcalino-terreux (Cavalier). *ScP.* 5 *Nov.*, 903.
— Analyse des vins. *Ms. Nov.*, 725, 732.
— Détermination des persulfates (Peters et Moodg). *American Journal of sciences. Nov.*, 367.
— Dosage volumétrique du manganèse (Ramage). *CN.* 1er *Nov.*, 209.
— Four Moissan au chalumeau oxy-hydrique. *ACP. Nov.*, 289.
— Séparation du fer. *CR.* 28 *Oct.*, 686.
Loi périodique (Mendeleef). *RCp.* 20 *Oct.*, 553.
Nitrocelluloses (les). Lunge et Bebie. *CN.* 18, 25 *Oct.*, 189, 200.
Optique. Théorie des trois couleurs de Maxvell. Application au choix des encres (Clay. et Abney). *RsL.* 8 *Nov.*, 26.
Ozone (Formation de l'). *CR.* 11 *Nov.*, 789.
Pétrole. État actuel de l'industrie (Caros). *RCp.* 17 *Nov.*, 591.
Produits chimiques à l'Exposition de 1900 (Gloess et Bernard). *Ms. Nov.*, 673.
Radium Réactions chimiques déterminées par le (Berthelot). *CR.* 28 *Oct.*, 639. (Becquerel). *Id.*, 709.
Résines. Divers. *Ms. Nov.*, 718.
Savons (Structure des). *Cs.* 31 *Oct.*, 1004.
Stéarinerie et savonnerie. Progrès depuis 1900 (Guillet). *Gc.* 9 *Nov.*, 21.
Surfaces métalliques. Modifications par la lumière (Buisson). *ACP. Nov.*, 320.
Sucrerie. Divers. *Cs.* 31 *Oct.*, 1007.
— Moulin à cannes Stevart. *E.* 8 *Nov.*, 646.
Tannerie. Divers. *Cs.* 31 *Oct.*, 1005.
Teinture. Divers. *Cs.* 31 *Oct.*, 978, 982.
— Gravure pour impression par photographie avec écran (Depierre). *MC.* 1er *Nov.*, 257.
— Mercerisage du coton ; emploi du refroidissement (Lefèvre). *MC.* 1er *Nov.*, 258.
— Constitution et synthèse des matières colorantes naturelles (Thomas). *RCp.* 3 *Nov.*, 537.
Thermomètre électrique Callendar. *E.* 8 *Nov.*, 644.
Thorium (Nouvel élément avec le) (Baskerville). *CN.* 18 *Oct.*, 187.
Uranium et ses composés (Aloy). *ACP. Nov.*, 412.
— Séparation et dosage (Kern). *CN.* 8, 15 *Nov.*, 224, 236.

COMMERCE ET ÉCONOMIE POLITIQUE

Allemagne. Revision des tarifs. *USR. Nov.*, 311.
Chine (affaires de). *Ef.* 9 *Nov.*, 633.
Compagnonnage. Mœurs et coutumes (Martin Saint-Léon). *Rso.* 1er *Nov.*, 644.
États-Unis. Statistiques des villes. *Dol. Sept.*, 815.
— Fédération australienne de l'industrie anglaise. *E.* 18 *Oct.*, 395.
France. Avenir des finances. *Ef.* 26 *Oct.*, 565.
— Marine marchande. projet de loi. *Ef.* 2 *Nov.*, 597.
— Commerce extérieur en 1900. *SL. Oct.*, 330, 362.
— Caisse des dépôts et consignations. *Ef.* 9 *Nov.*, 629.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Grève générale (la). *Rso.* 1er *Nov.*, 660.
Impôt sur le revenu en Saxe. SL. Oct., 409.
Japon. Situation économique. *E.* 8 *Nov.*, 636.
Mutualité familiale (Cheysson). *Rso.* 1er *Nov.*, 621.
Paris (Ville de). Programme d'une Session. *Ef.* 9 *Nov.*, 636.
Propriété foncière, nouvelle forme en Allemagne. Ef. 9 *Nov.*, 631.
Secours mutuels et retraites pour femmes (Société de) en Belgique (Berryer). *Rso.* 16 *Nov.*, 701.
Soie (production de la). *Ef.* 19 *Oct.*, 531.
Succession. Influence des lois et coutumes successorales sur la propriété foncière et la population en France. *Ef.* 26 *Oct.*, 567.
Syndicats professionnels de femmes (Flornoy). *Rso.* 1er *Nov.*, 675.
Vins. Production de 1872 à 1900. *SL. Oct.*, 403.

CONSTRUCTION ET TRAVAUX PUBLICS

Ciment armé (Revêtement en béton de) du chenal d'accès au port d'Épinal (Barbet et Hausser). *APC.* 1901, n° 25.
— (Résistance des voûtains en). *Le Ciment. Oct.*, 145.
— (Planchers en). *Le Ciment. Oct.*, 152.
Excavateur Bunnell. *E'.* 1er *Nov.*, 464.
Fondations en terrains sablonneux aquifères (Casse). *IC. Sept.*, 562.
Mur de quai (Construction d'un) dans la baie d'Agha. *APC.* 1901, n° 342.
Pièces rectangulaires fléchies (Calcul des) (Memager). *APC.* 1901, n° 19.
— métalliques. Appareil enregistreur des déformations locales (Schroeder). *VDI.* 1901, n° 20.
Ponts de Brooklyn (Accident au). *Rt.* 10 *Nov.*, 485.
— de Redheugh. *E.* 18 *Oct.*, 550; 8 *Nov.*, 644. Lépine à Paris. *Ac. Nov.*, 162.
— des chemins de fer néerlandais. (Enquête expérimentale sur les longerons des) (Kist). *APC.* 1901, n° 21.
— Barente. Page. *Gc.* 17 *Oct.*, 401.
— (Spécifications des) au point de vue des constructeurs. *E'.* 8 *Nov.*, 471.
— Expérimentation des ponts (Rabut). *Rgc. Nov.*, 457.
Voûtes en maçonnerie. (Poussées des) (Auric). *APC.* 1901, n° 23.
— (Résistance des) (Cosyn). *Ac. Nov.*, 170.

ÉLECTRICITÉ

Accumulateurs. Edison. *EE.* 19 *Oct.*, 93.
— Schmidt, Wagand. *Id.*, 2 *Nov.*, 178.
— Stroll. *EE.* 16 *Nov.*, 258.
— Peigne de la Société électrique du Nord. *EC.* 9 *Nov.*, 218.
— Empatage des plaques; machine Kank. *EE.* 19 *Oct.*, 96.
— (Diagrammes de courts-circuits des). *Id.*, 98.
— Réducteur automatique Jacoby. *EE.* 16 *Nov.*, 260.
— Mesure de la résistance intérieure (Bruger). *Id.*, 100.
— (Influence de la température sur la capacité des). (Liagre.) *EE.* 2 *Nov.*, 149.
— Moules Davies, Rooper, Crutcher. *EE.* 2 *Nov.*, 179. Grould. *Id.*, 16 *Nov.* 258.
— Presse à plombs. Bæse. *EE.* 9 *Nov.*, 219.
Canalisations aériennes. (Établissement des). Loppe. *Sie. Août*, 455.
Convection électrique. Expériences de Rowland (Crémieu). *ACP. Nov.* 299.
Distributions polyphasées. Eborall. *SA.* 18, 25 *Oct.*, 809, 821. 1er *Nov.*, 833.
Dynamos. Alternateurs nouveaux. *Ie.* 25 *Oct.*, 472. Compound, Hutin et Leblanc. *Rt.* 25 *Oct.*, 457. (Construction et établissements des). *Rt.* 25 *Oct.*, 471. 10 *Nov.*, 482.
— Courants de Foucauld dans les pièces polaires des machines à courant continu. *Ie.* 10 *Nov.*, 493.
— Commutatrices. Stabilité de la marche. (Leblanc.) *CR.* 28 *Oct.*, 679; 16 *Nov.*, 229.
— Temps périodique d'un alternateur couplé. (Soubrier.) *EE.* 2 *Nov.*, 177.
Moteur triphasé de 500 chev. *Elé.* 19 *Oct.*, 244.
— alternatif, simple sans balais (Fisher-Hinnen). *EE.* 29 *Oct.*, 104.
— Asynchrone sans déphasage. *EE.* 26 *Oct.*, 117. Théorie graphique des moteurs asynchrones (Verhockx et Blondel). *Id.*, 131.
— commande à distance, commutateur. Sauter-Harlé. *Id.*, 104.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Moteurs. Anneaux à collecteurs (Leblanc). *El.* 26 *Oct.*, 113.

Éclairage de la fabrique de cellulose d'Oderhafen. *EE.* 26 *Oct.*, 131.

— *Arc*. Lampe Hackl. *Ln.* 19 *Oct.*, 331 de la Compagnie internationale d'électricité. *Elé.* 2 *Nov.*, 277.

Incandescence. Lampe Nerst. *Elé.* 19 *Oct.*, 241; *EE.* 9 *Nov.*, 223.

— Cooper-Hewitt. *Élé.* 16 *Nov.*, 305.

Électrochimie. Divers. *Cs.* 31 *Oct.*, 999.

— Industrie électrochimique en Europe. *Élé.* 19, 26 *Oct.*, 246, 264. Aux États-Unis. *Élé.* 9 *nov.*, 297.

— Anodes en carbone. *Cs.* 31 *Oct.*, 999.

— Appareil Neumann pour obtenir des métaux en couches compactes ou spongieuses. *Élé. Nov.*, 223.

Électrogravure en relief. Hofman. *Gc.* 26 *Oct.*, 424.

Groupe électrogène domestique de Dion. *Élé.* 9 *Nov.*, 289.

Mesures. Coefficient de fréquence des courants périodiques. Méthode Kempf. Hartmann. *Élé.* 19 *Oct.*, 248.

— Compteurs. Ude, Wirth. *EC.* 26 *Oct.*, 133.

— Indicateur Frank pour le tracé des courbes des phénomènes électriques variables. *EE.* 16 *Nov.*, 238.

— Voltmètres et ampèremètres thermiques Chauvin et Arnoux. *Ie.* 25 *Oct.*, 2 *Nov.*, 475, 273.

— Recherche des défauts et contrôle d'isolement des réseaux électriques (Charpentier). *EE.* 9 *Nov.*, 196.

— Woltmètre à lecture directe. (Armagnat.) *EE.* 16 *Nov.*, 263.

Stations centrales aux États-Unis. *Élé.* 9 *Nov.*, 295.

— de Durde. *EE.* 2 *Nov.*, 185; d'Italie, *EM. Nov.*, 185.

Télégraphie *sans fil*. Divers. *EE.* 19 *Oct.*, 77.

Téléphone. Commutateur multiple. Nix et Genest. *Élé.* 26 *Oct.*, 257. Allemand. Pour 50 abonnés. *Élé.* 16 *Nov.*, 310.

Transformateurs rotatifs. Étude graphique de la régulation (Blondel). *EE.* 9 *Nov.*, 206.

HYDRAULIQUE

Compteur d'eau. Frose. *RM. Oct.*, 469.

Pompes verticales. Hayward-Tyler. *E'.* 18 *Oct.*, 411; de Hampton. *E'.* 1er *Nov.*, 432.

Pompes. Compound Pearn. *Ri.* 9 *Nov.*, 441.

— Mather et Plat, à quadruple effet. *Ri.* 26 *Oct.*, 421.

— Électriques Glenfield. *E.* 25 *Oct.*, 591.

— Centrifuge Richards. *RM. Oct.*, 470.

— Roue élévatoire Guthire. *RM. Oct.*, 472.

Turbines à l'Exposition Reschel. *VDs.* 2. 16 *Nov.*, 1562, 1631.

— Radiales (Construction des). *VDi.* 9 *Nov.*, 1603.

MARINE, NAVIGATION

Cale du port de Las Palmas. *E.* 25 *Oct.*, 567.

Constructions navales. Emploi de l'acier au nickel (Brochard). *AM. Juillet*, 24. Résistance des coques à profils circulaire parabolique et elliptique et vibrations des coques à hélice (Chaigneau). *Bam. Oct.*, 1001.

— Cutter-rapide. Simpson-Strickland. *E'.* 8 *Nov.*, 479.

Docks flottants pour Khartoum. *E'.* 25 *Oct.*, 438.

Écluses. Étanchéité des poteaux tourillons des portes. Meunier.) *APC.* 1901, n° 31.

Engrenages. Avantages d'augmenter l'obliquité des dents en souffrance (Bruce). *AMa.* 26 *Oct.*, 1140.

Machines marines. Propulsion des navires. Mansell. *E'. Nov.*, 463.

Marine de guerre. Croiseurs cuirassés. Étude comparative. (L. Nicolas.) *Rmc. Sept.*, 1825.

— perte du contre-torpilleur *Cobra*. *E.* 18 *Oct.*, 1er *Nov.* 623, 553 *E'.* 1825 *Oct.*, 407, 424; 8 *Nov.*, 646.

— Française. Croiseur *Jurien de la Gravière*, *E'. Nov.*, 503.

— Anglaise. *Rmc. Sept.*, 1919. Flotte actuelle et son développement pendant le dernier cinquantenaire. *Rmc. Sept.*, 1492. Croiseur armé *King Alfred*. *E.* 1er *Nov.*, 610.

— Américaine. *Id.*, 1937.

— Allemande. *Rmc. Sept.*, 1918.

— Hollandaise. *Rmc. Sept.*, 1919. Italienne. (*Id.*) 1932.

— Sous-marins. Étude du mouvement dans le plan vertical. (Hovgaard.) *Rmc. Sept.*, 1892.

— Torpilles Orling. *E'.* 25 *Oct.*, 434. Sur l'eau. *E'.* 8 *Nov.*, 483.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Marine marchande Japonaise. *Rmc. Sept.*, 1994.
Russe. *Id.*, 1972.
— Transformation du matériel (Vétillard). *APC.* 1901, n° 16.
— Compagnie Norddeutscher Lloyd de Brême. *Rmc. Sept.*, 1962.
Paquebots transatlantiques. *Lorraine* et *Savoie*. *Gc.* 16 *Nov.*, 33.
Pêcheries norvégiennes. *RMc. Sept.*, 1977.
Phares. Feux, éclairs rapides. (Brehner.) *E.* 18 *Oct.*, 564.
— à l'Exposition de 1900. *VDI.* 26 *Oct.*, 1520.
Port de flottage de Praguesmichov. *APC.* 1901, n° 24.
Rivières. Travaux de régularisation. (Vauthier.) *APC.* 1901, n° 18.

MÉCANIQUE GÉNÉRALE

Air comprimé. Compresseur Compound. Duncan. *E.* 1er *Nov.*, 610.
— Max Pryde, Turman, Enoch, *RM. Oct.*, 487.
Accouplement élastique et isolant. Zodel. *Ie*, 25 *Oct.*, 476.
Broyeurs. Sturtevant. *Ri.* 19 *Oct.*, 415.
Calcul. Machine à résoudre les équations. Torres. *RM. Oct.*, 420.
Chaines (transmissions par). *RM. Oct.*, 492.
Chaudières. Accidents en 1899. *APc.* 1901, n° 26.
— *à tubes d'eau*. Dixon et Scott, Hawthorn, Stirling, Hornsby et Roberts, du Temple. *RM. Oct.*, 450. Sulzer. *Ri.* 2 *Nov.*, 434. Guyot-Dutemple, *E'.* 16 *Nov.*, 510.
— au pétrole. Flannery. *E'.* 18 *Oct.*, 413.
— Analyse des gaz du foyer, Arndt. *RM. Oct.*, 447.
— Circulateur Smiles. *RM. Oct.*, 453.
— Épuration des eaux d'alimentation. *E'.* 18 *Oct.*, 414. (Stromeyer). *E.* 25 *Oct.*, 595.
— Clapets de retenue de vapeur. *Bulletin de la Société d'Encouragement de Berlin. Oct.*, 231.
— Alimentateur Sauter-Harlé. *RM. Oct.*, 453.
— Clapet automatique de sûreté Hopkinson. *Ri.* 16 *Nov.*, 456.
— Hargreaves. *E'.* 25 *Oct.*, 429. Anderton, Bolton et O. Brien. *RM. Oct.*, 459-460.
Chaudières. Surchauffeurs (les) (Abraham). *AM. Juil.*, 59.
— Tuyaux de cuivre pour surchauffe. *E'.* 18 *Oct.*, 408.
— Foyers Meldrum, Donaldson, Mac Cormick, Kiensie et Sargust. *RM. Oct.*, 456.
— Injecteur Prussmann. *RM. Oct.*, 457.
— Réchauffeur d'alimentation Cowan. *RM. Oct.*, 459.
— Régulateur d'alimentation Clarskon, Dean. *RM. Oct.*, 458.
— Soupape Schmidbauer. *Ri.* 9 *Nov.*, 446.
Freins dynamométriques électromagnétiques Sumens et Halske, Pasqualini. *EE.* 9 *Nov.*, 189.
Horloges électriques à l'Exposition de Glasgow. *Elé.* 26 *Oct.*, 263.
Levage. Bigue de 120 tonnes du port du Havre. *Gc.* 9 *Nov.*, 17. De 80t à Rio de Janeiro. *SuE.* 15 *Nov.*, 1237.
— Résistance des crochets de grues (Godman). *E.* 18 *Oct.*, 537.
— Élévateurs américains. *E'.* 18 *Oct.*, 415.
— Grue roulante de 20 tonnes Wilson. *E.* 8 *Nov.*, 661. Électrique Russell. *E.* 16 *Nov.*, 682.
— Crochet peseur, Avery. *E.* 18 *Oct.*, 561. à air comprimé Halsy. *RM. Oct.*, 473.
— Manipulations dans les forges. *Société d'Encouragement de Berlin, Oct.*, 215.
— Embarquement mécanique des charbons. Mines de Marles. *Ln.* 19 *Oct.*, 323.
— Frein See. *RM. Oct.*, 475.
— Fraser-Chalmers et Hughes. *Id.* 489-490,
— Transporteur Temperley. *VDI.* 19 *Oct.*, 148.
— Treuil Siemens et Halske. *RM. Oct.* 475.
— Pont roulant électrique d'aciérie à Kolben. *VDI.* 26 *Oct.*, 1513. De l'atelier de Benrach. *VDI.* 2 *Nov.*, 1559.
— Ascenseurs de la Tour Eiffel. *VDI.* 9-19 *Nov.*, 1586-1622.
— Cableway à la mine de Silver King. *Eam.* 9 *Nov.*, 596.
— Monte-charge électrique à la glacière de Montluçon. *Ri.* 16 *Nov.*, 453.
Machines à écrire (les). (Beyercus). *Dp.* 9 *Nov.*, 711.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Machines-outils. Ateliers américains. *EM. Nov.*, 220. Palmers, outillage électrique. *E.* 1er *Nov.* 607. Herbert. *AMa.* 2 *Nov.*, 1155-1179.
— Outillage des (Ashford). *E.* 18 *Oct.*, 539; 1er *Nov.*, 602.
— — à air comprimé (Taite). *E.* 1er *Nov.*, 614.
— Types nouveaux de Reineker. *AMa.* 26 *Oct.*, 1129.
— Progrès des (Ruppert), *VDI.* 9 *Nov.*, 1597.
— Taille d'une vis à filets carrés. *AMa.* 2 *Nov.*, 1160.
— Cisaille Klein. *RM. Oct.*, 476.
— Emboutisseur Stirling. *RM. Oct.*, 477.
— Forge à l'étampe (Horner). *E.* 25 *Oct.*, 568; 15 *Nov.*, 669.
— Fraiseuse Smith et Coventry. *E.* 15 *Nov.*, 675.
— Porte-outils universel Bath. *AMa.* 2 *Nov.*, 1162.
— Rais de vélocipède, fabrication Baty. *E'.* 15 *Nov.*, 512.
— Marteau Cochrane. *E.* 15 *Nov.*, 691.
— Mandrineur hydraulique Newall. *E'.* 1er *Nov.*, 464.
— Mortaiseuse Sharp-Stewart. *E.* 8 *Nov.*, 641.
— Meules. Appareil de protection Mayer et Schmidt. *Ri.* 19 *Oct.*, 413.
— Perceuse Herman. *RM. Oct.*, 478
— — Bickford. *AMa.* 9 *Nov.*, 1177.
— Raineuse Smith et Coventry. *RM. Oct.*, 478.
— Raboteuse Sentker. *VDI.* 16 *Nov.*, 1636.
— Scies (gardes pour), (Mamy). *Gc.* 2 *Nov.*, 5.
— Tubes (matricage des). *AMa.* 26 *Oct.*, 1133.
— Tour Mac Lellan pour tampons. *RM. Oct.*, 480.
— — vertical, Richards. *E'.* 8 *Nov.*, 489.
— *à bois.* Raboteuse sur 3 faces. Hofmann. *Ri.* 2 *Nov.*, 433.

Moteurs à vapeur américains et européens (Dawson). *Em. Nov.*, 161.
— — Coefficient de régularité des. *EE.* 16 *Nov.*, 243, 252, 263.
— Hargreaves. *E'.* 25 *Oct.*, 428.
— Mac-Laren. *E'.* 18 *Oct.*, 398.
— Whitfield. *RM. Oct.*, 499.
— Condenseur Paragwanalh. *RM. Oct.*, 501.

Moteurs à vapeur. Distributions Nordberg. *RM. Oct.*, 435.
— — Colvin, Sauer. *RM. Oct.*, 500.
— Palier (rupture d'un). *VDI.* 2 *Nov.*, 1567.
— Régulateur Whitehead. *E'.* 1er *Nov.*, 461.
— Volant, Steeet et Robinson. *RM. Oct.*, 501.
— *à éther.* Susini. *Ln.* 26 *Oct.*, 340.
— **à gaz.** Essais des Mechanical Engineers. *E.* 25 *Oct.*, 593; 8 *Nov.*, 638, 663. Règles du Mechanical Engineers américains. *RM. Oct.*, 437.
— Allumage électrique Moulin. *LO.* 15 *Nov.*, 108.
— à gaz de hauts fourneaux, purification. Cocke. 2 *Id.*, *E'.* 8 *Nov.*, 487.
— Gazogène, Loomis. *RM. Oct.*, 503.
— Gaz Mond. *VDI.* 9 *Nov.*, 1593.
— et vapeur, Genty. *RM. Oct.*, 502.
— *à pétrole.* Représentation graphique du cycle (Nerdeux). *RM. Oct.*, 433. Headech. *E.* 18 *Oct.*, 548.
— *à alcool* (Arachequêne). *Ag.* 9 *Nov.*, 735.
— Essais de Ruydmann. *Ic.* 10 *Nov.*, 497.

Résistance des matériaux. Variation de la résistance des bronzes avec la température (Bach). *VDI.* 19 *Oct.*, 1477.
— Résistance des plaques (Guy). *AMa.* 26 *Oct.*, 1134.

Ressorts (flexion des) à lames plates (Dorgeot), *Bam. Otc.*, 1105.

Ventilateur Sirocco. *Ri.* 26 *Oct.*, 423; *RM. Oct.*, 494.

Vis petites, pas de la British Association. *E.* 18 *Oct.*, 563.

Nomographie. Applications à la mécanique (Soreau). *Ic. Août*, 191-512.

MÉTALLURGIE

Alliages (les). (K. Rose). *SA.* 8-16 *Nov.*, 847-858.

Aluminothermie (l'). (Goldschmidt). *SuE.* 1er *Nov.*, 1155.

Alliages. Coulée sous-pression Cothias. *Cs.* 31 *Oct.*, 997.

Briquettes en débris de bois, Heidenstam. *E'.* 1er *Nov.*, 465.

Cuivre. Extraction, procédé Sebillot. *Pm. Nov.*, 163.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Fer et acier. Séparation du graphite de la martensite (Tiemann). *Métallographiste. Oct.*, 313.

— Traitement correct des aciers (Redsale). *E.* 1-16 *Nov.*, 633-693.

— Aciéries américaines. *SuE.* 1-15 *Nov.*, 1168-1220.

— Emploi du naphte dans les usines russes. *Gc.* 2 *Nov.*, 9.

— Fonderie aux États-Unis. *E'.* 25 *Oct.*, 421; 1-8-16 *Nov.*, 447, 473, 499. Cubilot nouveau. *E'.* 16 *Nov.*, 514.

— Gazogènes et fours Martin (Lancauchez). *Ic. Sept.*, 567.

— Hauts fourneaux (emploi de l'arc électrique dans les). *Eam.* 9 *Nov.*, 604.

MINES

Accidents dans les mines anglaises. *Eam.* 19 *Oct.*, 490.

Bornéo. Région du Sud-Est (Gascuel). *AM. Juil.*, 5.

Californie. Mines de Basse-Californie. *Eam.* 19 *Oct.*, 457.

Chili. Situation minière et métallurgique (Vattier). *IC. Sept.*, 535.

Électricité. Locomotive électrique des mines de Vicoigne et de Nœux. *Gc.* 16 *Nov.*, 46.

États-Unis. Mines du Gilpin, Colorado. *EM. Nov.*, 203.

Épuisement de la mine du Horcajo, pompes électriques Subrer. *VDI.* 2 *Nov.*, 1549.

— Machines hydrauliques. *Gç.* 2 *Nov.*, 1.

Fonçage par congélation Fixary au puits d'Aubué. *Bam. Oct.*, 1088.

Gypse au Kansas. *Eam.* 9 *Nov.*, 602.

Houillères russes. *E.* 18 *Oct.*, 555.

Malaisie. Mines de Pahany. *Eam.* 2 *Nov.*, 509.

Mexique (industries minérales du (Struthers). *Eam.*, 26 *Oct.*, 530; 2 *Nov.*, 561; *EM. Nov.*, 247.

Nouvelle-Galles du Sud. Recherches minérales. *Eam.* 19 *Oct.*, 491.

Or. Filon de Morro Velho, Brésil. *Eam.* 19 *Oct.*, 485. De Pitgao Philippines. *Eam.* 9 *Nov.*, 599.

— Draguage en Géorgie. *Eam.* 2 *Nov.*, 564.

Zinc. Distillation Ferraris. *Cs.* 31 *Oct.*, 997.

Le Gérant : Gustave Richard.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

BULLETIN
DE
LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT
POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

ARTS MÉCANIQUES

RAPPORT FAIT par M. **Edouard Simon**, au nom du *Comité des Arts mécaniques*, sur le *métier mécanique pour ruban*, système **A. Barbier**, b. s. g. d. g.

MESSIEURS,

Les métiers à tisser le ruban se distinguent des autres métiers à tisser par diverses particularités : la largeur réduite des produits a naturellement conduit les constructeurs à disposer le bâti et les organes de manière à fabriquer plusieurs pièce à la fois. Par contre, cette simultanéité ne leur a pas permis, comme dans le tissage des étoffes larges, de lancer une navette unique d'un bord à l'autre du battant; il leur a fallu assurer le guidage et le transport, entre les lisières de chaque ruban, de navettes en nombre égal à celui des pièces. La circulation des navettes est généralement due à l'interposition d'une longue crémaillère horizontale glissant sur le battant et entraînant, au moyen de deux pignons par ruban, de courtes crémaillères inversement fixées au dos de chaque navette. Le va-et-vient de la crémaillère motrice résulte des déplacements alternatifs de bâtonnets verticaux désignés sous le nom de *marionnettes*, et auxquels un jeu de courroies relie cette crémaillère.

Lorsque, au lieu d'un article uni, il convient de tisser un certain nombre de couleurs, la multiplicité des organes alourdit le battant sur lequel s'étagent les rangs superposés de navettes, complique les transmissions de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Fig. 1.

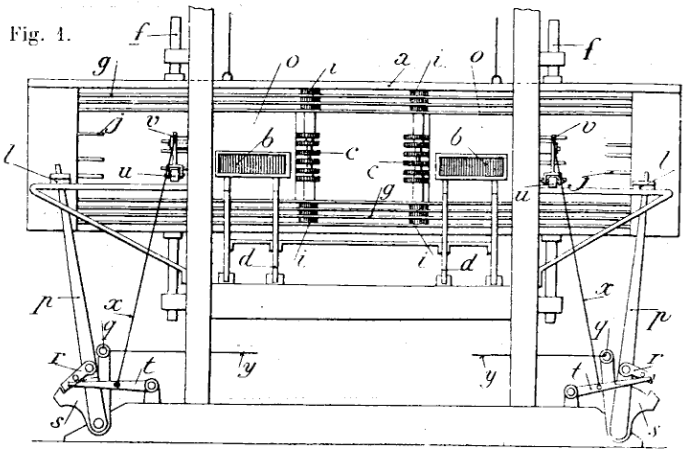


Fig. 2.

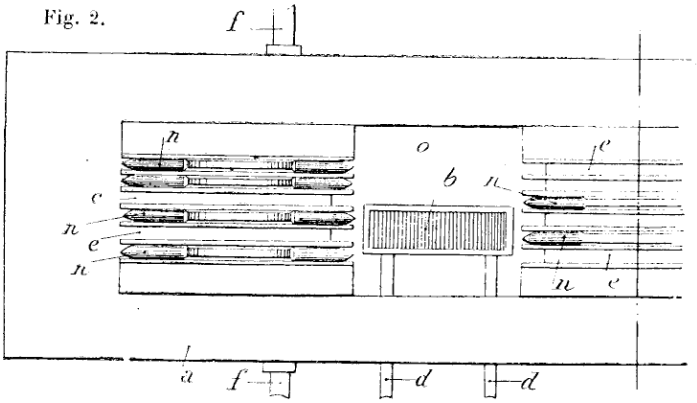


Fig. 1. — Ensemble du métier vu en arrière du châssis porte-navettes. — Fig. 2. — Face antérieure du châssis coupé par la moitié. — Fig. 3. — Face postérieure de la même section. — Fig. 4. — Coupe verticale de la figure 3. — Fig. 5 — Coupe horizontale de la figure 3.

a, *a*, Châssis porte-navettes. — *b*, *b*. Peignes de battant. — *d*, *d*. Leviers oscillants des peignes. — *c*, *c*, *c*. Pignons en prise avec les crémaillères fixées au dos des navettes. — *i*, *i*, *i*, *i*. Pignons de petit diamètre montés sur les axes des pignons *c*, *c*. — *g*, *g*, *g*. Crémaillères coulissant dans l'épaisseur du châssis *a*. — *h*, *h*. Galets de renvoi. — *m*, *m*, *m*. Rubans métalliques reliant les crémaillères *g*, *g*, aux curseurs. — *j*, *j*, Curseurs glissant dans les coulisses horizontales *k*-*k* du châssis *a*. — *e*, *e*. Coulisses des navettes ménagées sur la face opposée du même châssis. — *f*, *f*. Tringles-guides du châssis *v*. — *l*, *l*. Taquets de chasse. — *n*, *n*, *n*. Navettes. — *o*, *o*. Ouvertures pratiquées dans le châssis *a* pour le passage des peignes *b*. — *p*, *p*. Leviers des chasse-navettes. — *q*, *q*. Pièces d'entraînement des leviers *p*, *p*. — *r*, *r*. — Loquets formant butée contre la saillie *s* des pièces *q*, pour produire l'oscillation des chasse-navettes *p*. — *t*, *t*. Petits leviers destinés à soulever l'un des loquets *r*, *r*, lorsque le chasse-navette correspondant ne doit pas fonctionner. — *u*. Galet porté par le levier coudé *v* et repoussé par le curseur qui vient d'être chassé, pour soulever le loquet *t* à l'aide du cordon *x*.

Fig. 3.

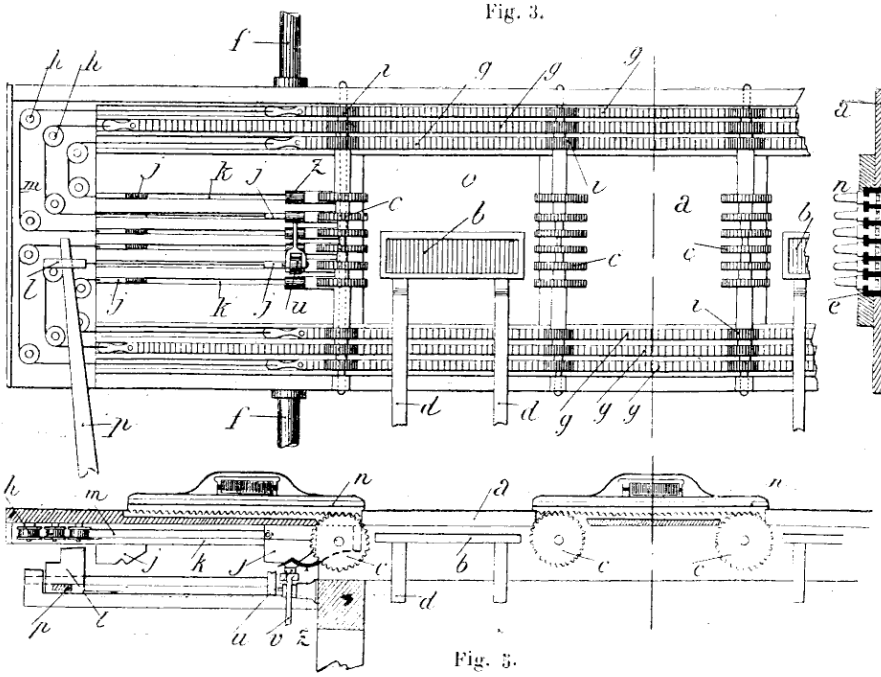


Fig. 4.

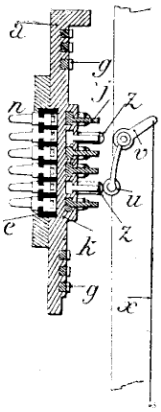


Fig. 5.

Fig. 1 à 5. — *Appareil pour conduire les navettes.*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mouvements destinés à régler les changements de trames et les évolutions de toutes les pièces mobiles. Nous ne pourrions, sans dépasser le cadre d'un simple rapport, décrire même sommairement les métiers en usage,

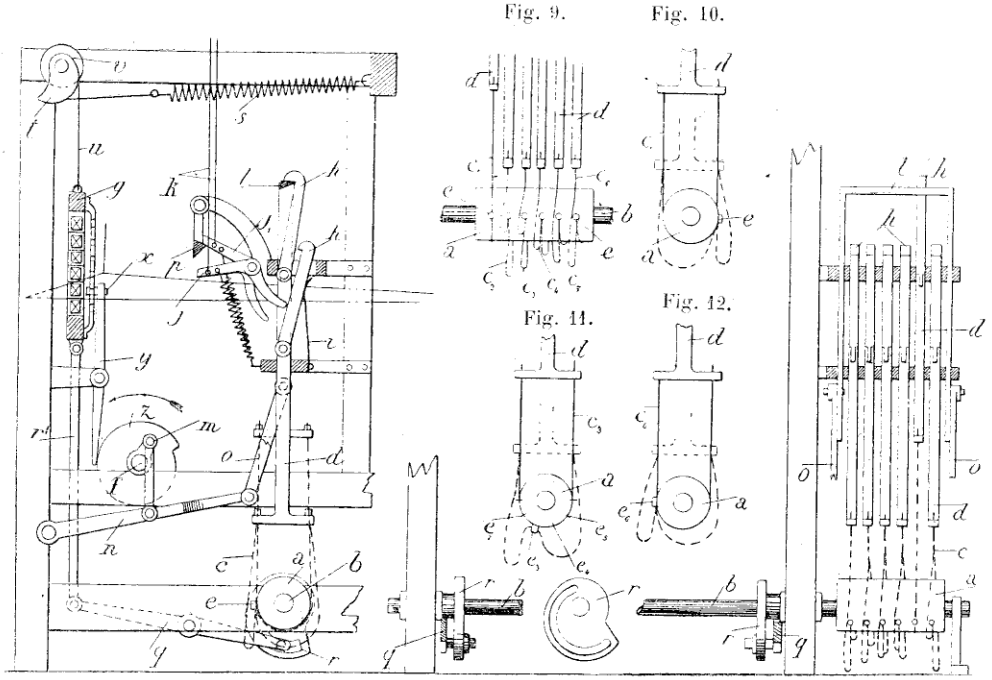


Fig. 6. Fig. 8. Fig. 7.

Fig. 6 à 12. — *Appareil de changement de navettes.*

Fig. 6. — Elévation latérale et coupe partielle de l'appareil. — Fig. 7. — Vue de face et coupe partielle de l'appareil. — Fig. 8. — Came des boîtes à navettes. — Fig. 9 à 12. — Détails des tringles, des chaînes et du tambour de commande dans diverses situations.

a. Tambour horizontal. — *b*. Arbre du tambour *a*. — c_4, c_2, c_3. — Chaînes métalliques d'égales longueurs, fixées des deux bouts aux tringles *d*. — *d*, *d*. Tringles ou tiges en forme de T. — *e*, *e*. Attaches des chaînes c_1, c_2, sur une même génératrice du tambour *a* mais en des points différents des diverses chaînes. — e_2, e_3, e_4. Situations variables de la génératrice *e*, *e* du tambour *a*, suivant la mise en action de l'une ou l'autre des tringles *d*. — *f*. Arbre moteur du métier. — *g*. Boîte à navettes. — *h*, *h*. Crochets articulés avec les tringles *d*. — *i*, *i*. Ressorts tendant à faire prendre les crochets *h*. — *j*, *j*. Leviers coudés agissant en sens inverse des ressorts *i*, aussi longtemps qu'ils ne sont pas soulevés par la mécanique Jacquard. — *k*, *k*. Cordes des leviers *j*, suspendues aux crochets d'une mécanique Jacquard. — *l*. Griffe à mouvement de va-et-vient vertical. — *m*, *n*, *o*. Commande de la griffe, par manivelle et bielles. — *p*. Bascule destinée à maintenir le levier *j* dans la position *j'* pendant le soulèvement du crochet *h*, *q*. — *r*, *r*. Cames commandant les balanciers *q* et les bielles *r'* des boîtes à navettes *g*, — *s*. Ressort servant à équilibrer le poids de la boîte *g*. — *t*. Courbe en spirale reliée par une corde au ressort *s*, et destinée à compenser la tension du ressort. — *x*. Goujon d'arrêt, solidaire du levier *y* et de la came *z*, pour l'immobilisation de la boîte pendant le passage de la navette.

dont l'industrie stéphanoise sait tirer si bon parti. L'étude en a été faite avec une compétence particulière par MM. C. Lebois, directeur de l'École pratique d'industrie de Saint-Étienne, et P. Frécon, contremaître à la même

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

école, dans une monographie (1) d'autant plus opportune que le besoin de produire toujours plus vite et à meilleur marché, de diminuer l'encombrement des machines, et de réduire la dépense de force motrice, provoque de nombreuses recherches et détermine des perfectionnements importants dans l'outillage de la rubanerie.

Le métier soumis à votre examen par M. A. Barbier (2) est précisément destiné au tissage du ruban nouveauté à plusieurs navettes. Deux parties essentielles le caractèrisent :

1° L'appareil pour conduire les navettes;

2° L'appareil de changement de navettes.

1. *Appareil pour conduire les navettes.* — Le châssis servant de support aux navettes n'est plus solidaire du *battant*, qui se compose simplement des *peignes* en même nombre que les pièces de ruban, et qui se trouve ainsi notablement allégé. Le cadre porte-navettes, n'ayant pas à suivre les oscillations du battant, n'est animé que d'un mouvement alternatif d'ascension et de descente pour présenter au niveau des peignes les navettes nécessaires.

Afin de diminuer la longueur de ce châssis qui, avec les battants de construction courante, excède de beaucoup la largeur du bâti, la course des crémaillères a été réduite. Dans ce but, les pignons commandant les navettes ne sont pas directement actionnés par lesdites crémaillères; ils sont clavetés sur les axes d'autres pignons de plus petit diamètre, et les derniers sont en prise avec les crémaillères raccourcies. La réduction de diamètre des engrenages fait qu'un moindre déplacement latéral des tringles dentées détermine le même nombre de tours des pignons actionnant les navettes.

De plus, la commande des crémaillères a été simplifiée : aux extrémités opposées de chacune de ces tringles, se fixent des rubans métalliques qui, après avoir passé sur des galets de renvoi, se terminent vers le battant par des curseurs guidés, à droite et à gauche du métier, dans des rainures horizontales; ces rainures sont ménagées au niveau des coulisses guide-navettes mais sur la face opposée du châssis. Les curseurs reçoivent tour à tour, suivant l'ordre où se présentent les navettes correspondantes, l'impulsion de taquets commandés par des leviers de chasse, analogues aux

(1) *Les métiers à tisser le ruban.* Saint-Étienne, 1899. — Imprimerie et lithographie A. Waton.

(2) 6, rue Janin, à Lyon.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sabres qui, dans les métiers à tisser les étoffes larges, lancent la navette d'un bord à l'autre. En se déplaçant, les curseurs entraînent les rubans métalliques dont ils sont solidaires, avec, simultanément, les crémaillères auxquelles ces rubans sont reliés et, par conséquent, les navettes.

2. *Appareil de changement de navettes.* — Il existe déjà nombre de dispositifs destinés à produire les changements de navettes dans les métiers à tisser mécaniques; l'appareil monté sur le métier Barbier a été étudié pour le tissage des rubans, mais il est susceptible d'autres applications. L'organe principal est un tambour ou manchon horizontal, placé latéralement au bâti et actionné successivement par autant de chaînes métalliques que l'article tissé comporte de navettes; ces chaînes d'égale longueur sont suspendues, des deux bouts, à des tringles verticales alternativement animées d'un mouvement d'ascension et de descente par l'effet des crochets d'une mécanique Jacquard, mais sont fixées en des points variables de leur longueur sur une même génératrice du tambour, qu'elles enveloppent partiellement. Suivant que telle des tiges est soulevée, la chaîne qu'elle commande fait tourner le tambour d'une quantité différente. Ces déplacements angulaires déterminent, par l'intermédiaire d'une came agissant sur un levier articulé avec la boîte à navettes, les diverses altitudes de cette boîte et, par suite, la présentation, au moment voulu, de la trame qui doit être fournie.

Le spécimen que nous avons vu fonctionner à Lyon, cette année même, travaillait avec 12 navettes par ruban et 3 760 fils de chaîne, en ceinture façonnée de 28 centimètres de large, c'est-à-dire dans un article des plus difficiles. La vitesse était de 60 à 70 coups de battant par minute; elle peut atteindre à 120 coups avec des rubans étroits. Cette accélération est due, en partie, à la moindre longueur du battant, en partie à l'indépendance de ce battant et du châssis porte-navettes. Le battage accéléré n'occasionne cependant pas le relâchement ou *décueillissage* de la trame. Ajoutons que le battant frappe librement le tissu comme sur le métier à bras employé par la soierie lyonnaise; que l'ouvrier peut, à son gré, élever ou abaisser le châssis porte-navettes pour rechercher et rattacher plus commodément les fils cassés; que, d'ailleurs, la distance du tissu au corps de maillons se trouvant réduite, les fils de chaîne sont moins fatigués et cassent peu; que la disposition adoptée facilite aussi l'emploi de tringles ou *planches* pour faire le fond du tissu; que le fonctionnement des navettes, quel qu'en soit le nombre, est très régulier; enfin, qu'il n'est point nécessaire de changer le battant pour passer d'un article à plusieurs navettes à un ruban à une seule navette.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En diminuant les prix de revient des beaux articles nouveautés, les perfectionnements réalisés par M. Barbier permettront d'apporter à l'industrie rubanière de nouveaux éléments de succès. L'inventeur devra, néanmoins, compter avec les habitudes acquises, et surtout avec l'impossibilité de remplacer, à court délai, tout un outillage moins économiqne sans doute, mais partiellement ou totalement amorti. Ce nous est un motif de plus pour insister sur les avantages du nouveau métier, et pour vous demander de prendre en sérieuse considération les efforts et les mérites de celui qui l'a conçu. Nous vous proposons donc, Messieurs, de remercier M. A. Barbier de sa très intéressante communication et de publier au *Bulletin* le présent rapport avec les figures utiles et les légendes explicatives.

Signé : Édouard Simon, *rapporteur.*

Lu et approuvé en séance, le 13 décembre 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ARTS MÉCANIQUES

RAPPORT FAIT par M. **E. Sauvage**, au nom du *Comité des Arts mécaniques*, SUR UN APPAREIL A MESURER L'ÉPAISSEUR DES COUSSINETS, présenté par **M. A. Joly**.

Pour mesurer avec précision et facilité les pièces de machines, on se sert en général d'appareils spécialement établis suivant les formes et les dimensions de ces pièces. C'est ainsi qu'on emploie des calibres dans lesquels la pièce doit se placer exactement ; parfois les jeux de calibres sont doubles et comprennent pour chaque vérification un calibre maximum et un calibre minimum, de manière à comprendre entre deux limites bien déterminées les écarts admissibles. Pour la mesure des pièces dont l'usure fait varier les dimensions, les appareils spéciaux sont nécessairement plus compliqués que les simples calibres, mais le principe reste toujours le même ; l'instrument est spécialement établi en vue de la mesure facile et précise des cotes qu'on veut vérifier.

Dans cette classe d'instruments se range un appareil présenté par M. A. Joly, dessinateur aux chemins de fer de l'État, pour la mesure de l'épaisseur des coussinets d'essieux. Un moyen peu commode pour mesurer cette épaisseur, qu'il est nécessaire de vérifier de temps en temps, consiste à lever le véhicule et à retirer le coussinet ; avec l'appareil de M. Joly, ce lavage devient inutile, il suffit de démonter le *dessous de boîte*, qui contient le réservoir d'huile et le tampon graisseur, démontage très simple (1).

Une fois le dessous de boite enlevé, comme on le voit sur la figure, si un repère indiquait le point à la boîte posé sur le dessus du coussinet, il suffirait de mesurer la distance qui sépare ce repère du dessous de la fusée d'essieu (cote $d + e$ du dessin) et d'en retrancher le diamètre de la fusée (d), facile à mesurer.

En réalité, le repère en question n'existe pas, mais les tôles des chemins

(1) Les boîtes *à porte* sont fondues en une seule pièce : l'appareil en question ne leur serait pas applicable.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de fer de l'État étant construites avec précision, la cote de distance verticale, entre la portée de la boîte sur le coussinet et sa face d'assemblage avec le dessous de boîte, est connue d'avance; il suffit d'y ajouter la distance verticale (x) entre cette face d'assemblage et le dessous de la fusée pour avoir la cote $h + x = d + e$, d'où l'on déduit le diamètre d.

Ces deux mesures sont données par l'instrument, ainsi que le montre

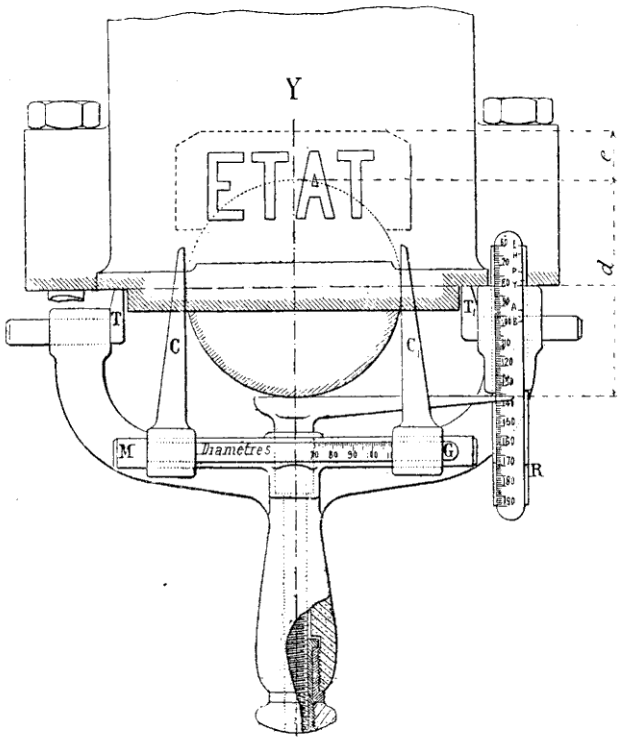


Fig. 1.

la figure. Il suffit de faire porter les talons T et T_1 sur la face inférieure de la boîte et d'amener l'index horizontal au contact de la génératrice inférieure de la fusée, en faisant tourner un écrou à molette placé dans la poignée : l'index montre la cote cherchée sur une réglette verticale graduée. Cette réglette peut d'ailleurs être déplacée suivant la valeur de la cote h, qui varie d'un type de boîte à un autre.

Pour mesurer le diamètre de la fusée, on se sert des deux curseurs C et C_2, qui coulissent sur une réglette graduée horizontale, véritable pied à coulisse.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le poids de l'instrument est d'environ $1^{kg},5$, il est facilement maniable.

Il convient de remarquer que si cet appareil a pu être appliqué à des boîtes du matériel de chemins de fer, c'est parce que ces boîtes ont été exécutées avec une cote h exactement observée. Jusqu'à l'emploi de l'appareil de mesure, cette observation exacte de la cote pouvait paraître inutile; cet exemple montre l'intérêt de l'exactitude dans la construction des pièces de machines : la précision de dimensions à première vue indifférentes devient souvent précieuse soit pour l'application d'un instrument de mesure comme dans l'espèce, soit pour des modifications ou additions de pièces. On sait d'ailleurs que la construction précise est souvent la plus économique, au moins pour les pièces construites en séries nombreuses. En résumé, l'appareil de mesure présenté par M. Joly est ingénieusement combiné. Votre Comité des Arts mécaniques vous propose de le remercier de sa communication, et d'insérer au *Bulletin* le présent rapport avec la figure qui l'accompagne.

Signé : SAUVAGE, *rapporteur.*

Lu et approuvé en séance, le 25 novembre 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ARTS MÉCANIQUES

RAPPORT FAIT par M. **E. Sauvage**, au nom du *Comité des Arts mécaniques*, SUR LA FRISE A EMBRÈVEMENT ET A LANGUETTE BATARDE, présenté par **M. Joly**.

Les parois verticales des wagons couverts à marchandises sont formées de *frises* appuyées contre des montants, et ces frises doivent former un assemblage bien étanche, afin que les marchandises soient préservées de la *mouille*. Les assemblages à pénétration par rainure et languette, ou par fausse languette formée d'une bande de fer feuillard, sont efficaces à ce point de vue ; mais le remplacement d'une frise, qui est fréquemment nécessaire, exige le déplacement de plusieurs autres, qui sont souvent avariées par cette opération. Aussi emploie-t-on très fréquemment les assemblages à recouvrement, obtenus en coupant obliquement le bord des frises (fig. 6, 8 et 9).

Le remplacement d'une seule frise est alors facile, sans toucher aux autres, et l'assemblage est assez étanche. Cependant le retrait des bois peut faire ouvrir les joints, et la pénétration de l'eau est alors à craindre sous l'action du vent qui lui fait remonter le plan déclive formé par la coupure de la frise.

Pour éviter cet inconvénient, M. Joly, dessinateur aux chemins de fer de l'État, ajoute une petite languette à coupe oblique de la frise, dans l'assemblage (fig. 11), qu'il dénomme *à embrèvement et à languettes bâtarde*, de sorte que deux languettes contiguës se touchent toujours par deux faces verticales, même après retrait. Afin que le démontage des frises isolées reste toujours possible, M. Joly a été conduit à pratiquer un léger biseau sur la face extérieure de la frise, ainsi qu'on le voit sur la figure 12, afin que la présence des montants ne s'oppose pas au déplacement de la frise.

Ce genre de frises a été appliqué à des wagons des chemins de fer de l'État. Cette disposition est ingénieuse. Toutefois elle n'est peut-être pas

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Fig. 1 à 5. — Assemblages à pénétration.

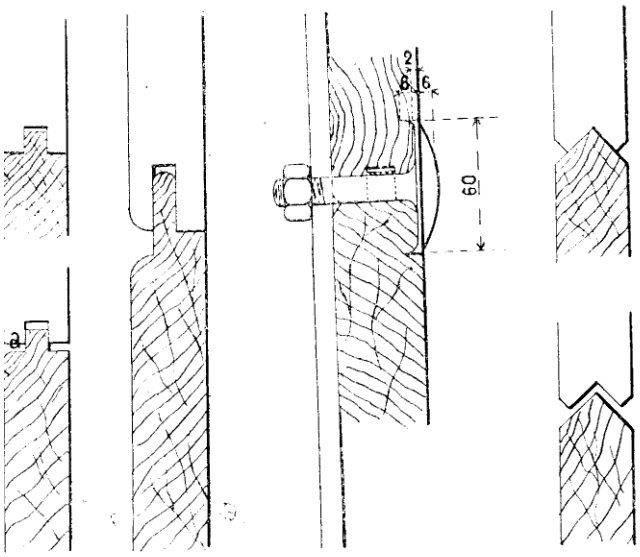


Fig. 2. Fig. 3. Fig. 4. Fig. 5.

Fig. 6 à 9. — Assemblages à recouvrement.

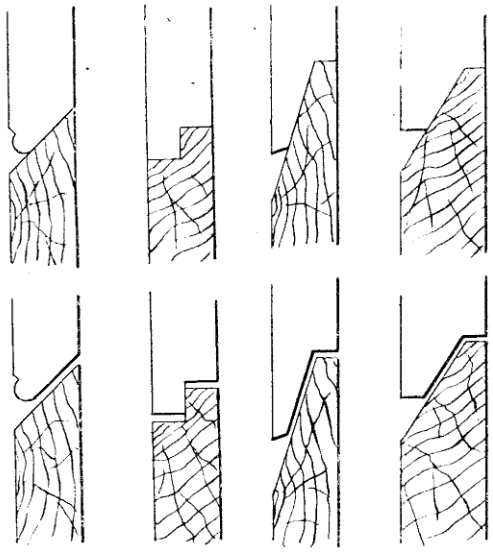
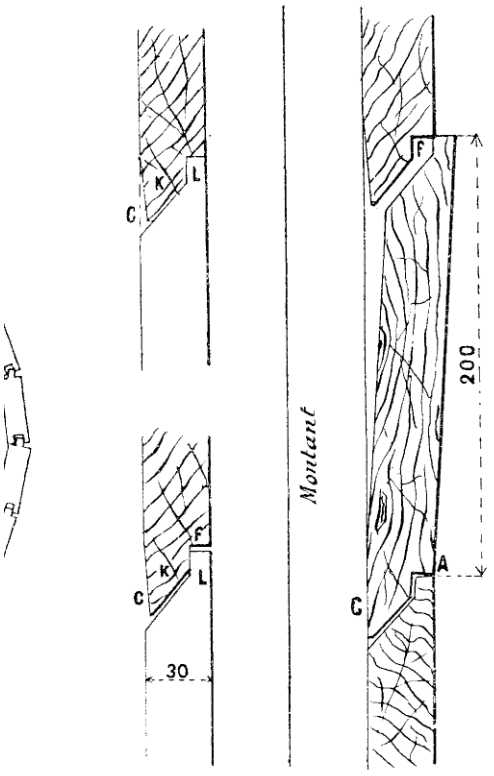


Fig. 6. Fig. 7. Fig. 8. Fig. 9.

Assemblage à embrèvement et à languette bâtarde.



40. Fig. 11. Fig. 12.

Fig. 1 à 12. — Asssemblages des frises des wagons.

Fig. 1. — Joint à fausse languette. (État, Compagnies rachetées ; Est, wagons destinés au transport des matières pulvérulentes).

Fig. 2. — Joint à rainure et à languette. (État, P-O., P.-L.-M.)

Fig. 3. — Joint à languette bâtarde, dissimulant le retrait du bois. (Compagnie internationale des W.-L. et Métropolitain de Paris.

Fig. 4. — Boulon à griffes assujettissant les frises 2 à 2. (Wagons couverts de l'État prussien.)

Fig. 5. — Joint en V ou à chevrons. (Wagons découverts de l'État prussien.)

Fig. 6. — Joint en sifflet. (Wagons découverts de la Compagnie de l'Est.)

Fig. 7. — Joint à feuillures. (Planchers des wagons américains.)

Fig. 8. — Joint à embrèvement. (Wagons couverts des Compagnies Est et Ouest, non destinés au transport des matières pulvérulentes.)

Fig. 9. — Joinl à embrèvement. (Wagons couverts de la Compagnie du Midi.)

Fig. 10. — Dégagement d'une frise *a*, avec les joints à pénétration.

Fig. 11. — Joint à embrèvement et à languette bâtarde. (En essai au réseau de l'État français.)

Fig. 12. — Dégagement d'une frise à embrèvement et à languette bâtarde.

Nota. — La figure 11 montre que ce joint reste étanche malgré le retrait du bois, ce qui n'existe pas dans le cas des joints figures 5, 6, 8 et 9.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

encore d'une efficacité absolue, parce que le retrait des bois se fait sentir aussi suivant leur épaisseur et parce que de légères déformations accidentelles peuvent empêcher en certains points le contact des parties verticales, qui n'est prévu que sur une très petite largeur. On peut craindre aussi que la fausse languette ne soit un peu fragile et quelquefois exposée à rupture.

Ces critiques peuvent paraître un peu sévères, mais il ne faut pas oublier qu'il s'agit d'un point de détail de grande importance par suite du nombre immense de frises employées et de l'importance des avaries de mouille. M. Joly doit être félicité pour la solution ingénieuse qu'il a imaginée, solution qui mérite d'être soumise au contrôle d'expériences multipliées. Votre Comité vous propose d'insérer au *Bulletin* le présent rapport avec la planche qui l'accompagne.

Signé : SAUVAGE, *rapporteur.*

Lu et approuvé en séance, le 13 décembre 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ARTS CHIMIQUES

RAPPORT fait par **M. de Luynes**, au nom du *Comité des Arts chimiques*, sur l'ouvrage de M. *V. Thomas* intitulé : *Guide pratique de teinture moderne.*

M. V. Thomas, préparateur de chimie appliquée à la Faculté des sciences de l'Université de Paris, a présenté à la Société un ouvrage intitulé : *Guide pratique de teinture moderne.*

Dans ce volume de 950 pages, l'auteur, après quelques notions sur les lois générales de la chimie et sur la théorie de la teinture, étudie d'abord les fibres textiles, animales et végétales ; il passe ensuite en revue les matières colorantes employées en teinture : en premier lieu les matières colorantes naturelles, dont la description est souvent trop négligée dans les livres actuels consacrés à la teinture et, en second lieu, les matières colorantes artificielles dont il donne la constitution, les propriétés et les principales applications. Le reste de l'ouvrage est consacré à la teinture proprement dite. Les machines à teindre y sont décrites, avec des figures à l'appui, ainsi que tous les appareils employés pour le blanchiment. On trouve aussi de nombreuses recettes pour la composition des bains de teinture.

L'ouvrage se termine par des notions relatives à l'art du teinturier dégraisseur.

Par l'abondance des matières, par tous les renseignements relatifs aux propriétés et à l'emploi des matières colorantes, ce livre peut être consulté très utilement par les industriels et par les chimistes qui veulent s'initier à la pratique des applications des matières colorantes.

Le Comité des Arts chimiques vous propose de remercier M. Thomas de son intéressant ouvrage et d'insérer le présent rapport au *Bulletin*.

Signé : DE LUYNES, *rapporteur.*

Lu et approuvé en séance, le 13 décembre 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MÉTROLOGIE

LA CONVENTION DU MÈTRE ET LE BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

PAR **Ch.-Éd. Guillaume** (1).

RÉSULTATS GÉNÉRAUX

Les études longues et minutieuses exécutées au Bureau international, tout en assurant, conformément au point le plus important de leur programme, l'uniformité parfaite des unités métriques dans la majeure partie du monde civilisé, ont fourni, de plus, une base certaine pour l'équivalence des poids et mesures dans les pays, peu nombreux, qui n'ont pas encore adopté définitivement le système métrique, et un point de départ numérique sûr pour leur future réforme. Elles ont permis aussi de coordonner mieux les mesures des dimensions et de la forme de la Terre, et de faire disparaître des écarts qui n'étaient plus en harmonie avec la précision moyenne des résultats actuels de la mesure des longueurs et des angles.

Il convient de dire aussi que l'action du Bureau international sur la géodésie n'a pas été limitée à la détermination directe des étalons employés à la mesure des bases. Dans quelques pays, des réseaux géodésiques importants ont été mesurés avec des règles qui n'avaient pas été étudiées au Bureau international, mais dont la détermination avait été faite sur place au moyen d'étalons fournis par le Bureau (2).

Mais les déterminations d'étalons de toutes sortes n'ont pas pu être exécutées avec le degré de perfection qu'on s'était proposé d'atteindre, sans conduire à de nombreuses études de détail sur les propriétés de la matière, et tout particulièrement sur ses variations, en fonction de la température, de la pression, ou sous l'action du temps. Si les mesures destinées à fournir l'équation d'un étalon sont d'un intérêt immédiat pour la métrologie de précision, en

(1) Voir le *Bulletin* d'août, d'octobre et novembre 1901.

(2) L'un des plus importants parmi ces étalons est le mètre à bouts désigné sous le nom de *Comittee Meter* et employé par la Commission géodésique des États-Unis pour la détermination des appareils qui ont servi à la mesure d'un arc de parallèle de l'Atlantique au Pacifique. Les déterminations de cette nature exécutées conformément au paragraphe 6 de l'article 6 de la Convention du Mètre ont occupé, de tout temps, une place importante dans l'activité du Bureau international; il ne pouvait être question d'en donner ici le détail.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

revanche les résultats accessoires sont plus importants pour la physique générale, à laquelle ils fournissent des coefficients dont elle fait un constant usage. Quelques-uns de ces résultats ont été précédemment indiqués; nous allons passer rapidement en revue ceux qui n'ont pu être mentionnés jusqu'ici.

DILATATION DES SOLIDES

Mesures à l'appareil Fizeau. — De très nombreuses déterminations ont été faites à l'aide de cet appareil par M. Benoît. J'ai déjà mentionné les mesures relatives à la dilatation des échantillons prélevés sur les étalons métriques. Leurs résultats, mieux encore que ceux fournis par le comparateur, ont permis de découvrir les très petits défauts d'homogénéité de l'alliage, défauts extrêmement minimes, et qui ne pouvaient être mis en évidence que par l'emploi d'une méthode d'une grande sensibilité. Mais, à un point de vue général, il est plus intéressant d'indiquer les résultats des déterminations faites sur quelques métaux purs ou industriels, ainsi que sur certains cristaux susceptibles de servir ensuite comme types de dilatation pour le tarage des appareils.

Le tableau suivant résume les déterminations les plus importantes faites par M. Benoît :

Substances.		Coefficients moyens de dilatation dans l'échelle du thermomètre à hydrogène.
Quartz.	Dans la direction parallèle à l'axe	$(7\,161{,}4 + 8{,}01\,T)\,10^{-9}$
	Dans la direction perpendiculaire à l'axe	$(13\,254{,}6 + 11{,}63\,T)\,10^{-9}$
Béryl.	Dans la direction parallèle à l'axe	$(-1\,347{,}8 + 4{,}12\,T)\,10^{-9}$
	Dans la direction perpendiculaire à l'axe	$(1\,002{,}5 + 4{,}57\,T)\,10^{-9}$
Spath d'Islande.	Dans la direction parallèle à l'axe	$(25\,135{,}3 + 11{,}80\,T)\,10^{-9}$
	Dans la direction perpendiculaire à l'axe	$(-5\,578{,}2 + 1{,}38\,T)\,10^{-9}$
Platine pur		$(8\,901 + 1{,}21\,T)\,10^{-9}$
Iridium pur		$(6\,358 + 3{,}21\,T)\,10^{-9}$
Or monétaire à $\frac{11}{12}$		$(14\,571 + 3{,}19\,T)\,10^{-9}$
Acier recuit		$(10\,354 + 5{,}23\,T)\,10^{-9}$
Bronze phosphoreux.	Pauvre en phosphore, dur	$(16\,664 + 4{,}62\,T)\,10^{-9}$
	Riche en phosphore, dur	$(16\,994 + 4{,}96\,T)\,10^{-9}$
	Pauvre en phosphore, recuit	$(16\,575 + 5{,}08\,T)\,10^{-9}$
	Riche en phosphore, recuit	$(16\,971 + 5{,}11\,T)\,10^{-9}$
Verre dur français		$(7\,375 + 4{,}42\,T)\,10^{-9}$
Glace de Saint-Gobain		$(7\,231 + 4{,}15\,T)\,10^{-9}$
Verre thermométrique d'Iéna		$(7\,362 + 4{,}59\,T)\,10^{-9}$

Tous les résultats contenus dans le tableau ont été établis par des expériences faites entre 0° et 85° environ. En principe, les formules ne devraient pas être

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

employées en dehors de ces limites; mais la dilatation de certains corps est si régulière et, de plus, les mesures faites à l'appareil Fizeau, employé avec habileté, sont si précises, que l'extrapolation conduit parfois à des résultats étonnamment exacts. En rapprochant, par exemple, les nombres relatifs au platine déduits du tableau ci-dessus de ceux qui ont été trouvés récemment par MM. Holborn et Day par des expériences directes poussées jusqu'à 1000°, on peut établir la comparaison suivante :

	Dilatation du platine en millimètres par mètre, d'après	
Température.	M. Benoît.	MM. Holborn et Day.
250°	2,301	2,304
500	4,753	4,759
750	7,356	7,392
1 000	10,111	10,205

Jusqu'à 500°, la concordance est tout à fait surprenante, et à 1000°, l'écart n'atteint pas encore 1 p. 100.

Mesures au comparateur. — Il est intéressant d'indiquer la valeur trouvée, par M. Chappuis, sur un réservoir en verre dur, dont on put, par un dispositif particulier, déterminer la dilatation jusqu'à 100°. Les mesures ont donné, pour la dilatation moyenne, entre 0° et T :

$$\alpha = (7\,267 + 5{,}16\ T)\ 10^{-9}.$$

L'emploi considérable que l'on fait aujourd'hui du verre dur donne à ce résultat une assez grande importance.

J'ai consacré aussi de nombreuses mesures au comparateur à l'étude des propriétés de certains métaux ou alliages, parmi lesquels je citerai tout d'abord quelques bronzes, dont deux au nickel. Les formules de dilatation trouvées pour ces alliages sont reproduites ici :

Bronze à 10 p. 100 d'aluminium.	$(16\,323 + 3{,}90\ T)\ 10^{-9}$
— phosphoreux	$(16\,437 + 7{,}50\ T)\ 10_{-9}$
— à 35 p. 100 de nickel	$(14\,666 + 5{,}54\ T)\ 10_{-9}$
— à 40 — — (constantes).	$(14\,479 + 4{,}48\ T)\ 10^{-9}$

Pour le nickel, dont quatre barres de diverses provenances ont été examinées, les mesures ont conduit à la moyenne suivante :

$$\alpha = (12\,512 + 6{,}76\ T)\ 10^{-9}.$$

Par extrapolation, jusqu'à 250°, on trouve un allongement de 3,52 mm. par mètre. MM. Holborn et Day ont trouvé récemment 3,49 mm.; mais à 500°, l'écart est considérable, à cause de la variation de volume accompagnant la transformation qui se produit à 380°.

Les recherches les plus étendues ont porté sur les aciers au nickel, dont

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les singulières propriétés ont vivement attiré l'attention des physiciens et des métrologistes.

Les aciers au nickel peuvent appartenir à deux catégories distinctes; ils peuvent être réversibles ou irréversibles, en ce sens qu'à une même température ils existent à un seul état ou à deux états distincts, suivant le traitement qu'ils ont subi, et notamment suivant le cycle de température qu'ils ont décrit.

Les variations magnétiques de ces alliages sont très caractéristiques de leur état. Le diagramme, figure 63, établi à la suite des recherches de J. Hopkinson, de M. Osmond, de M. Dumas, de M. E. Dumont et des miennes, donne une idée approximative de leurs transformations consécutives des changements de la température. Dans la région des faibles teneurs, l'alliage montre les premières traces de magnétisme, au refroidissement, en atteignant la courbe AB; et, à

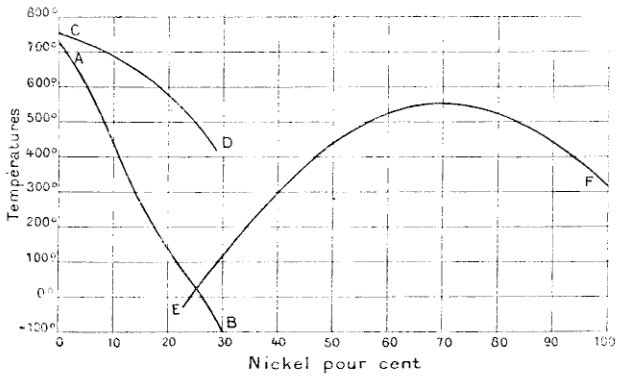


Fig. 63. — Transformations des aciers au nickel.

partir de là, le magnétisme augmente rapidement à mesure que la température s'abaisse. Mais, au réchauffement, il ne disparaît que sur la courbe CD. Au contraire, la courbe EF indique la limite d'apparition ou de disparition du magnétisme dans les alliages à plus forte teneur. Dans la région moyenne, voisine de 25 p. 100, l'alliage peut subir les transformations réversibles ou irréversibles, suivant les températures qu'il atteint.

Les courbes du diagramme se rapportent à des ferro-nickels additionnés de très petites quantités de métaux ou métalloïdes étrangers. En général, les impuretés ont plus d'action sur les courbes irréversibles que sur les courbes réversibles. Ainsi, une addition de 1 p. 100 de carbone ou une addition de 2 à 3 p. 100 de chrome à des ferro-nickels contenant de 20 à 25 p. 100 de nickel repousse la courbe AB jusqu'à des régions très basses, et même inaccessibles. La région pratique des alliages réversibles s'étend alors vers les faibles teneurs. En revanche, pour des alliages très purs de fer et de nickel, le point de croisement des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

deux courbes est un peu à droite de l'endroit marqué dans le diagramme.

Ces quelques indications étaient nécessaires pour l'intelligence de ce qui va suivre, car la notion de réversibilité ou d'irréversibilité s'applique non seulement aux propriétés magnétiques, mais à toutes les propriétés des alliages étudiées jusqu'ici.

Considérons un alliage de la première catégorie, contenant par exemple 15 p. 100 de nickel. Si on le refroidit à partir de la température de la forge, on constate qu'après s'être contracté suivant une droite AB, figure 64, il commence à s'allonger à partir d'une certaine température (130° dans notre cas), en suivant

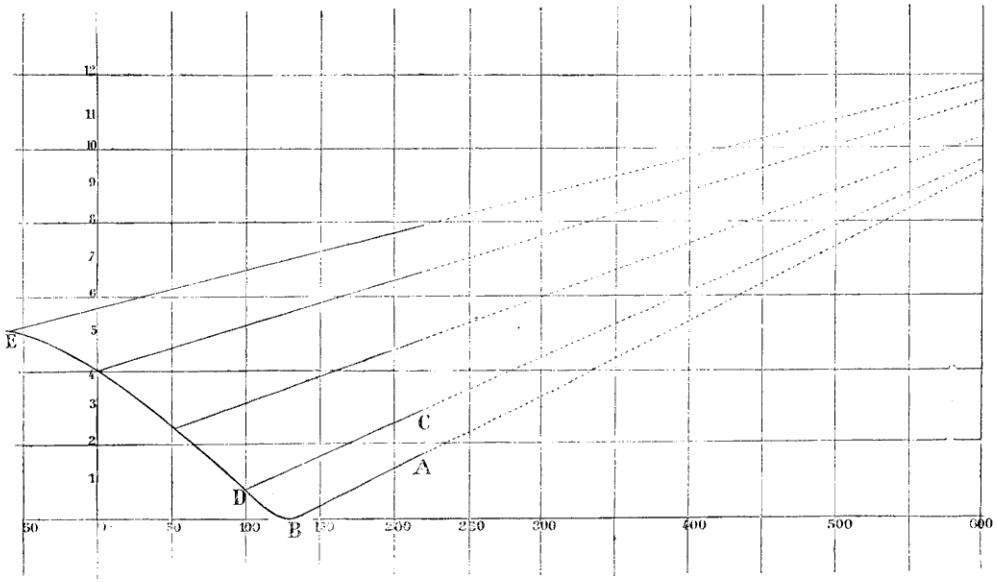


Fig. 64. — Variations de volume d'un acier-nickel irréversible.

une courbe DE. Finalement, à une température très basse, il recommence à se contracter.

Si alors on le réchauffe, il se dilate en suivant une ligne sensiblement droite, et reste sur cette ligne aussi longtemps qu'il n'a pas été amené à une température élevée, où il subit la transformation inverse.

Si maintenant, au lieu de refroidir l'alliage jusqu'à sa transformation complète, on l'arrête à mi-chemin, en D par exemple, il suivra, en se réchauffant, une ligne telle que DC. Quant à l'inclinaison des droites AB, CD, elle varie progressivement à mesure de la transformation de l'alliage, passant de la valeur $18{,}10^{-6}$ environ, correspondant à la dilatation du laiton, à la valeur $10{,}5.\ 10^{-6}$, qui est celle du coefficient de dilatation de l'acier ordinaire.

Les alliages du groupe réversible ont, en général, à l'état magnétique, une dilatation plus faible que celle des aciers ordinaires. A l'état non magnétique,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

au contraire, leur dilatation est très élevée, voisine de celle du laiton. Entre ces deux extrêmes, la dilatation varie progressivement, sur un intervalle plus ou moins grand, qui coïncide avec la dernière partie du passage de l'état magnétique dans l'état non magnétique.

L'ensemble des dilatations d'un de ces alliages est donc représenté par une courbe telle que OABC (fig. 65), la région AB, qui est celle du passage, étant plus ou moins élevée sur l'échelle des températures suivant la teneur en nickel. La courbe EF, fig. 63, représente à peu près le mouvement du point B en fonction de la teneur.

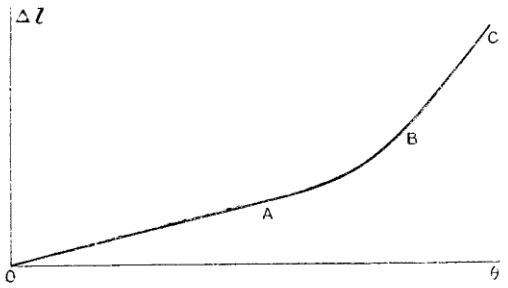


Fig. 65. — Diagramme de la dilatation d'un acier au nickel.

Il est particulièrement intéressant de suivre l'allure de la portion OA aux diverses teneurs. Le tableau suivant reproduit quelques-uns des résultats obtenus. Les alliages pour lesquels le nickel est seul indiqué contiennent de petites quantités de carbone, de manganèse et de silicium, mais sont exempts de chrome (1).

Dilatation de quelques aciers au nickel.

Nickel. p. 100.	Chrome. p. 100.	Formules de dilatation.
26,2	»	$(13\,103 + 21{,}23\,t)\ 10^{-9}$
27,9	»	$(11\,288 + 28{,}89\,t)\ 10^{-9}$
28,7	»	$(10\,387 + 30{,}04\,t)\ 10^{-9}$
30,4	»	$(4\,570 + 11{,}94\,t)\ 10^{-9}$
31,4	»	$(3\,393 + 8{,}85\,t)\ 10^{-9}$
34,6	»	$(1\,373 + 2{,}37\,t)\ 10^{-9}$
35,6	»	$(877 + 1{,}27\,t)\ 10^{-9}$
37,3	»	$(3\,457 - 6{,}47\,t)\ 10^{-9}$
39,4	»	$(5\,357 - 4{,}48\,t)\ 10^{-9}$
44,4	»	$(8\,508 - 2{,}51\,t)\ 10^{-9}$
48,7	»	$(9\,843 + 0{,}13\,t)\ 10^{-9}$
16,2	2,5	$(19\,496 + 4{,}30\,t)\ 10^{-9}$
21,3	3,0	$(18\,180 + 4{,}30\,t)\ 10^{-9}$
34,8	1,5	$(3\,580 - 1{,}32\,t)\ 10^{-9}$
35,7	1,7	$(3\,373 + 1{,}65\,t)\ 10^{-9}$
36,4	0,9	$4\,433 - 3{,}92\,t)\ 10^{-9}$

(1) Les alliages nécessaires à cette étude ont été gracieusement fournis au Bureau international par la Société de Commentry, Fourchambault et Decazeville; les analyses, faites aux aciéries d'Imphy, ont été communiquées aussi par la Société.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les résultats qui précèdent ont été établis pour des températures comprises entre 0° et 38° environ. Ils montrent que, dans cette région de températures, la dilatation des aciers au nickel, partant d'une valeur élevée à la limite des réversibles, s'abaisse graduellement, passe par un minimum situé non loin de 36 pour 100, et remonte lentement vers la dilatation du nickel pur.

Ces résultats n'ont, d'ailleurs, rien d'absolu. A toutes ces teneurs mais surtout au voisinage de 36 pour 100, de faibles additions de chrome ou de manganèse élèvent sensiblement la dilatation, qui, avec les proportions de ce dernier métal les plus ordinairement employées en métallurgie, atteint facilement le double de la plus faible qui soit indiquée ci-dessus. La trempe, le recuit, l'écrouissage la modifient diversement.

Il est intéressant, cependant, de suivre la marche du second coefficient de la formule, dont la valeur indique la courbure de la ligne représentative des dilatations dans l'intervalle considéré. Aux teneurs voisines de 28 pour 100, la courbure est très considérable à la température ordinaire, parce qu'on se trouve alors dans la région désignée par AB (fig. 65). Aux teneurs plus faibles, on a déjà dépassé cette région, tandis qu'on s'en approche seulement aux teneurs supérieures à 30 pour 100. Plus loin, le coefficient va en baissant de plus en plus, passe par zéro non loin du minimum de la dilatation, devient négatif et s'annule de nouveau vers 48 pour 100. Il existe, par conséquent, deux groupes d'alliages dont la dilatation est une fonction linéaire de la température, et une série d'autres pour lesquels la courbe des dilatations est concave vers le bas. Ce résultat, que l'on n'avait pas encore constaté, a permis d'intéressantes applications de ces alliages.

Les mesures, moins précises, poussées jusqu'à 200°, ont permis de tracer un réseau des dilatations vraies des alliages, ainsi que l'indique le diagramme, fig. 66.

Je n'insisterai pas sur les singulières variations que les aciers au nickel peuvent subir soit par l'action du recuit, soit sous la seule influence du temps, et me bornerai à dire que ces variations, pour les alliages réversibles, sont tout à fait analogues à celles qu'éprouve le verre, et qui ont fait craindre pendant longtemps qu'il fût toujours impossible de faire de bonnes mesures au moyen du thermomètre à mercure. Il suffira de dire que l'amplitude de ces variations est d'autant moindre que l'on s'éloigne davantage de la région de la transformation magnétique, et devient insensible pour les alliages contenant au moins 45 pour 100 de nickel. Elles sont, d'ailleurs, absolument indépendantes des changements qui se produisent dans les métaux ou alliages écrouis, par le fait de la disparition progressive de l'écrouissage.

La théorie de ces changements, comme en général la théorie des singulières variations des aciers au nickel, a donné lieu à des discussions, auxquelles on pris part MM. Le Chatelier, Duhem, Osmond et Dumas. Ces changements ont

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

été ramenés à l'idée d'un équilibre chimique ou physico-chimique variable avec la température, et dans lequel on envisage soit une transformation progressive d'une combinaison plus ou moins complète du fer avec le nickel, soit le simple passage du fer ou du nickel magnétiques dans la variété non-magnétique, amenée à une température en général très inférieure à celle de la transformation des métaux purs, et étendue sur un large espace de température.

M. Dumas ajoute à cette dernière théorie l'idée, fondée sur de nombreuses expériences, que le magnétisme du fer est, par sa nature, doué d'hystérèse thermique, qui apparaît dès que, par une addition d'un corps étranger, on exagère ses manifestations; au contraire, le magnétisme du nickel ne serait pas doué

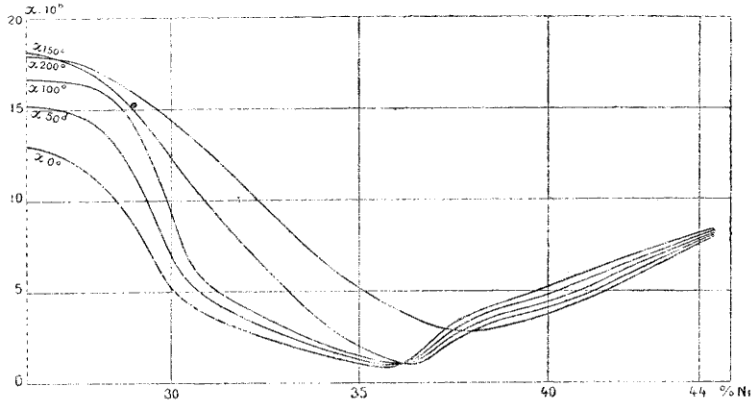


Fig. 66. — Dilatations vraies des aciers-nickels réversibles.

d'hystérèse. Les courbes AB, CD du diagramme, fig. 63, correspondraient donc aux transformations du fer, la courbe EF à celle du nickel.

Les propriétés singulières des aciers au nickel réversibles ont conduit à des applications importantes aux appareils de mesure, et même à l'industrie. La très faible dilatation d'une catégorie d'entre eux les désignait spécialement pour la construction des pendules compensés, dispensant ainsi de l'emploi du mercure ou des nombreuses tiges, d'un ajustage délicat, du pendule à gril. On obtient la compensation complète de la dilatation d'une tige d'acier nickel simplement en posant sur l'écrou une lentille de fonte ou de laiton de dimensions telles que ses variations remontent le centre d'oscillation d'autant que les changements de la tige l'abaissent, fig. 67 A. Ou bien aussi, on peut entailler la lentille jusqu'à son centre, et la faire reposer sur un cylindre extensible par un pas de vis (système Thury, fig. 67 A) ou sur un ensemble composé de deux cylindres superposés, dont, pour des raisons pratiques de construction, on conserve la hauteur dans tous les cas, mais qui sont constitués par deux métaux différents donnant, au

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cylindre composite, la dilatation que l'on veut obtenir (Système Riefler). Ces trois systèmes de pendules sont aujourd'hui d'un usage courant.

L'emploi des alliages peu dilatables dans toutes les mesures que l'on cherche à rendre précises sans que les conditions de température soient parfaites peut en augmenter beaucoup l'exactitude, ou dispenser des minutieuses précautions qu'elles rendent nécessaires.

Les mesures géodésiques sont le type le plus important d'opérations de cette nature, et nous avons vu déjà quelles sont les complications d'outillage qu'impose la connaissance toujours imparfaite de la température. A la demande de M. le général Bassot, directeur du Service géographique de l'armée française, nous avons cherché, M. Benoît et moi, à résoudre de la façon la plus pratique la question de la mesure des bases au moyen d'une règle, en adoptant les dispositifs suivants :

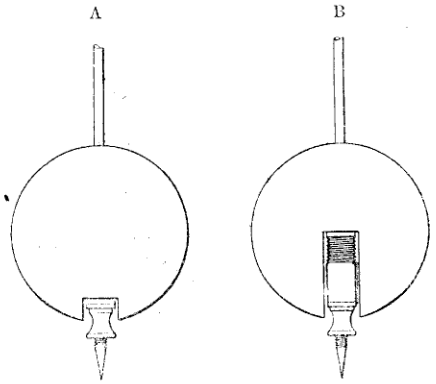


Fig. 67. — Pendule compensé à tige d'acier au nickel.

Une forte barre d'acier-nickel à 36 p. 100, à section en **H** de 40 mm. au carré, tracée sur le plan des fibres neutres, est portée par un appui fixe et un rouleau fixés sur le fond d'une caisse en alliage d'aluminium enfermant complètement la règle, et dont on ne relève que les extrémités pour les lectures. La règle porte des thermomètres dans le fond de la rainure supérieure, et un niveau symétrique par rapport au trait central.

La section très évidée et cependant robuste de la règle a permis de l'amener à ne plus peser que 25 kilogr. environ, c'est-à-dire entre la moitié et le tiers du poids total des règles de quatre mètres employées jusqu'ici. Le poids de la boîte est voisin lui-même de 25 kilogr., de telle sorte qu'en restant dans des limites de poids inférieures à celles qui avaient été admises, on a pu obtenir un étalon géodésique très robuste, entièrement protégé contre les heurts ou les changements irréguliers de la température, et au surplus très peu sensible aux variations qu'elle subit encore.

Mais l'emploi des alliages peu dilatables s'est montré surtout efficace combiné avec le procédé rapide de mesure des bases imaginé par M. Jäderin, et consistant à déterminer la distance comprise entre deux repères successifs à l'aide d'un fil, tendu sous un effort constant, et dont la longueur est généralement de 24 mètres. La mesure de la température du fil présente naturellement d'assez grandes difficultés, que M. Jäderin avait tournées en partie par l'emploi du système bi-métallique. La distance des repères était alors mesurée successivement

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

avec un fil d'acier et un fil de laiton, et leur température, supposée égale, était déduite de la différence trouvée.

Dans les dernières opérations faites par la commission suédo-russe du Spitzberg, M. Jäderin a appliqué lui-même les fils peu dilatables à la mesure des bases, et, suivant les détails qu'il a bien voulu nous communiquer, l'opération a conduit à un succès complet.

Le même système est employé actuellement pour la géodésie rapide de la Colonie du Cap, exécutée sous la direction de Sir David Gill, et des fils de l'alliage le moins dilatable ont été remis à diverses missions géodésiques coloniales envoyées par le Service géographique de l'Armée française.

Une application particulière des aciers au nickel a été faite récemment à la correction de l'erreur secondaire de la compensation des chronomètres. La substitution, à l'acier du balancier compensateur ordinaire d'un acier-nickel convenablement choisi permet de donner au balancier une action exactement symétrique de la variation du spiral qu'il s'agit de corriger. De cette manière, on a pu faire disparaître complètement le défaut de proportionnalité de la compensation, résultat que l'on n'avait obtenu jusqu'ici qu'au prix d'une complication assez grande dans la construction du balancier. Le nouveau système a été adopté par divers horlogers.

Dilatation du mercure et de l'eau. — Les importantes recherches faites par M. Chappuis sur les propriétés caractéristiques des gaz usuels ont déjà été rapidement résumées à propos du thermomètre à gaz fondé sur les variations de leur volume spécifique ou de leur force élastique. Dans une direction un peu différente, il a fait une excellente détermination de la dilatation des deux liquides les plus fréquemment employés dans les mesures physiques, l'eau et le mercure.

Pour ce dernier, les résultats de Regnault étaient demeurés sans contrôle. Et, malgré la grande confiance qu'ils méritaient, il semblait, d'après ses appréciations mêmes, qu'il fût possible de serrer de plus près la vérité.

Les mesures ont été faites par la méthode du thermomètre à déversement. Le réservoir, en verre dur, de 1 mètre de long et de 1 litre environ de capacité, était terminé par un tube de verre exactement calibré. On élevait la température du réservoir de manière à en chasser une certaine quantité de mercure, que l'on pesait. Puis on laissait redescendre la température, et on faisait, le long du tube calibré, une série de mesures à des températures diverses, de manière à opérer comme avec un dilatomètre ordinaire, de très faible amplitude et de grande sensibilité. La précision d'une pesée étant très grande, comparée à celle d'une lecture unique sur le tube, et à celle de la détermination correspondante de la température du réservoir, on ramenait ces deux parties de la détermination à une valeur comparable par la répétition de cette dernière.

Les mesures de M. Chappuis ont embrassé un intervalle de température com-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pris entre 0° et 100°. Les formules résumant ces déterminations sont les suivantes :

Dilatation cubique relative du mercure dans le verre dur.

$$\alpha = (160\,207 - 26{,}916\,T + 0{,}169\,21\,T^2)\,10^{-9}.$$

Dilatation vraie du mercure :

$$\alpha = (182\,008 - 11{,}380\,4\,T + 0{,}169\,21\,T^2)\,10^{-9}.$$

La formule déduite par le Dr Broch des mesures de Regnault, après quelques corrections, était la suivante :

$$\alpha = (181\,792 + 0{,}175\,T + 0{,}035\,12\,T^2)\,10^{-9}.$$

On jugera de l'accord de ces déterminations par les nombres ci-dessous qui donnent, pour diverses températures, l'allongement d'une colonne de 1 mètre de hauteur initiale, partant de 0°, et supposée renfermée dans un tube invariable; cet accord est beaucoup meilleur que ne pouvait le faire prévoir la précision attribuée par Regnault lui-même à ses déterminations.

	Allongements.	
Température.	Regnault.	Chappuis.
	mm.	mm.
10°	1,8180	1,8192
20	3,6362	3,6369
30	5,4549	5,4546
40	7,2742	7,2729
50	9,0944	9,0930

La dilatation de l'eau a été étudiée par M. Marek et par M. Thiesen, à l'aide de pesées hydrostatiques d'une pièce de quartz, enfin, par M. Chappuis, d'abord à l'aide du dilatomètre qui vient d'être décrit, puis plus tard en faisant usage du réservoir de platine iridié du thermomètre à gaz.

Le procédé était encore celui du thermomètre à écoulement; mais, comme il aurait été impossible de déterminer exactement les quantités d'eau chassées du réservoir par l'élévation de la température, l'eau était enfermée sous du mercure, qui remplissait en partie un réservoir auxiliaire en verre, maintenu à la température ambiante, que l'on déterminait soigneusement. L'augmentation du volume de l'eau provoquait le départ d'un égal volume de mercure, et, pour le reste, on opérait comme pour les déterminations qui viennent d'être décrites. Dans certaines expériences, faites avec un réservoir sphérique, M. Chappuis a pu opérer avec de l'eau en surfusion jusqu'à — 12°. A cette température, la congélation subite produisit la rupture de l'appareil.

Il est très difficile de renfermer, dans une formule unique, les résultats relatifs à la dilatation de l'eau sur un large intervalle de température, et il est préfé-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rable, pour les applications, de se rapporter aux nombres d'un tableau obtenu par interpolation des résultats directs.

Les données suivantes, trouvées à diverses époques, montrent quelles étaient autrefois les erreurs commises dans cette importante détermination. Dans les dernières années, au contraire, les résultats se sont considérablement rapprochés.

DENSITÉ DE L'EAU

Déterminations anciennes (1).

Température.	Hallström. **1805**	Muncke. **1828**	Stampfer. **1831**	Pierre. **1845**	Kopp. **1847**
0°	0,999 900	883	887	884	877
4	1,000 000	000	000	000	000
5	0,999 994	992	989	991	994
10	0,999 783	737	716	737	753
15	0,999 270	153	104	153	182
20	0,998 464	272	189	273	312
25	0,997 372	127	009	131	170

Déterminations récentes.

Température.	Marek.	Thiesen.	Chappuis.		Thiesen (2).
(éch. normale).	**1884**	**1887**	**1892**	**1897**	**1900**
0°	0,999 864	867	868	867	868
4	1,000 000	000	000	000	000
5	0,999 993	992	992	992	992
10	0,999 731	727	728	727	727
15	0,999 132	127	129	128	126
20	0,999 248	230	233	233	230
25	0,997	072	074	073	071
30	0,995	671	679	675	673
35	0,994	»	065	062	058
40	0,992	»	244	247	241

D'autres mesures exécutées de 1890 à 1892 par MM. Maly, Scheel, Kreitling, ont donné des résultats voisins des précédents.

ÉTUDE DE L'INDICE DE RÉFRACTION DE L'AIR

L'indice de réfraction des gaz a été étudié par de nombreux physiciens, mais certains résultats sont restés pendant longtemps assez contradictoires pour que l'on ne pût en tirer aucune loi générale. M. Mascart a mis, pour la première fois, hors de doute, la proportionnalité du pouvoir réfringent de certains gaz à leur

(1) Reproduites ici d'après Herr, *Ueber das Verhältniss des Bergkrystall-kilogrammes*, etc. Vienne, 1870. Les trois chiffres qui suivent la virgule sont communs à toutes les déterminations.

(2) Mesures effectuées à l'Institut physico-technique de Charlottenbourg.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

densité, lorsque celle-ci varie par la pression, même lorsqu'elle n'est pas proportionnelle à cette dernière. Mais ses mesures de la plate-forme ne permettaient pas de conclure à une relation analogue pour les variations de densité dues au changement de la température.

M. Benoît fut conduit à s'occuper de cette question pour évaluer le facteur de correction dans la détermination de la dilatation du trépied de l'appareil Fizeau. Dans cette mesure, faite par des franges avec une grande différence de marche, la variation de l'indice de la lame d'air contenue entre la surface métallique et celle de la lentille est assez considérable pour modifier très sensiblement la distance optique de ces deux surfaces.

Pour déterminer la correction résultant de cette variation, M. Benoît munit l'appareil Fizeau d'une cloche en verre dans laquelle on pouvait faire le vide, et fit ainsi 83 mesures doubles, successivement sous la pression atmosphérique et sous une très faible pression, les distances des deux surfaces étant repérées chaque fois sur 33 points marqués sur la lentille. Ces mesures faites consécutivement à chaque température ont ainsi donné, pour chacune d'elles, l'indice vrai de l'air dans les conditions de température et de pression observées. En résolvant d'une façon un peu différente les équations déduites de ces mesures, M. Benoît a trouvé les deux paires de valeurs suivantes du pouvoir réfringent et de sa variation :

$$n_0 - 1 = 0{,}000\,292\,36 \text{ ou } 0{,}000\,292\,25$$
$$\delta = 0{,}003\,669\,9 \text{ ou } 0{,}003\,661\,7,$$

et il a formulé ses conclusions en ces termes :

« 1° L'indice de réfraction de l'air atmosphérique sec, à la température de 0° et sous la pression de 760 millimètres est :

$$n_0 = 1{,}000\,292\,3.$$

Ce nombre est sensiblement plus faible que celui que l'on a admis assez généralement d'après Biot et Arago (1,0002945), et presque identique à celui qui a été donné par M. Mascart (1,000 292 7).

« 2° Le coefficient de variation avec la température dans l'expression :

$$\frac{n_1 - 1}{n_0 - 1} = \frac{1}{1 + \delta t}$$

est précisément égal au coefficient de dilatation de l'air sous pression constante, tel qu'il a été trouvé par Regnault. Je crois donc qu'on peut conclure que la loi de la proportionnalité de la réfraction à la densité, vérifiée sur une grande échelle pour les pressions par d'autres observateurs et mise en doute pour les températures, est également exacte pour celles-ci, au moins dans les limites entre lesquelles j'ai opéré, c'est-à-dire entre 0° et 80°. »

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Se fondant sur les conclusions de M. Benoît, et pensant qu'elles étaient l'expression d'une loi naturelle, M. Daniel Berthelot a élaboré une méthode pyrométrique mettant en œuvre un procédé interférentiel de mesure de l'indice de réfraction de l'air, d'où sa température est déduite par extrapolation linéaire. Les valeurs qu'il a données pour divers points de fusion, celui de l'or notamment (1 064°), présentent une concordance remarquable avec ceux qui ont été déduits, par MM. Holborn et Wien de la variation de force élastique de l'azote. Cette concordance confirme les conclusions de M. Benoît, et montre qu'elles se vérifient pour un intervalle de température beaucoup plus étendu que celui dans lequel il avait cru devoir, par une légitime prudence, en limiter l'énoncé.

(*A suivre.*)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ARTS MÉCANIQUES

VENTILATEURS ET POMPES CENTRIFUGES POUR HAUTES PRESSIONS, MUS PAR TURBINES A VAPEUR OU PAR MOTEURS ÉLECTRIQUES (1), PAR **M. Rateau**, *Membre du Conseil.*

Jusqu'à ces derniers temps, on n'obtenait pas avec les ventilateurs centrifuges des pressions ou des dépressions supérieures à $0^m,50$ de colonne d'eau environ. J'en ai bien vu qui donnaient 60 centimètres, toutefois c'était et c'est encore exceptionnel. Nous allons voir qu'en accouplant un ventilateur, convenablement construit, à une turbine à vapeur, on peut obtenir 10 fois plus avec une seule roue et autant que l'on veut avec plusieurs.

En ce qui touche les pompes centrifuges, on ne leur demandait pas d'élever à plus de 12 à 15 mètres de hauteur, il n'y a pas bien longtemps encore. Récemment, quelques constructeurs sont parvenus à des hauteurs bien plus grandes soit avec une seule roue mobile, comme M. Schabaver de Castres (2), soit à l'aide de deux ou plusieurs roues disposées en tension, comme MM. Sulzer de Winterthur (3) (jusqu'à 150 mètres) ou comme M. Mather Reynolds (4).

A la vérité, la difficulté n'est pas de produire de grandes hauteurs, *mais de les obtenir avec un bon rendement mécanique*, c'est-à-dire avec le minimum de pertes dans l'appareil. Ici encore, la turbine à vapeur, en donnant le moyen de transmettre une grande puissance par un arbre tournant très vite, rend faciles des hauteurs d'élévation de 200 à 300 mètres et même davantage avec une seule roue de pompe offrant un bon rendement mécanique.

Le grand développement de l'électricité dans ces dernières années donne beaucoup d'intérêt aux engins à mouvement rotatif continu qui se prêtent à la commande directe par moteurs électriques. C'est ainsi que les pompes centrifuges électriques, appliquées jusqu'ici seulement dans le cas des petites hauteurs, peuvent être maintenant employées pour les grandes hauteurs d'élévation qui paraissaient réservées aux seules pompes à pistons, comme par exemple dans

(1) Ce travail est le développement de la communication faite dans la réunion du 25 octobre 1901.

(2) *Bulletin de la Société d'Encouragement*, juin 1900.

(3) *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 12 octobre, 2 novembre 1901.

(4) *Revue industrielle*, 18 janvier 1896.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'épuisement des mines à des profondeurs de plusieurs centaines de mètres. Mais les moteurs électriques ne tournent généralement pas assez vite pour qu'on atteigne ces grandes pressions avec une seule roue mobile; on est alors obligé, comme je vais l'expliquer tout à l'heure, d'en disposer plusieurs en tension sur le même arbre.

Avant de décrire les machines qui ont été construites par les ateliers Sautter-Harlé à Paris, conformément à mes théories, avec la collaboration de M. Jean Rey, il peut être utile, pour la clarté du sujet, de dire quelques mots des propriétés fondamentales des ventilateurs et des pompes centrifuges. Nous parlerons des deux genres de machines à la fois, car elles ont exactement les mêmes propriétés; il n'y a de différence entre elles que par la densité du fluide qui les traverse.

Propriétés principales des ventilateurs et pompes centrifuges. — Considérons un ventilateur ou une pompe déterminée, et supposons qu'on fasse tourner la roue mobile à une vitesse constante ; la machine consommera une certaine quantité de travail T_m sur son arbre, grâce auquel elle donnera un débit Q et une hauteur de pression H que nous estimerons en colonne même du fluide qui traverse l'appareil. Ce débit et cette pression dépendent non seulement de la vitesse de la machine, mais encore des conditions dans lesquelles se présente le circuit extérieur où la pression H est utilisée. Si l'on modifie ce circuit extérieur, le débit et la pression varieront aussi. Le débit, par exemple, peut varier entre O et un certain maximum Q_m qui est obtenu lorsque, l'appareil étant mis dans la situation que j'appellerai en *court circuit*, par analogie avec l'électricité, la hauteur de pression H est nulle.

Nous pouvons construire des courbes en portant en abscisse le débit Q de l'appareil, et, en ordonnée, soit la pression H donnée par la machine qui correspond à un certain débit Q (la vitesse de rotation restant toujours constante par hypothèse), soit la puissance T_m transmise à l'arbre, soit le rendement mécanique ρ de la machine, ce rendement étant le rapport entre le travail utile ϖ QH qu'elle fournit par seconde et la puissance T_m transmise à l'arbre. Voici, par exemple, des courbes telles qu'on les obtient par l'expérience sur une certaine pompe.

Ces courbes affectent des formes variables suivant le système de ventilateur ou de pompe, leur allure générale est toujours la suivante : la courbe des hauteurs de pression a une forme parabolique, avec un sommet plus ou moins aplati; la courbe de la puissance transmise à l'arbre est assez voisine d'une droite allant en s'élevant à mesure que le débit croît; mais, suivant la forme des ailes, cette courbe de la puissance transmise monte plus ou moins vite qu'une droite; la courbe du rendement mécanique affecte toujours la forme d'une sorte

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de parabole passant par l'origine et par le point du débit limite; le sommet de cette parabole correspond au rendement maximum ρ_m de la machine.

Il faut, autant que possible, dans la pratique, mettre l'appareil dans cette condition du rendement maximum afin d'en tirer le meilleur parti; c'est ce que j'appelle la « marche normale » de la machine. On voit ainsi que, en marche normale, il y a un débit normal déterminé et une hauteur d'élévation déterminée pour une vitesse de rotation donnée.

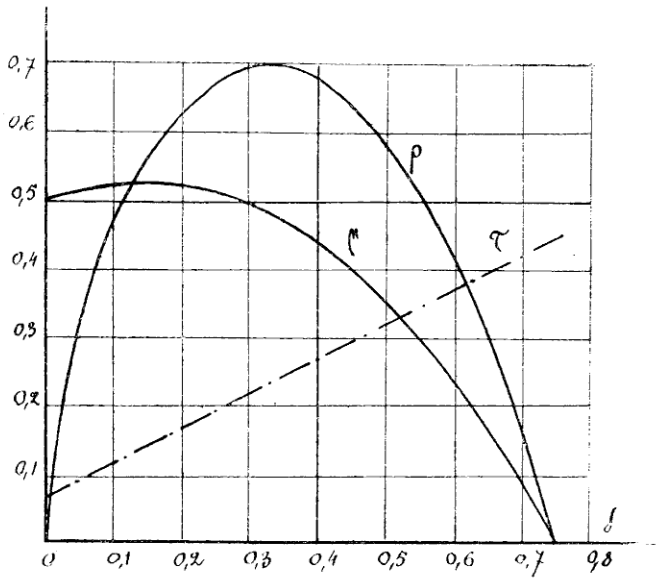


Fig. 11.

Quand on change la vitesse de rotation, ou bien quand on modifie les dimensions de l'appareil, tout en le laissant semblable à lui-même, les courbes que nous venons de décrire changent alors, mais en conservant les mêmes formes. J'ai indiqué (1) comment on peut les réduire à des courbes, caractéristiques de chaque type d'appareil, indépendantes de la vitesse de rotation et de la grandeur de la machine en réduisant les débit, hauteur et puissance transmise à l'arbre, à des coefficients indépendants des unités de mesure. Il suffit, pour cela, de les diviser par des puissances appropriées de la vitesse périphérique u et du rayon r de la roue mobile.

Les coefficients que j'ai en vue sont :

le rendement mécanique :

$$\rho = \frac{\varpi\, Q\, H}{T_m}$$

le coefficient de débit :

$$\delta = \frac{Q}{u\, r^2}$$

le coefficient manométrique :

$$\mu = \frac{g\, H}{u^2}$$

le coefficient de la puissance transmise :

$$\tau = \frac{g\, T_m}{u^3\, r^2} = \frac{\mu\, \delta}{\rho}.$$

(1) *Traité des Turbo-machines*, 1900, Dunod, éditeur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

A titre d'exemple, je donne, dans la figure 1, les courbes caractéristiques ainsi définies, pour mon système ordinaire de pompe centrifuge pour petites hauteurs d'élévation, et, dans la figure 2, celles de mon système ordinaire de ventilateur centrifuge tel qu'il est connu dans les mines.

On voit, par ces deux exemples, que les courbes, quoique ayant la même allure générale, peuvent différer beaucoup d'un genre d'appareil à un autre.

Il résulte de la fixité de ces courbes caractéristiques pour chaque type de

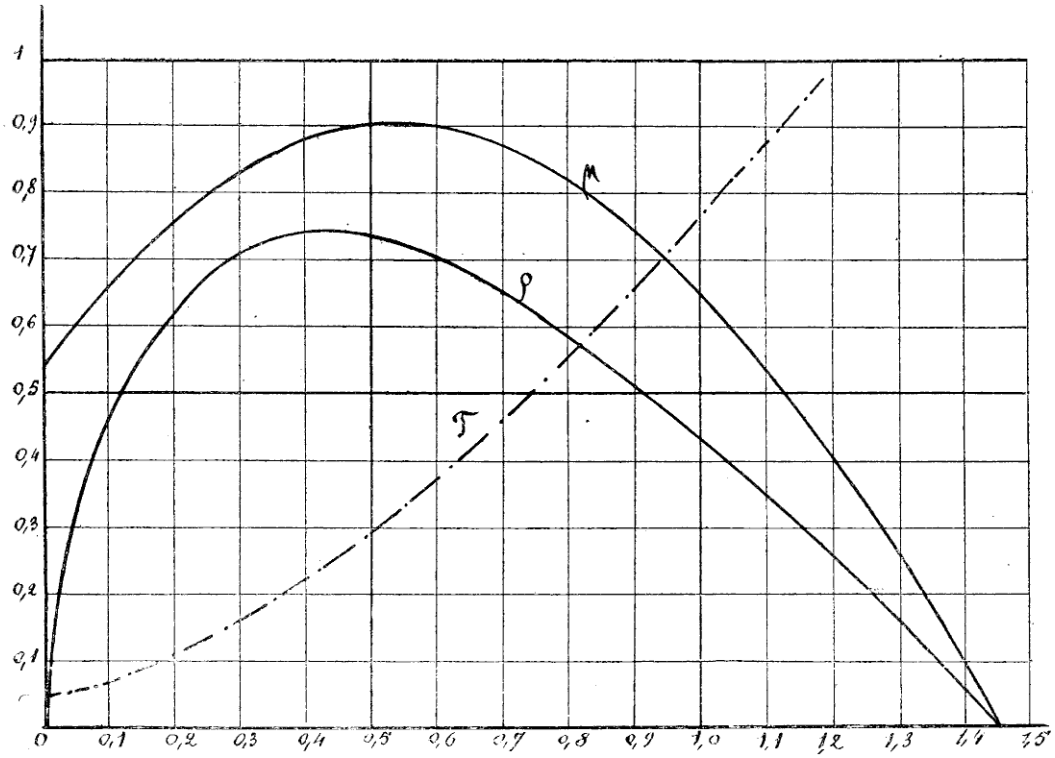


Fig. 2.

machine — fixité qui peut se démontrer par la théorie et qui se vérifie par l'expérience — des lois qu'il faut bien connaître pour tirer des ventilateurs et des pompes la meilleure utilisation. Je signalerai, en particulier, la loi suivante sur laquelle j'ai appelé l'attention il y a bientôt dix ans (1) : en marche normale, une pompe centrifuge comme un ventilateur donnent un débit proportionnel à la vitesse de rotation et une hauteur de pression proportionnelle au carré de cette vitesse de rotation ; de sorte que le débit, toujours en marche normale, c'est-à-dire en

(1) *Considérations sur les turbo-machines, et particulièrement sur les ventilateurs.* Bulletin de la Société de l'industrie minérale, 1re livr., 1892, page 40 du tirage à part (Chevalier, libraire à Saint-Étienne).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

maximum de rendement mécanique, est proportionnel à la racine carrée de la hauteur de pression. L'on avait cru, et l'on croit encore généralement qu'une pompe centrifuge doit fournir un débit constant ou à peu près constant, quelle que soit la hauteur d'élévation ; et c'est l'ignorance de la loi fondamentale précédente qui a fait penser que ces appareils étaient incapables de procurer de grandes pressions avec un bon rendement mécanique.

On remarquera que, lorsqu'on s'écarte de la marche normale de l'appareil, le rendement mécanique baisse ; mais il ne baisse d'abord que très lentement, en sorte que le débit peut pratiquement s'écarter d'environ 30 p. 100 en plus ou en moins de sa valeur normale sans que le rendement soit notablement inférieur à son maximum ; c'est-à-dire qu'il est possible, dans la pratique, de faire varier le débit du simple au double, sans inconvénient. Les appareils à force centrifuge jouissent ainsi d'une grande souplesse d'application.

J'ai parlé de la hauteur d'élévation ou de la pression totale donnée par la machine, sans distinguer la partie de cette hauteur afférente à l'aspiration et la partie qui correspond au refoulement ; peu importe, en effet, la manière dont se partage la hauteur totale de part et d'autre de l'appareil. Une pompe, par exemple, peut être placée à un point quelconque de la hauteur totale d'élévation ; elle peut même être placée en siphon au-dessus du réservoir de refoulement (1) ; cela n'a aucune importance ; la hauteur totale d'élévation est indépendante de la position de la pompe sur le circuit extérieur. Il y a toutefois une restriction à faire : il faut que la dépression dans l'ouïe ou orifice d'entrée de la pompe ne tombe pas à une valeur trop voisine de zéro, parce qu'alors il surviendrait un phénomène gênant, que nous pouvons appeler *cavitation*, qui a été constaté pour les hélices propulsives à grande vitesse et qui se produit également dans les pompes centrifuges lorsque, la pression à l'entrée de la pompe étant faible et la vitesse d'entraînement des ailes étant grande, l'eau ne peut suivre le revers de ces ailes. La continuité de la veine fluide est alors rompue, il se forme des poches d'air et le rendement tombe rapidement.

VENTILATEURS A HAUTE PRESSION

Description. — Les figures 3, 4, 5, montrent, en coupe, en plan, et en perspective, un ventilateur centrifuge pour haute pression associé sur le même arbre avec une turbine à vapeur. Celle-ci est semblable à celle que j'ai décrite dans le *Rapport au Congrès International de mécanique appliquée en 1900*. Le ventilateur

(1) Nous avons installé de cette manière une grosse pompe pour l'alimentation du bassin à flot du port de Bordeaux. La pompe débite jusqu'à $2^{m3},50$ d'eau par seconde. Elle puise l'eau dans la Garonne et la refoule dans le bassin à flot dont le niveau se trouve à 2 mètres en dessous de l'axe de la pompe. Cette machine fonctionne ainsi depuis deux ans.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

est formé par une roue mobile en acier d'une construction spéciale, permettant de dépasser une vitesse périphérique de 250 mètres par seconde. Cette roue tourne dans une volute en fonte, percée au centre de deux ouïes symétriques qui puisent l'air dans l'atmosphère. On pourrait y disposer un tuyau d'aspiration s'il était nécessaire. L'air est soufflé par la roue dans un diffuseur ou amortisseur composé d'une partie plate et d'une volute collectrice qui l'amène à la buse de sortie du ventilateur.

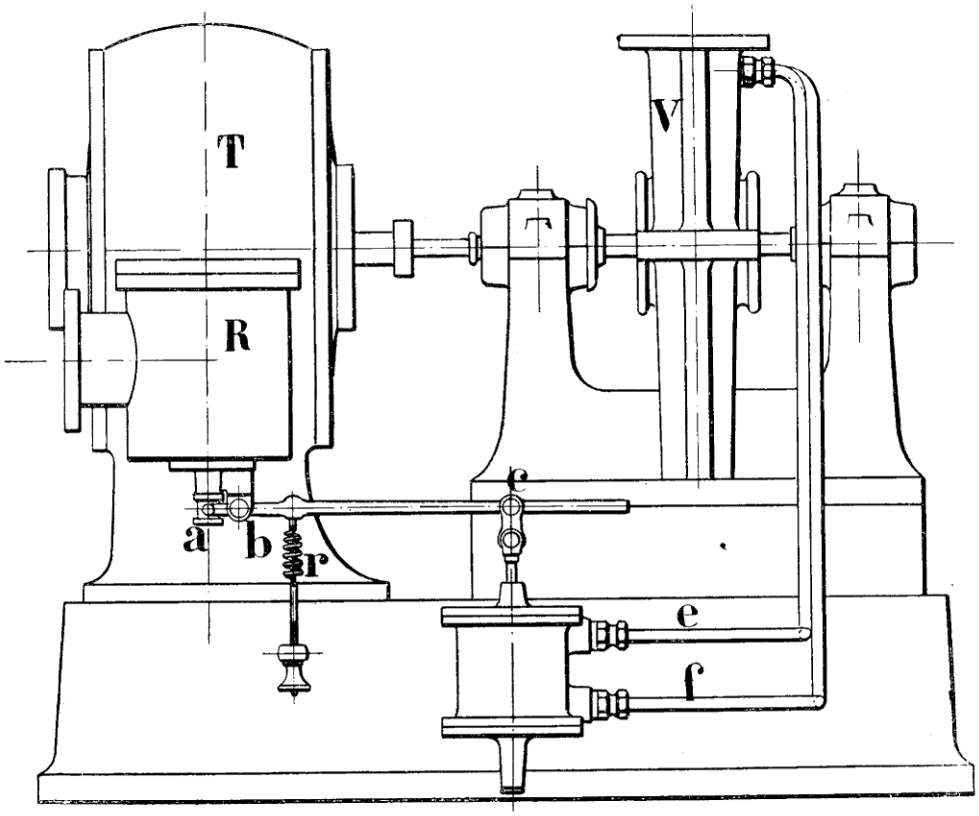


Fig. 3.

Dans notre appareil d'essai, la roue de la turbine à vapeur avait 30 centimètres de diamètre et la roue mobile du ventilateur 25 centimètres de diamètre.

Le graissage et la régulation de cette machine sont effectués d'une manière toute spéciale.

Graissage. — En ce qui concerne le graissage, on a profité de la forte pression de l'air pour remonter l'huile, au moyen d'un émulseur, d'un bassin inférieur où elle est recueillie, à un bassin supérieur d'où elle s'écoule aux paliers. Cet émulseur se voit en coupe dans la figure 6. Il se compose de deux tubes verticaux

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

parallèles réunis à la partie inférieure, dont l'un A part du fond de la boîte à huile inférieure, tandis que l'autre B aboutit à la boîte à huile supérieure. Dans le tube B débouche, en *m*, un petit tuyau amenant un peu d'air du ventilateur. Cet air pénètre en petites bulles dans la colonne d'huile B, en sorte que le poids spécifique moyen de cette colonne se trouve abaissé suffisamment pour que, sous

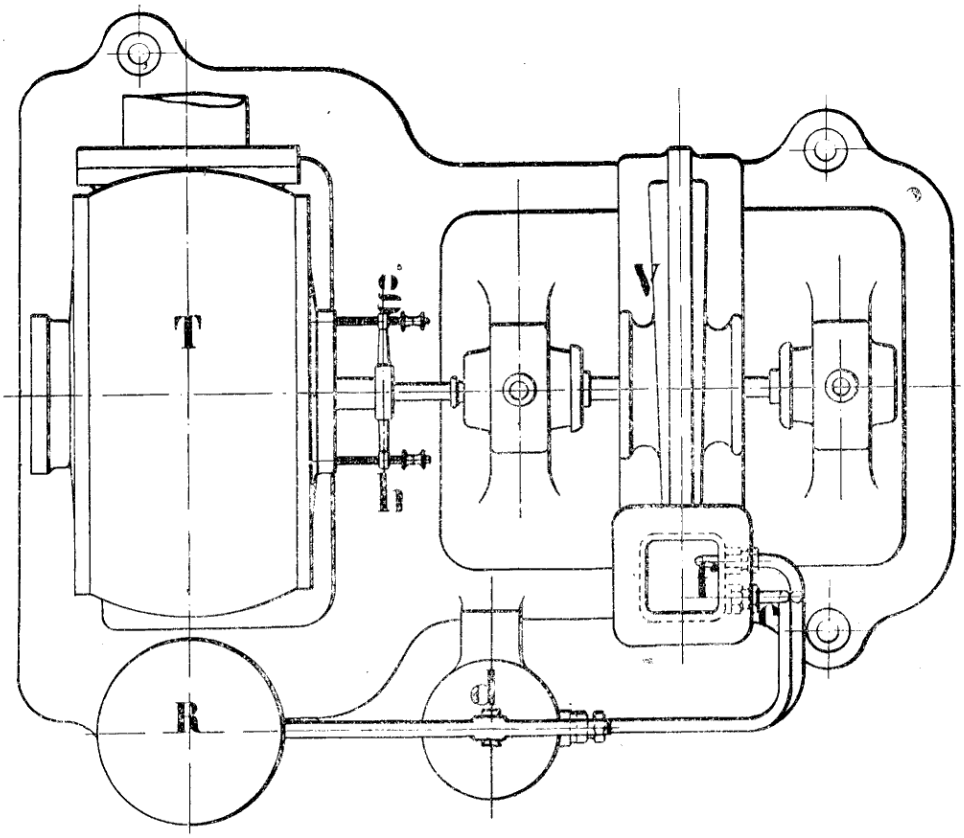


Fig. 4.

la pression de la colonne A, l'huile soit obligée de s'élever jusqu'au bassin supérieur.

Réglage. — Le réglage est obtenu par un régulateur pneumatique (1) permettant de rendre invariable soit la pression donnée par le ventilateur, soit le volume qu'il débite. Il se compose d'un cylindre D (fig. 3), dans lequel se trouve

(1) On pourrait évidemment employer un régulateur centrifuge (à boules) ordinaire; mais alors, comme il n'est pas possible de monter ce régulateur sur l'arbre même de la turbine, à cause de l'énorme vitesse angulaire de celui-ci, il faudrait réduire la vitesse sur un arbre auxiliaire à l'aide d'un engrenage ou d'une vis tangente. C'est pour éviter cette complication que j'ai imaginé de faire le réglage au moyen du ventilateur lui-même.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

un piston que l'on voit en détail en I (fig. 22) ; la tige de ce piston est attachée par une petite bielle au point *c* du levier *abc* qui est assujetti à osciller autour de l'axe *b*, et qui attaque en *a* la tige de l'obturateur.

Le cylindre D communique à ses deux extrémités, par les tuyaux *ef*, (fig. 3 et 4)

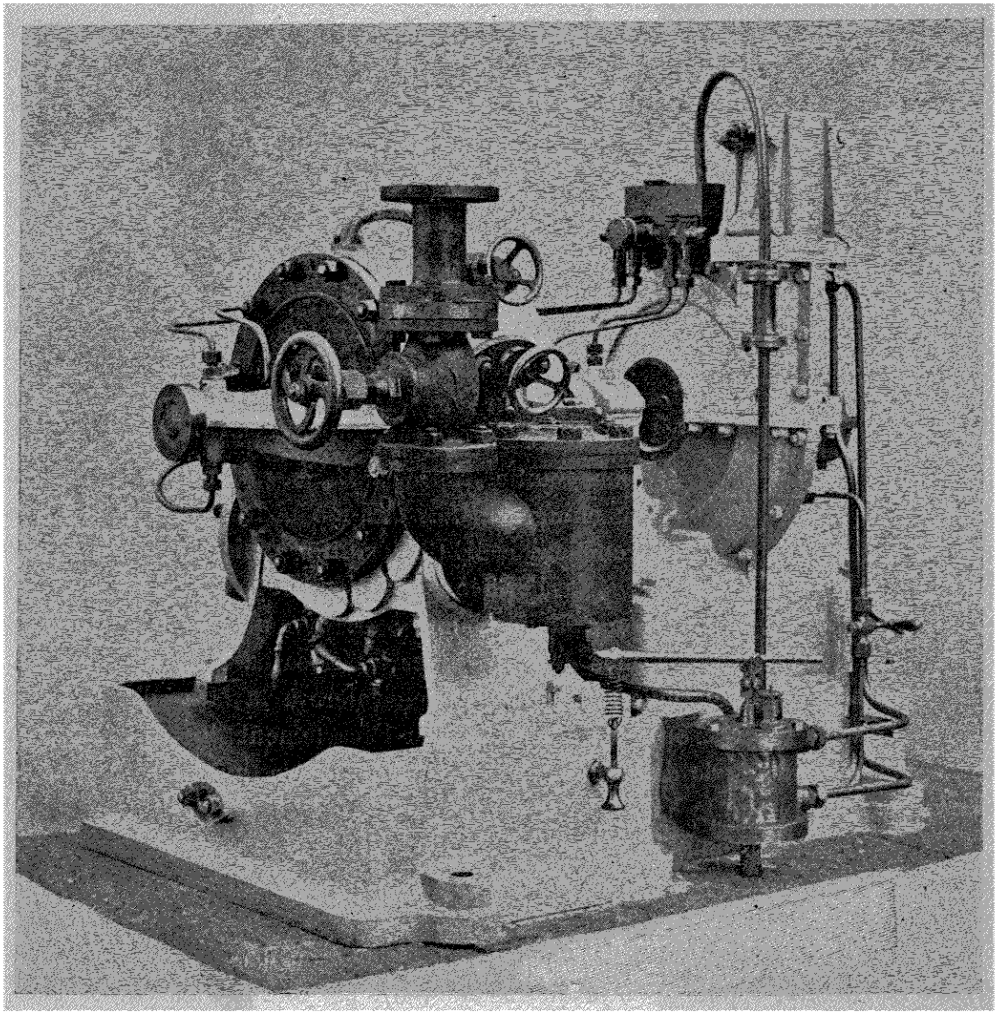


Fig. 5.

respectivement avec un tube droit *e* (fig. 22) et un tube de Pitot *t*, placés l'un et l'autre dans la buse de refoulement du ventilateur. Les deux faces du piston contenu dans le cylindre D sont ainsi soumises à des pressions qui diffèrent entre elles d'une quantité proportionnelle au carré de la vitesse de l'air dans la buse du ventilateur, c'est-à-dire proportionnelle aussi au carré du débit. La poussée verticale, de bas en haut, qui en résulte est équilibrée par le poids même

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

du piston, renforcé au besoin par une masse additionnelle, et par un ressort r dont la tension, variable avec la position du piston, donne au régulateur la stabilité qui convient.

Pour empêcher un emballement de la machine, dans le cas où le débit viendrait à être diminué, il suffit de placer, sur le fond supérieur du cylindre D, une soupape S (fig. 22) qui s'ouvre lorsque la pression de l'air dépasse une certaine limite.

Lorsqu'on veut régler la pression donnée par le ventilateur, et non par le débit, on met la partie supérieure du cylindre en communication avec l'atmosphère au moyen d'un robinet à trois voies placé sur le tuyau e, et on laisse, naturellement, la partie inférieure en communication avec le refoulement du ventilateur.

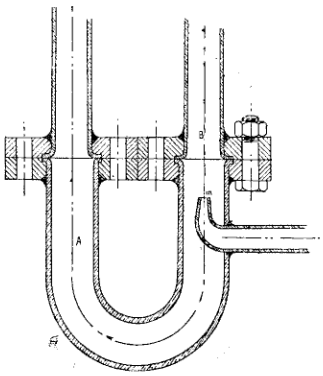


Fig. 6.

Au lieu d'un piston, il est préférable quelquefois d'employer un diaphragme en caoutchouc, qui évite les frottements latéraux du piston.

Résultats d'expériences. — Les expériences ont été exécutées de la manière suivante, dans les ateliers Sautter-Harlé, à Paris, qui ont construit la machine. J'ai fait moi-même les mesures avec le concours de M. Chatelain, ingénieur de ces ateliers.

Sur l'orifice de refoulement du ventilateur (fig. 4), on avait placé une buse pyramidale en fonte, formée de deux joues latérales parallèles fixes, et de deux lèvres opposées mobiles autour d'une charnière à la façon d'un bec de canard. Grâce à des vis, on pouvait faire varier l'écartement de ces lèvres, en sorte qu'il était facile de donner à l'orifice de sortie de la tuyère convergente, ainsi constituée par cette buse, telle valeur voulue.

La pression de refoulement du ventilateur dans la buse était mesurée au moyen d'un manomètre à mercure. De cette pression, on déduisait par le calcul le débit d'air.

Pour différentes valeurs de l'orifice de sortie de la buse, on a fait varier la vitesse de rotation depuis 8000 jusqu'à 20 200 tours par minute. La vitesse périphérique du ventilateur a ainsi atteint 265 mètres par seconde, et la pression de refoulement $42^{cm},4$ de mercure, c'est-à-dire jusqu'à $5^{m},80$ de colonne d'eau, ou plus de 1/2 kilog par centimètre carré.

La vitesse de rotation de l'arbre du ventilateur était réduite au trentième par une vis sans fin, et mesurée à l'aide d'un compteur de tours et d'un chronomètre.

Suivant la puissance réclamée par le ventilateur, on ouvrait une, deux ou trois tuyères de la turbine à vapeur, à l'aide des volants commandant les aiguilles de fermeture des tuyères.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Afin d'évaluer le rendement total de l'ensemble de la machine, ventilateur et turbine, nous relevions la pression P dans la boîte à vapeur en amont des tuyères d'injection sur la roue mobile. Quant à la pression d'aval, elle était toujours égale à 1 kilog. par centimètre carré, à peu près, puisque l'échappement se faisait dans l'atmosphère. Connaissant le nombre des tuyères ouvertes et la section au col de chacune d'elles, il était facile de calculer, par les formules que j'ai indiquées (1), d'abord la dépense totale de vapeur et ensuite la puissance théoriquement disponible. Pendant les essais, le régulateur était, bien entendu, immobilisé afin qu'il ne trouble pas la pression dans la boîte à vapeur.

Les expériences consistaient donc à relever, pour des ouvertures croissantes de la buse et pour un nombre déterminé de tuyères à vapeur :

1° La pression P en amont de celles-ci ;

2° Le nombre de tours N de la machine ;

3° La pression H au refoulement du ventilateur.

Voici maintenant comment on calculait le débit Q, la puissance utile créée T_u, la puissance théorique T_t du courant de vapeur, puis les coefficients μ, δ et ρ.

Débit Q. — Le débit Q, estimé à la pression atmosphérique est égal à la section S de la buse multipliée par la vitesse d'écoulement V. Comme la buse est convergente, on peut prendre le coefficient de dépense égal à l'unité, car les expériences de Hirn ont établi que ce coefficient de dépense ne diffère de l'unité que de 1 à 2 centièmes au plus.

Pour obtenir rigoureusement la vitesse V, il faudrait appliquer la formule générale

$$\frac{V^2}{2g} = \int_p^P \frac{dp}{\pi}$$

dans laquelle, du reste, il y aurait lieu de tenir compte, pour l'évaluation du poids spécifique π, de la variation des températures pendant la détente. Mais le calcul ainsi fait aurait été très laborieux. On peut le simplifier considérablement en remarquant que la variation de pression n'est pas très considérable, qu'elle n'a pas dépassé 58 p. 100 de la pression d'aval. Il est dès lors permis de calculer la vitesse V, sans grande erreur, en prenant la formule $\frac{V^2}{2g} = \frac{\Delta p}{\pi}$, dans laquelle on donne au poids spécifique π la valeur moyenne qu'il a entre la pression d'amont P et la pression d'aval p ; c'est ainsi qu'ont été trouvés les chiffres inscrits dans la septième colonne des tableaux d'expériences et de calculs (p. 740).

(1) *Rapport au Congrès international de mécanique appliquée, 1900.*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La pression H sous laquelle l'écoulement se produit est donnée, dans la sixième colonne, en mètres d'eau. Et, pour le calcul du poids spécifique π, il faut tenir compte de la température initiale de l'air qui était de 38° ce jour-là dans la salle d'expériences. (Les 24 et 25 juillet 1900 ont été deux journées très chaudes.)

Le volume débité Q s'obtient ensuite en multipliant cette vitesse V par la section S qui est donnée dans la deuxième colonne des tableaux.

On peut se demander si ce calcul donne le volume d'air ramené à la pression et à la température atmosphérique. Je ferai remarquer que la compression de l'air dans le ventilateur est sensiblement adiabatique ainsi que sa détente dans la buse, à cause du temps très court qu'il met à traverser l'appareil. Si donc il n'y avait aucune perte par frottements et tourbillonnements, l'abaissement de température pendant la détente serait exactement égal à l'élévation pendant la compression, en sorte que l'air reprendrait la température qu'il a à l'entrée dans le ventilateur. On voit dès lors que l'air doit sortir de la buse avec une température un peu plus élevée que celle de l'atmosphère et que l'augmentation correspond aux pertes mécaniques par frottements. Quand le rendement du ventilateur atteint 56 p. 100, cette augmentation de température est d'environ 7° par mètre de pression H. Elle n'est donc pas considérable.

Puissance utile T_u. — Dans le calcul de la puissance utile, il faut naturellement tenir compte, puisque ici les variations de pression ne sont pas négligeables vis-à-vis de la pression atmosphérique, de la réduction du volume pendant la compression. Je me suis borné, pour trouver les chiffres inscrits dans la onzième colonne des tableaux, à multiplier la variation de pression par le volume ramené à la pression moyenne, c'est-à-dire $Q\frac{10}{10+0,5\,H}$. Le nombre ainsi obtenu est un peu supérieur à celui auquel aurait donné lieu la compression isothermique de l'air ; mais, par contre, notablement inférieur à celui qui correspond à la compression adiabatique.

Puissance théorique T_t. — Pour avoir la puissance théoriquement disponible dans le flux de vapeur, il faut diviser le poids de vapeur débité dans la turbine par la consommation théorique K par cheval.

Le débit de vapeur est donné par la formule suivante :

$$I = s\,P\,(15,20 - 0,96 \log P),$$

dans laquelle s est la section totale des tuyères au col et P la pression amont en valeur absolue. Ce débit se trouve alors exprimé en grammes par seconde si

(1) Par contre, la température de l'air dans le ventilateur avant qu'il ne se soit détendu dans la buse de sortie est beaucoup plus élevée. L'air s'échauffe pendant sa compression dans cette machine comme dans un compresseur ordinaire.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

est mesuré s en centimètres carrés et P en kilogrammes par centimètre carré; il suffit de le multiplier par 3,6 pour l'avoir en kilogrammes par heure.

La dépense théorique K se calcule par la formule que j'ai donnée ailleurs, d'après la pression d'amont P et la pression d'aval p (pression atmosphérique),

$$K = 0.85 + \frac{6,95 - 0,92 \log P}{\log P - \log p},$$

en kilogrammes par cheval-heure.

En divisant I par K, on a les nombres des puissances théoriques en chevaux que j'ai inscrits dans la douzième colonne du tableau.

Coefficient ε, μ, δ. — Le rendement mécanique ε_0 de l'ensemble est le rapport de T_u à T_i; ce rendement est inscrit dans la dernière colonne du tableau.

Le coefficient manométrique μ, que j'ai défini dans mes études sur les turbomachines, et rappelé précédemment, ne peut pas être déterminé d'une manière précise à cause de la variation du poids spécifique de l'air pendant qu'il traverse l'appareil; aussi n'est-ce pas précisément ce coefficient que j'ai calculé, mais le rapport de la pression H au carré du nombre de tours N. Le chiffre de ce rapport, multiplié par 10^8 pour en simplifier l'écriture, est inscrit dans la neuvième colonne; on peut, d'ores et déjà, remarquer que ce rapport $\frac{10^8 H}{N^2}$ varie de 1,18 à 1,42, et qu'il croît, pour la même ouverture de la buse, avec la vitesse de rotation. Cela est dû à l'augmentation du poids spécifique de l'air pendant qu'il est comprimé à travers la roue mobile du ventilateur. Dans les ventilateurs ordinaires, où la variation de pression est relativement faible par rapport à celle de l'atmosphère, on ne constate rien de pareil; le rapport $\frac{H}{N^2}$ y est invariable pour la même ouverture de la buse.

Si l'on prend les valeurs de ces rapports qui correspondent aux faibles vitesses de rotation, on en déduit le coefficient manométrique vrai μ du ventilateur; en marche normale, c'est-à-dire sur l'orifice de 228 centimètres carrés, il est égal à 0,66.

Le coefficient de débit δ, s'exprime par le rapport $\frac{Q}{uv^2}$ dans lequel Q est le débit évalué comme il est dit précédemment, u la vitesse périphérique du ventilateur (au bout des ailes) et r le rayon du ventilateur. On doit, bien entendu, estimer ces quantités avec des unités concordantes; par exemple, Q en mètres cubes par seconde, u en mètres par seconde et r en mètres.

Les valeurs du coefficient de débit ainsi déterminées sont inscrites dans la dixième colonne du tableau.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAUX I ET II

Turbine ventilateur à haute pression.

Diamètres : turbine 0m,300 — Ventilateur 0m,250 — Tuyères 9 millimètres.
Essais des 24 et 25 juillet 1900.

NUMÉROS D'ORDRE.	SECTION DE LA BUSE.	NOMBRE DE TUYÈRES OUVERTES.	PRESSION AMONT dans la turbine. P	VITESSE du VENTILATEUR. N	HAUTEUR TOTALE utile en eau. H	DÉBIT du VENTILATEUR. Q	$\frac{10^8 H}{N^2}$	COEFFICIENT DE DÉBIT. δ	TRAVAIL UTILE. T_u	TRAVAIL THÉORIQUE. T_t	RENDEMENT TOTAL. ρ_o
	cm²		Kg/cm²	t/m	mètres.	m³/sec.			chev.	chev.	
1	8,25	2	3,40	10500	1,39	0,128	1,26	0,069	2,22	18,2	0,122
2	»	»	4,40	13000	2,08	0,168	1,23	0,063	4,25	28,2	0,151
3	»	»	5,40	15100	2,85	0,178	1,25	0,058	6,01	39,0	0,154
4	»	»	6,40	16950	3,65	0,215	1,27	0,062	9,05	50,3	0,180
5	»	»	7,40	18500	4,50	0,214	1,32	0,057	10,85	62,4	0,174
6	15,4	»	2,70	8200	0,84	0,189	1,25	0,112	2,03	11,5	0,177
7	»	»	3,85	10000	1,38	0,239	1,38	0,117	4,13	22,5	0,184
8	»	»	5,50	13700	2,52	0,315	1,35	0,113	9,52	41,1	0,232
9	»	»	6,67	15400	3,23	0,351	1,36	0,112	13,28	53,7	0,229
10	»	»	7,40	16600	3,75	0,374	1,36	0,110	16,16	62,4	0,259
11	»	»	8,30	17700	4,32	0,397	1,38	1,110	19,38	73,9	0,262
12	22,8	»	3,50	9350	1,20	0,332	1,37	0,174	5,02	19,2	0,261
13	»	»	5,40	12050	1,91	0,412	1,32	0,167	9,62	39,0	0,247
14	»	»	7,30	14750	2,90	0,496	1,33	0,165	17,04	61,1	0,279
15	»	»	8,40	15900	3,33	0,518	1,32	0,160	20,12	75,2	0,268
16	»	»	9,80	16950	3,88	0,562	1,34	0,162	25,67	88,2	0,291
17	30,3	»	4,40	9500	1,07	0,419	1,18	0,217	5,74	28,2	0,204
18	»	»	6,40	12500	1,84	0,538	1,18	0,211	12,20	50,3	0,243
19	»	»	8,40	14800	2,70	0,638	1,23	0,211	20,53	75,2	0,273
20	»	»	10,10	16500	3,44	0,710	1,26	0,212	28,36	97,3	0,292
21	19,0	3	6,0	15400	3,16	0,429	1,34	0,136	15,93	68,5	0,233
22	»	»	7,5	17750	4,26	0,486	1,37	0,134	23,48	95,3	0,246
23	»	»	9,3	20200	5,80	0,551	1,42	0,134	34,75	130,0	0,267
24	22,8	»	6,4	15200	3,08	0,509	1,33	0,164	18,49	76,0	0,243
25	»	»	8,2	17750	4,20	0,581	1,34	0,160	27,71	109,0	0,254
26	»	»	10,4	20200	5,70	0,656	1,40	0,159	40,72	132,0	0,307
27	26,6	»	6,7	15400	2,96	0,584	1,25	0,185	20,43	81,0	0,252
28	»	»	8,8	17750	4,06	0,668	1,30	0,184	32,01	120,0	0,267
29	»	»	10,9	20200	5,50	0,755	1,35	0,183	45,35	162,0	0,281

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En examinant ce tableau d'expériences, on peut faire plusieurs observations intéressantes. D'abord on remarque la puissance énorme développée par uu petit ventilateur de 25 centimètres de diamètre seulement. La pression qu'il donne à atteint 5^m,80 d'eau; c'est un véritable compresseur.

Le débit Q s'est élevé jusqu'à 700 litres par seconde, et la puissance utile créée a atteint 45 chevaux, pendant que la turbine donnait environ 80 chevaux sur l'arbre.

Courbes caractéristiques. — On peut tracer les courbes caractéristiques du ventilateur et de la turbine, en portant en abscisse le coefficient de débit δ et en ordonnée le rendement total ε_0. Mais, pour le même orifice de la buse, le rendement croît avec la vitesse parce que la turbine à vapeur a un rendement d'autant meilleur qu'elle tourne plus vite et donne plus de puissance; on doit donc tracer les courbes caractéristiques pour des vitesses peu différentes les unes des autres.

Si l'on porte les points de coordonnées δ, ε_0 sur un papier quadrillé, ainsi qu'il est représenté sur la figure 7, on constate que ces points se rangent assez régulièrement sur des courbes qui sont les courbes caractéristiques à vitesse croissante. Celles qui sont figurées sur le dessin correspondent aux vitesses de 11 000, 14 000, 17 000, 20 000 tours par minute.

On voit par ces courbes caractéristiques que, en pleine marche (c'est-à-dire en marche normale), le rendement total ε_0 dépasse 28 p. 100, ce qui est un très bon résultat, car cela fait ressortir pour le ventilateur un rendement d'environ 56 p. 100, celui de la turbine devant être voisin, d'après les expériences que j'ai données d'autre part, de 50 p. 100.

Les compresseurs à piston ordinaires, associés avec des machines à vapeur à piston, ne donnent pas souvent des rendements plus élevés, et encore faut-il considérer que le travail utile dans les compresseurs est généralement évalué en prenant l'air à la température relativement élevée avec laquelle il sort de la machine, tandis qu'ici, nous l'avons supposé ramené à la température atmosphérique ou du moins à une température peu supérieure.

Applications. — Les ventilateurs à haute pression ainsi mus par turbines à vapeur peuvent trouver application dans tous les cas où l'on a besoin de pressions supérieures à environ 1 mètre d'eau, par exemple pour le soufflage des cubilots, des hauts fourneaux, des cornues Bessemer, etc. On peut même les employer comme compresseurs d'air pour des pressions allant jusqu'à 5 kilogrammes et au delà s'il est nécessaire.

Avec une seule roue mobile, comme nous l'avons vu, il est facile d'obtenir, en partant de la pression atmosphérique, une pression de un demi-kilogramme par centimètre carré, c'est-à-dire 1,5 absolu. Il serait possible d'aller jusqu'à 1 kilogramme (c'est-à-dire 2 kilogrammes absolu), mais il vaut mieux, à partir de 1,5 absolu environ, conjuguer plusieurs ventilateurs semblables en tension, ce qui

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

est aisé. La pression de refoulement de l'un à l'autre ventilateur croît alors suivant une progression géométrique, car la surpression donnée par chaque ventilateur est proportionnelle au poids spécifique de l'air, lequel est lui-même proportionnel à la pression, — la température étant supposée constante —. Si, avec le premier ventilateur, on passe de la pression de 1 kilogramme par centimètre carré (qui est celle de l'atmosphère) à $1^{kg},5$, après le deuxième ventilateur on aura

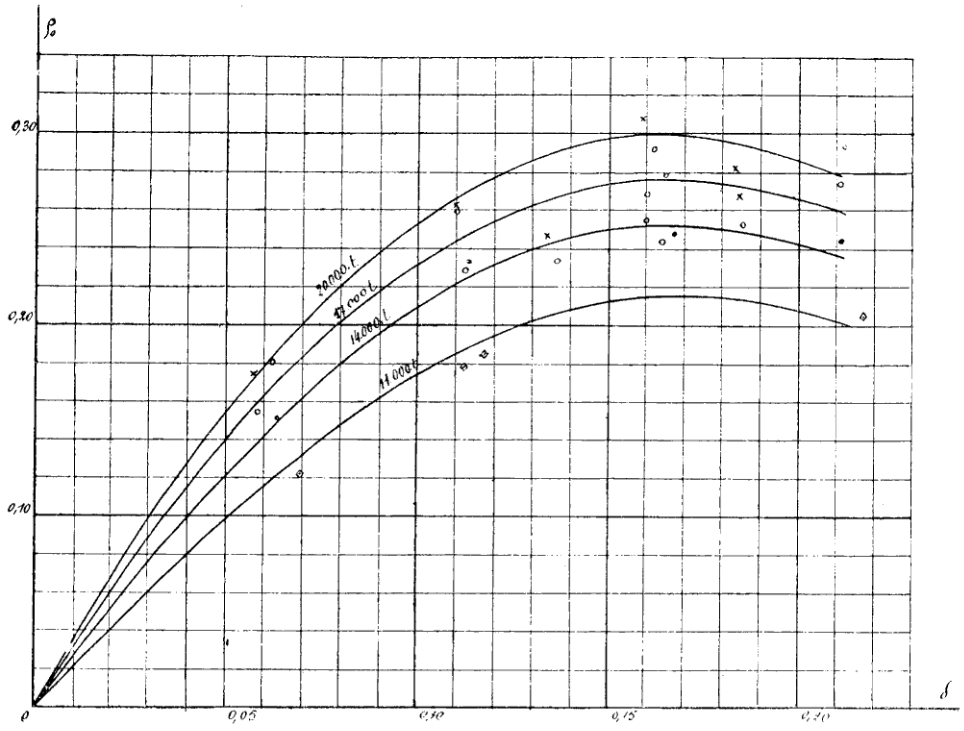


Fig. 7.

$\overline{1,5}^2$, c'est-à-dire 2,25; au troisième $\overline{1,5}^3$, c'est-à-dire 3,4; au quatrième $\overline{1,5}^4$, c'est-à-dire 5 kilogrammes, et ainsi de suite.

Le rendement mécanique de ces ventilateurs compresseurs serait peut-être inférieur à celui des compresseurs ordinaires bien établis, mais la différence ne serait pas grande. Nous avons vu que le rendement total du ventilateur et de la turbine à vapeur atteint, pour un très petit appareil, près de 30 p. 100; par conséquent, la consommation de vapeur par cheval utile en air comprimé et par heure ne serait pas supérieure, avec une machine à condensation, à 12 kilogrammes. Les compresseurs ordinaires n'arrivent pas à beaucoup moins. Pour une forte machine on aurait évidemment des rendements meilleurs.

Si l'on compare ces engins centrifuges aux ventilateurs Roots, on leur trouve une supériorité incontestable, car ces derniers appareils n'ont pas ordinairement

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

un rendement mécanique supérieur à 35 ou 40 p. 100, tandis que les ventilateurs centrifuges auraient environ 60 p. 100, un peu plus ou un peu moins suivant leurs dimensions.

Une application où ils semblent tout désignés, c'est le soufflage des hauts fourneaux, pour lesquels il n'y a pas ordinairement besoin d'une pression de vent supérieure à un demi-kilogramme par centimètre carré. Dès lors, une seule roue mobile permettrait d'atteindre ce chiffre. La machine serait très petite et peu coûteuse et son rendement serait très convenable. Ainsi, par exemple, pour souffler un haut fourneau débitant 160 tonnes de fonte par jour et absorbant 9 mètres cubes d'air (à la pression atmosphérique) par seconde à la pression de un demi-kilogramme par centimètre carré, il suffirait d'un ventilateur ayant une roue mobile de $0^m,80$ de diamètre tournant à 6000 tours par minute; la turbine à vapeur ne serait pas plus grande. En raison de la grande puissance de cette machine (500 chevaux utiles), le rendement total (turbine et ventilateur) atteindrait, d'après mon estimation, 40 p. 100, c'est-à-dire que la consommation de vapeur, en supposant l'application de la condensation, ne dépasserait pas 9 kilogrammes environ de vapeur par cheval utile en air comprimé et par heure.

Il semble donc que ces ventilateurs conjugués avec turbine à vapeur soient appelés à trouver un large champ d'application pour le cas très important du soufflage des hauts fourneaux.

Ventilateurs accouplés avec moteurs électriques. — Si on doit commander le ventilateur par un moteur électrique, il n'est pas possible de pousser bien loin la pression en se servant d'une seule roue mobile; la vitesse de rotation des moteurs électriques n'est généralement pas suffisante pour cela. On peut, en ce cas, recourir à des ventilateurs multicellulaires semblables aux pompes dont nous allons maintenant parler.

POMPES A HAUTE PRESSION AVEC MOTEUR ÉLECTRIQUE

Quand on doit associer ensemble un moteur électrique et une pompe centrifuge pour grande hauteur d'élévation, il est nécessaire de mettre plusieurs roues conjuguées en tension. Cette nécessité provient, d'une part, de la vitesse insuffisante des moteurs électriques, et, d'autre part, de l'influence des pertes externes dans la pompe (fuites aux joints et frottements dans le liquide ambiant). Si l'on voulait, en effet, n'utiliser qu'une seule roue, on serait conduit, pour réaliser la vitesse périphérique nécessaire, à un diamètre de roue mobile tel que le débit serait relativement faible pour ce diamètre, et alors les pertes externes prendraient une si grande importance qu'elles feraient tomber beaucoup le rendement mécanique.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'expérience montre qu'on peut pratiquement aller jusqu'à environ 30 mètres avec une seule roue dans de *bonnes conditions de rendement mécanique*. Au delà, il convient d'associer ensemble plusieurs roues en tension, d'autant plus que la hauteur d'élévation est plus grande.

Description de la pompe multicellulaire. — Le principe de notre pompe, que

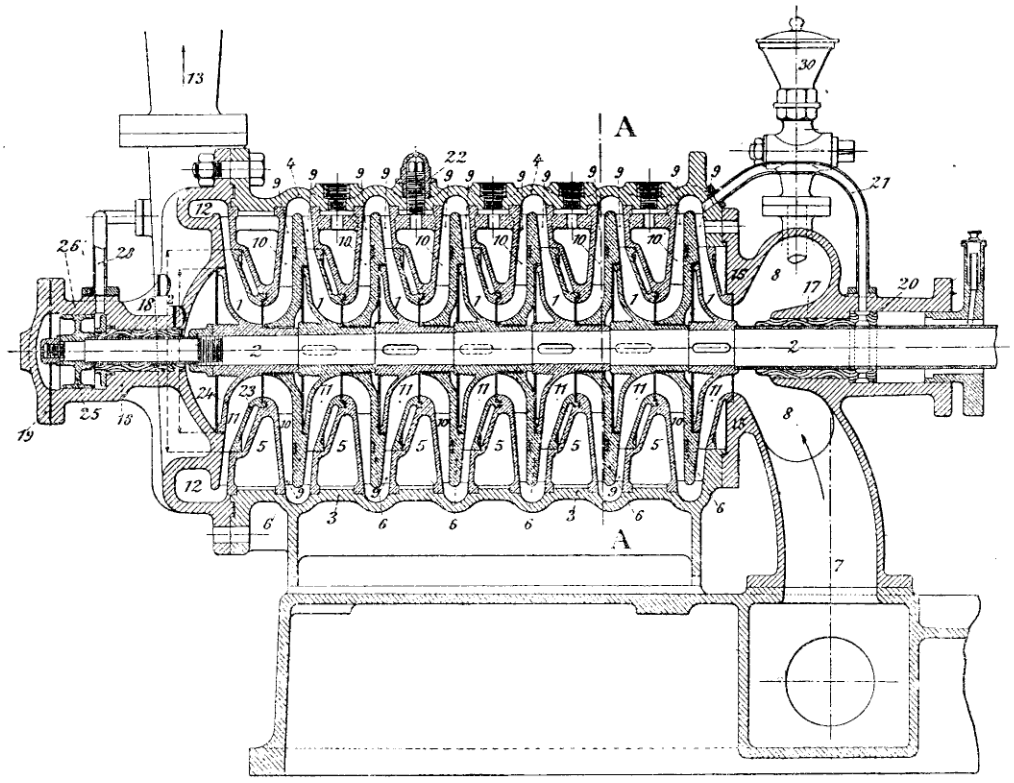


Fig. 8. — Pompe multicellulaire.

L'eau arrive par 7 en 8 dans les canaux 1, limités par les aubes 11 de la première roue, qui la projettent, par 9, entre les aubes fixes 10 d'un diffuseur 6 qui en empêche les tourbillonnements, et ainsi de suite, d'une roue à l'autre, avec une pression croissant de 7 au refoulement 13. Pour équilibrer la poussée de l'eau sur les roues, les disques 23 et 24 de chacune d'elles sont inégaux, et le diamètre D' de 24 est moindre que celui D² de 24, de manière que la poussée de l'eau admise derrière 23 par les fuites au pourtour de la roue équilibre la poussée de cette même eau sur 24; on achève le réglage de cet équilibre en reliant les deux fonds du cylindre 26 l'un avec le tuyau de refoulement en 28 et l'autre à un point de l'enveloppe de la pompe choisi de manière que la différence des pressions ainsi exercées sur les deux faces du piston 25, calé sur l'arbre 2, et qui tourne librement dans 26, complète l'équilibrage. Le stuffing-box de l'aspiration est à bague d'eau fournie par le tuyau 21. La purge de l'air se fait par les robinets 20, l'amorcage de la pompe par 30, et les vis 22 servent à décoller et soulever le dessus de l'enveloppe après en avoir desserré les boulons.

nous appelons « multicellulaire », consiste à grouper un certain nombre de roues mobiles sur le même arbre et à les réunir en série, de manière qu'elles soient traversées par le même courant liquide. La pression communiquée au courant croît d'une roue à l'autre, chacune d'elles donnant une fraction de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

hauteur égale à la hauteur totale divisée par le nombre des roues ; c'est ainsi que, dans une pompe multicellulaire élevant l'eau à 200 mètres et formée de dix roues, chacune de celles-ci ne produit qu'une pression de 20 mètres.

Les figures 8, 9, 10 montrent une coupe par l'axe d'une pompe à sept roues, une coupe transversale et une perspective de la pompe accouplée à un moteur électrique à courant triphasé. Comme on le voit sur la coupe, les roues sont unilatérales, c'est-à-dire que chacune d'elles n'a qu'une ouïe, et elles sont enfilées sur l'arbre l'une derrière l'autre, toutes dans le même sens. Chacune des roues tourne à l'intérieur d'un diaphragme circulaire dans lequel sont ménagés des canaux d'écoulement du liquide d'une roue à l'autre. Tous les diaphragmes sont engagés dans des rainures à l'intérieur de l'enveloppe; cette enveloppe est divisée par un plan diamétral en deux moitiés qui sont assemblées par boulons. L'un des fonds du corps de pompe, devant la première roue, porte le

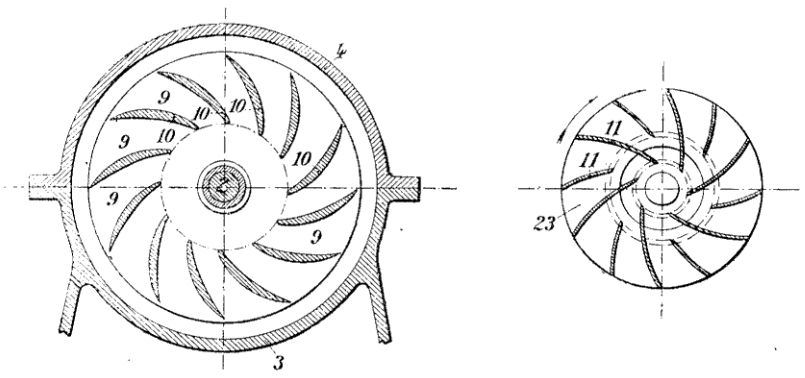


Fig. 9.

tuyau d'aspiration; l'autre bout du corps de pompe est fermé par une pièce dans laquelle sont ménagés la volute collectrice et le tuyau de refoulement de la pompe; le palier qui supporte l'extrémité de l'arbre est venu de fonderie avec cette pièce.

Dans ce genre de machines on rencontre deux difficultés principales : 1° obtenir un bon rendement mécanique; 2° réaliser un équilibrage longitudinal suffisant.

Pour avoir un bon rendement mécanique, il faut, autant que possible, éviter les pertes de charge par frottements et tourbillonnements à l'intérieur de la machine et principalement dans les canaux de retour qui conduisent le liquide du refoulement d'une roue à l'ouïe de la suivante. Comme on le voit figure 8, les canaux qui ramènent le liquide au centre ont, en coupe diamétrale, la forme d'un U renversé; la première branche de cet U sert de diffuseur et la seconde

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

branche est précisément la branche de retour. Ici, notre machine a un dispositif particulier. Si l'on n'y prenait garde, dans le retour vers le centre, le liquide qui a reçu de la roue précédente un mouvement giratoire prendrait des vitesses tangentielles de plus en plus grandes à mesure qu'il se rapprocherait de l'axe dans son mouvement vers l'ouïe de la pompe suivante, le mouvement tourbillonnaire étant régi par le théorème des aires exactement comme le mouvement des planètes autour du soleil ; il arriverait alors, si on laissait la giration se pro-

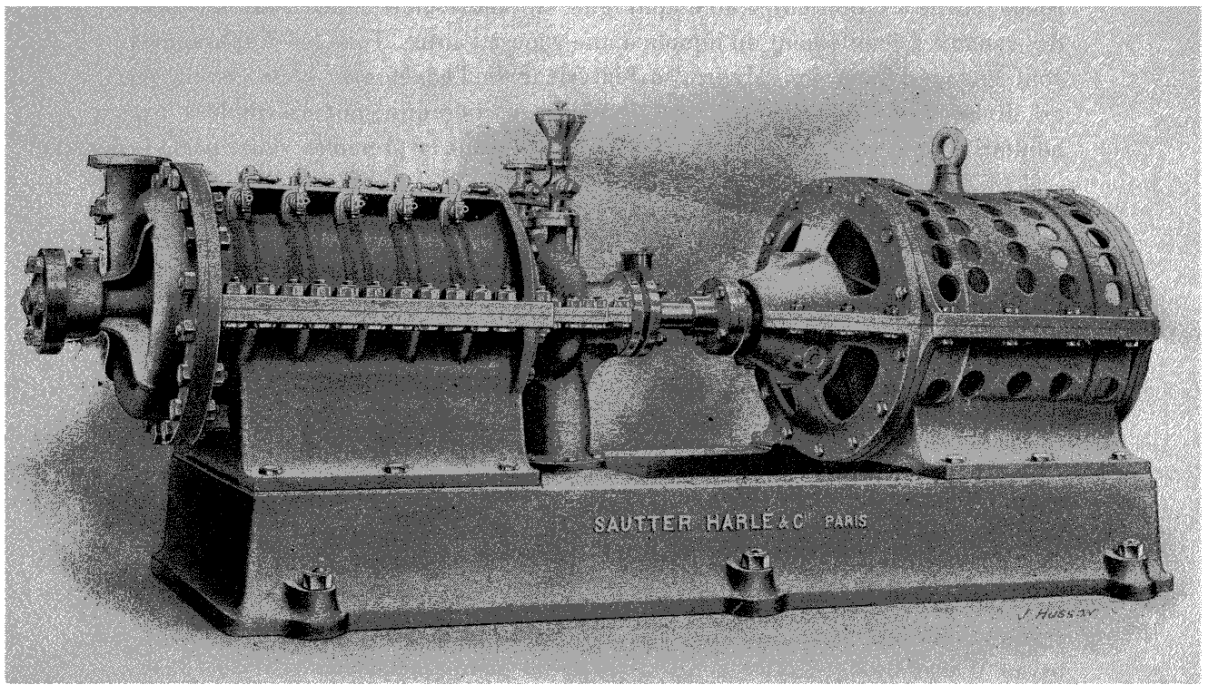


Fig. 10.

duire librement, que la pression s'abaisserait dans la branche de retour de l'U d'une quantité presque égale à celle dont elle s'est augmentée dans la roue et dans le diffuseur précédents. Pour éviter cet effet funeste, nous disposons dans le canal de retour des ailettes fixes d'une forme appropriée figure 9, grâce auxquelles le courant liquide est conduit sans tourbillonnements nuisibles à l'ouïe de la roue suivante où il arrive avec la vitesse voulue pour être saisi par les ailettes mobiles avec le moins de chocs possible.

Le deuxième écueil qui se présente dans les pompes à haute pression est

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'équilibrage longitudinal; il est particulièrement à redouter dans un système comme le nôtre où toutes les roues sont dissymétriques et tournées du même côté. Si l'équilibre n'est pas réalisé, le palier de butée, qu'il faut toujours mettre pour assurer la position des roues mobiles dans le corps de pompe, supporterait une pression excessive; il chaufferait, s'userait, gripperait même et la pompe serait rapidement mise hors de service.

Nous résolvons la difficulté de différentes manières indépendantes les unes des autres. D'abord nous faisons la roue mobile avec des joues latérales de diamètres différents. L'une des joues, celle qui est du côté de l'ouïe, s'étend jusqu'au bout des ailes, tandis que l'autre, qui fait corps avec le moyeu claveté sur l'arbre, ne va que jusqu'à un diamètre notablement plus faible que celui des ailes. On peut calculer le diamètre de cette dernière joue de façon que la roue mobile soit individuellement équilibrée.

Toutefois, il peut encore rester un certain résidu de poussée. Nous parvenons à nous en débarrasser au moyen d'un petit piston fixé au bout de l'arbre (ainsi qu'on le voit sur la figure 8) et se mouvant sans frottement dans un cylindre dont les deux extrémités peuvent être mises en communication par des tuyaux avec des points convenablement choisis sur le corps de pompe. On comprend qu'on puisse, par ce moyen, exercer une poussée complémentaire sur l'arbre soit dans un sens, soit dans l'autre, de manière à obtenir l'équilibrage parfait. C'est lors des essais en usine qu'on fait ce réglage complémentaire, une fois pour toutes. Si d'ailleurs l'équilibrage ne se maintenait pas en service, c'est-à-dire si l'on observait une poussée notable sur le palier de butée, il serait aisé, en déplaçant convenablement les tuyaux sur le corps de pompe, de revenir à l'équilibre parfait. Pour reconnaître le moment où on y est parvenu, nous donnons un peu de jeu longitudinal aux coussinets de butée.

Le montage d'une semblable pompe est simple. On peut, sans difficulté, disposer l'une derrière l'autre, dans un seul corps de pompe, jusqu'à 10 et même 12 roues mobiles et plus encore s'il était nécessaire. Nous avons réalisé, dès le début, des pompes ayant 7 roues mobiles.

L'arbre ne traverse le corps de pompe que d'un côté, généralement du côté de l'aspiration, comme dans la pompe représentée dans les fig. 8 à 10. La garniture est alors facile à faire et à maintenir étanche. Mais nous en avons aussi fait dont l'arbre sort par le côté haute pression, comme par exemple dans la pompe représentée dans la figure 11. Jusqu'à des pressions de 100 à 120 mètres, la garniture peut être maintenue sans trop de suintements d'eau.

Comme on le comprend, le principe de notre système est de ne faire produire à chaque roue mobile qu'une hauteur de pression ne dépassant pas ordinairement 15 à 20 mètres. Dans ces conditions, la vitesse de l'eau dans les canaux de la pompe et dans les joints entre les parties fixes et mobiles est peu

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

élevée, et l'usure qui en résulte est insensible si l'eau est propre. Nous avons des pompes multicellulaires en fonctionnement depuis plusieurs années qui, à la

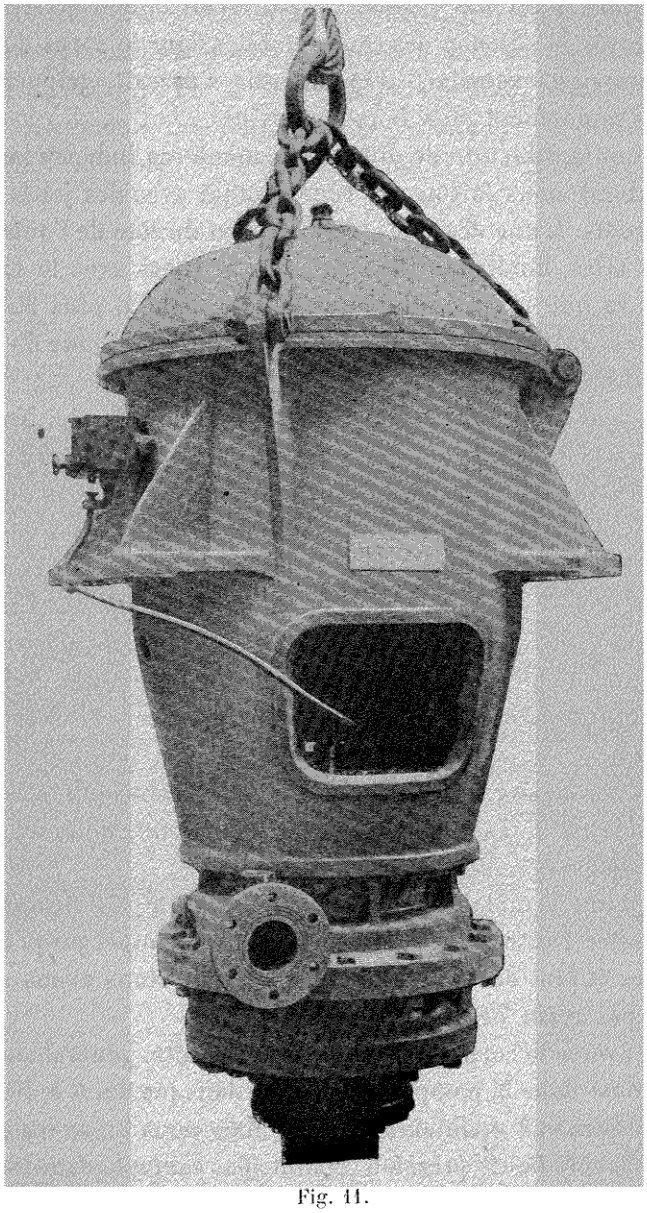


Fig. 11.

visite, n'ont montré qu'une usure inappréciable même avec des eaux très acides. S'il y a des particules solides entraînées dans l'eau, du sable par exemple. il y aura évidemment quelque usure. Mais nous pensons qu'elle ne sera pas gênante tant que la proportion des matières solides se tiendra dans les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

limites habituelles. Dans les cas où on la redouterait, nous avons des dispositions spéciales permettant soit de remplacer facilement les parties où elle se produit, soit d'empêcher le sable de venir dans les joints où il est susceptible de porter le trouble.

Expériences. — J'ai fait, depuis dix ans, un très grand nombre d'expériences sur les différents systèmes de pompes centrifuges construites d'après mes théories, et spécialement, dans ces derniers temps, sur les pompes à grande hauteur d'élévation. Je donnerai ci-après les résultats principaux obtenus avec ces dernières.

Dispositif expérimental. — On ne peut songer à élever réellement l'eau, en usine, à des hauteurs allant à plus de 100 mètres; mais cela n'est nullement nécessaire. Il suffit de refouler l'eau en pression dans un tuyau muni d'un robinet. En ouvrant plus ou moins ce robinet, on change les conditions du circuit extérieur de la pompe et, par là, le débit. On a donc toute facilité pour relever les courbes caractéristiques de l'engin soumis à l'essai.

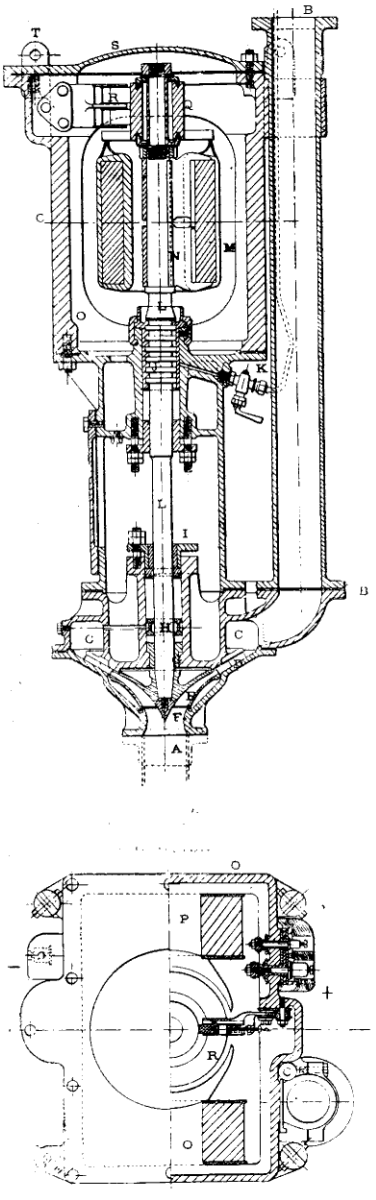


Fig. 12.

Nos pompes d'expériences étaient mues directement soit par des moteurs électriques à courant continu soit par des moteurs à courant alternatif triphasé. Les expériences consistaient à relever chaque fois, en marche régulière de la pompe :

1° La vitesse de rotation;

2° La hauteur d'aspiration;

3° La pression de refoulement, qui, additionnée de la hauteur d'aspiration, donne la hauteur totale H d'élévation fournie par la pompe; cette pression de refoulement était mesurée avec un bon manomètre métallique préalablement vérifié;

4° Le débit Q à l'aide d'une cuve jaugée de 7 mètres cubes de capacité;

5° Le voltage et le débit du courant électrique fourni aux bornes du moteur; généralement, celui-ci était ensuite étudié au frein de Prony, de manière à en connaître très exactement les pertes, et à déduire, par soustraction, la puissance exactement transmise à l'arbre de la pompe.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Je donnerai successivement les résultats d'essais de pompes pour haute pression à une roue mobile, à deux roues mobiles, à cinq roues mobiles et à sept roues mobiles.

1° *Pompe à une roue mobile.* — La pompe à une roue mobile, dont les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous, avait été commandée pour fournir un débit de 60 mètres cubes à l'heure à la hauteur de 30 mètres. Elle a fonctionné dans un puits près de Marseille, pendant plusieurs années, en donnant 80 mètres cubes à cette hauteur de 30 mètres.

La pompe est mue par un moteur électrique à courant continu ; l'arbre est disposé verticalement, ainsi qu'on le voit sur la figure 12, de façon qu'on puisse suspendre le tout dans un puits. La roue mobile a un diamètre périphérique de 208 millimètres. On a enfermé complètement le moteur en vue de permettre le fonctionnement même dans le cas où la machine viendrait à être noyée.

TABLEAU III

Pompe à 1 roue. D = 208 millimètres.

Essais de septembre 1897.

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMBRE de TOURS. N	HAUTEUR TOTALE UTILE en eau. H	DÉBIT EN LITRES. Q	TRAVAIL UTILE. T_u	WATTS TOTAUX DÉPENSÉS aux bornes du moteur.	WATTS PERDUS AU MOTEUR électrique.	RENDEMENT MÉCANIQUE. Total. ρ''	RENDEMENT MÉCANIQUE. Pompe seule. ρ	COEFFICIENT MANOMÉTRIQUE. μ	COEFFICIENT DE DÉBIT. ε
	par min.	mètres.	lit./sec.	kgm.	watts.	watts.				
1	1 630	16,86	14,00	236	6 105	1 565	0,379	0,510	0,523	0,072
2	2 000	26,10	14,50	379	9 020	1 920	0,411	0,524	0,540	0,060
3	2 110	30,53	15,70	479	9 722	1 952	0,483	0,605	0,567	0,062
4	2 260	33,35	16,40	547	11 536	2 056	0,463	0,567	0,538	0,060
5	2 210	33,40	16,40	548	11 862	2 092	0,453	0,550	0,563	0,061
6	1 760	21,50	9,20	198	4 985	1 685	0,389	0,590	0,573	0,043
7	2 160	32,40	11,46	371	9 485	2 055	0,384	0,490	0,572	0,044
8	2 200	32,30	11,46	370	9 105	2 055	0,398	0,515	0,551	0,043
9	1 780	23,76	6,90	164	4 948	1 668	0,325	0,490	0,620	0,032
10	1 960	27,73	7,50	208	5 915	1 895	0,345	0,508	0,597	0,032
11	2 100	30,59	7,90	242	6 588	1 978	0,360	0,512	0,573	0,0314
12	2 150	31,70	8,06	255	7 575	2 055	0,320	0,455	0,566	0,0312
13	2 200	31,70	8,06	255	7 775	2 085	0,322	0,440	0,540	0,0305
14	1 740	15,60	13,70	213	5 690	1 630	0,367	0,515	0,425	0,0623
15	2 180	25,42	17,75	452	11 050	2 000	0,402	0,491	0,442	0,9679
16	2 250	27,65	18,32	506	11 960	2 110	0,413	0,503	0,451	0,067
17	1 640	18,70	12,30	230	5 360	1 570	0,421	0,597	0,572	0,0624
18	2 050	30,60	11,26	245	7 790	1 930	0,434	0,578	0,600	0,0438
19	2 090	32,04	8,10	260	7 270	2 050	0,351	8,489	0,605	0,0323

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On voit, par le tableau des essais, qu'à la vitesse prévue de 2200 tours par minute, la hauteur d'élévation, en marche normale, atteint 30 à 33 mètres et le débit 60 mètres cubes à l'heure. Le rendement mécanique maximum de la pompe seule

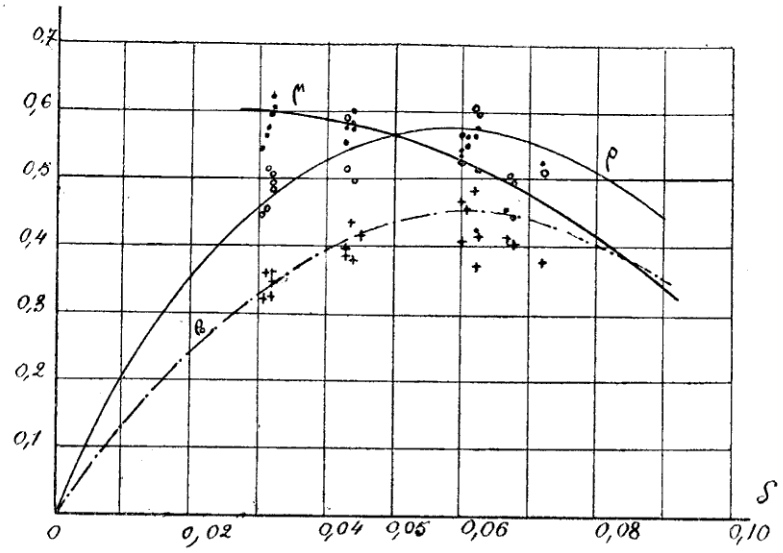


Fig. 13.

s'élève à plus de 55 p. 100. Par là se trouve vérifié ce que j'annonçais précédemment, à savoir : qu'on peut atteindre, dans de bonnes conditions de rendement

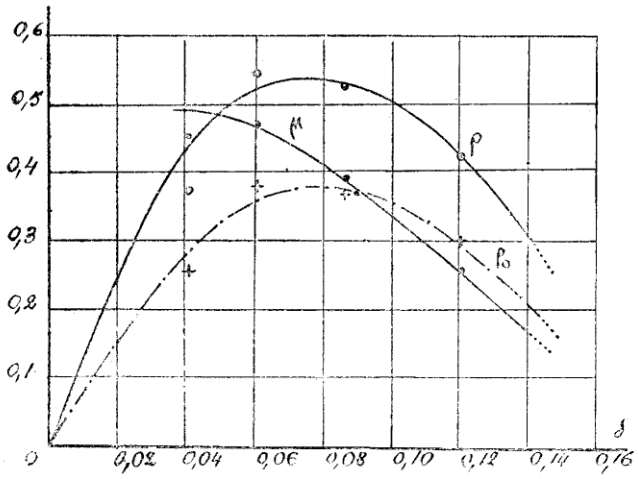


Fig. 14.

mécanique, une hauteur d'élévation de 30 mètres avec une seule roue mobile mue par moteur électrique.

La figure 13 montre les courbes caractéristiques de cette pompe déduites des résultats d'essai.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

J'ai aussi essayé récemment des pompes centrifuges plus puissantes débitant 300 mètres cubes à l'heure à 26 mètres de hauteur, avec une seule roue mobile, et ayant plus de 65 p. 100 de rendement mécanique.

2° *Pompe à deux roues mobiles.* — Voici ci-après les résultats obtenus avec une pompe à axe horizontal de petite dimension ayant deux roues en tension de 120 millimètres de diamètre. On voit par les courbes caractéristiques (fig. 14), déduites des chiffres du tableau, que le rendement mécanique de cette petite pompe atteint environ 55 p. 100. Des pompes analogues ont été fournies comme pompes à incendie dans des usines et à bord des navires de guerre.

TABLEAU IV

Pompe à 2 roues D = 120 millimètres.

Essais du 3 juin 1901.

NUMÉROS d'ordre.	NOMBRE de TOURS. N	HAUTEUR TOTALE UTILE EN EAU H	DÉBIT de la POMPE. Q	TRAVAIL UTILE. Tu	WATTS TOTAUX DÉPENSÉS aux bornes du moteur.	RENDEMENT MÉCANIQUE. TOTAL ρ_0	RENDEMENT MÉCANIQUE. Pompe seule. ρ	COEFFICIENT MANOMÉTRIQUE μ	COEFFICIENT DE DÉBIT. δ
	par minute.	mètres.	lit^s/sec.	kgm.	watts.				
1	2270	10,50	6,14	65	2160	0,30	0,429	0,255	0,120
2	2280	16,0	4,48	71	1890	0,37	0,527	0,39	0,086
3	2270	19,0	3,14	60	1560	0,38	0,542	0,47	0,060
4	2360	20,0	2,07	41,4	1600	0,26	0,371	0,46	0,041
5	2360	21,50	0	0	750	0	0	0,49	0

Le rendement du moteur a été de $0^m,70$ environ, en marche normale.

3° *Pompe à cinq roues mobiles.* — Une pompe ayant cinq roues mobiles, à axe vertical, mue par moteur électrique à courant continu, a été fournie à une mine comme pompe de fonçage. Cette machine est représentée dans la figure 11. Des pompes analogues ont été construites aussi avec seulement deux et trois roues mobiles. Voici, dans le tableau ci-après, les résultats donnés par cette pompe dont les cinq roues, toutes pareilles, ont un diamètre de 270 millimètres. Les mesures ont été faites très soigneusement par M. Viennot, chargé des essais de recettes aux ateliers Sautter-Harlé.

Le graphique de la figure 15 traduit en courbes les résultats obtenus; on y constate que le rendement ρ_0 de l'ensemble du moteur et de la pompe atteint 60 p. 100 en marche normale, et que le rendement ρ de la pompe seule est voisin de 70 p. 100. Ces résultats vont se trouver confirmés par les essais d'une pompe à 7 roues mobiles. On voit encore dans le tableau qu'à la vitesse de 1365 tours par

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU V

Pompe à 5 roues D = 270 millimètres.

Essais des 18 et 23 octobre 1901

NUMÉROS d'ordre.	NOMBRE de tours. N	HAUTEUR totale utile en eau. H	DÉBIT Q	TRAVAIL utile. Tu	WATTS totaux dépensés aux bornes du moteur.	WATTS PERDUS AU MOTEUR électrique.	RENDEMENT MÉCANIQUE. TOTAL ρ_0	RENDEMENT MÉCANIQUE. POMPE ρ	COEFFICIENT manométrique. μ	COEFFICIENT de débit. δ
	par min.	mètres.	lits/sec.	kgm.	watts.	watts.				
1	1 480	108	16,3	1 760	34 800	4 570	0,496	0,570	0,484	0,043
2	1 340	86	0	0	13 400	2 130	0	0	0,469	0
3	1 380	93	6,8	632	21 000	3 430	0,295	0,352	0,479	0,019
4	1 350	90	15	1 350	26 300	3 630	0,504	0,584	0,485	0,043
5	1 380	94	22,2	2 082	35 600	4 740	0,575	0,663	0,484	0,062
6	1 365	86	30	2 580	42 400	5 740	0,596	0,689	0,452	0,085
7	1 280	75	32	2 400	38 600	4 950	0,610	0,700	0,449	0,097
8	1 430	102,5	12,85	1 310	30 000	4 180	0,430	0,485	0,493	0,035
9	1 178	52,5	37	1 943	34 900	4 450	0,546	0,626	0,372	0,121
10	1 140	26,5	50,5	1 339	36 800	4 760	0,356	0,409	0,196	0,171
11	1 136	16,5	52,8	870	37 200	4 810	0,229	0,263	0,125	0,180
12	1 212	73,5	0	0	12 190	3 099	0	0	0,494	0
13	1 215	75,5	6,15	461	16 500	3 270	0,274	0,343	0,494	0,0197
14	1 215	75,5	6	450	16 400	3 270	0,269	0,336	0,500	0,0192
15	1 212	75,5	14,4	1 085	22 800	3 610	0,466	0,554	0,500	0,0462
16	1 218	76,5	14,4	1 085	23 100	3 629	0,460	0,546	0,508	0,0462
17	1 204	70	25,8	1 815	30 900	4 220	0,576	0,667	0,468	0,0826
18	1 234	65,5	34,1	2 220	36 600	4 770	0,596	0,686	0,421	0,106
19	1 210	48	42,5	2 040	39 300	5 300	0,508	0,587	0,320	0,136
20	1 110	33,50	49,6	1 110	40 500	5 330	0,414	0,476	0,230	0,158
21	1 202	24,5	55,4	1 360	42 400	5 440	0,314	0,360	0,140	0,177
22	1 214	14	58,1	789	44 000	5 630	0,176	0,202	0,090	0,186
23	1 218	10,50	56,9	600	44 200	5 610	0,132	0,151	0,073	0,182
24	1 450	110,50	9,6	1 050	31 300	4 350	0,330	0,383	0,330	0,0257
25	1 450	103,50	22,6	2 320	44 000	5 730	0,520	0,598	0,484	0,0596
26	1 456	107	12,07	1 360	28 700	3 964	0,472	0,543	0,500	0,0340
27	1 425	103,5	28,2	2 920	48 100	6 170	0,592	0,675	0,505	0,077
28	1 430	107	10	1 070	28 100	3 887	0,382	0,443	0,320	0,0273

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

minute la hauteur d'élévation est de 86 mètres et le débit de 108 mètres cubes à l'heure; ce sont là à peu près les conditions de la marche normale.

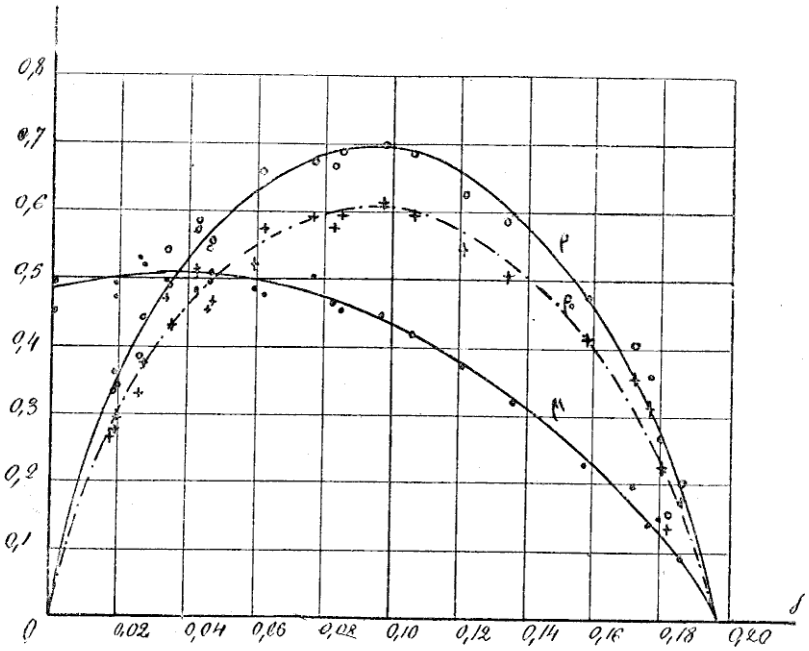


Fig. 15.

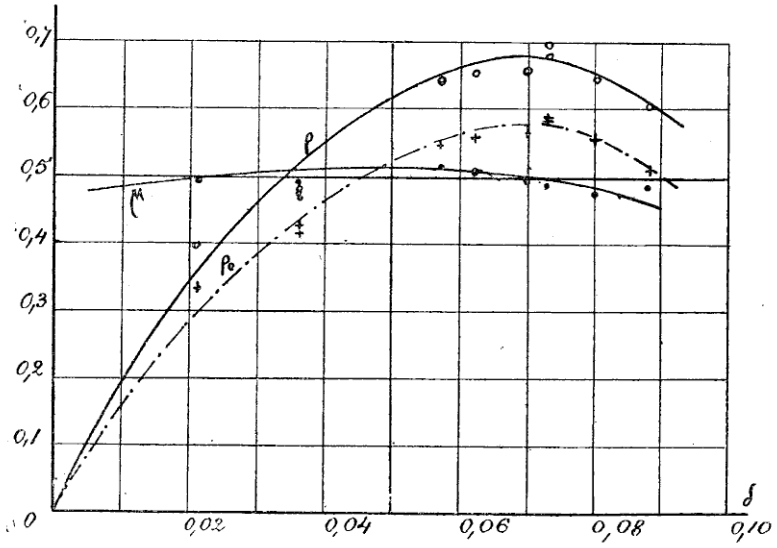


Fig. 16.

4° *Pompe à sept roues mobiles.* — Voici enfin les résultats relevés sur une pompe à sept roues mobiles, à axe horizontal, mue par moteur électrique à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

courant triphasé. L'ensemble de la pompe et du moteur est représenté en perspective dans la figure 10. Plusieurs pompes identiques ont été fournies à différentes mines pour des hauteurs comprises entre 100 et 125 mètres. L'une d'elles, notamment, fonctionne depuis plusieurs mois dans une mine du département du Gard, en donnant un débit de 75 mètres cubes à l'heure à la hauteur de 120 mètres, non compris les pertes de charge dans les conduites. Le diamètre des roues est aussi de 270 millimètres, comme dans le cas précédent.

Le graphique de la figure 16 montre clairement les courbes caractéristiques déduites des résultats donnés dans le tableau ci-après.

TABLEAU VI

Pompe à 7 roues, D = 270 millimètres.

Essais des 14 et 16 août 1901.

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMBRE de tours. N	HAUTEUR totale utile en eau. H	DÉBIT DE LA POMPE. Q	TRAVAIL UTILE. Tu	WATTS TOTAUX DÉPENSÉS aux bornes du moteur.	WATTS PERDUS au moteur électrique.	RENDEMENT MÉCANIQUE. Total. ρ_m	RENDEMENT MÉCANIQUE. Pompe seule. ρ	COEFFICIENT MANOMÉTRIQUE. μ	COEFFICIENT DE DÉBIT. δ
	par min.	mètres.	lit^s./sec.	kgm./sec.	watts.	watts.				
1	1 220	103,7	11,3	1 172	27 200	3 910	0,423	0,494	0,479	0,056
2	1 200	103,7	17,6	1 830	33 000	4 900	0,544	0,642	0,510	0,057
3	1 194	100,7	19,0	1 910	33 800	5 000	0,554	0,651	0,502	0,062
4	1 140	94,0	20,7	1 942	34 200	5 200	0,557	0,656	0,491	0,070
5	1 166	96,0	22,6	2 170	36 700	5 300	0,580	0,677	0,494	0,073
6	1 440	144,0	7,66	1 100	32 600	4 700	0,330	0,395	0,495	0,021
7	1 200	99,0	26,4	2 620	50 100	7 450	0,512	0,600	0,485	0,088
8	1 180	97,0	22,0	2 130	35 900	5 800	0,582	0,694	0,487	0,073
9	1 200	104,0	11,1	1 150	27 100	3 910	0,416	0,484	0,492	0,036
10	1 150	91,0	23,75	2 160	38 500	5 500	0,551	0,642	0,476	0,080

Le rendement mécanique maximum de l'ensemble a atteint près de 60 p. 100 comme précédemment, le moteur à courant triphasé ayant à peu près le même rendement que le moteur à courant continu de l'autre pompe. A la vitesse de 1 200 tours par minute, et en marche normale, le débit atteint 85 mètres cubes à l'heure, et la hauteur 100 mètres. En poussant la vitesse, on est arrivé à une hauteur de 144 mètres dans l'essai n° 6 et même jusqu'à plus de 150 mètres dans des expériences non relatées ici.

A titre d'indication, j'ajouterai que l'encombrement de cette pompe est le suivant : longueur $2^m,50$, largeur, $0^m,80$, et hauteur, $0^m,90$.

Remarque. — Il ne sera peut-être pas inutile de comparer les résultats que

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nous venons de rencontrer avec ceux qui ont été obtenus sur une pompe Schabaver, à une seule roue, d'un diamètre presque égal à celui des pompes précédentes, savoir 285 millimètres au lieu de 270. Rappelons ci-dessous les chiffres indiqués dans le rapport de M. Masson à la Société d'Encouragement (1).

TABLEAU VII.

Pompe Schabaver à 1 roue, D = 285 millimètres.

Essais des 4 et 5 septembre 1899.

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMBRE de TOURS. N	HAUTEUR TOTALE utile en eau. H	DÉBIT. Q	PUISSANCE MOTRICE NÉCESSAIRE sur le renvoi de mise en marche.	TRAVAIL UTILE. Tu	RENDEMENT de la POMPE. ρ	COEFFICIENT MANOMÉTRIQUE. μ	COEFFICIENT DE DÉBIT. δ
	par min.	mètres.	lit./sec.	chx-v.	chx-v.			
1	1 290	22	14,63	8,6	4,2	0,49	0,58	0.037
2	1 250	20	12,46	6,9	3,3	0.48	0,57	0,053
3	1 878	42	8,16	12,7	4,3	0,36	0,53	0,014
4	1 886	50	23,60	26,2	15,8	0,60	0,62	0,043
5	1 912	49	22,04	26,0	14,4	0,55	0.59	0,038
6	2 468	80	18,36	41,0	19,7	0,48	0,58	0,025
7	2 479	83	17,36	43,0	19,2	0,45	0,59	0,023
8	2 700	93	12,20	40,75	15,5	0,38	0,57	0,014
9	2 822	103	12,15	48,5	16,6	0,34	0,57	0,014

Le graphique de la figure 17 traduit ces résultats. On voit, par ce graphique et par le tableau, que le rendement maximum de cette pompe ne paraît pas dépasser 56 p. 100 (2) et que, pour donner une hauteur de 83 mètres par exemple, avec un débit de 62 mètres cubes à l'heure, analogue aux débits et hauteurs de nos pompes à 5 et 7 roues, il faut tourner à 2 500 tours par minute au lieu de 1 100 à 1 200; et le rendement mécanique de la pompe seule tombe, dans ces conditions, à une valeur inférieure à 48 p. 100.

Applications. — Il me semble superflu d'insister sur les applications possibles de ces pompes centrifuges multicellulaires. Elles peuvent évidemment se substituer avec avantage aux pompes à piston dans beaucoup de circonstances où actuellement on emploie celles-ci; notamment, comme pompes souterraines

(1) Je cite les chiffres de la pompe en question parce que ce sont les seuls qui ont été publiés, à ma connaissance, pour des hauteurs dépassant 50 mètres.

(2) Les points expérimentaux ne se rangent pas bien sur des courbes régulières. Nous avons tracé les courbes de manière à passer, le mieux possible, au milieu des différents points.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dans les mines et comme pompes de fonçage dans le creusement des puits. Nous en avons donné des exemples ci-dessus.

Comme pompes souterraines, si le puits de mine n'a pas plus de 200 à 300 mètres de profondeur, on peut faire l'élévation de l'eau d'un seul jet, avec une pompe unique. Dans le cas contraire, il convient de diviser la hauteur totale en plusieurs jets de 100 à 200 mètres. L'installation comprend alors une série de plusieurs pompes étagées dans le puits. Il existe une semblable disposition réalisée dans les mines de Horcajo, en Espagne, par la Maison Sulzer de Winterthur.

Disons cependant qu'il nous paraît possible, sous certaines conditions, d'at-

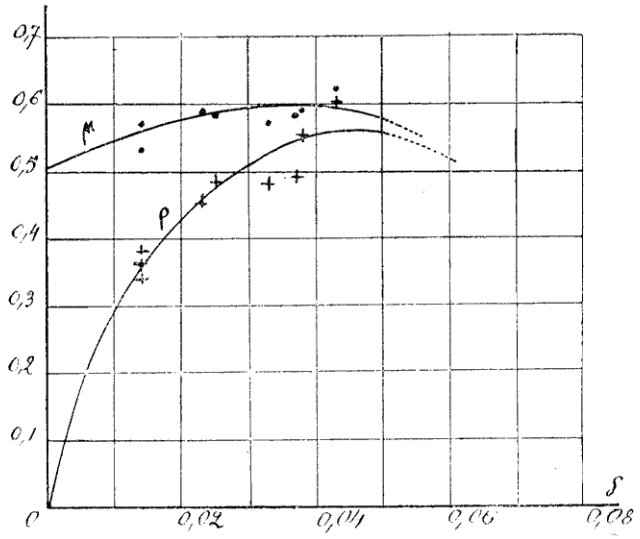


Fig. 17.

teindre 500 mètres et plus d'un seul jet, avec une pompe unique mue par un moteur électrique triphasé. Nous faisons en ce moment des projets pour de semblables hauteurs de refoulement.

Comme pompes de fonçage, les appareils centrifuges accouplés avec moteurs électriques (et mieux encore peut-être avec turbines à vapeur, nous allons le voir tout à l'heure) me paraissent préférables aux machines à piston à cause de leur faible encombrement, de leur faible poids et de la facilité avec laquelle on peut suspendre l'appareil au bout de chaînes. Quelques étais suffiraient pour maintenir la pompe en place. Il y aurait peut-être à craindre, dans cette application, que les matières sableuses en suspension dans l'eau occasionnent une usure rapide de la pompe. Mais, ainsi que je l'ai expliqué précédemment, je pense que

(1) *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 2 novembre 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

s'il n'y a pas trop de sable, l'inconvénient sera négligeable, et que, s'il devenait gênant, il serait facile de disposer dans la pompe des anneaux amovibles, facilement remplaçables, aux endroits où l'usure se produirait. De plus, on pourrait peut-être arrêter les grains de sable en tamisant l'eau avant l'entrée dans la pompe. Le tamis serait disposé de façon à pouvoir être aisément nettoyé.

Comparaison entre les pompes à piston et les pompes centrifuges. — Il est intéressant de comparer entre elles les pompes centrifuges et les pompes à piston; leurs propriétés ne sont pas les mêmes; et, à certains égards, elles se trouvent opposées.

Si l'on suppose la vitesse constante, ce qui est ordinairement le cas lorsque la machine est conduite par un moteur électrique, on sait que les pompes à piston produisent un débit constant à une hauteur qui peut être quelconque, tandis que les pompes centrifuges donnent une hauteur d'élévation sensiblement constante et un débit variable. Ainsi, par leur essence même, ces machines donnent, la première, un débit constant et une hauteur variable, et l'autre une hauteur constante et un débit variable. Il y a là, pour les pompes, l'opposition bien connue que M. Murgue a fait ressortir depuis longtemps pour les ventilateurs qu'il a appelés *volumogènes* et *déprimogènes*.

Or, dans la plupart des applications, la hauteur à produire est constante, tandis qu'au contraire on a besoin généralement de faire varier le débit. A ce point de vue, la pompe centrifuge est mieux adaptée que la pompe à piston. L'on peut, il est vrai, avoir des dispositions qui permettent de modifier le débit d'une pompe à piston; d'abord en faisant varier la vitesse du moteur, ensuite en donnant au piston de la pompe une course variable.

De même, s'il est nécessaire, l'on peut prendre des dispositions pour faire varier la hauteur d'élévation donnée par une pompe centrifuge. Cela est facile lorsque le moteur est à courant continu, car alors il suffit de modifier la vitesse de rotation, en agissant sur le courant d'excitation au moyen d'un rhéostat; la hauteur produite étant proportionnelle au carré de la vitesse, on obtient par ce moyen d'assez grandes différences de hauteur avec une variation relativement faible de la vitesse.

Mais il est des cas où il n'est pas possible de changer la vitesse autrement que dans des limites très étroites; par exemple lorsque le moteur, à courant triphasé, est alimenté par un réseau où la fréquence du courant est constante. Nous ne sommes pas pour cela désarmés. Nous pouvons obtenir une variation de hauteur par échelons, avec notre pompe multicellulaire, en enlevant des roues dans le corps de pompe. Cette solution est très bonne quand l'on a à déplacer l'appareil (ce qui se présente quelquefois) d'un étage d'une mine à un autre.

(1) *Bulletin de la Société de l'Industrie minérale*, 1873, 3e livraison; 1875, 4e livraison; 1880, 1re livraison.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ce déplacement ne se faisant qu'une fois ou quelques fois seulement dans le cours de l'existence de la pompe, il est très acceptable que l'on démonte la machine pour y enlever des roues ou pour en ajouter.

Si, au contraire, ayant besoin de faire varier fréquemment la hauteur d'élévation, comme dans le cas du fonçage d'un puits, l'on trouve que le démontage de la pompe est une sujétion inacceptable, nous avons une autre solution très commode qui consiste à mettre plusieurs tubulures de refoulement sur le corps de la pompe, autant qu'il y a de roues, s'il le faut. En raccordant le tuyau de refoulement à l'une ou à l'autre de ces tubulures, on obtient des hauteurs d'élévation différentes pour une vitesse constante de la pompe. L'on peut de cette manière faire varier la hauteur d'élévation progressivement depuis zéro jusqu'au maximum qui est obtenu avec la dernière tubulure de refoulement.

Nous avons dit que les pompes centrifuges donnaient un débit variable ; il faut cependant ne pas perdre de vue que, si l'on veut maintenir le rendement mécanique à un chiffre élevé, il convient de ne pas réduire par trop le débit au-dessous de sa valeur normale ou de ne pas l'augmenter beaucoup au delà de cette valeur. Quant à la manière dont on obtient le réglage du débit, c'est extrêmement simple. Il suffit de placer une vanne sur le tuyau de refoulement (par exemple à la sortie de la pompe) et de donner à la pompe une vitesse un peu supérieure à celle qui serait strictement nécessaire pour obtenir la hauteur d'élévation totale. Dès lors, en ouvrant plus ou moins la vanne, on a plus ou moins de débit.

On peut même fermer complètement la vanne tout en laissant la pompe continuer à tourner, cela n'occasionnera aucun inconvénient ; la pression donnée par la pompe sera un peu augmentée, mais extrêmement peu. Avec les pompes à piston, il n'en serait pas de même ; si on fermait brusquement le tuyau de refoulement, on risquerait d'amener la rupture d'un des organes de cette pompe.

Comme on le voit, les pompes centrifuges offrent une très grande souplesse de débit et de hauteur d'élévation. C'est là un très réel avantage.

D'autre part, rappelons que le rendement mécanique qu'elles offrent est très comparable à celui des pompes à piston. Si on compare entre eux ces engins pris isolément, le rendement mécanique des premières est sans doute un peu inférieur à celui des secondes. Mais si l'on tient compte de ce que la machine doit être accouplée à un moteur électrique, on voit que la pompe centrifuge regagne la différence parce qu'elle s'attelle directement, tandis que la pompe à piston exige un engrenage intermédiaire qui fait perdre une notable proportion de la force motrice. Ou bien, si on veut l'atteler directement au moteur, il faut ralentir beaucoup celui-ci en lui donnant des dimensions exorbitantes, ou accélérer la vitesse de la pompe au delà des limites habituelles, ce qui occasionne un abaissement considérable du rendement et est une cause de détérioration rapide des clapets.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Une autre propriété intéressante des pompes centrifuges, qu'il convient de signaler, consiste en ce fait que la force motrice qu'elles réclament *quand elles ne débitent pas*, même sous la hauteur de charge normale, est une petite fraction de la force motrice qui correspond au débit normal. Dès lors, le couple au démarrage est faible; ce qui est précieux pour l'accouplement avec certains moteurs électriques. Avec les pompes à piston, au contraire, le couple au démarrage est sensiblement le même que celui de la marche normale, à moins que l'on ne réduise temporairement la hauteur de refoulement par une soupape ou un robinet de décharge.

A ces divers avantages des pompes centrifuges, il faut ajouter encore ceux qui résultent d'une grande simplicité et d'une grande robustesse. Elles n'exigent que peu de surveillance, peu d'entretien et presque aucune dépense de graissage, puisque les seuls organes où il y ait à verser de l'huile de temps en temps sont les deux paliers de la dynamo.

POMPES AVEC TURBINES A VAPEUR

L'accouplement des pompes centrifuges avec les turbines à vapeur permet d'atteindre des résultats surprenants, ainsi qu'on va le constater par les expériences que je rapporte plus bas.

Nous avons combiné des groupes de pompes-turbines avec notre turbine à une ou deux roues symétriques et avec notre turbine multicellulaire pour grandes puissances.

J'ai déjà donné l'année dernière, dans mon Rapport au Congrès de mécanique appliquée, les dessins d'ensemble d'une petite pompe centrifuge montée sur le même arbre qu'une turbine à vapeur de 30 centimètres de diamètre.

Ce sont les résultats d'essais, vraiment remarquables, de cette petite pompe que je vais exposer. Ces essais ont été retardés par suite de diverses circonstances. Ils n'ont pu être faits que tout dernièrement. J'annonçais qu'il serait possible, avec cette machine, d'obtenir une hauteur de pression dépassant 200 mètres; en réalité, nous sommes parvenus jusqu'à 300 mètres et nous n'aurions pas eu de peine à aller encore plus loin, si nous n'avions craint de faire éclater les tuyaux de refoulement qui n'étaient prévus que pour une pression de 200 à 250 mètres.

Les figures 18, 19 et 20 représentent l'ensemble de la turbine à vapeur et de la pompe centrifuge attelée directement sur l'arbre de la turbine. Celle-ci est faite avec deux roues mobiles disposées en compound, c'est-à-dire que la vapeur les traverse successivement. Toutefois, pour les expériences, nous n'avons

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

utilisé que la première roue, après avoir enlevé la deuxième, afin de pouvoir évaluer aussi exactement que possible le rendement propre de la pompe. Nous avions, en effet, précédemment étudié très complètement à des vitesses variables une turbine à une roue (exactement pareille à celle qui conduisait la pompe)

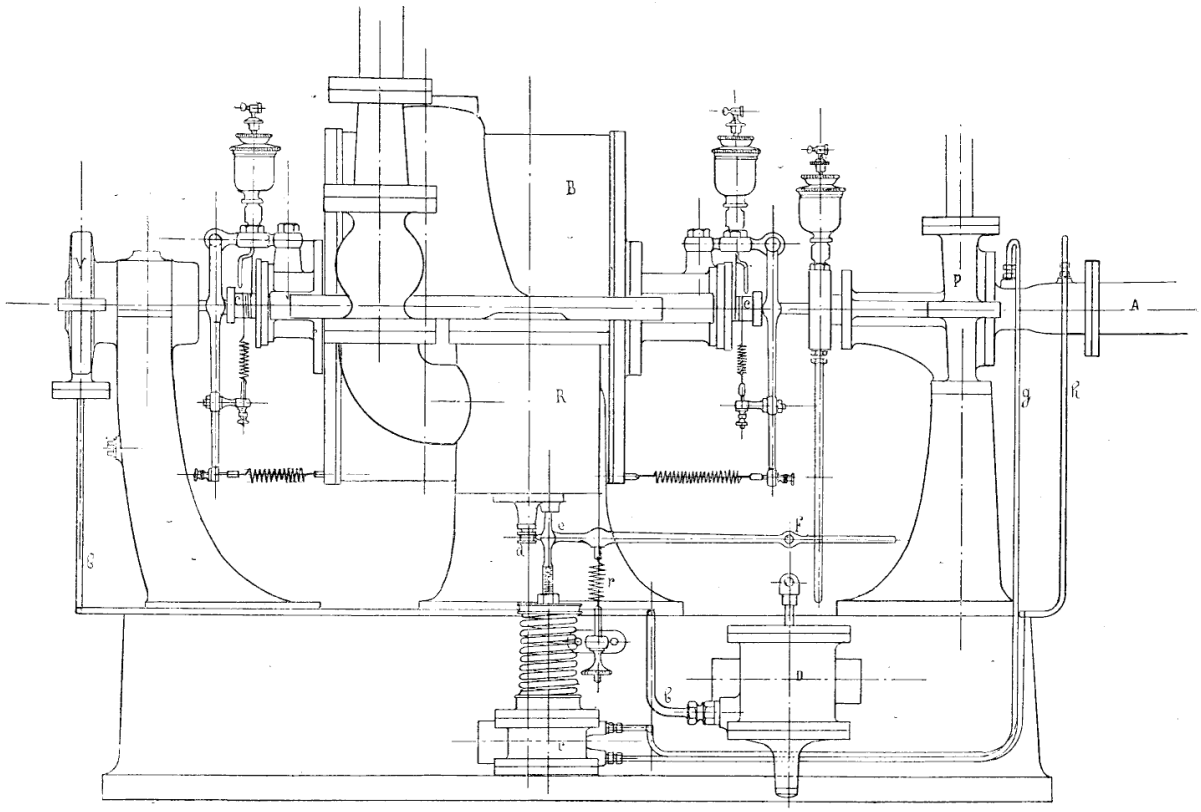


Fig. 18.

attelée à un dynamo à courant continu; nous pouvions donc savoir, avec une approximation suffisante, le rendement propre de la turbine à vapeur à une seule roue. Quelques-uns des résultats d'essais de la turbine-dynamo sont donnés dans mon Rapport au Congrès de mécanique.

La petite pompe se voit en P, figure 18 et 19; elle reçoit l'eau par le tuyau d'arrivée A et elle la refoule dans une tuyère conique à laquelle succède le tuyau

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'évacuation. La roue mobile de la pompe est semblable à celle des pompes à basse pression que la maison Sautter-Harlé construit habituellement, c'est-à-dire, aussi, analogue aux ventilateurs, système Rateau, que l'on connaît. Les ailes de la roue sont géométriquement définies par la surface que j'ai appelée « conicyclide ». Le diffuseur est du type composé comme dans mes ventilateurs, c'est-à-dire qu'il est formé d'une partie plate et d'une volute spiraloïde.

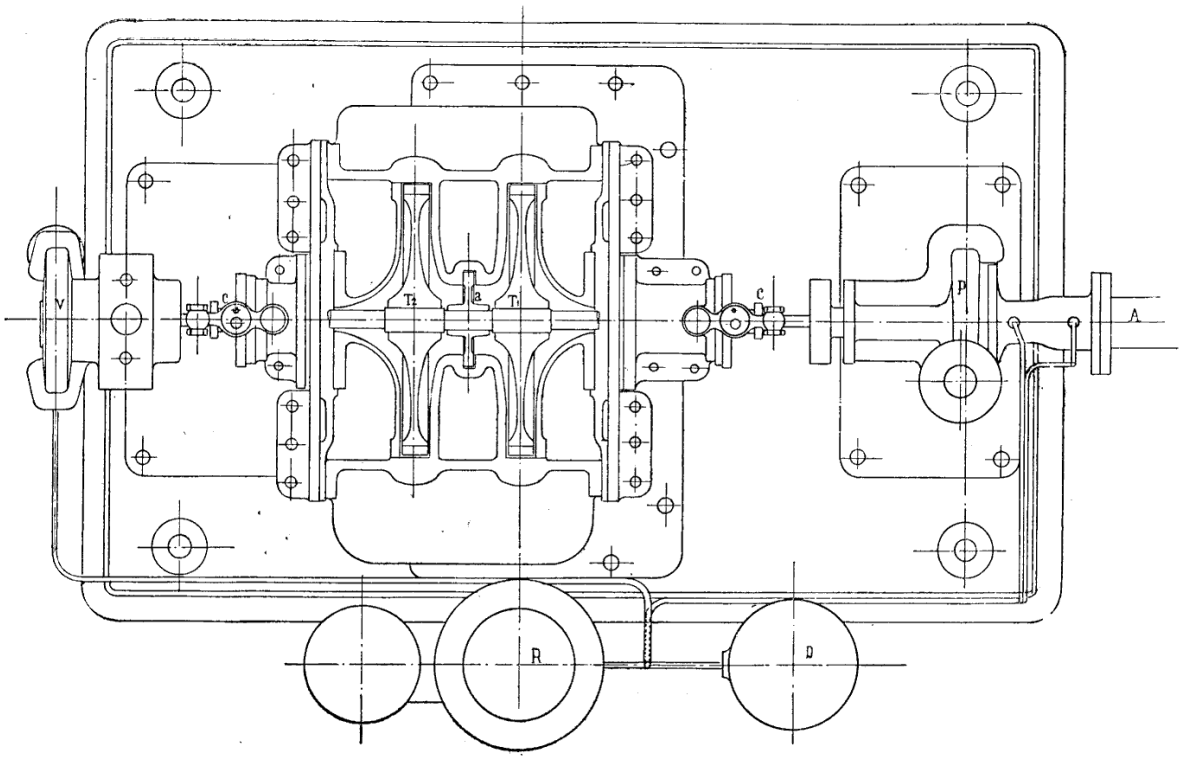


Fig. 19.

La roue mobile n'a que 8 centimètres de diamètre ; elle est représentée en coupe diamétrale, *dans sa vraie grandeur*, par la figure 21, l'ouïe a 36 millimètres de diamètre.

L'équilibrage des poussées longitudinales est, dans cette machine, de première importance, car on comprend que s'il subsistait seulement quelques dizaines de kilogrammes, cette poussée, à la vitesse de 15 000 à 18 000 tours par minute, aurait vite fait de mettre le palier de butée hors de service. Cet équili-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

brage est exécuté dans cette petite pompe d'après les procédés que j'ai indiqués à propos de la pompe multicellulaire, c'est-à-dire que nous avons donné aux joues de la roue mobile des diamètres différents, ainsi que cela se constate sur

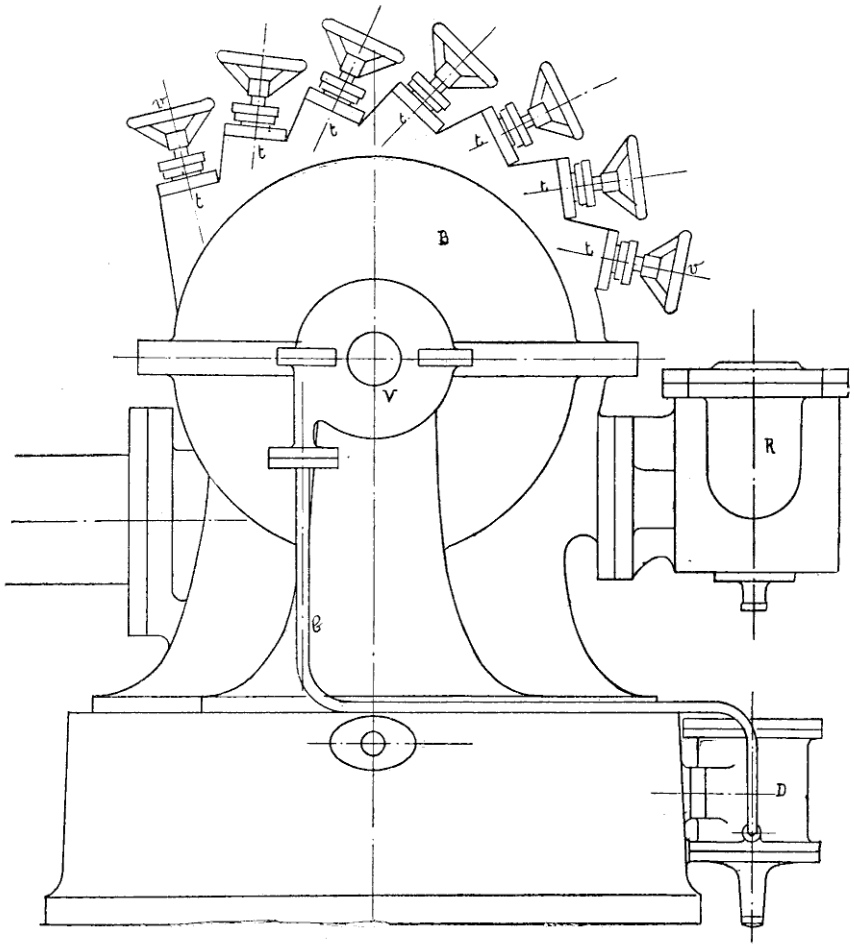


Fig. 20.

la coupe de la figure 21. Le diamètre du fond de la roue a pu être calculé *a priori* de telle manière que l'équilibrage était à peu près rigoureusement réalisé pour tous les débits et pour toutes les vitesses.

Réglage. — Le réglage de la vitesse est assuré d'une façon très particulière (1),

(1) J'ai cherché à éviter ici (comme pour le ventilateur) le régulateur centrifuge ordinaire, parce qu'il aurait fallu réduire la vitesse par un engrenage, ce qui eût été peu élégant.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

analogue à ce que j'ai déjà indiqué pour le ventilateur à haute pression, mais cependant d'une manière plus complète. Le dispositif de réglage est représenté dans la figure 22. Il permet de contrôler simultanément le débit de la pompe et la vitesse de rotation de la turbine.

La tige E de l'obturateur est placée sous la dépendance d'un levier ABC, dont le point B est attaché au piston hydraulique F et dont le pont C est articulé

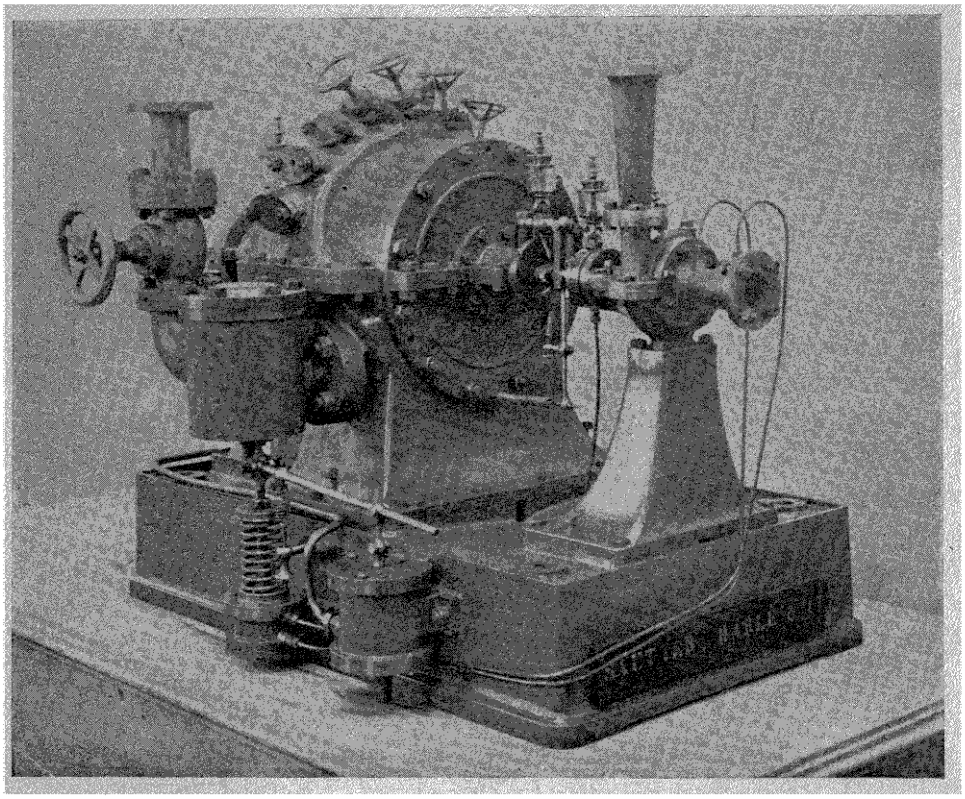


Fig. 20 *bis*.

à la tige du piston à air I. Le piston F se meut dans le cylindre M dont le fond inférieur est mis en communication avec le trou H percé dans le tuyau d'aspiration de la pompe, immédiatement avant l'ouïe, et dont le fond supérieur est relié à un tube de Pitot G disposé à l'intérieur du tuyau d'aspiration. Dans ces conditions, le piston F reçoit de bas en haut une poussée proportionnelle au carré de la vitesse de l'eau dans l'ouïe de la pompe, c'est-à-dire, par conséquent, au carré du débit. Cette poussée est équilibrée par un ressort R dont on peut faire varier la tension en tournant plus ou moins l'écrou supérieur autour de la tige du piston, filetée à cet effet.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le piston I se meut dans un cylindre N dont la partie inférieure est mise en communication avec un petit ventilateur centrifuge auxiliaire (voir figures 18 et 19), disposé au bout de l'arbre de la machine. Ce ventilateur exerce une pression d'air proportionnelle au carré de la vitesse, pression qui est équilibrée par le poids propre du piston, d'une part, et par le petit ressort que l'on voit attaché au point D du levier ABC, figure 22, d'autre part. Ce ventilateur et le piston I servent ordinairement de limiteur de vitesse pour la turbine en cas d'emballe-

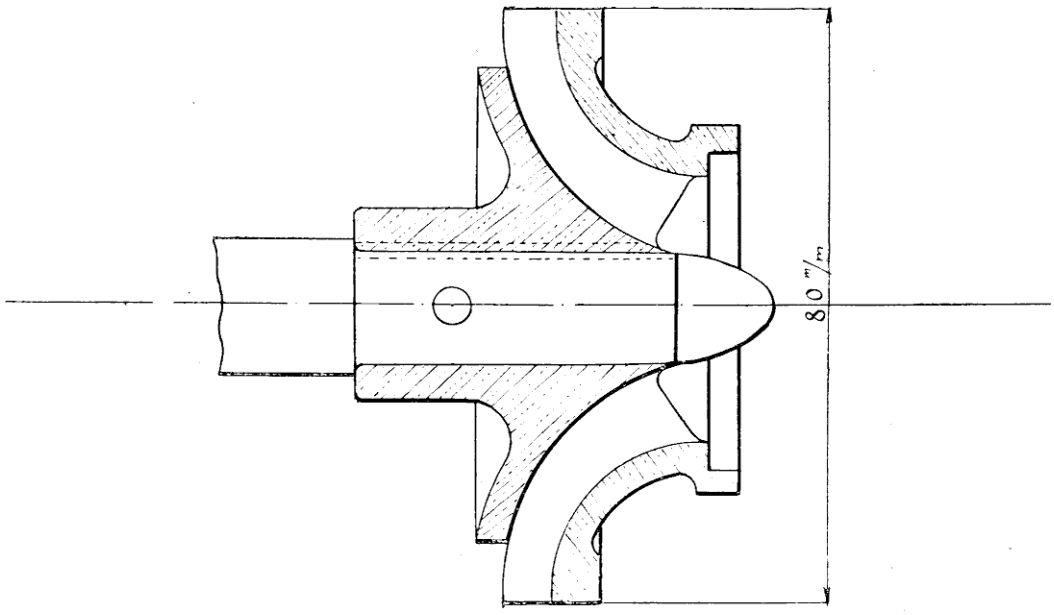


Fig. 21.

ment. Mais ils peuvent servir aussi pour assurer la constance de la vitesse, si on le désire.

Lorsque c'est le réglage du débit qui fonctionne, le piston I est en bas de sa course et le point C du levier sert de point de rotation; c'est alors le piston F qui, en montant ou en descendant, ouvre ou ferme l'obturateur de la vapeur. Si, au contraire, c'est le réglage de la vitesse qui agit, le piston F est en bas de sa course, le point B sert de point fixe pour la rotation du levier ABC, et c'est le piston I qui, par son déplacement dans le cylindre, effectue la fermeture ou l'ouverture de l'obturateur.

Ce procédé de réglage fonctionne très bien, car les efforts que les pistons I et F exercent de bas en haut sont considérables. Pour le piston F, cet effort

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dépasse 10 kilogrammes, et, pour le piston I, la poussée est d'environ 6 kilogrammes, on l'élèverait aisément à beaucoup plus que cela s'il était nécessaire.

Résultats d'experiences. — Nous avons fait sur cette machine un grand nombre d'expériences, de manière à relever les courbes caractéristiques à des vitesses croissantes depuis 9 000 tours jusqu'à 18 000 tours par minute.

La petite pompe jetait l'eau dans une caisse jaugée où on pouvait mesurer le

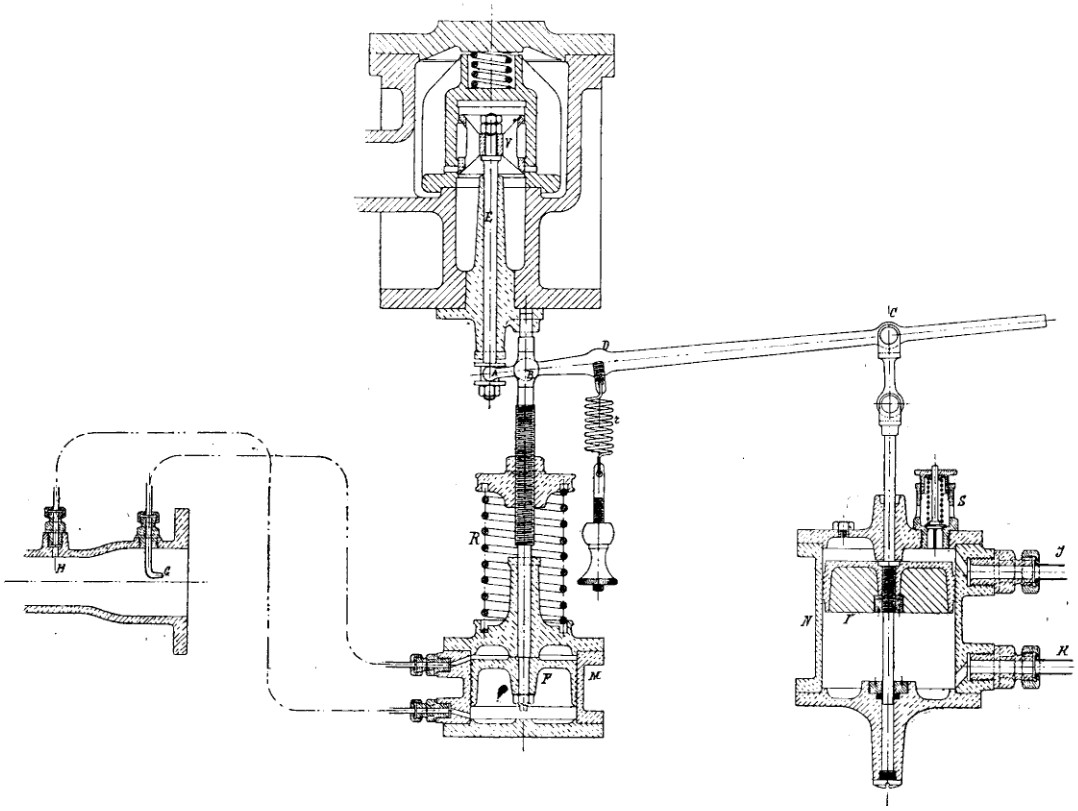


Fig. 22.

débit. Mais, pour éviter de faire cette mesure chaque fois au moyen de la caisse, nous avions placé à la sortie du tuyau un ajutage conique convergent (d'un diamètre final de 23 millimètres exactement) et un manomètre sur le tuyau un peu avant l'ajutage. La pression lue sur ce manomètre permettait de calculer le débit après avoir fait un tarage préalable de l'ajutage par jaugeage direct, à plusieurs reprises, dans la caisse.

Sur le tuyau de refoulement, à 1 mètre environ de la pompe, et à une dizaine de mètres avant l'ajutage de sortie, était disposé un robinet permettant de faire varier le débit. C'est à ce robinet que la forte pression produite par la pompe était en grande partie consommée.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Des manomètres métalliques étalons étaient placés sur le tuyau d'aspiration et sur le tuyau de refoulement de manière à avoir, par la différence des pressions absolues, la hauteur d'élévation utile H réellement donnée par la machine.

La vitesse de la turbine était réduite au trentième par une vis sans fin placée au bout de l'arbre en vue de compter les tours une fois le régime établi; on y avait installé aussi un tachymètre Buss permettant de se rendre compte à chaque instant de la vitesse. La mesure de la puissance de la turbine s'exécutait comme je l'ai expliqué à propos du ventilateur à haute pression; nous ouvrions une, deux ou trois tuyères suivant le besoin et nous mesurions, par des manomètres appropriés, la pression absolue P de la vapeur à l'amont des tuyères, et la pression absolue p à l'aval de la turbine.

Ainsi, chaque expérience consistait à relever, après avoir mis la machine en régime permanent :

1° Les deux pressions manométriques à l'amont et à l'aval de la pompe;

2° La pression manométrique h sur l'ajutage de sortie du tuyau de refoulement;

3° Le nombre de tours n de la machine;

4° Les pressions P et p à l'amont et à l'aval de la turbine à vapeur.

Et, pour plusieurs des essais, nous avons fait un jaugeage direct du débit, de manière à connaître le coefficient de dépense de l'ajutage à eau.

Les résultats d'expériences sont résumés dans le tableau page 768.

Nous constatons, d'après ces chiffres, que cette petite pompe, n'ayant que 8 centimètres de diamètre de roue, a pu produire, à 18 000 tours par minute, une hauteur de pression s'élevant jusqu'à 300 mètres pour un débit réduit, et une hauteur de 263 mètres avec le débit normal de 12 litres par seconde. Le travail utile en eau élevée atteint alors plus de 40 chevaux. Ce sont là, assurément, des résultats très remarquables.

Quel est, maintenant, le rendement mécanique de cette petite machine?

Nous pouvons avoir facilement le rendement total de l'ensemble de la pompe et de la turbine à vapeur, car nous savons calculer, d'après les méthodes déjà indiquées précédemment, la puissance théoriquement disponible dans le courant de vapeur qui traverse la turbine en tombant de la pression absolue P à la pression absolue p. Le tableau p. 768 contient précisément une colonne où est inscrite la puissance théorique calculée T_t. En faisant le rapport de T_u à T_t, on a le rendement mécanique total ρ_0.

Si, sur un graphique, nous portons ce rendement total en ordonnée avec le coefficient de débit δ en abscisse, nous avons, figure 23, les courbes caractéristiques de ce rendement à diverses vitesses. On voit que le rendement croît avec la vitesse. Cela, en effet, doit être ainsi, car la turbine n'atteint son rendement maximum que bien au delà de 18 000 tours par minute. A cette vitesse de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU VIII

Turbine-pompe D = 80 millimètres.
Essais de novembre 1901.

NUMÉROS D'ORDRE.	NOMBRE de TOURS. N	PRESSION AMONT dans la turbine. P	PRESSION AVAL dans la turbine. p	NOMBRE DE TUYÈRES ouvertes. n	HAUTEUR totale uti e. Hu	DÉBIT Q	TRAVAIL UTILE de la pompe. Tu	TRAVAIL THÉORIQUE de la turbo-pompe. Tt	RENDEMENT TOTAL ρ_o	COEFFICIENT MANO-MÉTRIQUE. μ	COEFFICIENT de DÉBIT. δ
	par minute	kgs/cm².	kgs/cm².		mètres.	lits/sec.	chevaux.	chevaux.			
1	9 000	2,3	0,31	1	80	0	0	9,35	0	0,551	0
2	»	3,25	0,29	1	78	2,24	2,34	15,70	0,149	0,540	0,0371
3	»	4,1	0,30	»	74,5	3,9	3,89	20,85	0,186	0,515	0,0649
4	»	4,25	0,37	»	74	3,86	3,82	20,80	0,183	0,513	0,064
5	»	4,5	0,30	»	71	4,69	4,44	24,10	0,184	0,490	0,0727
6	»	5,2	0,37	»	62,5	6,10	5,10	27,2	0,188	0,432	0,102
7	»	5,3	0,30	»	64	6,51	5,56	30	0,185	0,442	0,108
8	»	6	0,37	»	57	7,60	5,80	33,10	0,175	0,394	0,126
9	»	6,65	0,37	»	46,5	9,57	5,92	37,8	0,157	0,326	0,161
10	»	5,6	0,37	»	46	8,72	5,35	30,2	0,177	0,320	0,144
11	»	6,1	0, 9	»	32,5	11,4	4,95	33,3	0,148	0,226	0,189
12	12 000	3,5	0,285	2	124	3,90	6,44	34,8	0,185	0,482	0,0485
13	»	3,7	0,283	»	124	4,87	8,07	37,4	0,216	0,482	0,0605
14	»	4,9	0,31	»	116	7,60	11,8	53,5	0,222	0,450	0,0945
15	»	5,05	0,34	»	104	8,63	11,9	55,75	0,214	0,405	0,107
16	»	1,9	0,31	»	129	0	0	»	0	0,503	0
17	»	6,0	0,51	»	57	14,35	10,95	59,5	0,184	0,222	0,178
18	»	5,1	0,47	»	91,5	9,84	12,10	49	»	»	»
19	15 300	2,9	0,32	2	222,5	0	0	25,4	0	0,530	0
20	15 000	4,05	0,37	»	208,50	3,06	8,55	38,6	0,212	0,515	0,0298
21	»	5,4	0,50	»	194	4,73	12,20	51,5	0,238	0,492	0,046
22	»	6,5	0,51	»	205	6,10	16,7	66,5	0,251	0,515	0,0610
23	»	6,9	0,52	»	195	6,80	18,5	72,5	0,255	0,492	0,0712
24	»	7,2	0,53	»	190	8,23	20,8	75,55	0,275	0,480	0,0822
25	»	8,35	0,55	»	180	10,36	24,8	92	0,270	0,454	0,133
26	»	9,4	0,65	»	151	13,4	27	102	0,264	0,380	0,144
27	»	5	0,44	»	196,5	3,85	10,12	49,2	0,226	0,486	0,0384
28	»	6,25	0,52	»	188	5,83	14,60	62,5	0,234	0,468	0,058
29	»	7,55	0,60	»	166	9,6	21,30	77,5	0,274	0,412	0,0955
30	»	8,8	0,68	»	149	12,52	25	91,2	0,272	0,370	0,125
31	»	9,65	0,73	»	121	15,4	24,9	101	0,248	0,300	0,153
32	»	10	0,77	»	104	16,72	23,2	103	0,255	0,253	0,166
33	»	5,5	0,50	»	187	5,37	13,4	54	0,248	0,467	0,0535
34	»	4,7	0,41	»	200	3,46	9,22	46	0,20	0,496	0,0344
35	»	7,4	0,63	»	166	9,5	21,0	76	0,275	0,412	0,0945
36	18 000	6,20	0,70	3	304	5,20	21,10	83	0,255	0,532	0,0432
37	»	7,4	0,80	»	300	7	28,0	101,2	0,277	0,522	0,0585
38	»	8,2	0,85	»	290	8,92	34,6	115	0,301	0,508	0,0742
39	»	9,6	1,0	»	263	12	42,1	134	0,313	0,460	0,100
40	»	8,2	0,75	2	286	5,33	20,3	80,10	0,254	0,393	0,0442

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

18 000 tours, le rendement total ρ_0 de l'ensemble de la pompe et de la turbine atteint 31,5 p. 100, la turbine échappant à la pression atmosphérique C'est un fort joli résultat pour une si petite machine. Quant au rendement de la pompe seule, il est sensiblement indépendant de la vitesse.

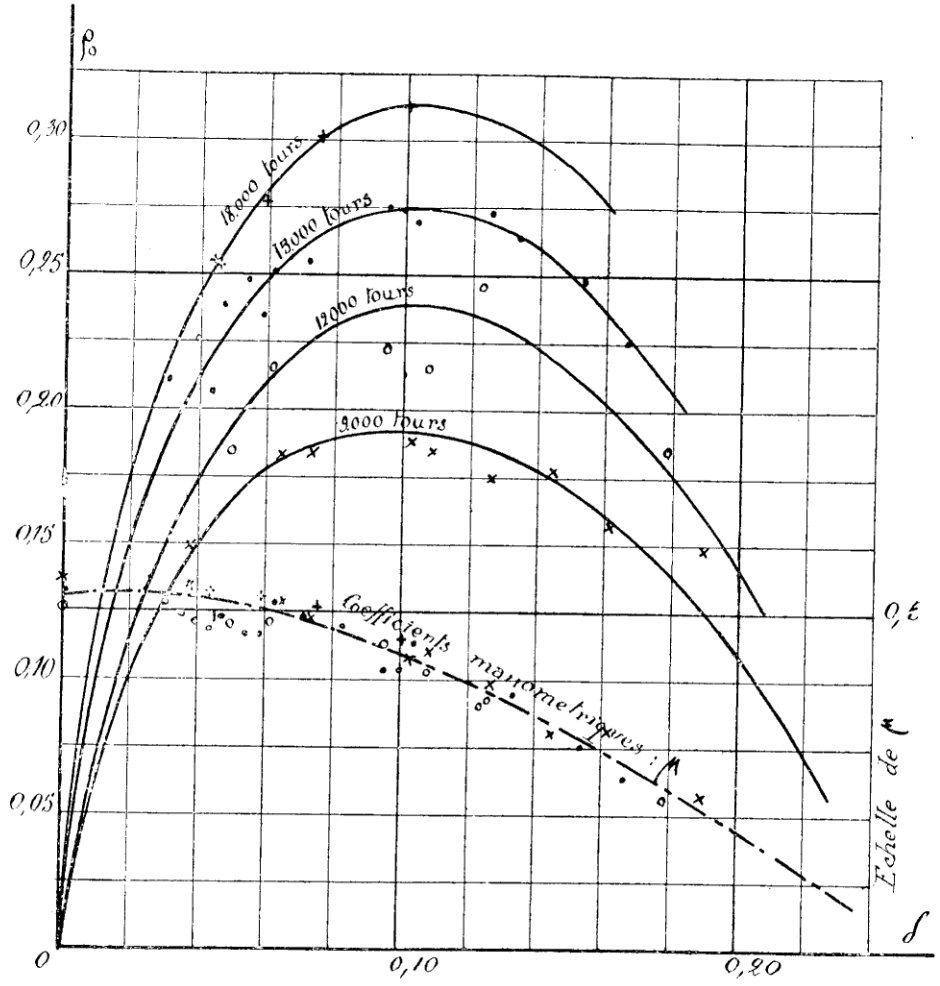


Fig. 23.

Nous obtiendrons ce rendement maximum ρ_m de la pompe, si nous connaissons le rendement propre de la turbine. Or, on peut déduire ce dernier d'expériences antérieures très nombreuses que nous avons faites sur une turbine de même diamètre faisant mouvoir une machine électrique à courant continu et dont nous avons publié quelques résultats dans notre Rapport sur les turbines à vapeur au Congrès de mécanique appliquée en 1900. En tenant compte de ce ren-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dement qui dépend non seulement de la vitesse de rotation, mais encore du rapport $\frac{P}{p}$ de la pression d'amont à la pression d'aval, on obtient les chiffres inscrits dans le tableau ci-après :

Nombre de tours par minute	$n =$	9 000	12 000	15 000	18 000
Rendement mécanique total maximum	$\varepsilon_m =$	0,19	0,24	0,275	0,31
Rendement mécanique de la turbine seule.	$\varepsilon' =$	0,31	0,40	0,47	0,52
Rendement mécanique maximum de la pompe seule	$\varepsilon_m =$	0,61	0,60	0,585	0,595

On voit par là que, malgré son très petit diamètre, cette pompe à haute pression a un bon rendement mécanique, certainement voisin de 0,60. Il n'est pas douteux qu'une pompe de plus grandes dimensions donnerait un rendement supérieur à 0,65.

La hauteur d'élévation n'a pas dépassé, dans nos expériences, 304 mètres. Nous n'avons pas cherché à aller plus loin parce que nous n'avions prévu la résistance des pièces de la pompe et des tuyaux de refoulement que pour 200 à 250 mètres seulement et parce que la turbine à vapeur n'était pas faite pour une vitesse dépassant de beaucoup 15 000 tours par minute. Il n'y aurait pas de difficulté, je pense, à prendre une roue de plus grand diamètre et à pousser la pression au delà de 300 mètres. En sorte que l'on peut prévoir qu'une petite pompe ayant, par exemple, 120 millimètres de diamètre à la roue mobile et tournant à 15 000 tours par minute, donnerait plus de 400 mètres de hauteur d'élévation avec un débit normal de 20 litres par seconde, soit une puissance utile de plus de 100 chevaux.

Et, en associant deux, trois ou quatre de ces pompes en tension, soit par des tuyaux allant de l'une à l'autre, soit mieux sous la forme d'une pompe multicellulaire, il serait aisé de produire une pression permettant de refouler l'eau à une hauteur de 500, 750, 1 000 mètres et plus. Il n'y a donc pas de pression, dans les limites ordinaires de la pratique (les pompes d'accumulateurs exceptées) qu'on ne puisse produire avec les pompes centrifuges comme avec les pompes à piston. Nous sommes loin, on le voit, de l'opinion encore récente que les pompes centrifuges étaient impuissantes à dépasser une hauteur de 10 à 15 mètres, avec un bon rendement mécanique.

Applications. — Les applications de pareilles pompes centrifuges à haute pression, mues par turbines à vapeur, peuvent être très nombreuses. Elles offriraient des avantages de premier ordre qui peuvent se résumer comme suit :

Installation peu coûteuse ;

Encombrement extrêmement réduit ;

Très grande légèreté ;

Conduite et entretien des plus faciles, très peu de dépense d'huile de graissage.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Comme applications principales, je citerai leur emploi :

Comme pompes de fond à vapeur, dans les mines ; pompes de fonçage ; appareils de secours en cas de venue d'eau imprévue, etc. ;

Comme pompes à incendie ;

Aussi comme pompes pour l'alimentation des chaudières ; ou pour l'élévation des eaux de ville, etc., etc.

En un mot, chaque fois qu'il s'agit de pressions supérieures à 4 ou 5 kilogrammes par centimètre carré ou de hauteurs supérieures à 40 ou 50 mètres. Pour des hauteurs plus petites, l'attaque directe ne serait plus convenable à moins de consentir un abaissement du rendement mécanique. On peut alors,

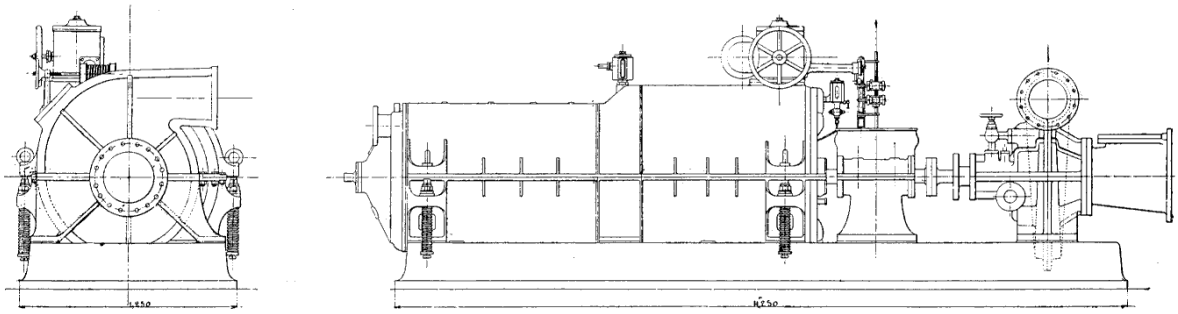


Fig. 24.

dans ce cas, recourir à une réduction de vitesse par engrenage, ainsi que l'a déjà fait M. de Laval avec ses turbines à vapeur.

La figure 24 représente une pompe centrifuge accouplée directement à une turbine à vapeur à roues multiples de notre système. Cette machine a été étudiée pour un refouleur de déblai. Elle doit fournir un débit de 450 litres par seconde à une pression de 85 mètres, c'est-à-dire une puissance utile de plus de 500 chevaux. La vitesse de rotation serait d'environ 1 800 tours par minute.

Une semblable machine conviendrait admirablement bien pour l'élévation d'eau de ville.

J'estime que la pompe aura un rendement mécanique de 70 p. 100. Quant à la turbine à vapeur, son rendement est de 65 p. 100. D'où un rendement total de $0{,}70 \times 0{,}65 = 0{,}455$, soit 45 p. 100. Avec une pression de vapeur de 10 kilogrammes par centimètre carré et un vide au condenseur de 70 centimètres de mercure, on produirait le cheval utile en eau élevée avec une consommation de vapeur de $\frac{3{,}9}{0{,}45} = 8^{kg},65$ à l'heure. Les ensembles de pompes à piston et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

moteurs à piston à double ou triple expansion ne donnent pas des résultats beaucoup meilleurs.

CONCLUSION

En résumé, nous voyons que nous avons aujourd'hui, grâce aux turbines à vapeur, le moyen de produire des pressions de *5 à 6 mètres* d'eau avec des ventilateurs centrifuges prenant l'air à la pression atmosphérique, ainsi que des hauteurs d'élévation de *200 à 300 mètres*, avec des pompes centrifuges, et cela avec une seule roue mobile, *dans de bonnes conditions de rendement mécanique*. Que l'on associe deux, trois, quatre roues en tension et il n'y a pas de difficulté à obtenir des pressions d'air de $1^{kg},26$, $2^{kg},5$, 4 kilogrammes par centimètre carré, ou des pressions d'eau de 500, 750, 1 000 mètres, etc.

D'un autre côté, par l'accouplement direct avec des moteurs électriques, si, pour maintenir le rendement mécanique à une valeur raisonnable, on ne peut guère dépasser 50 centimètres d'eau avec une seule roue de ventilateur, ou 30 mètres de hauteur d'élévation avec une seule roue de pompe centrifuge, il est aisé, en associant plusieurs roues mobiles en tension sur le même arbre dans un seul corps de pompe (jusqu'à 10, 12 et même davantage s'il le faut), d'atteindre des chiffres beaucoup plus forts, en proportion du nombre des roues en tension.

Sans doute, ces appareils à force centrifuge n'ont pas un rendement mécanique aussi élevé que celui des machines à piston bien établies. Cependant, outre que la différence n'est pas aussi grande qu'on serait tenté de le croire (on le constate par les expériences qui ont été relatées précédemment), ils rachètent cette infériorité, si infériorité il y a, par des qualités importantes : prix d'établissement moins élevé, faible encombrement, facilités de mise en marche et d'entretien, peu de chances d'avarie, fondations peu importantes, enfin surveillance réduite au minimum. Dans beaucoup de cas, quand on les connaîtra mieux, ils sont appelés, j'en suis convaincu, à rendre de bons services.

En terminant, qu'il me soit permis d'exprimer mes remerciements d'abord à MM. Sautter-Harlé qui ont fait avec moi les frais de la construction et des essais des appareils dont je viens de parler, ensuite à M. Jean Rey, ingénieur en chef, dont la collaboration constante m'a été si précieuse dans ces études théoriques et pratiques, et enfin aux ingénieurs des ateliers qui ont apporté tous leurs soins aux études et aux expériences.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MÉTALLURGIE

LES ALLIAGES D'ALUMINIUM ET DE MAGNÉSIUM, PAR **M. O. Boudouard.**

Dès 1866, Wœhler (1) avait essayé de préparer les alliages d'aluminium et de magnésium en fondant les deux métaux sous le chlorure de sodium ; il avait ainsi obtenu des mélanges renfermant une combinaison définie insoluble dans le chlorhydrate d'ammoniaque et la soude froide, et se présentant sous la forme d'une poudre métallique blanc d'étain, très brillante ; mais il n'avait pu y reconnaître une cristallisation bien nette.

Parkinson (2) a obtenu un produit renfermant 25 p. 100 de magnésium, en fondant les métaux dans un creuset brasqué avec de la magnésie pure et fraîche. D'une façon générale, l'introduction du magnésium dans un alliage a pour résultat une extrême fragilité.

Plus récemment, M. Mach a préparé un alliage d'aluminium contenant 10 à 12 p. 100 de magnésium, plus léger que l'aluminium, d'une couleur semblable à celle de l'argent, pouvant être tourné, percé, taraudé.

Je me suis proposé d'étudier les alliages d'aluminium et de magnésium, en utilisant les nouvelles méthodes d'investigation scientifique introduites dans la science pour déterminer la constitution chimique des alliages. Parmi les propriétés physiques qui semblent devoir conduire à des résultats précis sur cette constitution chimique des alliages, les principales sont la structure cristalline, la conductibilité, la face électromotrice de dissolution, la fusibilité.

ÉTUDE DE LA FUSIBILITÉ DES ALLIAGES D'ALUMINIUM ET DE MAGNÉSIUM

Les points de fusion de l'aluminium et de magnésium étant relativement peu élevés, tous les essais ont été faits dans des tubes en verre vert, en présence de gaz d'éclairage, ou mieux d'hydrogène, afin d'éviter l'altération des métaux. Chaque essai portait sur 10 grammes de matière. La mesure des températures s'effectuait au moyen du couple thermo-électrique de M. Le Chatelier. Pour protéger le couple contre l'action destructive des métaux fondus, on l'introduit dans un tube de verre de quelques millimètres de diamètre fermé d'un bout, après

(1) *Annalen Ch. Pharm.*, t. 138, p. 253.
(2) *Chemical Society* (2), t. 5, p. 117.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

avoir isolé les fils de platine et de platine rhodié d'une façon convenable à l'aide d'un fil d'amiante. Le galvanomètre employé était le galvanomètre à microscope, modèle Carpentier.

Pour déterminer la température exacte de solidification, on amène le mélange



Fig. 1.

des deux métaux à une température supérieure à celle de fusion, puis on laisse refroidir : on suit le déplacement du réticule au moyen d'un compteur à secondes, en notant le temps mis par ce réticule pour passer d'une division à celle immé-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

diatement inférieure; dans le tableau ainsi établi, on cherche la division du micromètre correspondant au plus grand intervalle de temps.

Voir les résultats obtenus :

Al p. 100 (en poids).	Mg p. 100 (en poids).	Températures.	Al p. 100 (en poids).	Mg p. 100 (en poids).	Températures.
100	»	650°	35	65	455°
90	10	585	30	70	424
80	20	530	25	75	356
70	30	432	20	80	432
60	40	450	15	85	432
50	50	462	10	90	437°,5
45	55	445	5	95	595
40	60	450	»	100	635

Si l'on construit la courbe (fig. 1), en portant en abscisses les proportions en poids d'aluminium et en ordonnées les températures, on remarque que cette courbe présente deux maxima (455° et 462°) et trois minima (356°, 445° et 432°); entre les proportions de 10 et 20 p. 100 d'aluminium, la portion de courbe est sensiblement parallèle à l'axe des abscisses. Les deux points maxima mettent en évidence l'existence de deux combinaisons définies d'aluminium et de magnésium :

$$Al\,Mg^2 \quad \text{et} \quad Al\,Mg.$$

Au cours de cette étude de la fusibilité des alliages d'aluminium et de magnésium, j'ai recueilli des données sur leurs propriétés mécaniques. Au point de vue de la malléabilité, les alliages contenant, dans des proportions variant de 0 à 15 p. 100, soit de l'aluminium, soit du magnésium, pourraient seuls devenir intéressants. Si nous partons de l'aluminium pur, et si nous y introduisons des quantités croissantes de magnésium, la fragilité augmente progressivement pour devenir maxima pour les proportions suivantes : 50 Al, 50 Mg; cet alliage se brise entre les doigts et peut être pulvérisé au mortier de porcelaine. Puis, si nous augmentons la proportion de magnésium, introduit jusqu'à revenir au magnésium pur, la fragilité diminue elle-même progressivement. Ces données s'accordent avec l'observation générale donnée par Parkinson.

ÉTUDE MICROSCOPIQUE DES ALLIAGES D'ALUMINIUM ET DE MAGNÉSIUM

Pour éviter de préparer un grand nombre d'alliages de compositions différentes, j'ai essayé d'appliquer à l'aluminium et au magnésium la méthode de superposition des métaux préconisée par M. Le Chatelier (1) pour les alliages cuivre-aluminium et cuivre-zinc. Aux difficultés inhérentes à la méthode elle-

(1) *Bull. Soc. Encouragement*, septembre 1900.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

même (formation d'une couche d'oxyde à la surface des métaux), s'en ajoute une nouvelle due à la facilité avec laquelle le magnésium brûle à l'air. Quoique j'aie tenté bien des fois de fondre les deux métaux sous le chlorure de sodium, sous un mélange à poids égaux de chlorure de sodium et de potassium, sous le charbon, soit simultanément, soit successivement, je n'ai eu que des résultats peu satisfaisants.

En employant 5 grammes de chaque métal, et variant autant qu'il était possible le procédé opératoire, je n'obtenais jamais que des culots de 6 à 7 grammes. De plus, si la partie inférieure du culot métallique était très compacte, la partie

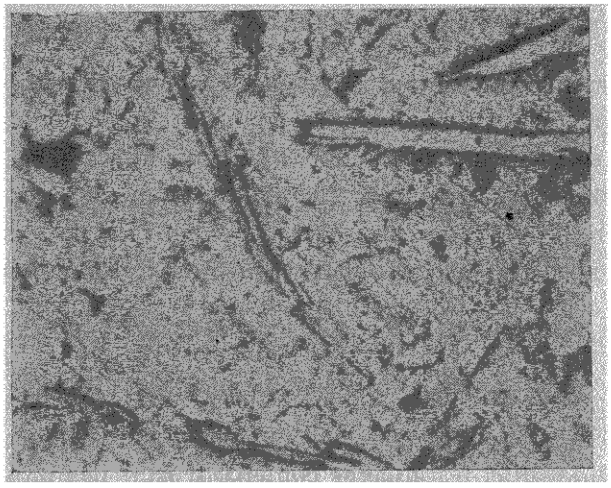


Fig. 2. — Al^4Mg (polissage en bas-relief). Grossissement : 125.

supérieure, au contraire, était excessivement cassante, même entre les doigts (nous verrons plus loin que la combinaison Al Mg est excessivement fragile).

L'examen micrographique de la partie compacte, dans deux essais, m'a permis de mettre en évidence les cristaux d'une combinaison dont l'analyse conduit à la formule Al^4Mg. Dans un cas, par simple polissage, on aperçoit, même à l'œil nu, de longues aiguilles qui, examinées au microscope, rappellent beaucoup le cémentite (fig. 2). Dans l'autre cas, les cristaux ne sont apparus qu'après attaque de la surface polie par l'acide chlorhydrique à 10 p. 100 ; ils se présentent sous la forme de magnifiques dendrites. Dans les deux cas, les cristaux de la combinaison définie ont été séparés par attaque du culot par l'acide chlorhydrique à 10 p. 100 ; l'analyse a donné :

1°	Al : 81,5	Mg : 18,9
2°	Al : 82,3	Mg : 17,5

Dans un essai de superposition par fusion dans le gaz d'éclairage, j'ai obtenu

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

un culot métallique dont l'analyse de la partie compacte a donné Al : 83,2 et Mg : 16,8, — et celle de la partie cassante :

Al = 53,5 et Mg = 46,5.

Enfin, dans une fusion faite avec 85 d'aluminium et 15 de magnésium sous un mélange de fluorure de calcium et de cryolithe, j'ai eu un culot très homogène, en suspension dans le bain de sels fondus : au microscope, même après attaque par l'acide chlorhydrique, la potasse ou l'iode, la surface polie ne laisse

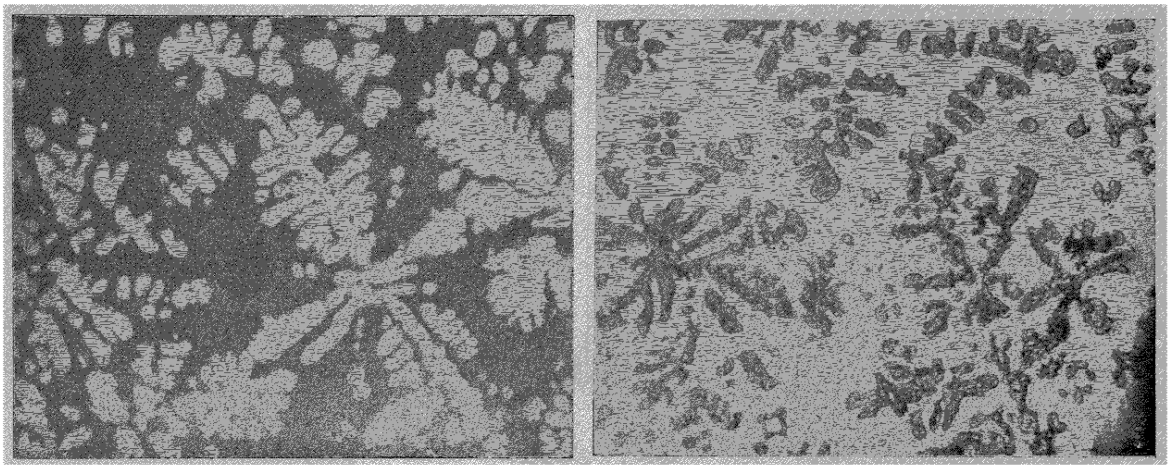


Fig. 3. — Al⁵Mg attaqué à HCl, 10 p. 100. Grossissement : 125.

Fig. 4. — Al⁵Mg attaqué à KOH, 10 p. 100. Grossissement : 125.

rien apparaître. Le métal, malléable, a donné à l'analyse 80,4 d'aluminium et 19,6 de magnésium.

Étant donnés ces premiers résultats, j'ai donc été obligé de reprendre la méthode ordinaire : faire une série d'alliages de compositions différentes, et les étudier successivement de façon à ne pas laisser inaperçues quelques combinaisons.

En faisant varier les proportions d'aluminium de 0 à 100, j'ai préparé une série de neuf échantillons qui ont été examinés au microscope Le Chatelier. L'examen des surfaces polies était fait avant et après attaque par des réactifs convenables. L'acide chlorhydrique à 10 p. 100 m'a donné de bons résultats avec tous les alliages ; la potasse à 10 p. 100 convient pour les alliages riches en aluminium, et le chlorure d'ammonium à 10 p. 100 pour ceux riches en magnésium. Les attaques ont toutes eu lieu au trempé. Voici les résultats que j'ai obtenus.

L'acide chlorhydrique et la potasse décèlent l'existence, dans l'échantillon

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

70 Al — 30 Mg, de magnifiques dendrites, dont quelques-uns rappellent les formes cristallines hexagonales de la glace (fig. 3 et 4). L'attaque de l'échantillon 30 Al — 70 Mg par l'acide chlorhydrique et le chlorure d'ammonium met à nu des cristaux arborescents très nets, noyés dans une masse de texture analogue à la perlite, formée très probablement par un eutectique (fig. 5).

L'examen micrographique de l'échantillon 50 Mg — 50 Al ne m'a donné rien

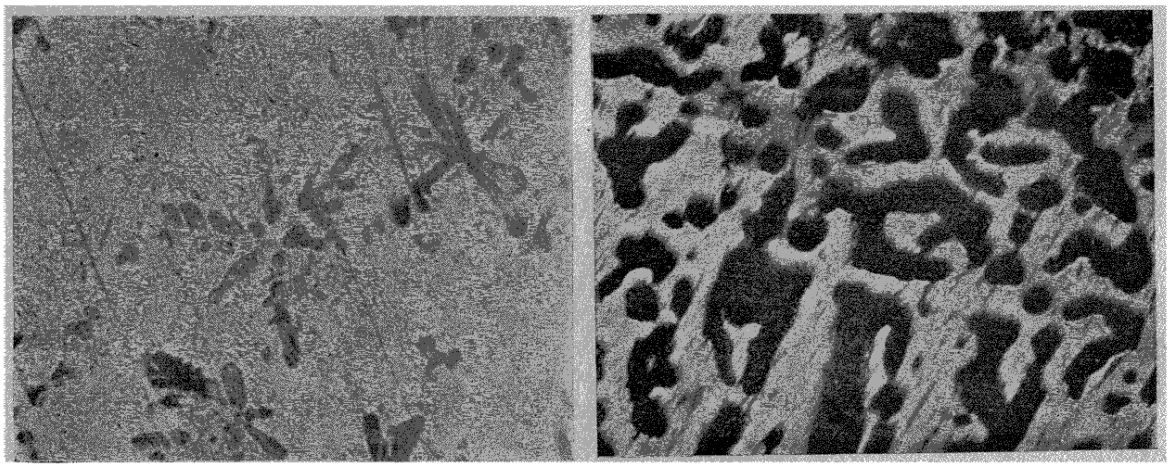


Fig. 5. — $AlMg^2$ (attaque à AmCl, 10 p. 100. Grossissement 125.

Fig. 6. — AlMg (attaque à HCl, 10 p. 100). Grossissement : 125.

de bien net. Cet alliage est d'ailleurs très cassant, et le polissage, déjà difficile par suite du peu de dureté du métal, l'est encore plus à cause des nombreuses cavités que l'on voit sur la surface polie. L'échantillon 40 Al — 60 Mg, au contraire, par une attaque modérée à l'acide chlorhydrique, laisse apparaître des cristaux très irréguliers dans lesquels on peut reconnaître la forme générale de dendrites (fig. 6).

COMBINAISONS DÉFINIES FORMÉES PAR L'ALUMINIUM ET LE MAGNÉSIUM

Dans cette dernière partie du mémoire, je vais indiquer les moyens qui m'ont permis d'isoler les combinaisons définies de magnésium et d'aluminium, par suite de confirmer les indications données par l'étude de la fusibilité de ces alliages, ainsi que par leur examen microscopique.

1° $AlMg^2$. — La composition centésimale théorique de cet alliage correspond à 36 d'aluminium et 64 de magnésium.

Le meilleur procédé permettant d'isoler la combinaison $AlMg^2$ consiste à traiter à froid le culot métallique 30 Al-70 Mg par le chlorhydrate d'ammoniaque

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à 10 p. 100; il se fait un dégagement gazeux, et il reste dans le fond du verre une poudre cristalline que l'on recueille et analyse.

Ces cristaux sont très longs à laver, et ils s'altèrent par un lavage prolongé à l'eau froide ou chaude : les métaux s'oxydent. Le mieux est de les laver à l'eau aiguisée chlorhydrique, à l'eau et à l'alcool; on sèche rapidement et on passe au tamis 100. Les cristaux restant sur le tamis sont analysés. Les résultats obtenus sont très concordants :

Al	35,4	36,7	35,8	35,8	34,9	35,4
Mg	64,4	63,2	64,3	64,1	65,1	64,5

On peut aussi isoler la combinaison $AlMg^2$ par l'emploi de l'acide chlorhydrique à 10 p. 100; un essai m'a donné 34,5 d'aluminium; magnésium non dosé.

Ayant fait un alliage répondant à la formule théorique $AlMg^2$ (36 Al et 64 Mg), et l'ayant traité par le chlorhydrate d'ammoniaque à 10 p. 100, il s'est séparé une poudre cristalline qui a donné à l'analyse :

Al : 35,4 et Mg : 64,5

La densité de $AlMg^2$ déterminée par les liquides lourds est égale à 2,03.

2° Al Mg. — La composition centésimale théorique de cet alliage correspond à 52,9 d'aluminium et 47,1 de magnésium.

Pour obtenir cette combinaison définie, il suffit de traiter à chaud les culots métalliques 40 Al — 60 Mg et 50 Al — 50 Mg par le chlorhydrate d'ammoniaque à 10 p. 100. La poudre cristalline obtenue est très difficile à laver, et si l'on prolonge trop longtemps le lavage à l'eau bouillante, une grande partie est transformée en oxydes. Il est préférable de laver à l'eau acidulée chlorhydrique, à l'eau, à l'alcool; on sèche et passe au tamis 100. Les cristaux restant sur le tamis sont débarrassés des oxydes qui les souillent, à l'aide de l'iodure de méthylène, en utilisant les différences de densités.

L'analyse a donné les résultats suivants :

1° Pour les cristaux venant du culot 40 Al — 60 Mg :

Al	52,1	53,4
Mg	48,0	46,3

2° Pour les cristaux venant du culot 50 Al — 50 Mg.

Al	51,4	51,5
Mg	48,4	48,6

J'ai indiqué précédemment qu'en essayant de faire des culots métalliques par superposition des deux métaux, la partie supérieure de ces culots était toujours excessivement cassante; l'analyse de quelques fragments m'a donné 53,5 Al et 46,5 Mg.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La densité de Al Mg déterminée par les liquides lourds est égale à 2,15.

3° Al^4 Mg. — La composition centésimale théorique de cet alliage correspond à 81,8 d'aluminium et 18,2 de magnésium.

Le meilleur procédé permettant d'obtenir la combinaison définie Al^4Mg consiste à traiter le culot 70 Al — 30 Mg par l'acide chlorhydrique à 10 p. 100, à froid. Il reste une poudre cristalline que l'on lave rapidement à l'eau et à l'alcool, et que l'on sèche. Elle donne à l'analyse 82 d'aluminium et 18,1 de magnésium. Ces résultats s'accordent avec ceux mentionnés dans la première partie de ce mémoire, et que je rappellerai simplement :

Al	81,5	82,3	83,2	80,4
Mg	18,9	17,5	16,8	19,6

La densité de cette combinaison définie, déterminée par la méthode des liquides lourds, est égale à 2,58.

SUR LES ALLIAGES DU STRONTIUM AVEC LE ZINC ET LE CADMIUM.

Note de **M. Henri Gautier** (1).

Les propriétés du strontium sont actuellement peu connues, et ce que nous en savons résulte de l'étude de produits dont aucune analyse n'a jamais été publiée. Les savants qui se sont occupés de ce métal, Davy, Bunsen et Matthiessen, se sont principalement attachés à l'isolement du calcium et ne consacrent que peu de lignes à la préparation du strontium, qu'ils se bornent à donner comme identique à celle du calcium.

A la fin de son Mémoire relatif à la préparation du calcium, Caron annonce qu'il a obtenu des alliages du zinc avec le baryum et avec le strontium, mais il n'en donne ni les analyses ni les propriétés et ne dit pas s'il est parvenu à en extraire le métal alcalino-terreux.

Le peu de précision de ces résultats m'a engagé à reprendre l'étude de la préparation du strontium; ce sont les premiers résultats de cette étude que je viens soumettre à l'Académie.

J'ai d'abord cherché à répéter, avec le chlorure de strontium, l'expérience décrite par Caron pour la préparation de l'alliage zinc-calcium à partir du chlorure de calcium. Il se forme bien, dans ces conditions, un alliage de zinc et de strontium, mais, en faisant varier les proportions de matières employées et la température de réaction, il m'a été impossible d'arriver à un alliage renfermant plus de 2 p. 100 à 3 p. 100 de strontium.

Pour faciliter la mise en liberté du strontium et la formation de son alliage avec le zinc, j'ai alors songé à traiter le chlorure de strontium par le sodium, en présence, non plus du zinc, mais du chlorure de zinc.

L'opération a été faite en mettant en présence 100 grammes de sodium avec 200 grammes d'un mélange à poids égaux de chlorures de strontium et de zinc préalablement fondu. Ces substances ont été placées dans un creuset en fer muni d'un couvercle à vis, et l'on a chauffé le tout au rouge franc pendant une heure environ.

Après refroidissement, quand on ouvre le creuset, on trouve à la partie supérieure un alliage ternaire de sodium, zinc et strontium. Celui-ci a été divisé en petits fragments et traité par l'alcool

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 9 décembre 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

absolu pour éliminer le sodium: on obtient pour résidu de cette attaque une poudre métallique s'altérant facilement à l'humidité et que l'on sèche dans un courant d'hydrogène sec après lavage à l'éther anhydre. Cet alliage présente une teneur de strontium qui varie de 12 à 14 p. 100. Il est donc beaucoup plus riche que celui fourni par la méthode de Caron, mais le rendement total en alliage est toujours faible. Le chlorure de zinc est, en effet, très volatil à la température à laquelle on opère: il en est de même du sodium, et ces deux vapeurs viennent réagir à la partie supérieure du creuset sans donner lieu à l'effet utile que l'on cherchait à obtenir par la mise en liberté du zinc au contact même du chlorure de strontium.

Dans une autre série d'essais, j'ai remplacé le chlorure de strontium par l'iodure. La différence des chaleurs de formation des iodures de sodium et de strontium étant supérieure à celle des chlorures correspondants, on pouvait espérer, par cette substitution, arriver à des alliages plus riches. L'expérience est venue confirmer cette prévision.

On a opéré, dans un creuset en fer à couvercle vissé, avec un mélange de 100 grammes de zinc, 50 grammes de sodium et 200 grammes d'iodure de strontium parfaitement sec. Le fond du creuset ayant été maintenu pendant deux jours au rouge cerise, tandis que le haut n'était qu'au rouge sombre, on a trouvé, après refroidissement, le contenu du creuset divisé en trois couches distinctes : une supérieure, peu épaisse formée de sodium : une moyenne, verdâtre, contenant de l'iodure de sodium; et enfin, une couche inférieure parfaitement fondue, dure, cassante et constituée par un alliage de zinc et strontium à 18 p. 100 de ce dernier avec des traces de sodium. Avec les proportions indiquées, le rendement en alliage est de 100 grammes environ.

Je ne pouvais chercher à extraire le strontium de cet alliage par distillation du zinc dans un creuset de charbon, comme Caron l'avait proposé pour le calcium, car j'aurais vraisemblablement obtenu pour résidu du carbure de strontium, et j'ai alors songé à mettre à profit, pour la séparation des deux métaux, l'extrême volatilité du zinc dans le vide signalée, il y a longtemps déjà, par M. Demarçay (1) pour le zinc et quelques autres métaux. Je pensais que le zinc pourrait distiller et que j'obtiendrai le strontium comme résidu.

L'alliage de zinc et de strontium, contenu dans une nacelle de fer, a été placé dans un tube en porcelaine de Berlin, relié à une extrémité, par un mastiquage, à une trompe à mercure et fermé, à l'autre, par un plan de verre rodé permettant d'observer ce qui se passait dans le tube. Le tube de porcelaine était chauffé au moyen du dispositif préconisé depuis plusieurs années par M. Charpy dans ses recherches sur la trempe de l'acier (2) et qui consiste à entourer le tube d'une spirale métallique maintenue chaude par le passage d'un courant d'une intensité donnée.

J'ai chauffé d'abord 2 heures à 350°, puis ensuite une heure au rouge sombre. A l'ouverture du tube il ne restait rien dans la nacelle; le strontium s'était volatilisé en même temps que le zinc.

Des essais analogues ont été alors recommencés en remplaçant le zinc par le cadmium, qui est beaucoup plus volatil.

En opérant comme avec le zinc, on obtient des alliages de cadmium-strontium renfermant en moyenne 18 à 20 p. 100 de métal alcalino-terreux. Ces alliages peuvent être enrichis par distillation dans le vide dans un tube de verre, à une température de 250° à 300° environ. Après trois heures de chauffe d'un alliage à 20 p. 100, je suis arrivé à 28 p. 100 en chauffant pendant une journée entière, j'ai obtenu un alliage à 45 p. 100.

L'alliage riche prend par la lime un beau poli, mais la surface brillante se ternit très vite au contact de l'air.

Il décompose l'eau rapidement en laissant un résidu de cadmium pulvérulent.

Dans l'oxygène, il brûle lentement au rouge sombre en se recouvrant d'oxyde qui ralentit la combustion.

Au contact du soufre fondu et bien avant l'ébullition, il y a une vive incandescence, formation de sulfure de strontium et de sulfure jaune de cadmium.

(1) Demarçay, *Comptes rendus*, t. XCV, p. 183.

(2) Charpy, *Bulletin de la Société d'Encouragement*, 1895.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La vapeur de phosphore réagit lentement au rouge en donnant un phosphure décomposable par l'eau.

Dans le chlore, l'alliage donne lieu à une combustion extrêmement vive sous l'influence l'une légère élévation de température; il se forme du chlorure de strontium et du chlorure le cadmium qui se trouve volatilisé.

L'iode réagit avec incandescence au rouge sombre.

Enfin l'alliage absorbe l'hydrogène au rouge sombre pour donner de l'hydrure de strontium qui peut être séparé du cadmium par vaporisation de ce dernier dans le vide. L'hydrure qui se forme ainsi est blanc, très altérable à l'air; celui que j'ai obtenu contenait un peu de strontiane et son analyse, déduction faite de cette strontiane, conduit, pour l'hydrure, à la formule SrH^2.

Je poursuis l'étude de ces réactions et j'espère pouvoir bientôt soumettre de nouveaux résultats à l'Académie.

SUR L'ÉTAT DU SILICIUM DANS LES FONTES ET LES FERROSILICIUMS A FAIBLE TENEUR.

Note de **M. P. Lebeau** (1).

Les différents auteurs qui se sont occupés de rechercher sous quelle forme existe le silicium dans les fontes et dans les aciers n'ont pu jusqu'ici émettre une opinion décisive.

M. Osmond (2), continuant les expériences calorimétriques de MM. Troost et Hautefeuille (3) sur des fers siliciés à teneur plus faible en silicium, conclut de ses déterminations que le « silicium peut se combiner au fer avec dégagement de chaleur, mais le composé est dissocié par un excès de fer et ne subsiste que lorsque la pression du silicium dans l'alliage est suffisante.

Dans son travail sur la résistance électrique des aciers, M. Le Chatelier (4) admet, par analogie avec ce qui se passe pour beaucoup d'autres alliages, que dans les aciers le silicium n'est pas isolé à l'état de siliciure, mais se trouve à l'état « de mélange homogène, dissolution solide ou mélange isomorphe, comme l'est le carbone de trempe ».

D'autre part, MM Carnot et Goutal (5) ne purent isoler aucun siliciure défini des fontes siliciées ordinaires. Ils s'expriment ainsi : « Nous sommes portés à croire que le refroidissement produit la décomposition du siliciure Si Fe ou bien que ce siliciure constituée avec l'excès de fer une dissolution solide ou mélange homogène. «

Enfin, M. Stead (6), étudiant par les procédés micrographiques l'influence du silicium à des teneurs voisines de 4 p. 100, admet que tout ce métalloïde est à l'état de solution solide dans le fer, qui garde sa forme habituelle très bien développée.

De notre côté nous n'avons rencontré aucun composé de fer et de silicium dans les résidus des traitements des fontes silicieuses par les réactifs les plus variés. Toutefois, cette étude des fontes siliceuses et celle que nous avons faite des propriétés des siliciures de fer définis nous permettent d'affirmer que le silicium existe dans les fontes à l'état combiné sous la forme de siliciure $SiFe^2$.

Il nous a été facile d'établir que le silicium est entièrement combiné dans ces produits métallurgiques, par l'examen méthodique de leurs résidus d'attaque par l'acide azotique ou le chlorure double de cuivre et de potassium. Nous nous étions assurés préalablement que ces réactifs étaient absolument sans action sur le silicium amorphe, alors même qu'il est très divisé. En chauffant pendant douze heures un poids déterminé de silicium amorphe très léger, provenant de la lévigation d'un silicium amorphe préparé par le procédé de M. Vigouroux, avec ces solutions, nous avons toujours retrouvé intégralement le silicium employé. Or, dans

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 9 décembre 1901.
(2) Osmond, *Comptes rendus*, t. CXIII, p. 474; 1891.
(3) Troost et Hautefeuille, *Comptes rendus*, t. LXXXI, p. 264.
(4) Le Chatelier, *Comptes rendus*, t. CXXVI, p. 1709; 1898.
(5) Carnot et Goutal, *Annales des Mines*, t. XVII; 1900.
(6) Stead, *Journal of the Iron Institut*, 1898.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

aucun cas, les résidus de l'attaque des fontes par ces mêmes liquides ne renfermaient de silicium libre. Il ne peut donc y avoir de doute sur ce point.

Il nous restait à déterminer la nature du composé défini de fer et de sicilium pouvant exister dans ces produits.

Dans la série des expériences que nous avons faites sur la préparation des siliciures de fer définis et notamment dans l'étude des combinaisons qui sont susceptibles de prendre naissance, lorsqu'on fait varier les facteurs du système : cuivre, fer, silicium, nous n'avons jamais obtenu de siliciure de fer renfermant une quantité de silicium inférieure à celle exigée par la formule $Si\,Fe^2$. Les seuls composés que nous avons pu préparer sont les siliciures $Si^2\,Fe$, $Si\,Fe$ et $Si\,Fe^2$.

Le siliciure de fer $Si^2\,Fe$ ne se formant qu'en présence d'un grand excès de silicium ne présente aucun intérêt dans ce cas. Quant au silicium $Si\,Fe$, l'examen de ses propriétés nous a montré qu'il était facilement dissociable et ne saurait exister dans un milieu pauvre en silicium. Cette facile dissociation a été établie dans un certain nombre d'expériences parmi lesquelles nous citerons la suivante :

Un poids déterminé de ce composé $Si\,Fe$ a été additionné d'une quantité d'argent suffisante pour le dissoudre complètement. On a fondu le mélange. Le culot obtenu a été ensuite traité par l'acide azotique. Le résidu insoluble renfermait, au lieu du siliciure $Si\,Fe$ non magnétique, le siliciure $Si\,Fe^2$ magnétique et du silicium libre. Ce dernier a pu être isolé par l'action fluorhydrique. En opérant sur très peu de matière nous avons pu obtenir une décomposition presque totale suivant l'équation

$$2\,Si\,Fe = Si\,Fe^2 + Si.$$

Poids d'argent employé, $16^{gr},8$; siliciure $Si\,Fe$, $0^{gr},208$; Si libre isolé par HF, $0^{gr},031$. Théorie pour $2\,Si\,Fe = Si\,Fe^2 + Si$: Si libéré par $0^{gr},208$ $Si\,Fe$, $0,^{gr}034$.

Le composé $Si\,Fe$ ne pourra donc pas exister en présence d'un excès de fer et ne peut en conséquence être un constituant des fontes siliceuses.

Il n'en est plus de même pour le siliciure $Si\,Fe^2$. Ce dernier ne se dissocie pas lorsqu'on le chauffe dans l'argent. Il se dissout dans ce métal en fusion; mais, après refroidissement et attaque du culot par l'acide azotique, on le retrouve en totalité. Il n'y a pas trace de fer dans la solution, ni de silicium libre.

Les résultats ont été identiques à la température d'ébullition de l'argent au four électrique, et à la température de 1 000°, déterminée à l'aide de la pince thermo-électrique.

Ce composé doit donc exister dans les fontes, et il est facile d'expliquer pourquoi il ne se trouve pas dans les résidus d'attaque par les réactifs habituels. En effet, le siliciure $Si\,Fe^2$ en cristaux, préparé au four électrique, est à peu près inattaquable par l'acide azotique étendu ou concentré; mais si on le porphyrise, il s'altère très lentement et, après dix à douze heures, on constate la présence de fer en solution, et la poussière cristalline examinée au microscope a perdu son éclat. Chaque petit fragment est entouré d'une gaine de silice opalescente. Si l'on tient compte de la grande solubilité de ce composé dans le fer, on voit qu'il peut donner avec facilité une solution solide dans laquelle son état d'extrême division le rend attaquable par les différents réactifs : cette propriété était déjà manifeste pour un produit de synthèse très divisé. Ajoutons que la température de la formation et l'état allotropique du fer dans cette combinaison peuvent également jouer un rôle.

Nous pouvons donc conclure que les fontes siliceuses renferment tout le silicium à l'état combiné sous la forme du siliciure $Si\,Fe^2$. Ce composé étant très soluble dans un excès de fer donne facilement une masse homogène par refroidissement. Il ne pourra apparaître à l'état isolé, dans les produits siliciés, que lorsqu'il sera en proportion supérieure à celle que devra renfermer la solution saturée dans le fer, vers son point de solidification. Ces résultats sont d'ailleurs en parfait accord avec les expériences de M. Le Chatelier et les examens micrographiques ds M. Stead.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CIMENTS

ACTION DU SULFATE DE CHAUX SUR LES CIMENTS, PAR **M. L. Deval.**

Il résulte d'expériences précédentes que les ciments de Portland réduits en pâte avec la moitié de leur poids de sulfate de chaux précipité, maintenus constamment humides à l'abri de l'acide carbonique fixent, avec le temps, des quantités de sulfate de chaux qui arrivent à dépasser celles que fixerait leur alumine si elle était entièrement à l'état d'aluminate de chaux.

Des ciments théoriques obtenus au laboratoire de l'École des mines et correspondant exactement aux formules :

(1) $10\ Si\ O^2\ Al^2\ O^3\ 32\ Ca\ O$
(2) $2\ Si\ O^2\ Al^2\ O^3\ 7\ Ca\ O$

se sont comportés comme les ciments de fabrication courante en présence du sulfate de chaux.

L'alumine du premier, pour se transformer en sulfo-aluminate, pouvait fixer 0,175 de sulfate de chaux et celle du second 0,400.

Le sulfate de chaux fixé pour un gramme de ciment est :

	(1)	(2)
Après 16 jours	0,187	0,334
— 2 mois	0,226	0,545
— 7 mois	0,315	—

Le premier ciment a fixé moins de sulfate de chaux que le second ; mais il convient de remarquer que la proportion d'alumine n'y est que de 4 p. 100, tandis qu'elle est de 16 p. 100 dans le second, c'est-à-dire quatre fois plus grande.

Si on représente par 100 le sulfate de chaux, que l'alumine pourrait fixer pour se transformer en sulfo-aluminate, la proportion de sulfate de chaux fixé pour les deux ciments de laboratoire, serait :

	Ciment n° 1.	Ciment n° 2.
Après 16 jours.	106 p. 100	83 p. 100
— 2 mois.	152 —	136 —
— 7 mois.	180 —	— —

Ces ciments ont bien retenu des quantités de sulfate de chaux supérieures à celles qui seraient nécessaires pour transformer toute leur alumine en sulfo-aluminate.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'expérience faite dans des tubes scellés à la lampe a conduit au même résultat.

Le sulfate de chaux fixé par un gramme de ciment a été :

	Ciment n° 1.	Ciment n° 2.
Après 2 mois.	0,222	0,445
— 7 mois.	0,260	0,547

Il y a encore excès de sulfate de chaux fixé.

Si le sulfate de chaux n'est pas en entier fixé par l'aluminate de chaux, il est fortement retenu par la masse du ciment, car il devient presque insoluble dans l'eau de chaux.

La pâte du ciment n° 2, qui après deux mois avait fixé 0,545 de sulfate de chaux, a été reprise et mise en digestion dans un litre d'eau de chaux exempte d'acide sulfurique.

Le dosage de SO^3 a donné après une macération fréquemment agitée :

Après 6 jours par litre.	0,0062
— 2 mois —	0,0064
— 4 mois —	0,0061

L'acide sulfurique retenu par le précipité a été de 0,319, ce qui correspond à 0,542 de sulfate de chaux, chiffre très voisin de 0,545, ce sulfate de chaux était donc insoluble dans l'eau de chaux qui, en 24 heures, aurait pu en dissoudre $2^{gr},300$.

Une autre série d'expériences a été entreprise avec des ciments qui, dans une série d'expériences antérieures, s'étaient montrés particulièrement capables de résister sans désagrégation à l'action des solutions de sulfate de magnésie et de sulfate de chaux. Ils font partie de la collection des ciments étudiés, au point de vue de l'action de l'eau de mer, par M. H. Le Chatelier.

Ces ciments sont :

1° Ciment au fer, dans lequel l'alumine a été remplacée par le sexquioxyde de fer;

2° Ciment avec gaize;

3° Ciment avec poussières lourdes n° 2;

4° Ciment anglais.

Le *ciment au fer*, dont la composition répond à la formule $5\,SiO^2\,Fe^2O^3\,17\,CaO$, avait été préparé au laboratoire en même temps que les ciments à l'alumine étudiés plus haut. Il n'a pas augmenté de volume après mélange avec du sulfate de chaux. La barrette, qui au début, avait une longueur de 66 millimètres, avait, au bout d'un mois, une longueur de 65 millimètres : il y avait plutôt réduction de volume. La barrette avait durci et on a dû l'écraser au pilon pour y doser le sulfate de chaux fixé.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ce dosage a donné pour un gramme de ciment :

Après 1 mois	0,027
— 3 mois et demi	0,027

Le ciment au fer, en présence du sulfate de chaux, ne retient que des quantités très faibles de ce corps; il n'augmente pas de volume et continue de durcir. Il paraît donc insensible à l'action du sulfate de chaux.

Ciment avec gaize. — Ce ciment a été préparé aux usines de Boulogne en mêlant poids égaux de ciment ordinaire et de gaize grillée. La barrette de ciment avait, au début de l'expérience, une longueur de 64 millimètres ; elle atteint au bout d'un mois 71 millimètres d'où résulte un allongement de 11 p. 100.

Le sulfate de chaux fixé pour un gramme de ciment est :

Après 1 mois	0,042
— 4 mois	0,056

L'alumine de ce ciment pour se transformer en sulfo-aluminate pouvait fixer 0,119 de sulfate de chaux, elle n'en a fixé, au bout de quatre mois, que 0,056, c'est-à-dire 47 p. 100, moins que la moitié.

Comme le ciment au fer, la barrette du ciment avec gaize a durci au contact du sulfate de chaux, mais ce ciment est plus sensible à l'action de ce corps que le ciment au fer.

Ciment avec poussières lourdes. — Ce ciment avait été préparé, à titre d'expériences, aux usines de Boulogne avec un surdosage en argile. Il avait donné, en raison de cette composition anormale, une grande quantité de poussières à la cuisson. Un gramme de ciment hydraté contient 0,057 d'alumine et peut fixer 0,205 de sulfate de chaux. La longueur de la barrette était de 67 millimètres, elle a atteint, au bout d'un mois, 82 millimètres, d'où un allongement de 22 p. 100.

Le sulfate de chaux fixé a été de :

Après 1 mois	0,110
— 4 mois	0,131

soit les 63 p. 100 de ce qui était nécessaire pour transformer l'alumine en sulfo-aluminate.

Ciment anglais. — Ce ciment a été, parmi les différents ciments Portland expérimentés, celui qui a présenté la plus grande résistance à la décomposition. Un gramme de ce ciment hydraté contient 0,056 d'alumine, qui peut fixer 0,204 de sulfate de chaux.

La barrette, qui avait une longueur de 70 millimètres, a atteint, au bout d'un mois, une longueur de 82 millimètres, d'où un allongement de 17 p. 100.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le sulfate de chaux fixé par un gramme de ciment est :

Après 1 mois	0,095
— 4 mois	0,165

La pâte de la barrette est restée molle.

Le ciment anglais a retenu plus de sulfate de chaux que les précédents, mais il n'en a retenu que 80 p. 100 de ce que pouvait fixer son alumine.

EN RÉSUMÉ :

Les ciments de laboratoire d'une composition analogue aux ciments de Portland ordinaires fixent, au bout de deux mois, plus de sulfate de chaux qu'il n'en faut à leur alumine pour se transformer en sulfo-aluminate.

Les ciments qui se sont montrés capables de résister aux solutions salines n'ont pas, au bout de quatre mois, retenu assez de sulfate de chaux pour transformer la totalité de leur alumine en sulfo-aluminate. Le ciment avec gaize n'en a fixé que 47 p. 100; le ciment avec poussières lourdes 63 p. 100, et le ciment anglais 80 p. 100.

Le ciment au fer est remarquable par son indifférence en présence du sulfate de chaux.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHIMIE

PRODUCTION ET MAINTIEN DES BASSES TEMPÉRATURES. Note de **M. d'Arsonval** (1).

L'emploi des basses températures étant un précieux moyen de recherche, il y a avantage à en vulgariser l'emploi. C'est pourquoi je crois devoir faire connaître, à la suite de la communication de notre confrère M. Moissan, et sur sa demande, quelques petits moyens qui pourront rendre service, à ce point de vue, dans les laboratoires.

Pour aller jusqu'à — 60°, on peut se contenter du chlorure de méthyle, à condition, comme je l'ai indiqué déjà, de le mettre dans un vase poreux de pile. On évite ainsi, par l'évaporation spontanée, la nécessité de souffler dans le liquide.

Pour descendre jusqu'à — 112° et même — 115°, l'acide carbonique ou l'acétylène suffisent. L'un et l'autre prennent l'état neigeux à la température et à la pression ambiantes. Pour dissoudre cette neige, le meilleur des dissolvants est certainement l'acétone, que j'emploie exclusivement.

L'acétylène, par exemple, comme l'ont montré MM. Claude et Hess, se dissout en grandes quantités dans l'acétone. Cette solution augmente considérablement à mesure que la température s'abaisse, de telle sorte qu'à — 80°, par exemple, l'acétone dissout plus de 2 500 fois son volume d'acétylène. La neige d'acide carbonique se comporte comme la neige d'acétylène, tout en restant moins soluble que cette dernière.

Avec la neige d'acide carbonique et l'acétone seuls, on peut aisément descendre à — 115°, à la condition de refroidir préalablement l'acétone. Ce mélange constitue un véritable mélange réfrigérant; la fusion de la neige carbonique dans l'acétone, refroidis tous les deux préalablement, au même degré, se fait avec une absorption de chaleur qui abaisse de 20° la température initiale du mélange.

Enfin, pour refroidir l'air insufflé dans le mélange neige-acétone, j'utilise l'évaporation même de l'acide carbonique, en employant un double serpentin en étain, constitué par un tube intérieur de 5 millimètres de diamètre, enfilé dans un deuxième tube de 10 millimètres. Ces tubes, de 6 à 10 mètres de long, sont ensuite roulés en serpentin et leurs différentes spires séparées par un épais matelas de laine. Le tout forme un échangeur de température, comme dans la machine de Linde. L'air, pris à la température du laboratoire, est insufflé *de haut en bas* dans le tube de 5 millimètres et vient barboter dans le vase contenant le mélange neige-acétone. Les gaz froids dégagés passent dans le deuxième serpentin de 10 millimètres concentrique au premier et circulent *de bas en haut*, c'est-à-dire en sens inverse de l'air qui arrive. Il y a ainsi échange des températures dans l'appareil à contre-courant, et l'air insufflé se trouve refroidi gratuitement, sans qu'on soit obligé d'avoir un mélange réfrigérant.

La neige d'acétylène est aussi maniable que la neige carbonique et s'évapore plus lentement encore que cette dernière et à une température plus basse, — 85°. Cela tient à sa grande chaleur latente de fusion (qui est d'au moins 35 cal. par kilogramme) pour passer de l'état solide à l'état liquide.

L'acétylène, de même que l'acide carbonique, ne prend pas l'état liquide à la pression atmosphérique; il lui faut une pression supérieure d'un tiers d'atmosphère environ. Si l'on place en effet de la neige d'acétylène dans un tube de verre et qu'on bouche ce dernier, on

1 *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 9 décembre 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

voit la neige fondre *très lentement* et la pression se maintenir à l'intérieur du tube égale à environ 24 centimètres de mercure, tout le temps que dure la fusion. M. Claude a utilisé cette propriété pour proposer un moyen simple de transport de l'acétylène.

Pour descendre au-dessous de — 115°, il faut avoir recours à l'air liquide. Ce dernier s'obtient commodément aujourd'hui avec les machines Linde, dont j'ai décrit le principe dans une précédente note (1).

Dans la pratique, il est nécessaire d'avoir une machine assez puissante. Celle que j'ai actuellement (et qui figurait à l'Exposition de 1900) prend de 18 à 20 chevaux de force et donne facilement 7 à 8 litres d'air liquide à l'heure, en pleine marche. Il faut environ trente-cinq minutes pour atteindre le point de liquéfaction. Le maniement en est néanmoins délicat et ne peut être confié qu'à des mains exercées pour être sans danger.

Quand on a de l'air liquide, il est possible d'obtenir et de *maintenir constantes* toutes les températures au-dessous de la température ambiante. Voici comment je procède :

D'abord, il faut constituer un vase imperméable à la chaleur le plus possible et placer dans ce vase un bain incongelable aux plus basses températures.

Comme vase, j'utilise les vases argentés à deux parois entre lesquelles on fait le vide. J'ai décrit ces vases dans ma note de 1898 : ils sont maintenant connus de tous les physiciens.

Comme bain liquide, le plus incongelable est l'éther de pétrole ou gazoline du commerce. Avec des gazolines très volatiles, on peut descendre jusqu'à — 160° sans les congeler. Elles peuvent servir à faire des thermomètres, ainsi que l'a montré Kohlrausch, et M. Démichel m'en a fourni plusieurs l'année dernière.

Depuis, on est arrivé, par des rectifications successives, à obtenir des éthers de pétrole qui ne se congèlent pas même à — 194°, température d'ébullition de l'air liquide à la pression normale.

Pour refroidir le bain de gazoline au degré voulu, il suffit de placer à sa partie supérieure un petit vase métallique annulaire (ou une simple spire de serpentin en étain) dans lequel on laisse tomber l'air liquide goutte à goutte. Pour obtenir cet écoulement, je bouche une carafe en verre argentée, contenant l'air liquide, avec un bouchon percé de deux trous. Par le premier, passe un tube plongeur ; par le deuxième, un tube court portant à l'extérieur un bout de tube de caoutchouc qu'on peut écraser plus ou moins avec une pince à vis. L'ensemble rappelle une pissette de chimiste.

Pour faire écouler l'air liquide en quantité voulue, il suffit d'écraser plus ou moins le caoutchouc avec la pince. Si le caoutchouc est complètement écrasé, l'air gazeux qui se dégage constamment dans la carafe, ne trouvant pas d'issue, exerce une pression sur le liquide, qui s'écoule violemment par le tube plongeur dans le refroidisseur. En desserrant graduellement la vis qui écrase le tube de caoutchouc, on règle facilement l'écoulement de l'air liquide et, par conséquent, la température du bain de gazoline. Il est possible de régler automatiquement cet écoulement d'air liquide par un dispositif approprié, mais cette complication m'a paru inutile dans la pratique (2).

La chaleur de volatilisation de l'air liquide est d'environ 65 calories par kilogramme, d'après les mesures que j'ai faites antérieurement.

Avec des vases argentés cylindriques, d'un litre environ de capacité, la perte par apport extérieur de chaleur à la température de — 194° peut être réduite à 20 grammes d'air liquide à l'heure, quantité très faible, comme on le voit, et rendant l'emploi de l'air liquide très pratique.

1. Voir *Comptes rendus*, 1898.

2. Depuis quelque temps, les constructeurs allemands fabriquent des vases cylindriques présentant une tubulure à la partie inférieure ; ces vases sont encore plus commodes pour laisser écouler l'air liquide.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

NOTES DE MÉCANIQUE

Pompes *Holly* du service des eaux de Boston (1)

La Hooly Manufacturing C°, de Lockport (New-York), est l'une des plus renommées des États-Unis pour la construction de grandes machines destinées au service des

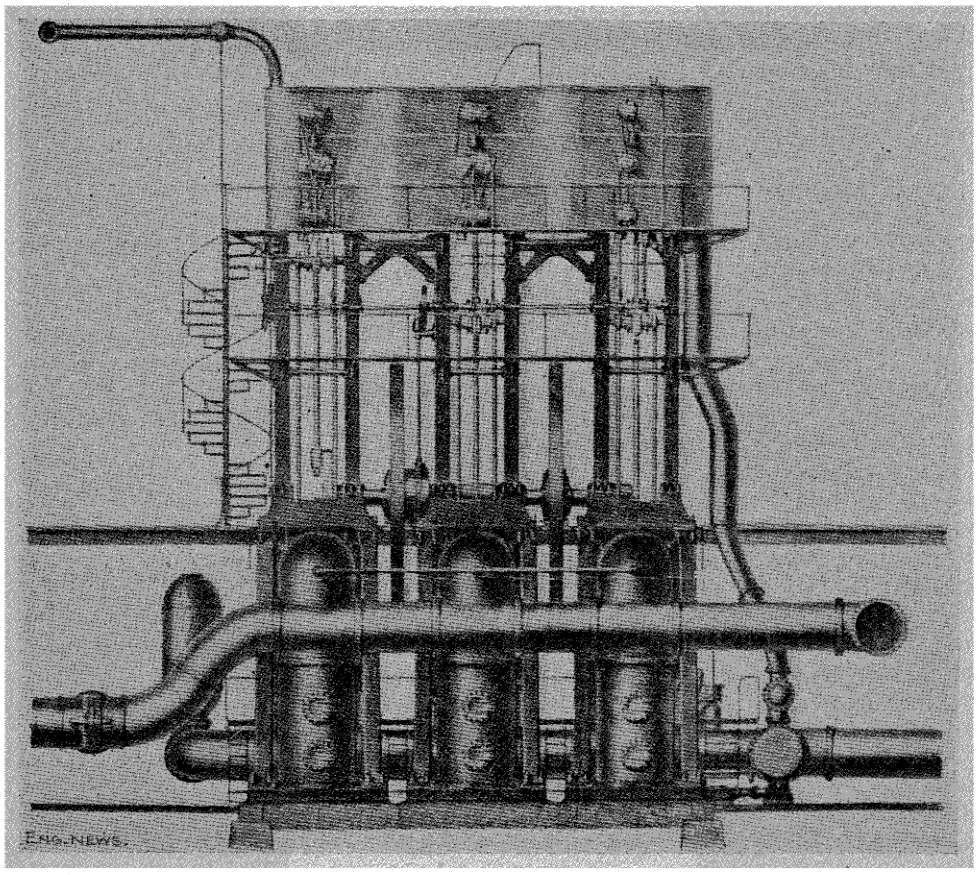


Fig. 1. — Pompe *Holly* de Chesnut Hill (Boston). Élévation.

distributions d'eau. Fondée en 1859, c'est à elle que l'on doit notamment les célèbres machines installées par un de ses ingénieurs : *Gaskill*, en compound, d'abord hori-

(1) *Engineering News* et *Engineering Record*, 14 novembre 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

zontales : type des eaux d'Auburn (1), puis verticales avec balancier inférieur (2) ; type de Kalamazoo ; vinrent ensuite les types compound verticales, à double et triple expansion, avec liaison directe des pistons moteurs à ceux des pompes (machines de Pittsburg, de Philadelphie, de Wheeling, de Nashville), et celles de Boston, que nous allons décrire. Peu à peu, par une suite de perfectionnements méthodiques, l'usine Holly est parvenue à réaliser des pompes ayant un rendement des plus élevés : de

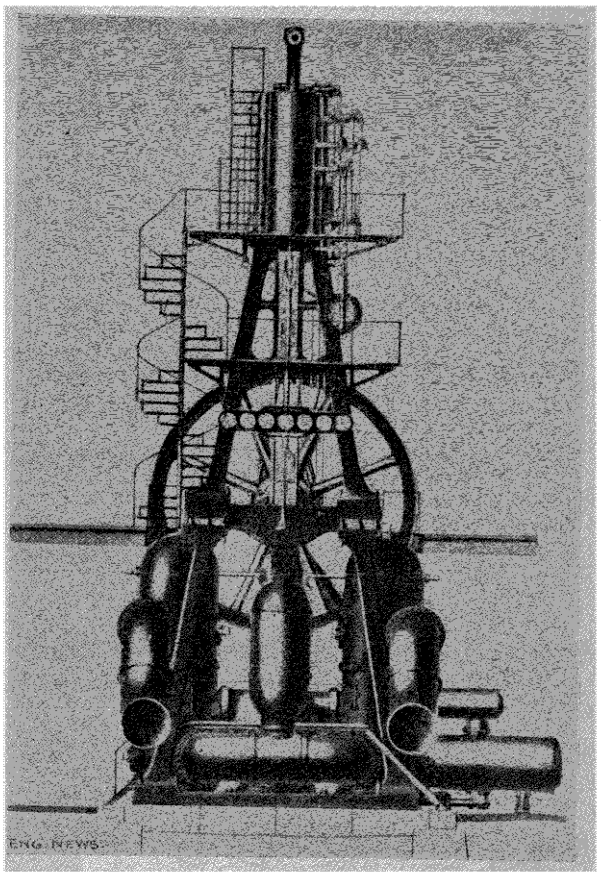


Fig. 2. — Pompe *Holly* de Chesnut Hill. Vue par bout.

173 620 000 pieds livres par 1 000 livres de vapeur sèche, ou de 521 000 kilogrammètres par kilogramme de vapeur, ou encore de 156 592 000 pieds livres par million d'unités thermiques anglaises contenues dans la vapeur fournie à la machine, soit de 87 kilogrammètres par calorie, correspondant à un rendement thermique absolu de la machine égal à 87/425 = 0,205 (exactement 20,85 p. 100 à l'essai d'une des machines de Boston) en eau montée, avec un rendement organique allant jusqu'à 96.53 p. 100.

Les machines de Boston sont installées à deux stations ; Chesnut Hill et Spot Pond ;

1) *Van Nostrand's Engineering Magazine*, octobre 1883, p. 297. *Engineering*, 15 février 1884, p. 141 *American Machinist*, 14 novembre 1885.

2) *American Machinist*, 15 mai 1886, *Engineering*, janvier-février 1887, p. 17, et 26 avril 1889, p. 483.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

elles sont toutes (fig. 1 et 2) du type vertical à triple expansion, avec plongeurs commandés directement par les tiges des pistons moteurs; ces plongeurs à simple effet, avec garniture extérieure, sont au nombre de six par machine (fig. 3 à 6) avec autant de chapelles de refoulement et d'aspiration. Les machines de Chesnut Hill doivent débiter, par 24 heures, 159 000 mètres cubes sous une charge de 18^{m},30, et celles de Spot Pond 91 000 mètres sous une charge de 38^{m},10; elles sont du même type que celles de Chesnut Hill, avec des cylindres moteurs plus grands et des plongeurs plus

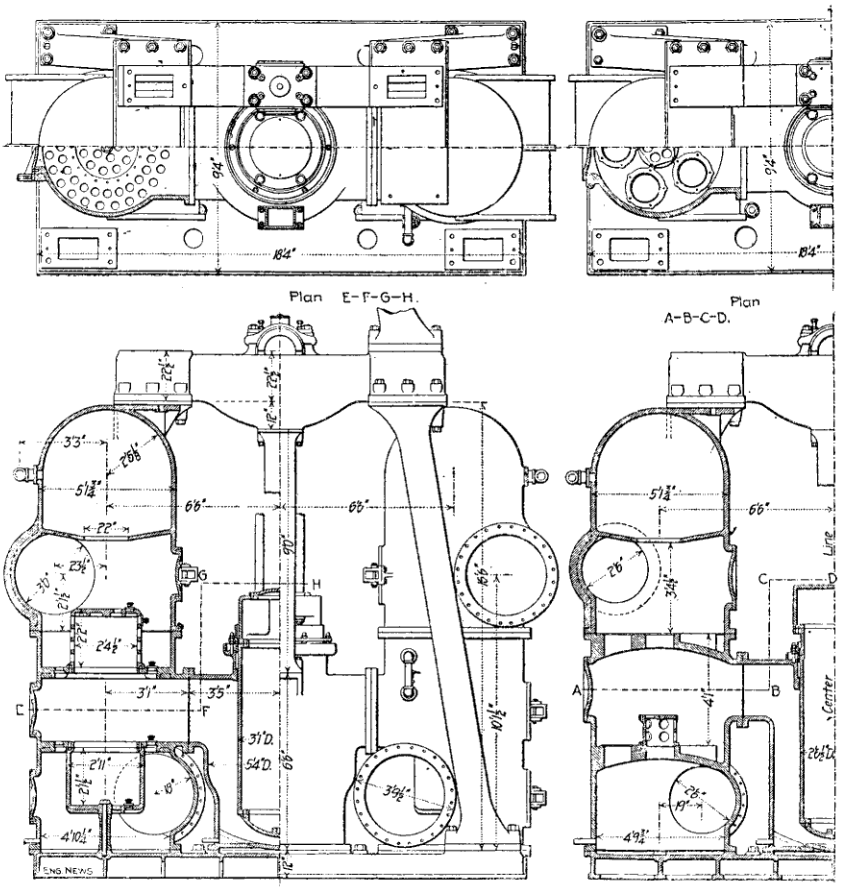


Fig. 3 à 6. — Pompe *Holly*. Détail du corps de pompe.

petits; la course de toutes ces machines est de 1^{m},52, la pression de la vapeur à l'admission est de 10^{kg},50, la vitesse des machines de Chesnut Hill est de 30 tours par minute et celle des machines de Spot Pond de 25 tours.

Aux machines de *Chesnut Hill*, les distributeurs pour l'admission et l'échappement de la vapeur aux petits et moyens cylindres, ainsi que ceux de l'admission au grand cylindre, sont du type Corliss; l'échappement du petit cylindre se fait par des soupapes à Spot Pond, l'échappement des moyens cylindres et toute la distribution des grands sont à soupapes. Tous ces distributeurs sont (fig. 9) commandés par un arbre de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

distribution mené de l'arbre principal par des engrenages ; la détente aux cylindres de haute pression, soumise à un régulateur, peut être aussi contrôlée à la main. A Chesnut Hill, la détente aux moyen et grand cylindres est aussi réglable à la main ; à Spot Pond, on peut régler ainsi celle du moyen cylindre. Les cylindres sont enveloppés de vapeur aux parois et aux fonds, avec, entre les cylindres de haute, intermédiaire et basse pressions, deux réchauffeurs-réservoirs de volumes égaux à 6 3/4 et 2 3/4 fois ceux des cylindres qui les précèdent. La vapeur de réchauffage passe de la

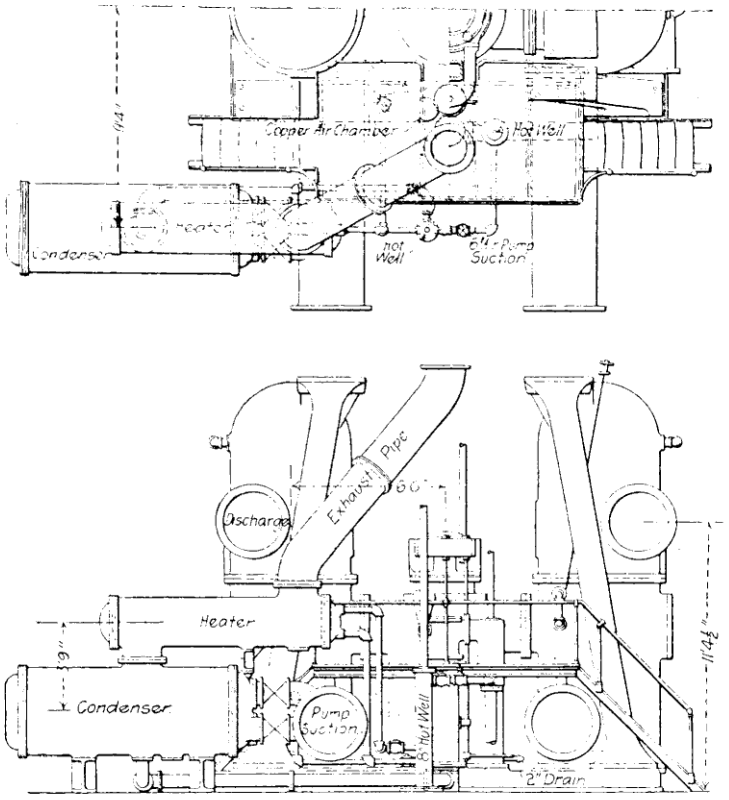


Fig. 7 et 8. — Pompe *Holly*. Détail du condenseur et du réchauffeur.

chaudière à l'enveloppe du petit cylindre, de cette enveloppe au premier réchauffeur, de là, sous une pression réduite, à l'enveloppe du moyen cylindre, puis au second réchauffeur, d'où elle va, sous pression réduite, à l'enveloppe du grand cylindre.

Chacune des machines est pourvue (fig. 7 et 8), à Chesnut Hill, d'un condenseur à surface de $67^{m2},5$ et de 73 mètres carrés à Spot Pond, surmontés d'un réchauffeur (*Heater*) d'alimentation de 14 mètres carrés ; chaque machine commande sa pompe alimentaire et un compresseur d'air pour charger les réservoirs des pompes.

Les clapets des pompes sont en caoutchouc, de 106 millimètres de diamètre, présentant une section de débit égale au double de celle des plongeurs.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La vapeur est fournie par des chaudières cylindriques tubulaires avec réchauffeurs Green.

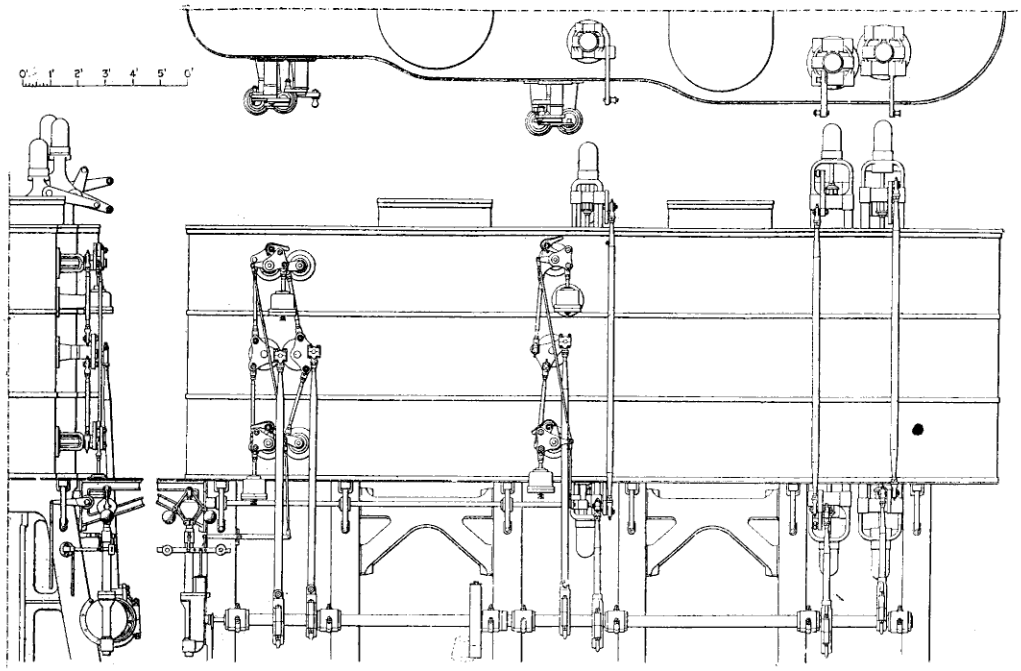


Fig. 9. — Pompe *Holly*. Distribution.

Les principales données de ces machines et les résultats de leurs essais sont les suivants :

Stations de	Chesnut Hill. 3 machines.	Spot Pond. 1 machine.
Cylindres diamètre petit	0m,432	0m,399
— — moyen	0m,793	1m,10
— — grand	1m,22	1m,575
— — course	1m,523	1m,523
— Espaces nuisibles petit	1,5 0/0	1 0/0
— — — moyen	1,3 0/0	0,3 0/0
— — — grand	1,10 0/0	0,5 0/0
Diamètre des plongeurs	940	767
Diamètre des tuyaux d'aspiration et de refoulement	914	760
Diamètre des volants	5m,18	5m,18
Poids de chaque volant	13610 kil	15420
Tours par minute	29	24,4
Vitesse des pistons en mètres, par seconde	1m,45	1m,22
Chaudières 3, à Chesnut Hill et 2 à Spot Pond. — Diamètre	2m,47	2m,30
Chaudières 3, à Chesnut Hill et 2 à Spot Pond. — Longueur	8m,85	8m,84
Chaudières 3, à Chesnut Hill et 2 à Spot Pond. — Tubes nombre	384	256
— Diamètre intérieur	50m/m	60
— Longueur	4m,50	4m,50
Pour chaque chaudière. Chauffe baignée par l'eau *c.*	295m2	150
Pour chaque chaudière. — par la vapeur	— 8	60

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Station de	Chesnut Hill. 3 machines.	Spot Pond 1 machine.
Grille g	$3^{m2},6$	$3^{m2},10$
Calorimètre	$0^{m2},63$	$0^{m2},55$
Rapport g_c	56,57	49,58
Chauffe de l'économiseur	158^{m2}	158^{m2}
Pressions aux chaudières	$10^{k},8$	$10^{k},6$
— aux machines	$10^{k},6$	$10^{k},5$
Vide en millimètres de mercure	690	680
Pressions au 1er réchauffeur	1,75	1,72
— au 2e —	—,035	—0,28
— à la 1re enveloppe	10,6	10,5
— à la 2e —	2,8	2,8
— à la 3e —	0,22	0,19
Résistance ou frottement moyen en chevaux	11,58	3,47
Puissances indiquées au petit cylindre	112,58	151,93
— — au moyen —	104,10	138,22
— — au grand —	107,20	174,32
— totale	323,88	464,47
Effective en eau montée	286,37	448.35
Vapeur sèche par cheval-heure indiqué	$5^{k},10$	5 kil.
Calories par cheval-heure indiqué	31,02	30,50
Vaporisation par kil. de charbon sec ramenée à 100° sans économiseur	11,68	11,60
Vaporisation par kil. de charbon sec ramenée à 100° avec économiseur	12,04	12,27
Vaporisation par mètre de chauffage et par heure	$8^{k},32$	$7^{k},30$
Charbon sec par cheval-heure indiqué	5 kil.	$4^{k},6$
— — effectif	5,85	5
Rendement en kilogrammètres par kil. de vapeur sèche	47,205	52,086
— en kilogrammètres par calorie	80	87
Rendement en kilogrammètres par kil. de charbon sec	47,200	52,080
Rendement organique	88,42 0/0	96,53 0/0
Chaudière avec économiseur	82,9 0/0	84,64
— sans —	80,4 0/0	80
Rendement thermique total du moteur	20,22	20,85

Broyeur *Chester* (1) et *Wegerif*.

Dans cet appareil, le broyage se fait entre deux galets a et b (fig. 1) de forme tronconique, se touchant par une génératrice ee, avec leurs axes cc et dd dans un même plan (fig. 2) mais non parallèles; en faisant arriver la matière à broyer parallèlement à la ligne ee, on lui assure une égale répartition sur cette ligne, de sorte que le broyage s'exécute sans empâtement des galets.

En exécution, le galet supérieur a est monté dans un châssis gfh, pivoté sur les axes ii, suffisamment écartés pour éviter tout gauchissement du galet aa; le châssis fg est maintenu latéralement par les joues jj fixées en k au bâti l. Le châssis gf est chargé en son sommet m, de manière que cette charge se répartisse uniformément

(1) D'après une communication de M. E. D. Chester au Congrès de l'Exposition internationale de Glasgow.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sur les deux portées du galet, par un ressort à boudins multiples, appuyées sur m par le plateau p, et serrées par le plateau o et les écrous q d'un boulon fixé en r au bâti

Fig. 1 à 3.

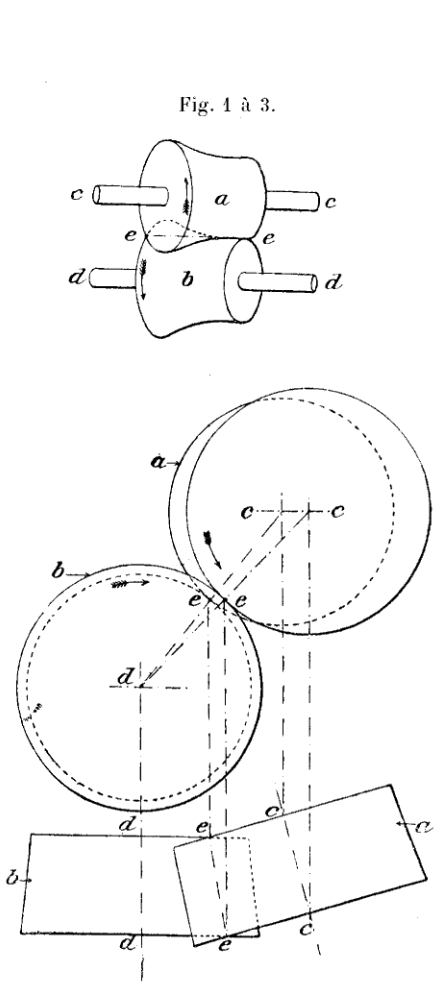


Fig. 1 à 3. — Principe du broyeur *Chester et Wegerif*. — Fig. 4 et 5. — Broyeur *Chester et Wegerif*. Élévation et plan.

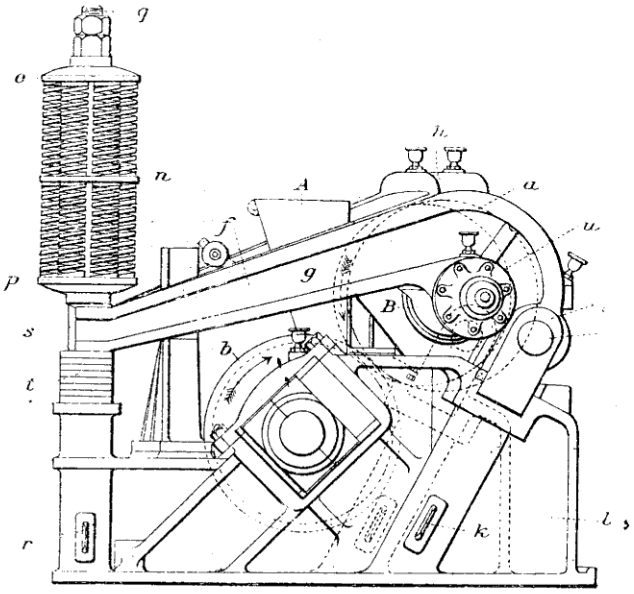


Fig. 4.

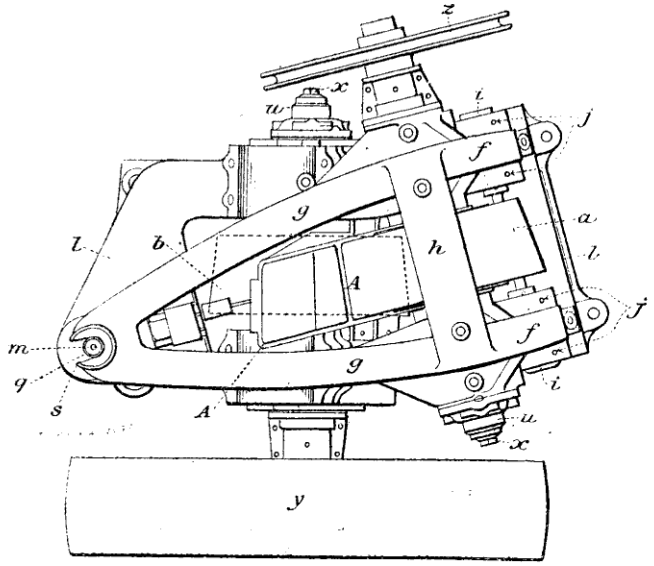


Fig. 5.

l, et qui traverse la fourche s de g. L'écartement des galets a et b est déterminé par l'épaisseur du tas t, sur lequel s vient buter au bas de sa course.

La poussée due à l'obliquité des plans de rotation des deux galets a et b est reçue, pour chacun de leurs axes, par une butée à billes wv (fig. 8) réglable par une vis x;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

le galet inférieur *b* est commandé par une poulie *y*, et *a* par une poulie à corde *z* : ces galets tournent dans le même sens comme l'indiquent les flèches de la fig. 2.

La matière arrive aux galets par la trémie A, et on peut, en relevant le galet *a*, comme on la fig. 7, dégager entièrement le galet *b* pour le visiter.

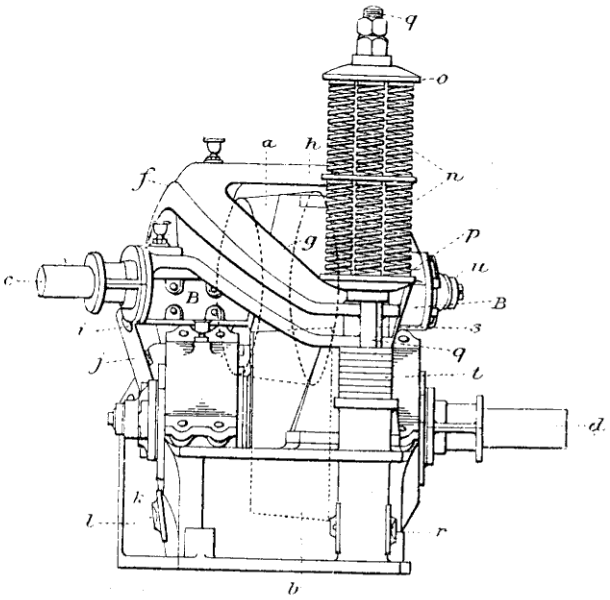


Fig. 6. — Broyeur *Chester et Wegerif*. Vue par bout.

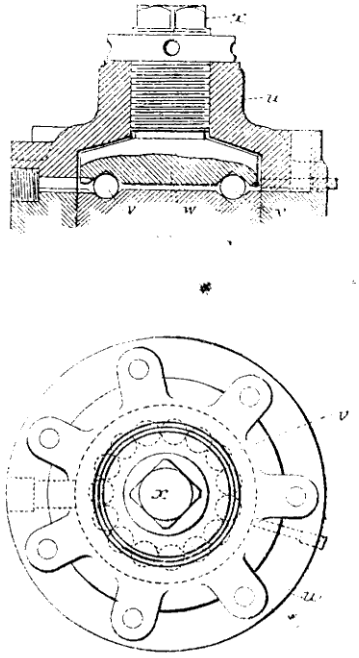


Fig. 8 et 9. — Broyeur *Chester et Wegerif*. Détail de la butée.

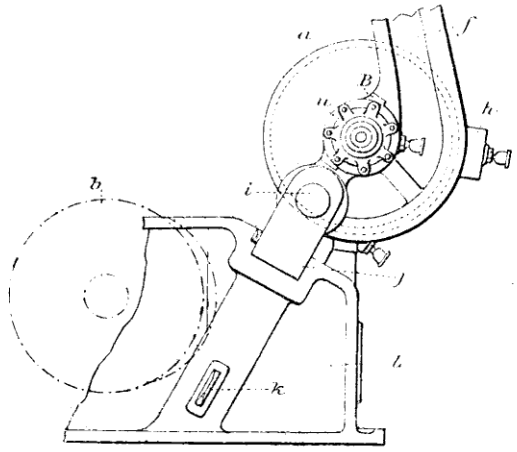


Fig. 7. — Broyeur *Chester et Wegerif* avec cylindre supérieur relevé.

Aux essais, un de ces broyeurs, avec un moteur d'une puissance indiquée de 14 chevaux, a broyé, en 24 heures, 150 tonnes de quartz aurifère assez finement pour en assurer la cyanuration facile. Il est construit par MM. E. Chester et C°, 120, Bishopsgate Street, Within, London.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MOTEUR A VAPEUR FROIDE *Behrend* et *Zimmermann* (1).

Le principe bien connu de cette machine est celui des machines à vapeur combinées, dont le prototype est le moteur classique de *Du Trembley* (1850) (2), principe dont l'application se comprendra facilement par le schéma (fig. 1).

La vapeur de la machine ordinaire à vapeur d'eau A s'échappe dans un condenseur à surface B, dont les tubes sont parcourus par un liquide à point de vaporisation très bas, au cas particulier, par de l'acide sulfureux, et les vapeurs de cet acide vont agir dans le moteur C, d'où elles s'échappent au condenseur D, dont les tubes sont parcourus par une circulation d'eau froide, et d'où l'acide sulfureux, refroidi et reliquéfié, est refoulé par la pompe centrifuge E au condenseur B; c'est donc toujours la même masse d'acide sulfureux qui circule dans le moteur C et les deux condenseurs D et B, en utilisant la vapeur de la machine A comme source de chaleur.

La vapeur de la machine A s'échappe à 100° si elle marche sans condensation, et à 50° environ si elle est à condensation; l'eau de circulation dont on se sert aux condenseurs est, en moyenne, à 15°, et c'est la chute de température de $100 - 15 = 85°$ ou de $50 - 15 = 35°$ que l'on utilise en profitant de la grande volatilité de l'acide sulfureux. Cet acide bout à la pression atmosphérique à la température de 8°, et ses pressions, aux différentes températures, sont données par les deux courbes, fig. 2, de Regnault et de Sapitchewsky, peu différentes l'une de l'autre; on voit, qu'entre 15 et 50°, les pressions absolues de vaporisation de l'acide sulfureux varient entre 3 et 9 kilogrammes par centimètre carré; la température de 50° correspond à un vide de 50 p. 100 au condenseur de la machine à vapeur d'eau A.

On a installé, dans le laboratoire du professeur Josse, au collège technique de Charlottembourg, une machine à acide sulfureux de 60 chevaux, alimentée par la vapeur d'une machine expérimentale à triple expansion de 150 chevaux, à cylindres de 270, 430 et 670 × 505 de course; vitesse 150 tours; la machine à acide sulfureux est à un seul cylindre de 256 × 505 de course, attelé sur le même arbre que la machine à vapeur. Ce cylindre est en fonte, sans enveloppe de vapeur, mais avec enveloppe partielle de feutre; la distribution se fait par des soupapes Colemann, commandées par des arbres oscillants dont les stuffing box sont d'un entretien plus facile que ceux des tiges à mouvements alternatifs; les tiges de ces soupapes sont entièrement enfermées, avec leurs dash-pots, à l'abri de l'humidité de l'air, condition essentielle pour éviter la formation de l'acide sulfurique. Le stuffing box de la tige du piston, extrêmement long, est en deux parties, dont l'extérieure, non soumise à la pression de l'acide sulfureux, est constituée par une simple garniture en tresse de coton. Il ne faut introduire au cylindre aucune graisse; les parois du cylindre se sont montrées intactes après plusieurs mois de marche.

Le condenseur d'acide sulfureux D (fig. 1) est superposé au vaporisateur B, et tous deux sont constitués par des cylindres de $3^m,05$ de long, de 885 et $1^m,05$ de diamètre, avec tubes entièrement en fer, comme leurs cylindres, de 70 mètres carrés de surface pour l'acide sulfureux, et de 160 mètres carrés pour la vapeur d'eau; le vaporisateur est constitué de manière à pouvoir supporter une pression de 20 kilogrammes par

(1) *Traction and Transmission*, décembre, p. 252.

(2) *Manuel du conducteur de machines à vapeur combinées ou binaires* (Lyon, 1850).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

centimètre carré, et le condenseur une pression de 8 kilogrammes. Ces appareils, condenseurs et vaporisateurs, très bien établis, ont parfaitement marché pendant un an; les variations de température, qui ne dépassent guère, en moyenne, une dizaine de degrés, ne provoquent pas de dilatations dangereuses, et l'on pourrait réduire les dimensions du vaporisateur, où les échanges de températures sont beaucoup plus actifs qu'au condenseur D; la continuité de la marche de la pompe E a été assurée par un dispositif très simple (1).

Aux essais, avec une dépense de vapeur d'eau de 5 kilogrammes par cheval-heure indiqué à la machine à vapeur seule, la machine auxiliaire augmentait la puissance

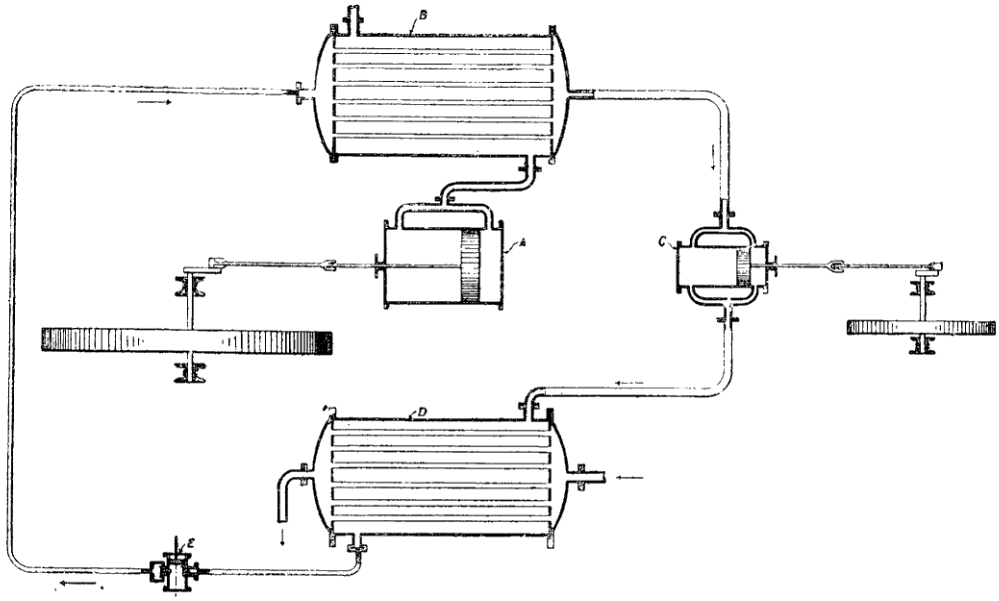


Fig. 1, — Moteur à vapeur froide *Behrend et Zimmermann*.

de l'ensemble de 34,2 p. 100, ce qui réduisait cette dépense de vapeur à $3^{kg},8$ par cheval. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec un vide de 70 p. 100, parce que la diminution de puissance du cylindre de détente de la machine à vapeur est compensée par l'augmentation de celle de la machine à acide sulfureux et par la diminution de la perte aux parois du cylindre de détente de la machine à vapeur, perte notablement plus grande avec un vide de 80 p. 100. La condensation dans le cylindre à acide sulfureux est très faible.

On a indiqué, sur les diagrammes fig. 3 et 7, ceux de la machine à acide sulfureux par des hachures : en vraie grandeur à droite et, au-dessous, en dimensions ramenées à celles du grand cylindre de la machine à vapeur.

Le gain maximum réalisé par l'emploi de la machine à acide sulfureux : 42,1 p. 100 a été obtenu avec de la vapeur d'eau saturée, et en marche trés économique de la machine à vapeur.

(1) *Revue de mécanique*, octobre 1900, p. 347.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En ce qui concerne l'utilisation seule de la vapeur d'échappement, les courbes de la figure 2 montrent que, en passant d'un vide de 80 à un vide de 70 p. 100, la pression de l'acide sulfureux passe, au vaporisateur, de 11 à 14 kilogrammes, de sorte que le rendement de ce vaporisateur est plus élevé quand le vide diminue; mais, d'autre part, en raison de la viscosité des vapeurs d'acide sulfureux, les pertes par la résistance et les frottements des conduites augmentent rapidement avec sa pression; elles sont très élevées, aux diagrammes figure 9 et 10, comme l'indiquent les hachures, et on pourrait les réduire en interposant entre le vaporisateur et le cylindre de la machine à acide sulfureux un réservoir intermédiaire. En fait, chaque cheval-heure indiqué gagné par la machine à acide sulfureux ne nécessite l'emploi que de 15 kilogrammes de vapeur d'échappement, avec un vide de 80 p. 100 et à 150 tours, et l'on aurait pu descendre à 14 kilogrammes, résultat des plus intéressants.

Avec de la vapeur surchauffée, on a pu, sans inconvénient, supprimer le cylindre de moyenne pression de la machine à vapeur, en envoyant la vapeur directement du

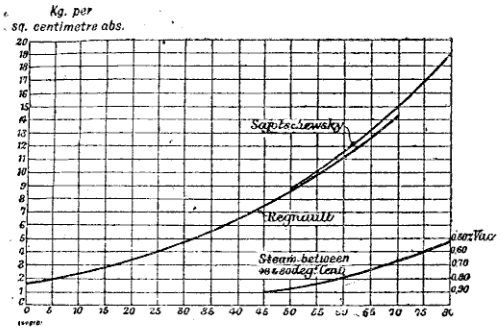


Fig. 2.

petit cylindre au grand, de sorte qu'il semble inutile, avec les moteurs à vapeur froide, de recourir à la triple expansion; la double expansion serait tout aussi avantageuse, et l'ensemble du système ne comporterait plus que deux cylindres à vapeur et un à acide sulfureux.

Quant à la dépense d'eau de refroidissement ou de circulation, avec de l'eau prise à 16° et portée à 17°, elle s'est élevée d'un tiers environ par rapport à la dépense avec la machine à vapeur seule, et elle est retombée à son chiffre normal quand on a laissé cette eau s'élever à 20 ou 25°.

L'usine de construction mécanique de Berlin a récemment installé à la station électrique de Markgrafenstrasse une machine à acide sulfureux de 175 chevaux, à cylindres de 455 × 760 de course, qui donne 150 chevaux à 130 tours. La distribution est faite par un seul tiroir commandé par un excentrique soumis au régulateur.

Accouplées aux machines à vapeur, ces machines à vapeur froide ne sont guère recommandables que pour des installations qui marchent sans interruption pendant une grande partie de la journée, et principalement pour celles à condenseur central; mais elles peuvent être très utiles dans les fabriques de produits chimiques, par exemple, en utilisant les chaleurs perdues des vapeurs de concentration; elles peuvent aussi utiliser, mais avec des appareils assez encombrants, la chaleur de l'eau de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

refroidissement des moteurs à gaz ; on peut encore signaler leur utilité dans ce cas

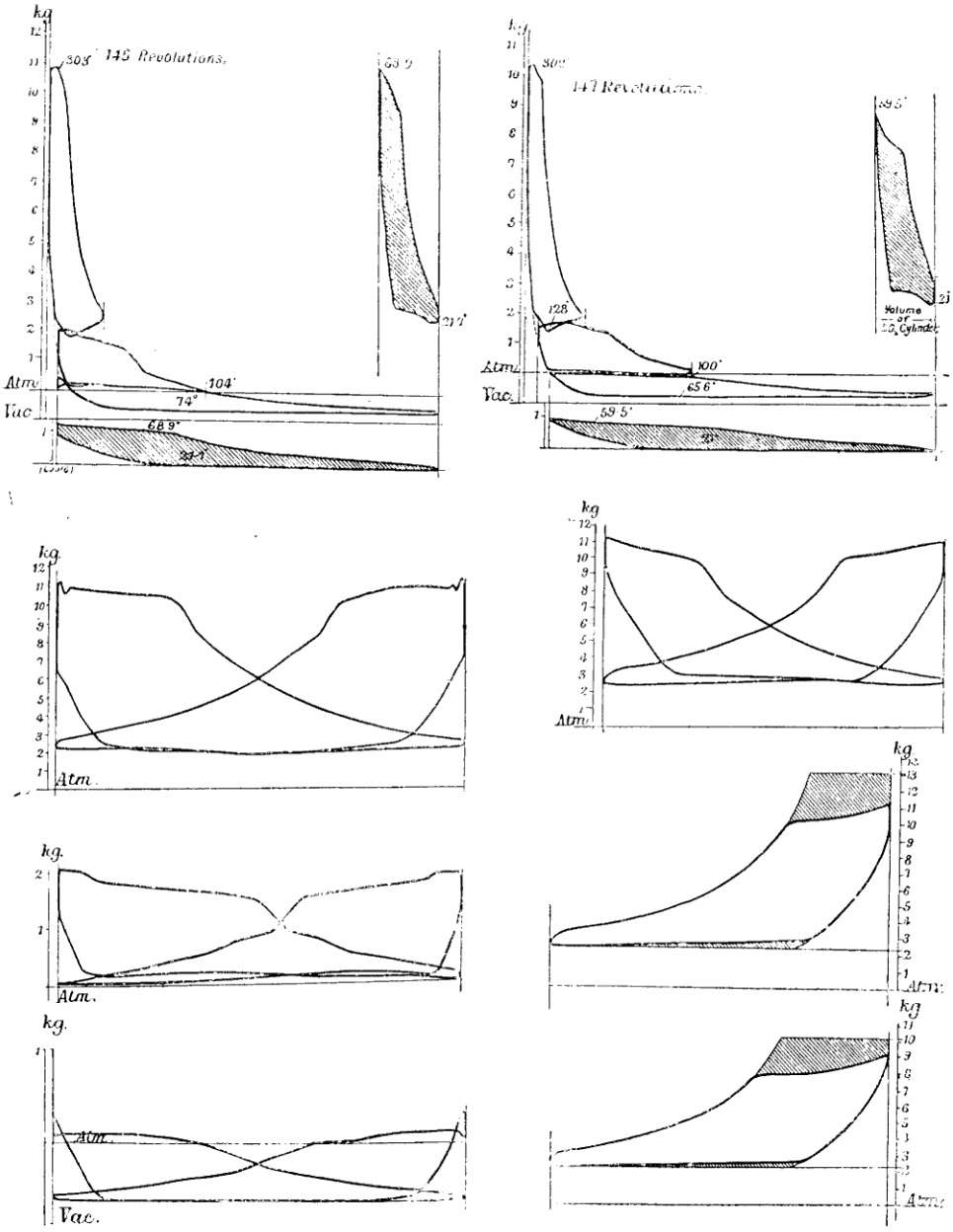


Fig. 3 à 10. — Diagrammes des machines configurées à vapeur et à acide sulfureux.

particulier de certaines mines où l'on dispose d'eau froide et de sources thermales, et où le combustible est extrêmement cher.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

LES CHEMINS DE FER ÉLECTRIQUES A TRÈS GRANDES VITESSES, ESSAIS DE L'*Allgemeine Electricitats* ET DE LA MAISON *Siemens et Halske* (1).

Une Société d'études : la *Studiengesellschaft für Electrische Schnellbahnen*, constituée sous les auspices du gouvernement allemand par les principales maisons d'électricité allemandes, a récemment provoqué, de la part de la Société l'*Allgemeine Electricitats Gesellschaft* et de la maison *Siemens et Halske*, la construction de locomotives et véhicules électriques destinés à être essayés sur la ligne de Berlin-Zossen, tronçon de 23 kilomètres, avec courbes de rayon de 1 000 mètres au moins et rampes maxima de 1/184, conformément au programme suivant, en voie normale avec rails sur traverses en bois.

La voiture, pouvant renfermer 50 voyageurs et passer au gabarit des chemins prussiens, sera portée par deux bogies de trois essieux chacun : poids total par essieu en charge 16 tonnes. Le courant électrique sera triphasé à 10 000 volts et 45 à 50 périodes par seconde : collecteurs, commutateurs et régulateurs aux deux extrémités de chaque voiture ; vitesse de marche, 200 à 220 kilomètres à l'heure ; les moteurs électriques ne doivent manifester aucun échauffement après un parcours de 250 kilomètres.

Chaque voiture aura deux freins indépendants, mécanique et électrique.

Voitures de l' « Allgemeine ».

Après plusieurs projets, on s'arrêta au type fig. 1 à 6, satisfaisant aux conditions fondamentales du stationnement du conducteur en avant et de la disposition des appareils de manière à réduire au minimum la longueur des câbles et connexions, tout en assurant aux voyageurs le plus grand confort possible. A cet effet, l'appareillage : prise des câbles, dispositifs de sûreté et transformateurs, est disposé au milieu de la caisse, dans un compartiment séparé des voyageurs par un puits d'air à double compartiment en fer. Le conducteur se tient en avant, dans un compartiment séparé des voyageurs, où il n'y a pas de connexions à haute pression, et il exerce son contrôle au moyen de transmissions mécaniques.

Il ne fallait pas songer à refroidir les transformateurs par une circulation d'air pris au-dessous de la voiture à cause de la poussière soulevée à ces grandes vitesses ; cette circulation se fait, comme l'indiquent les figures 7 à 10, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, suivant la marche du train, au moyen de deux manches à vent, avec prise sur le toit, séchage et filtrage de l'air avant son passage dans les transformateurs.

Le poids total de la machinerie est de 29 850 kilogrammètres, dont 6 500, ou $6^{kil},5$ par kilowatt, pour les transformateurs ; 12 800 pour les moteurs, ou 13 kilogrammes par cheval en marche normale, et $4^{kil},30$ en marche forcée ; 4 750 kilogrammes pour les rhéostats et régulateurs ; 2 600 pour les freins et les accumulateurs d'éclairage ; 1 000 pour les câbles ; 1 400 pour les perches des trolleys.

Les dynamos, non enfermées, sont (fig. 11 à 13) exposées à l'air qui refroidit par une large surface leurs armatures lamellaires.

Après de longs tâtonnements, on prit le parti de suspendre (fig. 14) les moteurs

(1) *Vereines Deutscher Ingenieure*, 7, 14 et 28 septembre 1901, mémoires de MM. Lasche et Reichel ; communication de M. Lasche au Congrès de l'exposition de Glascow, *Traction and Transmission*, vem bre, p. 152.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

aux boîtes à graisse par de longs ressorts assez puissants pour ne fléchir que de quelques millimètres, et réglables par un taquet *a*, disposé de manière que leur flexibilité soit très souple pour les deux ou trois premiers millimètres et très raide ensuite jusqu'à 8 ou 10 millimètres ; le moteur est fixé à une cage en tôle assujettie sur ces ressorts et guidée latéralement par les guides *b*, et l'armature du moteur est calée sur

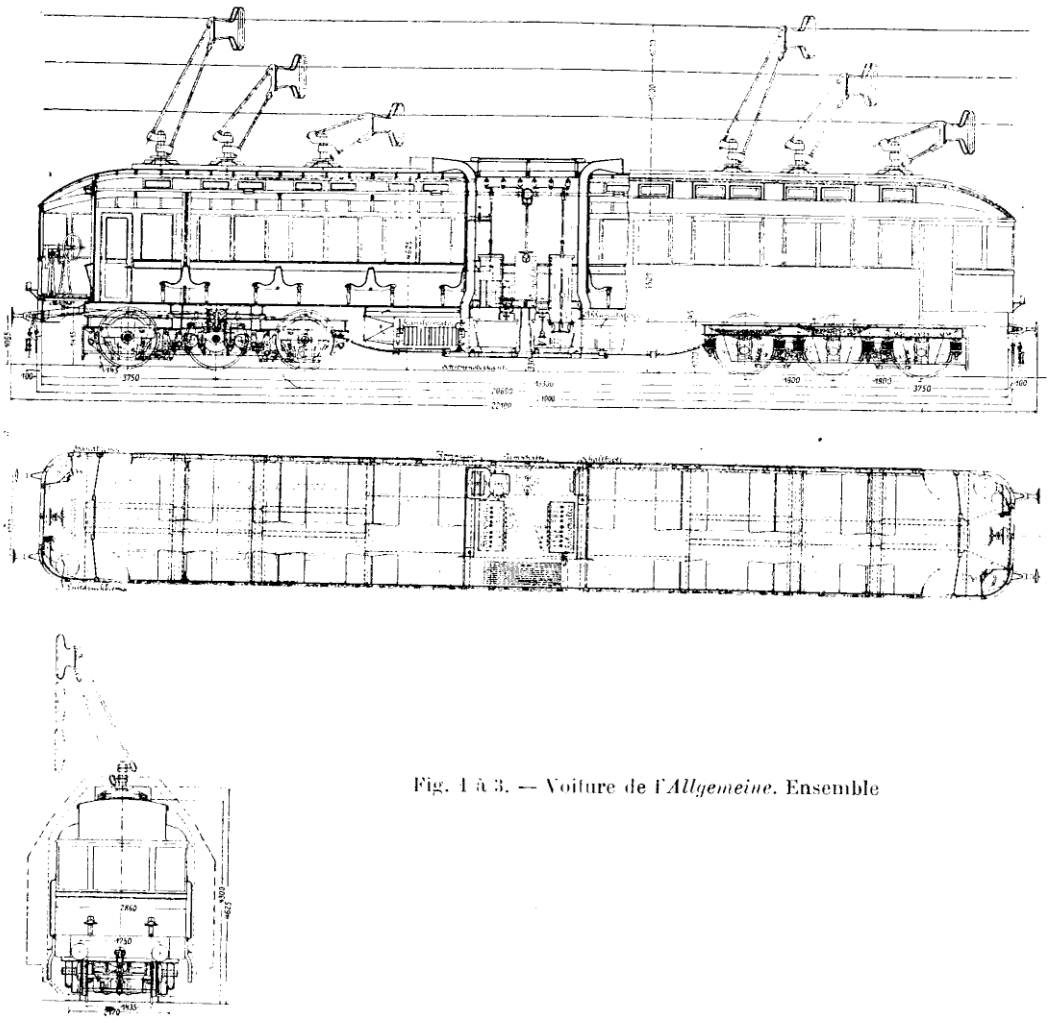


Fig. 1 à 3. — Voiture de l'*Allgemeine*. Ensemble

un arbre creux enfilé sur l'essieu (fig. 15). Cet arbre creux attaque les roues calées sur l'essieu par l'accouplement représenté par les figures 15 et 16, à doubles bras élastiques attaquant la jante des roues par des osselets symétriques avec un frottement presque nul, d'une sensibilité telle qu'il fléchit, en pleine vitesse, pour une dénivellation de 5 millimètres sur 15 mètres.

Il fallait s'assurer de la possibilité de faire tourner l'arbre creux du moteur, en acier au nickel, dans des coussinets en antifriction à ces vitesses énormes de 18 mètres par seconde ; à cet effet, on installa le dispositif d'essai représenté par la figure 17,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

où l'on faisait tourner, dans un coussinet subissant de bas en haut une levée égale à la charge en marche sur la voiture, un bloc d'acier au nickel du même diamètre que celui de l'arbre creux; ce bloc était monté sur un arbre commandé par une dynamo dont on mesurait l'effort à chaque instant; on dut renoncer au graissage forcé en raison des difficultés du raccordement des tuyaux aux bogies avec leurs pivotements, et l'on prit comme moyen de graissage un disque de grand diamètre calé (fig. 11) sur l'arbre et tournant dans un bain d'huile; ce disque a donné, entre des vitesses de glissement de 2 et de 25 mètres par seconde et des pressions du coussinet sur l'arbre variant de

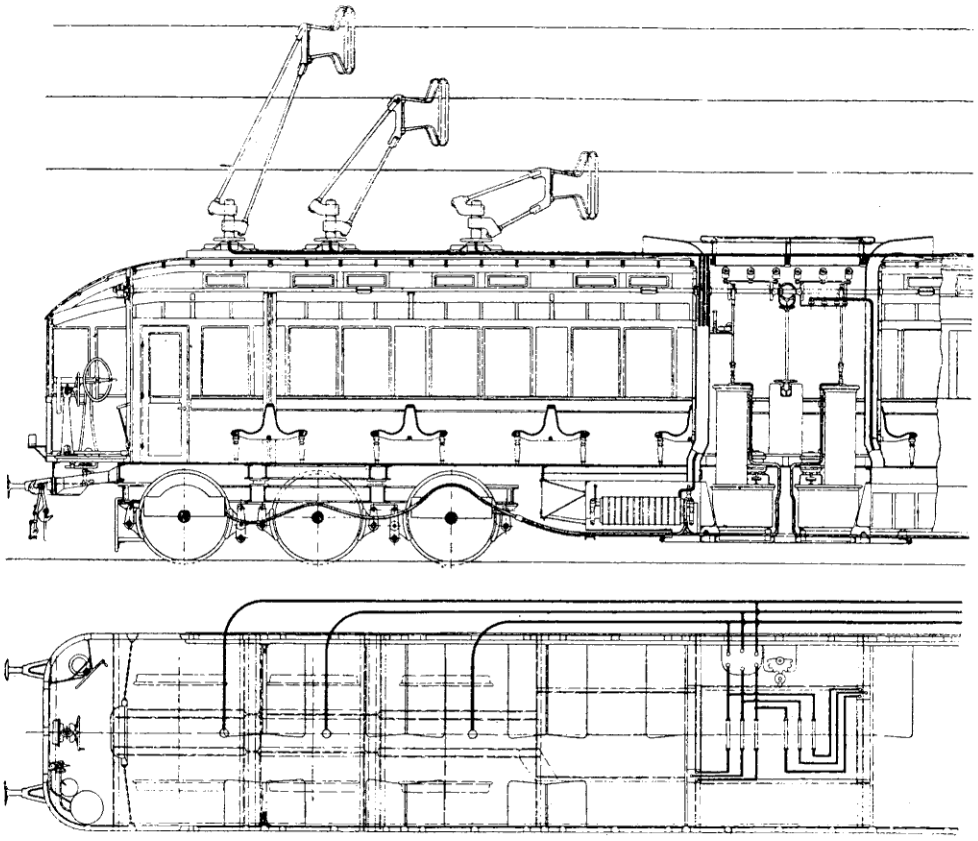


Fig. 4. — Voiture de l'*Allgemeine*. Schéma des circuits et connexions.

2 à 5 kilogrammes par centimètre carré, les résultats indiqués par les diagrammes (fig. 18 et 19), dans lesquels on a porté en ordonnées les coefficients de frottement μ, et en abscisses les vitesses de glissement v et les températures.

Les dispositifs de mise en train sont montés au milieu de la voiture afin de réduire au minimum la longueur des câbles. L'installation d'un rhéostat régulateur pour une puissance aussi variable et importante, 3 000 chevaux, était particulièrement difficile, et, pour l'étudier expérimentalement, on établit l'appareil représenté par la figure 20. Dans cet appareil, un moteur triphasé de 300 à 400 chevaux est directement accouplé à un volant assez lourd pour exiger, afin d'atteindre la vitesse correspondant à celle de la voiture au bout de 15 secondes, un torque correspondant à une puissance de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

400 chevaux. Une pompe centrifuge commandée par une dynamo fait continuellement circuler de l'eau autour des lames métalliques d'un rhéostat liquide interposé dans le

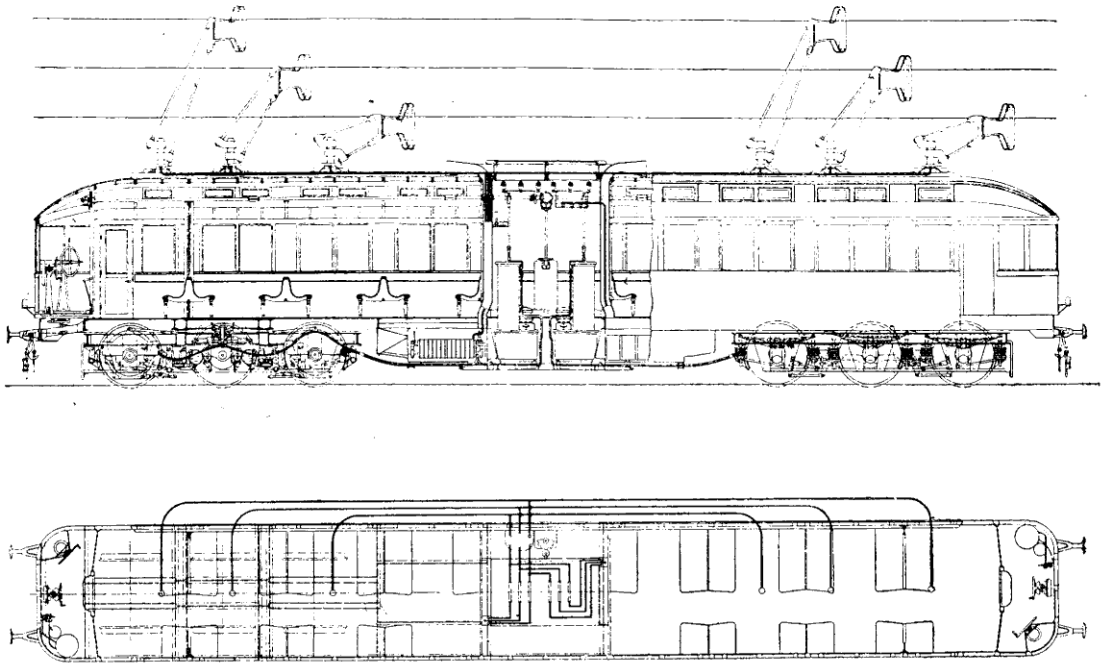


Fig. 5 et 6. — Voiture de l'*Allgemeine*. Ensemble des connexions.

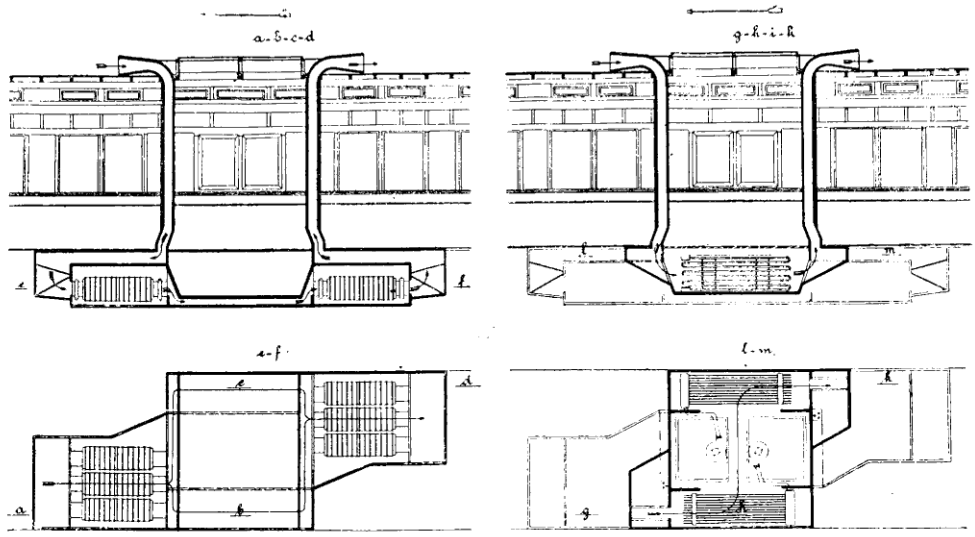


Fig. 7 à 10. — Voiture de l'*Allgemeine*. Refroidissement des transformateurs.

circuit de l'armature, et la hauteur de ce liquide est réglée par un robinet ou un déversoir; le courant est d'autant plus fort que ce niveau est plus élevé. Les lames

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ont une forme telle que leur surface soit très faible et leur écartement très considérable au bas, puis que cet écartement soit très faible au haut, de manière à éviter les mises en court circuit métalliques aux grandes puissances. L'eau qui vient de

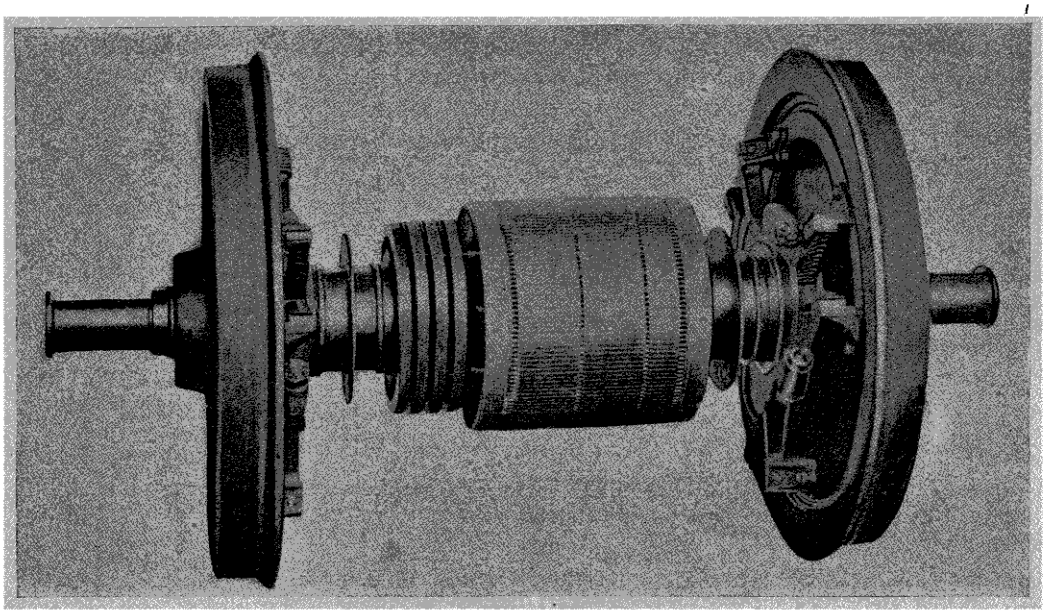


Fig. 11. — Voiture de l'*Allgemeine*. Ensemble d'un essieu moteur.

s'échauffer par son passage dans le rhéostat traverse un serpentin où elle se refroidit, et ce refroidissement, joint à l'effet propre au renouvellement même du liquide, suffit

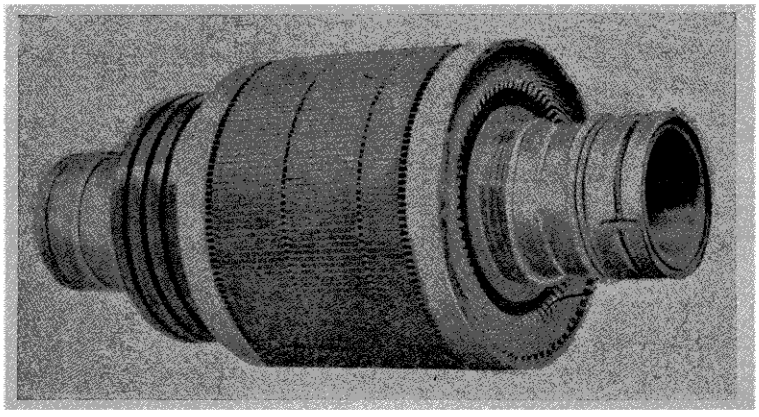


Fig. 12. — Voiture de l'*Allgemeine*. Armature d'un moteur.

pour assurer le bon fonctionnement de l'appareil dans les circonstances les plus difficiles. C'est le débit de la pompe centrifuge qui règle la rapidité de la mise en train, de sorte qu'il suffit de limiter ce débit par une valve régulatrice pour éviter que le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

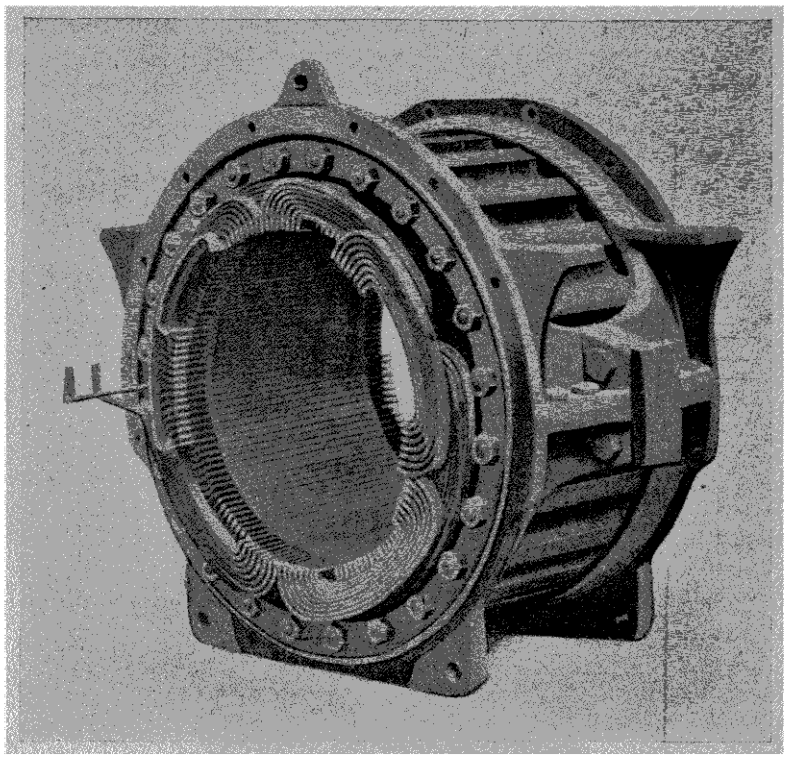


Fig. 13. — Voiture de l'*Allgemeine*. Inducteur fixe d'un moteur.

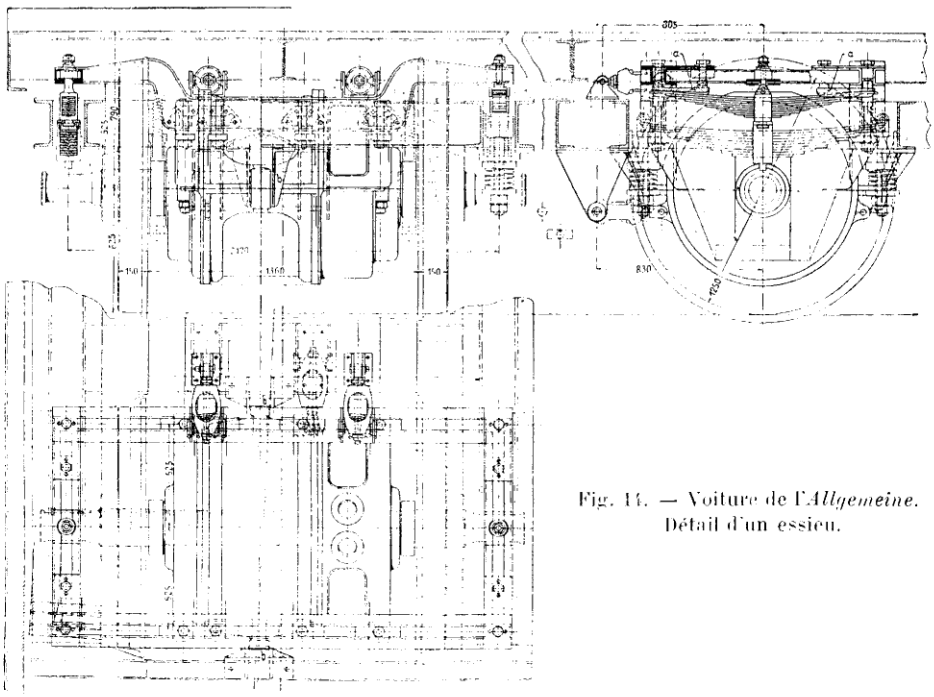


Fig. 14. — Voiture de l'*Allgemeine*. Détail d'un essieu.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mécanicien ne provoque un démarrage trop rapide ; et, d'autre part, le mécanicien peut, en agissant sur cette valve, modérer à volonté la vitesse. Ce dispositif donne

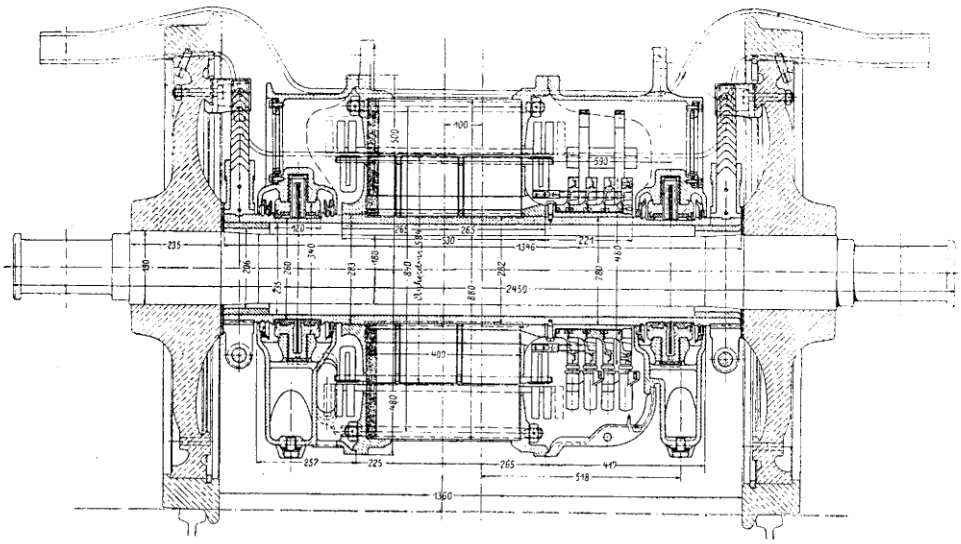


Fig. 15. — Voiture de l'*Allgemeine*. Détail d'un essieu moteur.

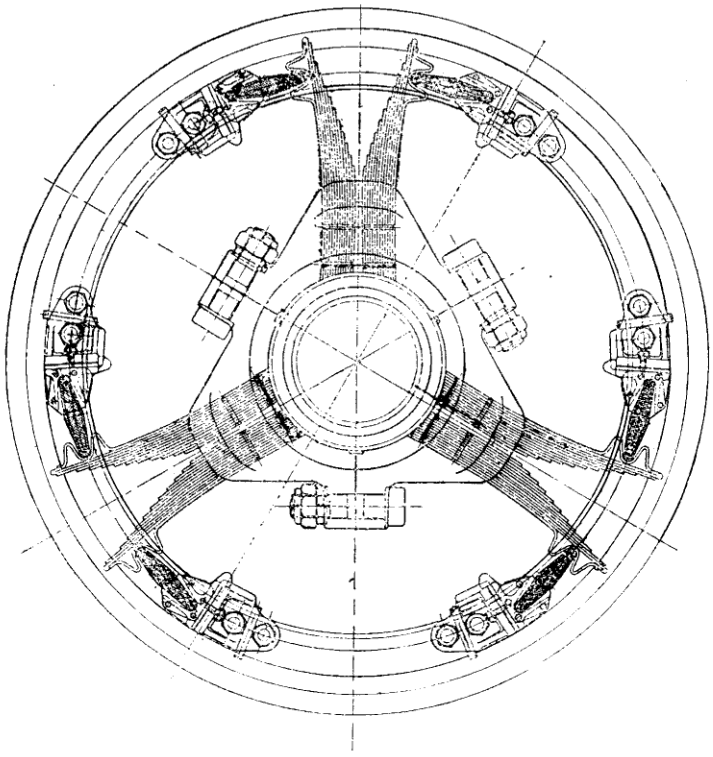


Fig. 16. — Voiture de l'*Allgemeine*. Accouplement des roues.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des démarrages progressifs et très doux ; en outre, il peut être manœuvré très facilement à la main.

Chaque voiture porte un frein Westinghouse à air comprimé, divisé en deux parties : une pour chaque bogie, commandé de la plate-forme d'avant, et donnant une pression de 170 p. 100 de la charge des roues pour tenir compte de la faiblesse du coefficient de frottement aux très grandes vitesses d'environ 50 mètres par seconde, et ces freins sont pourvus d'un dispositif permettant d'abaisser cette pression quand

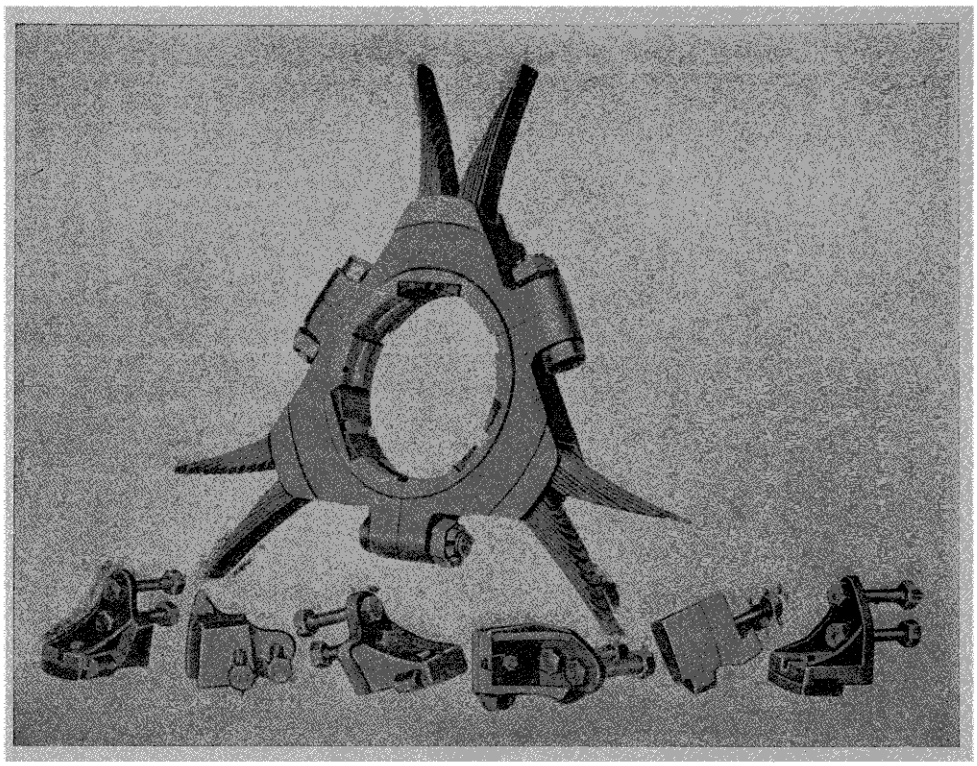


Fig. 16 *bis*. — Voiture de l'*Allgemeine*. Détail de l'accouplement.

la vitesse diminue. En outre, les moteurs eux-mêmes sont disposés de manière à faire frein en ouvrant le circuit de l'armature au moyen du rhéostat, puis, soit en le fermant sur le circuit continu des accumulateurs, soit en renversant les phases de son circuit, que l'on ferme plus ou moins par le rhéostat, selon l'intensité que l'on désire pour le freinage ; on a adopté ces deux modes de freinage pour éviter la détresse par suite de la rupture, par exemple, d'un plomb dans le circuit de contre-courant des accumulateurs.

Le courant est amené par trois câbles aériens (fig. 4) superposés au moyen de collecteurs en archet, qui se prêtent mieux que le trolley aux déflexions des câbles ; il y a ainsi un archet pour chacune des phases ; chacun des systèmes de trois archets est disposé au-dessus d'un bogie, et cette duplication des archets assure la marche en cas de raté de l'un d'eux ; ces archets sont en lames d'aluminium appuyées par des ressorts.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les principales dimensions de la voiture, construite par MM. Zypen et Charlier de Deutz, pour 50 voyageurs, sont les suivantes : longueur totale, 21 mètres, largeur, $2^{m},60$, entre les pivots des bogies, $13^{m},30$, hauteur des tampons, $1^{m},065$. Les pivots des bras et les isolements des câbles sont essayés à 20 000 volts.

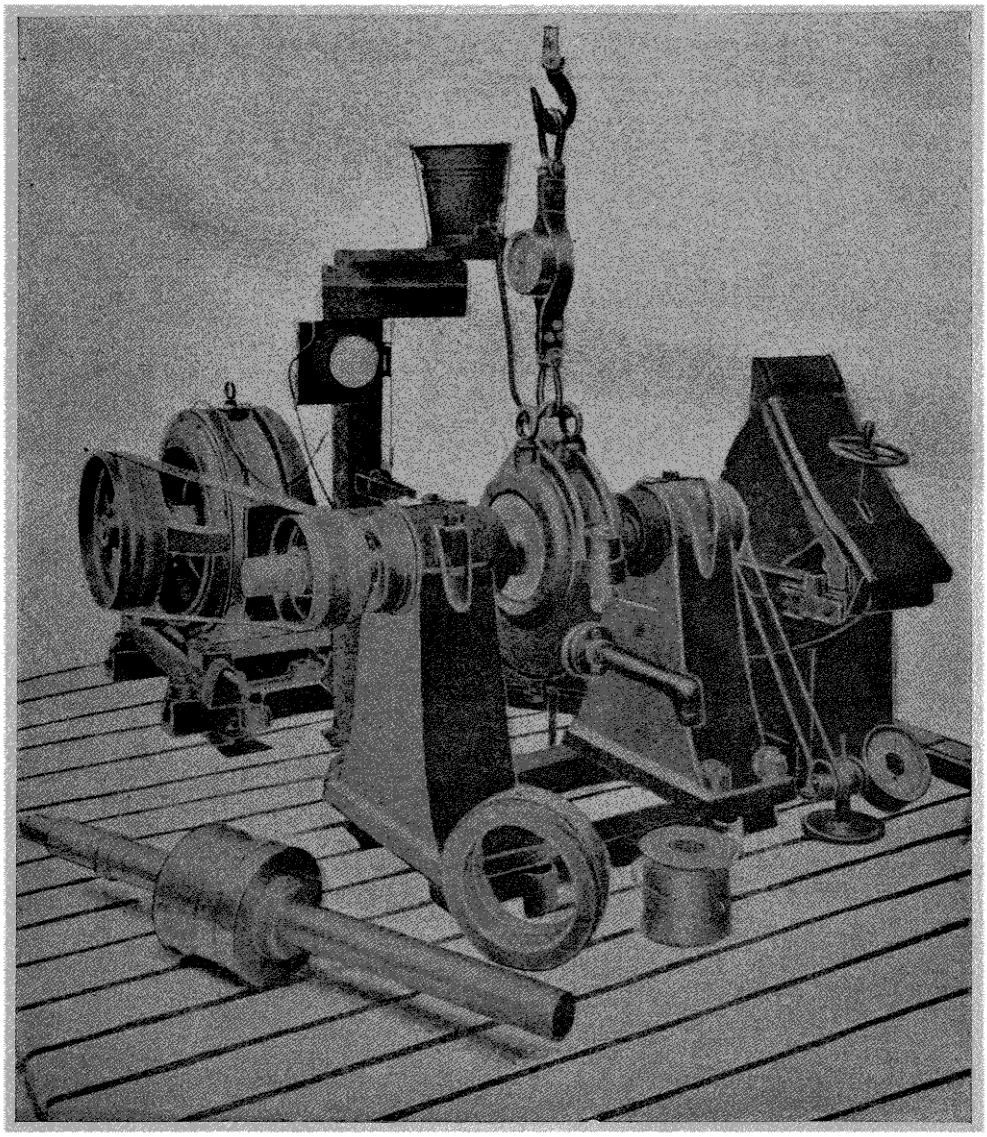


Fig. 17. — Appareil de l'*Allgemeine* pour l'étude du graissage des essieux.

Le diamètre des roues est de $1^{m},25$; chacun des bogies est à trois essieux, dont deux moteurs, et celui du milieu porteur, écartement des essieux $1^{m},900$, empattement de chaque bogie $3^{m},80$; charge par essieu, environ 14 tonnes. Le châssis du bogie repose sur des ressorts à boudins suspendus aux extrémités des ressorts à lames qui

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

en chargent les boîtes à graisse, et sur les étriers desquels reposent les ressorts de suspension des moteurs précédemment décrits, disposés de manière que, en cas de

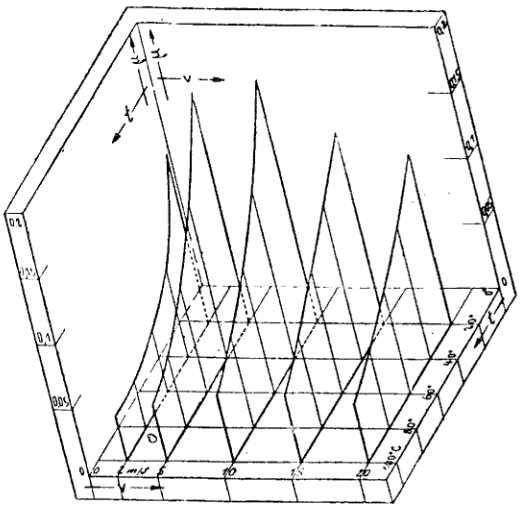


Fig. 18.

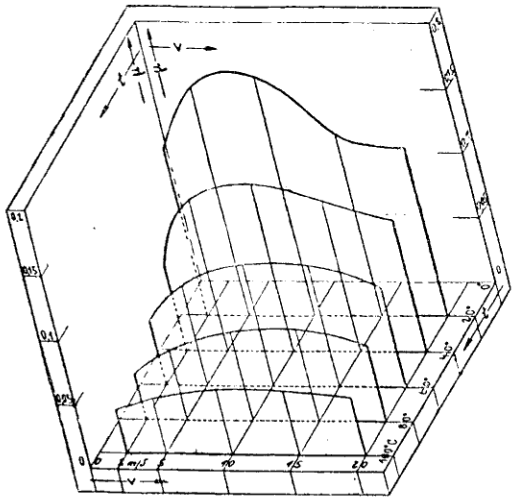


Fig. 19.

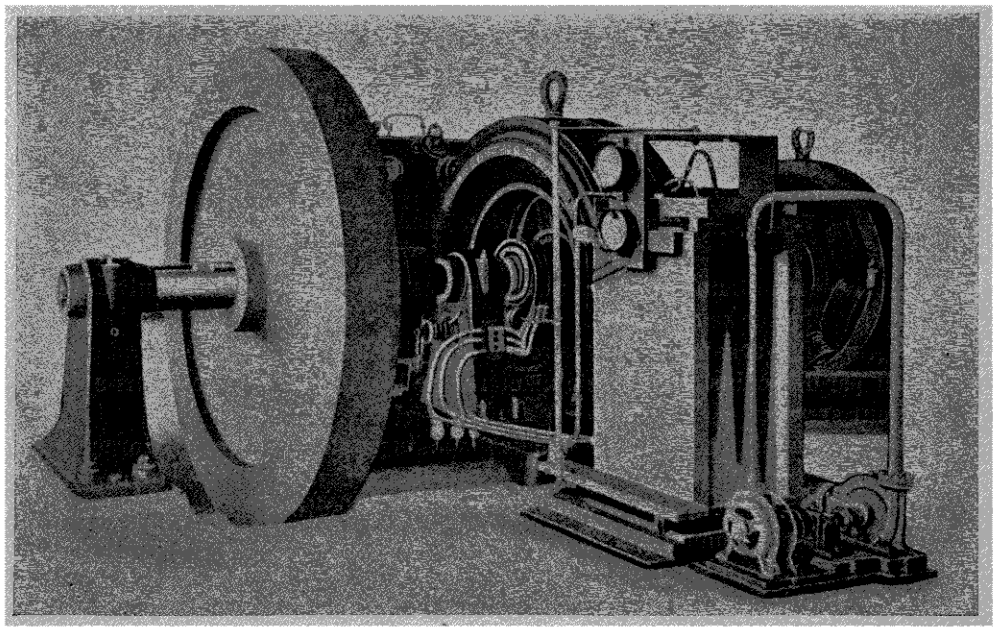


Fig. 20. — Appareil de l'*Allgemeine* pour l'étude des rhéostats.

rupture de ces ressorts, le moteur viendrait reposer sur l'essieu par des tasseaux métalliques placés près du moyeu des roues.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Chacun des moteurs, d'une puissance normale de 250 et maxima de 750 chevaux fait normalement 960 tours par minute, correspondant à une vitesse de 225 kilomètres à l'heure, et reçoit le courant réduit par les transformateurs de 1 200 à 435 volts, tension qui a permis l'emploi de l'enroulement bifurqué représenté par la figure 13; l'inducteur est à barres isolées par un tubage en mica, et, pour faciliter les démarrages, l'enroulement de l'armature est à deux phases au lieu de trois. La partie fixe du moteur supporte l'arbre creux de l'armature par deux paliers (fig. 21), dont l'un porte les balais et les bornes; les moitiés inférieures de ces paliers s'enlèvent facilement de manière à permettre l'accès des balais; l'anneau graisseur de chaque palier plonge dans l'huile de 30 à 40 millimètres; l'arbre creux est écarté de l'essieu de 30 milli-

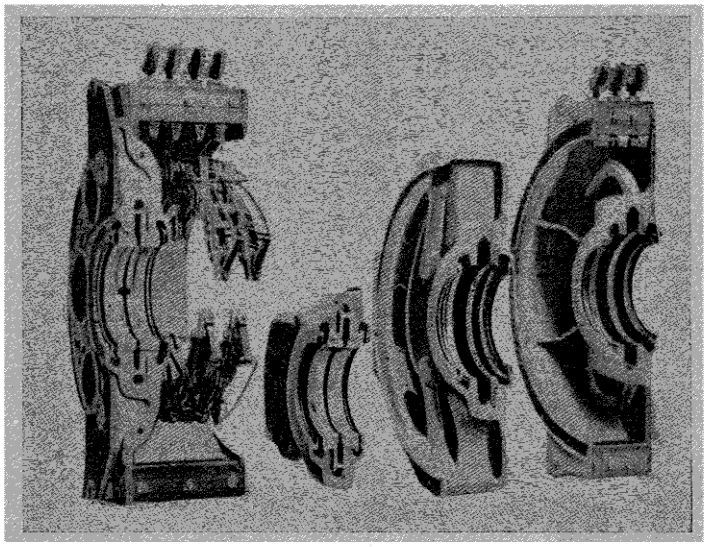


Fig. 21. — Voiture de l'*Allgemeine*. Détail des balais et paliers.

mètres, et il est maintenu latéralement sur un des paliers seulement, l'autre bout de l'arbre restant libre de se dilater.

Les ressorts de l'accouplement des roues avec l'essieu creux du moteur sont fixés au moyeu par des coins disposés de manière que l'action de la force centrifuge contribue à leur serrage.

Les transformateurs sont à trois noyaux disposés parallèlement avec l'enroulement intérieur de basse tension : 435 volts, formé par une grosse spirale en cuivre séparée de l'enroulement extérieur à haute tension par un cylindre de mica; de forts courants d'air passent, comme nous l'avons vu, dans ce noyau et entre les deux enroulements. Les noyaux sont supportés en leur milieu de manière à éviter les déformations par les vibrations de la voiture à laquelle le transformateur est suspendu par des boulons.

Les câbles de haute tension sont, outre leur gaîne d'isolement essayées à 20 000 volts, posés sur des doubles isolants, et pourvus de plombs de sûreté qui garantissent complètement la voiture; leur disposition générale est indiquée sur les figures 4 et 5; ils aboutissent aux bogies par des suspensions élastiques qui leur permettent de se prêter aux mouvements de ces bogies.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le conducteur de la voiture en commande toutes les manœuvres par une seule manette ; un ampèremètre lui indique constamment la charge des moteurs, un tachymètre lui donne la vitesse de la voiture ; cette manette commande les commutateurs, le freinage électrique et le rhéostat de mise en marche. A sa gauche, se trouve la manette de commande du frein Westinghouse, et, à sa droite, celle du frein à main des manœuvres d gare.

Pour les essais préliminaires, on a monté les bogies de la voiture sur une plateforme d'essais où chacun des essieux moteurs reposait sur quatre galets en acier roulant à 1 800 tours en pleine marche, et pourvus de freins ; ces galets, au profil du rail, étaient entraînés par l'adhérence des roues des essieux ; on a pu ainsi s'assurer de la bonne marche des moteurs, et se préparer aux essais définitifs sur la voie.

Voiture Siemens et Halske.

Avant de construire leur voiture dont l'ensemble est représenté par la figure 26, MM. Siemens et Halske se sont livrés à une série d'expériences très intéressantes sur la résistance probable de l'air aux très grandes vitesses.

L'appareil employé pour ces expériences se compose (fig. 22 et 23) d'un axe ver-

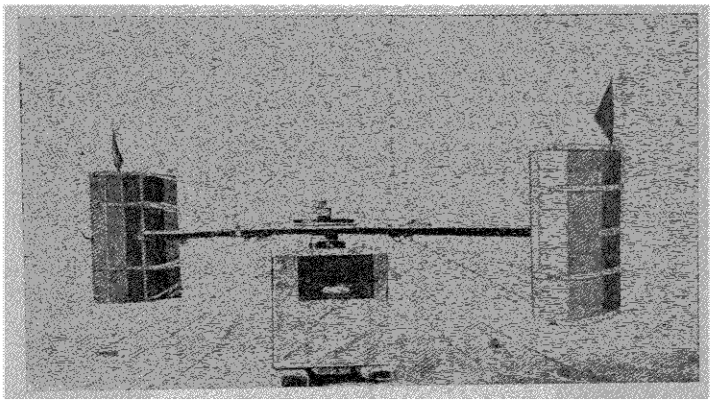


Fig. 22. — Appareil *Siemens et Halske* pour l'étude de la résistance de l'air.

tical commandé par une dynamo de 200 chevaux, et entraînant, au bout d'un bras de $3^{m},275$ de rayon, deux surfaces à la rotation desquelles l'air opposait une résistance mesurée par la puissance déployée par le moteur. L'inducteur de ce moteur était (fig. 23) excité séparément, de sorte qu'il marchait en dérivation à vitesse constante pour un voltage donné, et l'armature était excitée par le courant d'une dynamo séparée variable à volonté ; la mise en marche et l'arrêt se faisaient par un rhéostat liquide ; la vitesse était donnée par un compteur Morse.

On essaya successivement des surfaces planes rectangulaires, puis paraboliques, comme celles (fig. 24) ; les résultats en sont figurés par les courbes du diagramme (fig. 25) ; ils montrent, qu'avec des surfaces paraboliques analogues à celles présentées par l'avant de la voiture, la résistance est, par unité de maître couple, environ le tiers de celle des surfaces planes normales au vent. A la vitesse de 200 kilomètres, cette résistance est d'environ 90 kilogrammes par mètre carré, soit 10 kilogrammes pour

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

une section de 10 mètres carrés, prévue pour la voiture, de sorte que, si l'on admet le chiffre très élevé de $4^{kil},5$ par tonne pour la résistance de roulement, et 100 tonnes pour le poids de la voiture, la puissance nécessaire pour tirer cette voiture, à la vitesse

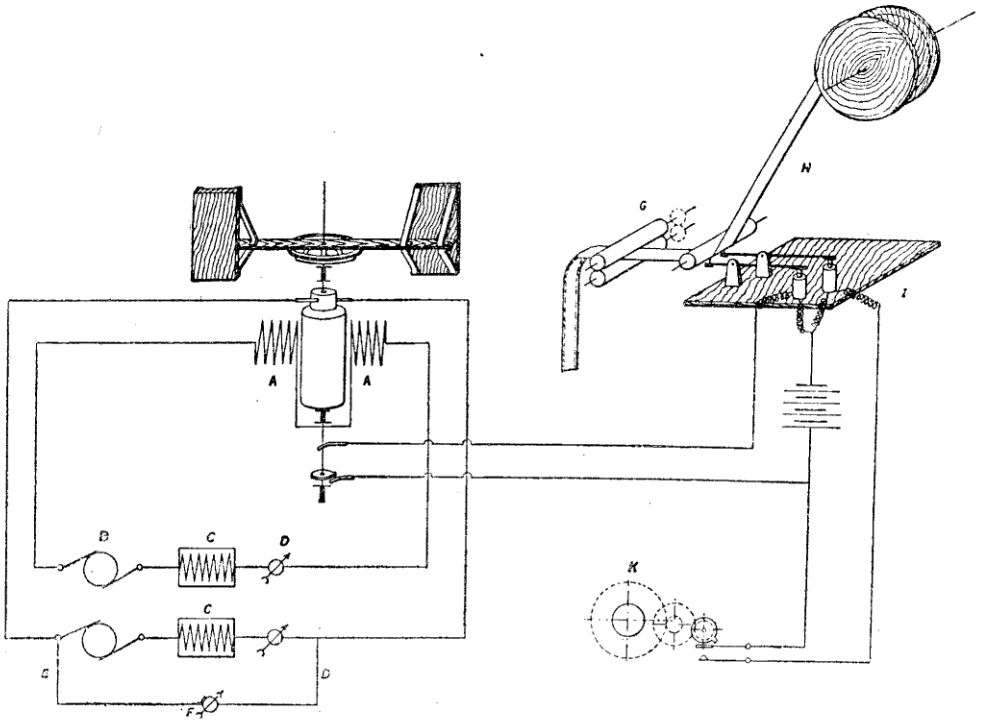


Fig. 23. — Appareil de *Siemens et Halske* pour l'étude de la résistance de l'air. Schéma des circuits

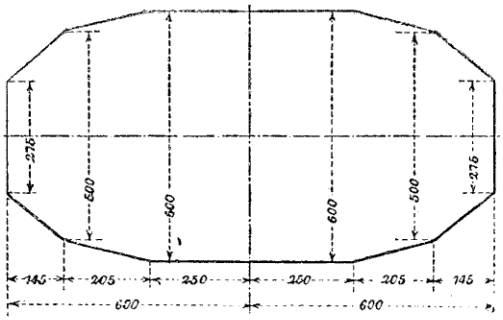


Fig. 24.

de 55 mètres par seconde, serait, au crochet d'attelage, de (900 + 450) 55/75, ou de 990 chevaux, soit, en nombre rond, de 1 000 chevaux.

La voiture pèse, en réalité, $94^t,500$, dont 20 700 kilogrammes pour la caisse et les freins, 27 300 pour les bogies et leurs essieux, 48 000 pour les moteurs et leur suspension, 12 300 pour les transformateurs, 4 000 kilogrammes pour les 50 voyageurs, le conducteur et le mécanicien. La voiture a (fig. 26) 21 mètres de long, $2^m,360$ de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

large; hauteur du toit au-dessus du rail $4^{m},30$; diamètre des roues des bogies $1^{m},250$, empattement $3^{m},80$, d'axe en axe des bogies $14^{m},30$; double suspension (fig. 27) par ressorts à boudins et lamellaires; à chaque bogie, deux essieux moteurs et celui du milieu porteur; frein Westinghouse.

L'appareillage électrique est divisé en deux parties renfermant chacune (*a*) deux

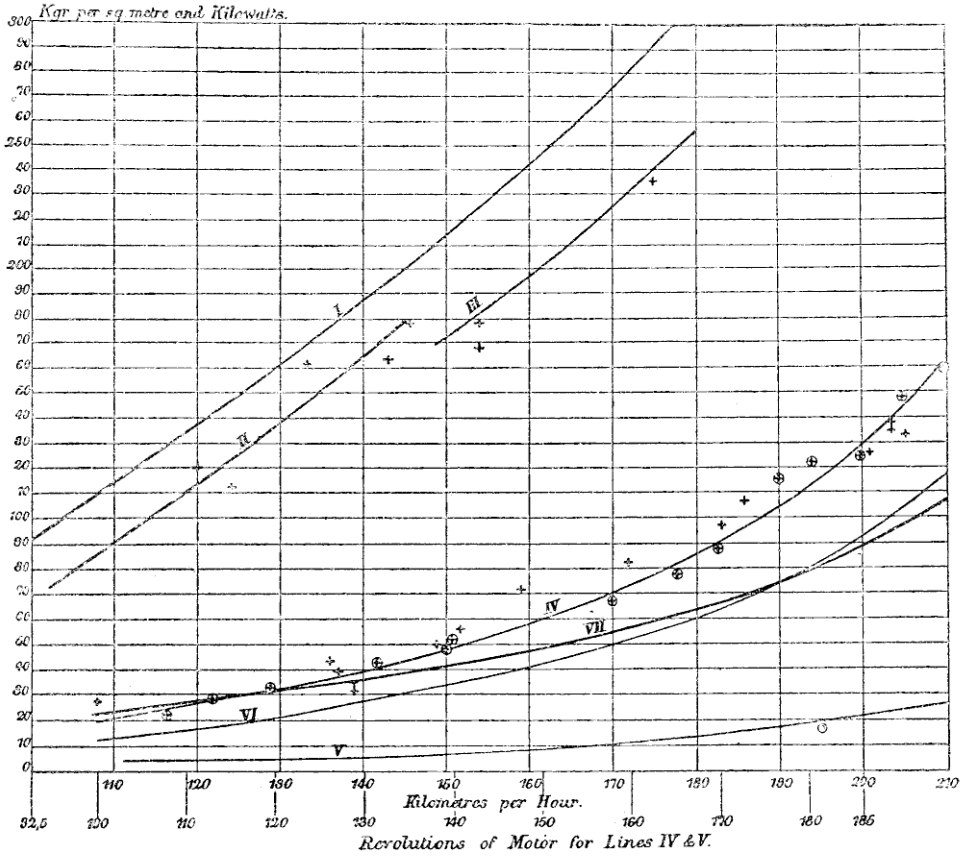


Fig. 25. — Résistance de l'air.

Courbe I, calculée par la formule P = 0.1225 kil. par mètre carré; courbe II, mesurée avec une surface plane de 1 mètre carré ou kil. par mètre carré; courbe III, mesurée avec une surface de $0^{m2},60$; courbe IV, résistance totale avec surface parabolique, en kilowatts; V, résistance à vide en kilowatts; VI, résistance effective nécessaire pour vaincre la résistance de l'air avec surface parabolique, en kilowatts; VII, résistance mesurée avec une surface parabolique de $0^{m2},96$ en kil. par mètre carré.

moteurs, deux séries de résistances, deux démarreurs, deux commutateurs et deux coupe-circuits de sûreté (*b*), un grand transformateur avec ses connexions et plombs de sûreté (*c*), une pompe à air comprimé avec petit transformateur, réservoir d'air et plombs de sûreté (*d*), un collecteur de courant (*e*), une plate-forme de mécanicien avec manipulateur à air comprimé pour la commande des manœuvres et appareils indicateurs, suivant les connexions indiquées sur les figures 28 et 29.

Chaque moteur, enfilé (fig. 30) directement sur son essieu, peut développer, au

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

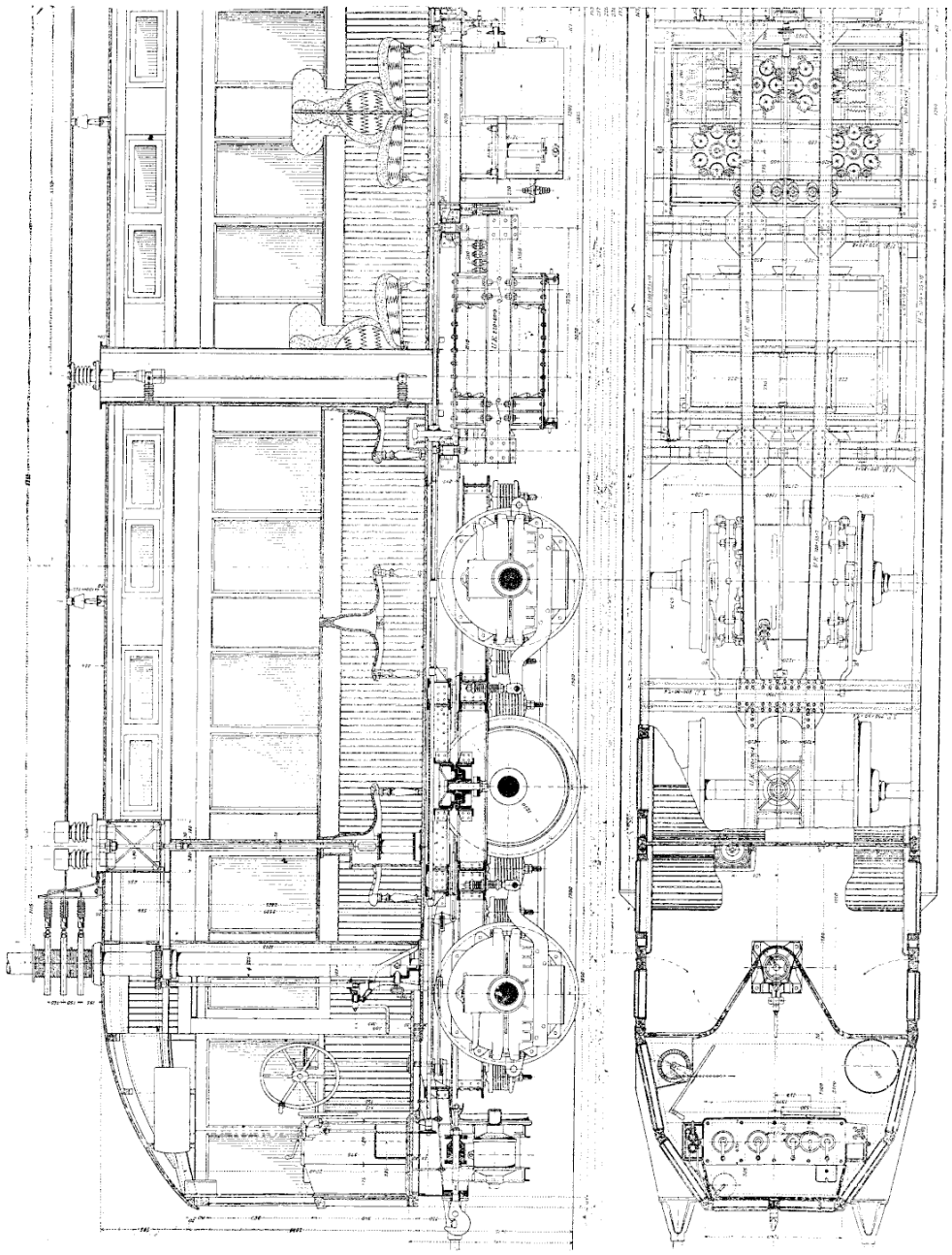


Fig. 26. — Voiture *Siemens et Halske*.

démarrage, 750 chevaux et, en marche normale, 250 ; son circuit primaire reçoit le courant à 1 100 volts en marche normale, et à 1 850 au démarrage ; le réglage, au démarrage, se fait par des rhéostats insérés graduellement dans le circuit secondaire des moteurs, qui part avec 650 volts ; ces résistances sont en fils métalliques disposés

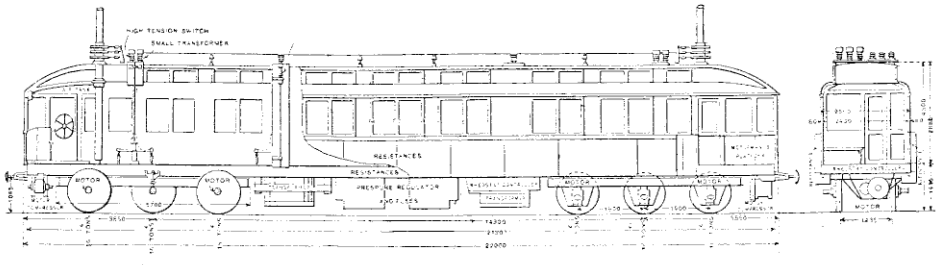


Fig. 26 *bis*. — Voiture *Siemens et Halske*.

dans les panneaux aérés de la voiture. La tension de 1 150 à 1 850 volts est donnée par les grands transformateurs, à commutateurs manœuvrés, de la plate-forme du mécanicien, au moyen de l'air comprimé. Le courant de 1 150 à 1 850 volts arrive à l'inducteur tournant du moteur par trois anneaux de bronze isolés au mica et huit balais de carbone facilement accessibles ; cet inducteur est à corps en disques lamellaires avec barres ; l'enroulement triphasé de l'induit est aussi sur barres et lamelles ; le rhéostat

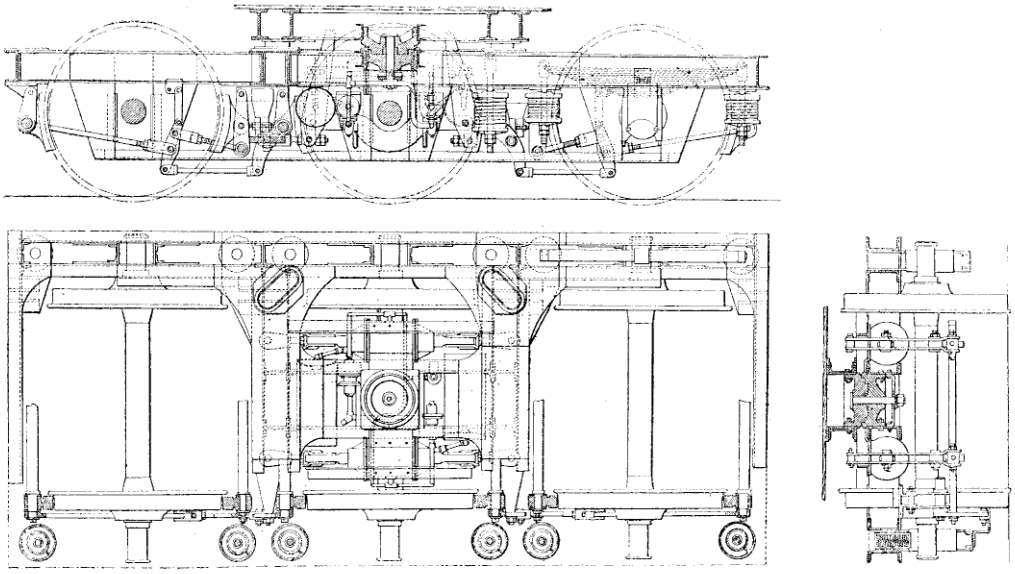


Fig. 27. — Voiture *Siemens et Halske*. Détail d'un bogie.

de démarrage est divisé en 29 degrés, correspondant chacun à une variation de puissance de 20 chevaux, et leur ensemble est disposé de manière que l'on ne puisse mettre en charge les moteurs que successivement, de façon à éviter les à-coups. Les commutateurs de mise en train sont commandés soit à la main, par une transmission

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à chaînes et une manette de chaque plate-forme, soit par de l'air comprimé et deux cylindres : un petit, toujours sous pression, et un grand, relié au réservoir d'air pour le démarrage seulement et marchant en opposition du petit sur une même crémaillère en prise avec un pignon de la commande des rhéostats ; pour couper le circuit, on lâche l'air du grand cylindre, et le petit ramène le commutateur au zéro avec une rapidité réglable par le mécanicien.

Chaque moteur reçoit son courant du grand transformateur par trois commutateurs

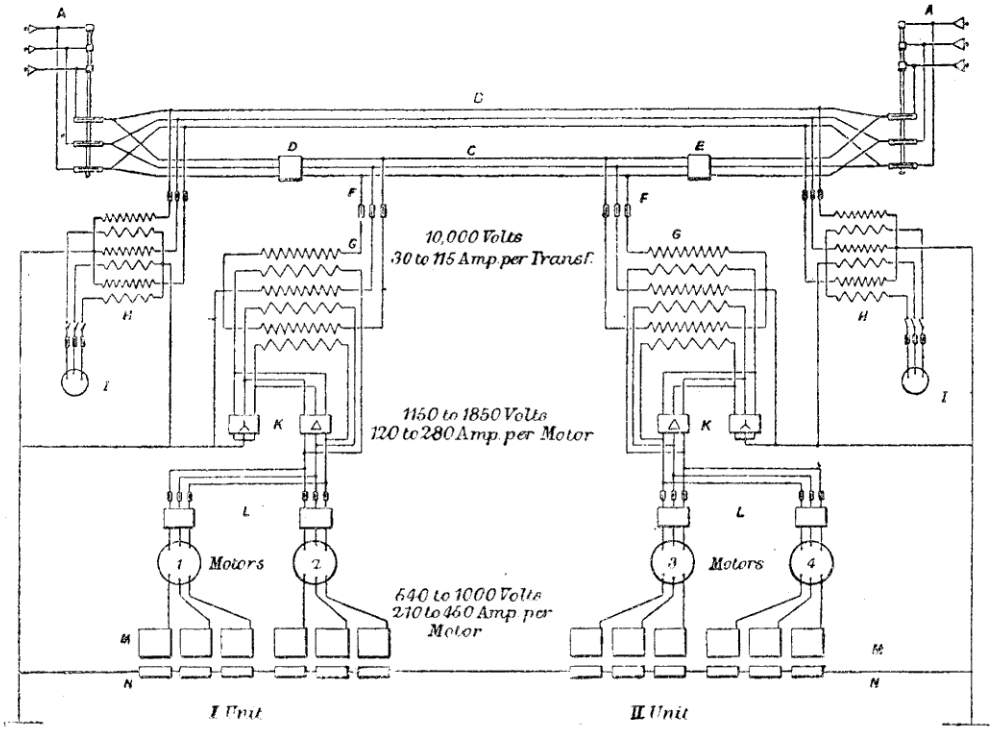


Fig. 28. — Voiture *Siemens et Halske*. Schéma des connexions.

A, collecteurs; B, ligne égalisatrice; C, distribution; D et E, commutateurs d'avant et d'arrière; F, plomb de sûreté; G et H, grands et petits transformateurs; I, pompes à air; K, commutateurs; L, commutateurs des moteurs; M, résistances; N, mises en train.

pe moyenne tension : un pour chaque phase, et un commutateur principal, qu'il suffit de tourner pour retrancher du circuit un moteur hors de service.

Les archets sont (fig. 30) montés au nombre de trois à chacune des extrémités de la voiture, sur des tubes Mannessmann de 200 millimètres de diamètre intérieur, et que le mécanicien peut orienter sur leurs pivots ; les archets sont appuyés sur les fils de prise par des ressorts et des panneaux poussés par le vent de la marche.

L'air comprimé des freins et des manœuvres est fourni par deux pompes électriques aux extrémités de la voiture ; elles aspirent par minute, à la vitesse de 190 tours, 400 litres d'air, et les compriment à 6 kilomètres ; leurs moteurs triphasés reçoivent leurs courants d'un petit transformateur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

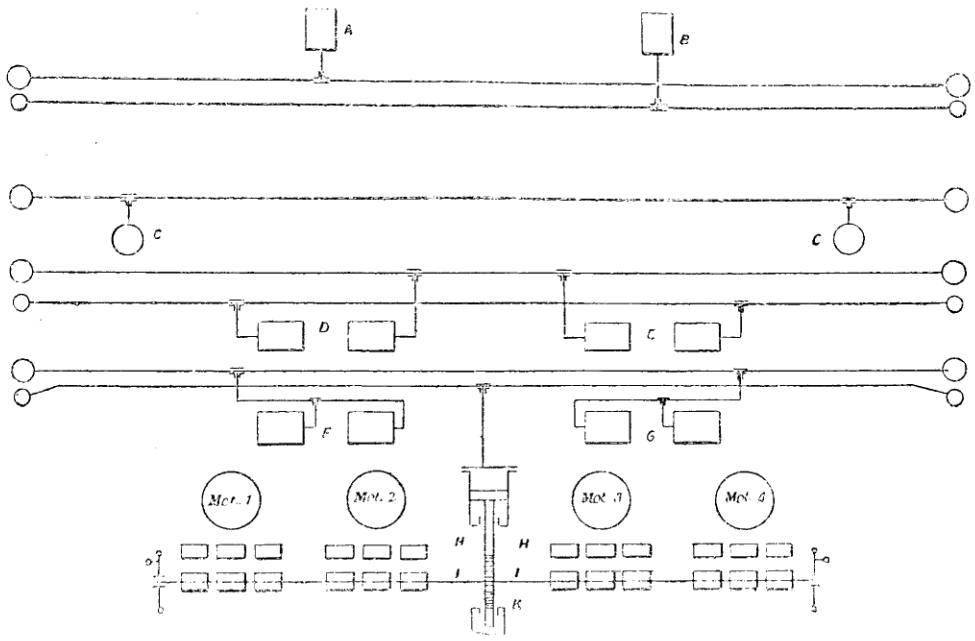


Fig. 29. — Voiture *Siemens et Halske*. Schéma général des connexions.

A et B, commutateurs d'avant et d'arrière; CC, moteurs compresseurs; D et E, commutateurs des transformateurs; F et G, commutateurs des moteurs 1 et 2, 3 et 4; HH, résistances; II, mises en train; K, cylindre à air comprimé.

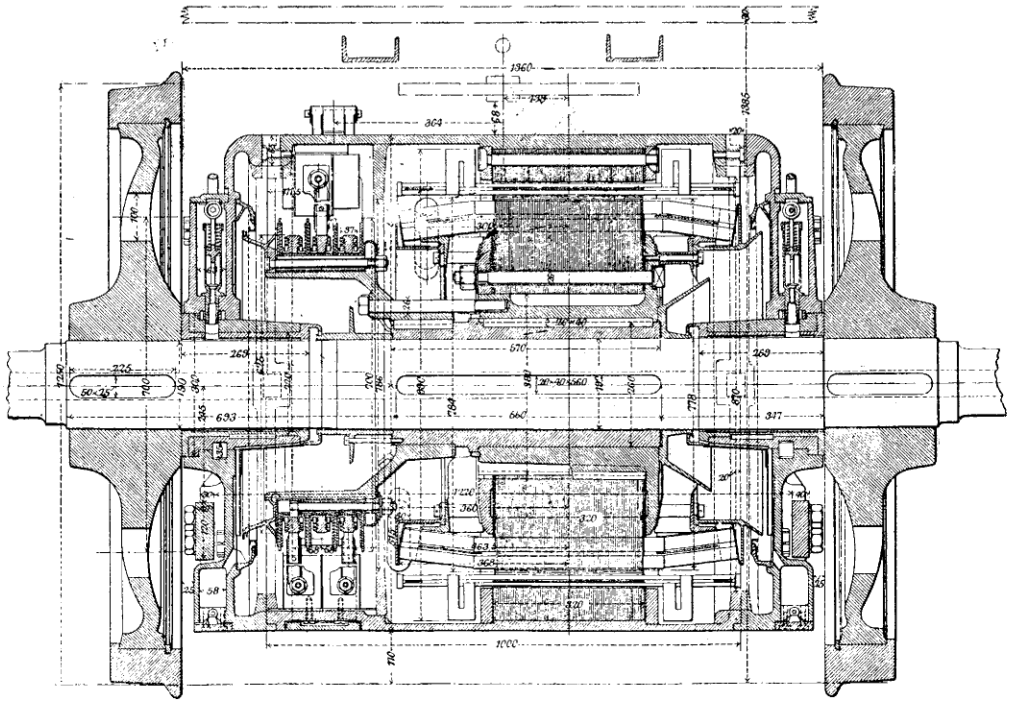


Fig. 30. — Voiture *Siemens et Halske*. Détail d'un essieu moteur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les moteurs ont été essayés avec des résultats satisfaisants jusqu'à 200 chevaux ; les rhéostats ne s'échauffent pas dangereusement sous des conditions bien supérieures à celles de leur service futur, et leur commutateur ne donne pas d'étincelles

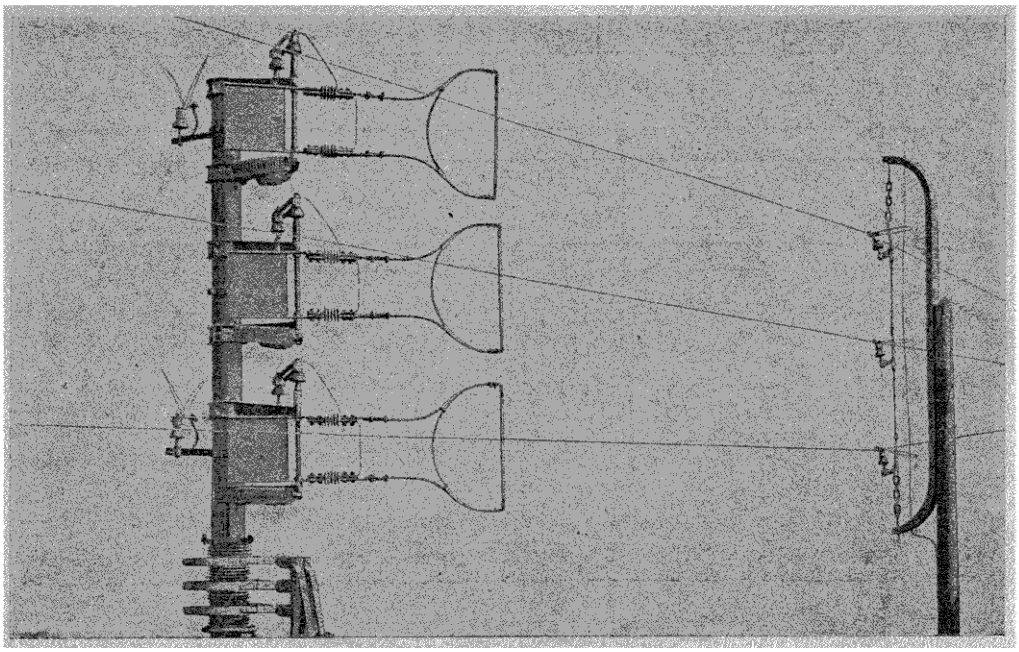


Fig. 31. — Voiture *Siemens et Halske*. Détail des archets.

sensibles sous un courant de 500 ampères 40 volts ; les transformateurs ont bien supporté, un jour entier, une tension de 20 000 volts ; les connexions ont été essayées sur la voiture complètement équipée à 15 000 volts, avec les moteurs tournant à vide.

CONSTRUCTION DES ROUES MOBILES DE TURBINES RADIALES

Les turbines des types « Francis » et « Hercule » se répandent de plus en plus. M. N. Baashuns a publié récemment une méthode pour le calcul de leurs aubes (1). Généralement, on suppose que l'arête de sortie se trouve dans une surface de niveau ou d'égale vitesse, et que cette vitesse normale, égale à celle qui règne dans le tuyau d'aspiration, est acquise à l'arête de sortie. Mais il est vraisemblable, qu'à chaque point de cette arête, correspond une vitesse différente. Par suite, pour déterminer l'angle de la développante du cercle de l'arête de sortie en ce point, il faut y connaître la vitesse de l'eau et la vitesse à la périphérie. Cette dernière vitesse est connue en tous les points. La direction et la grandeur de la vitesse de l'eau sont données par la trajectoire de l'eau et par les surfaces de niveau. Le procédé suivant a pour but de déterminer facilement les trajectoires des filets d'eau et les surfaces de niveau en un

(1) *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 9 novembre 1901.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

point quelconque de la turbine, ce qui permettra de construire des aubes avec une exactitude suffisante.

Envisageons d'abord une turbine Francis. Dans ce cas, l'eau entre dans la roue mobile suivant un rayon et a sur toute la longueur la vitesse constante.

$$C^{e} = \frac{Q}{\pi D_e B} \frac{1}{\sin \alpha}$$

dans laquelle Q est le débit de l'eau. D^{e} le diamètre de la roue, B la largeur et α l'angle de sortie de la couronne directrice.

La surface déterminée par cette formule est une surface de niveau. La direction de

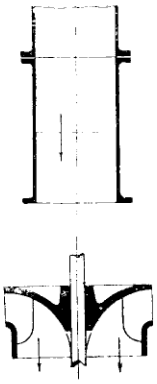


Fig. 1 et 2.

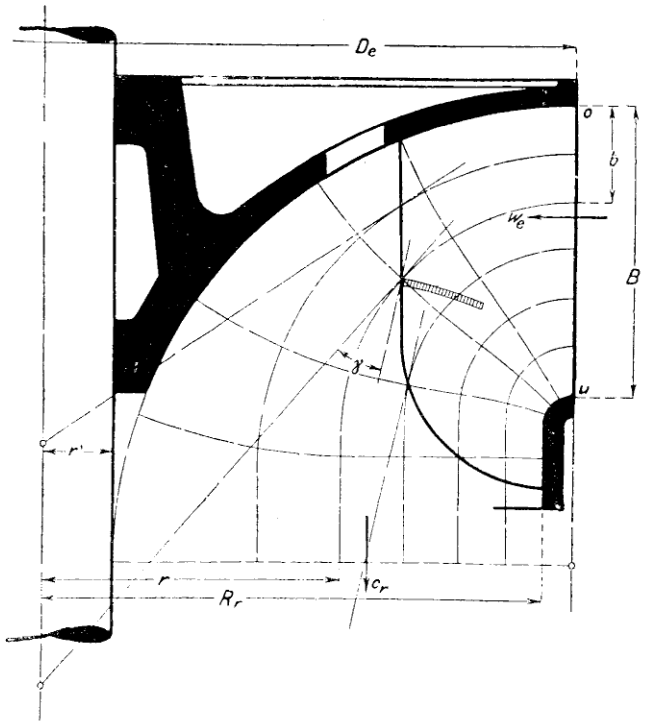


Fig. 3.

l'eau est peu à peu déviée et elle sort du tuyau d'aspiration suivant l'axe. La grandeur de ce changement de direction est connue et, en remarquant qu'à partir du point où ses contours intérieur et extérieur sont parallèles, le tuyau d'aspiration se comporte par rapport aux surfaces de niveau comme un tube cylindrique (figures 1 et 2) dans lequel ces surfaces sont des plans perpendiculaires à l'axe, on possède, pour chaque turbine Francis, une deuxième surface de niveau facile à construire, dont on peut faire usage pour tracer les trajectoires de l'eau et les surfaces de niveau en chaque point entre l'entrée et la sortie de l'eau.

Les projections des trajectoires des filets d'eau sont données en *o* et *u*, figure 3 puisque, dans les turbines de ce type (turbines à siphon), l'eau remplit entiè-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rement la roue mobile. En prenant pour contour intérieur un quart de cercle tangent à l'arbre et pour contour extérieur le quart de cercle tangent au tuyau d'aspiration, il est naturel de supposer que la trajectoire des filets entrant entre o et u présentera une forme semblable à celle des filets qui entrent en o et u; par suite, la projection de ces trajectoires rabattues dans le plan du papier sera semblable à celle des trajectoires des filets entrant en o et u et composée de quarts de cercle et de droites.

Pour tracer une trajectoire de l'eau, supposons la turbine décomposée en plusieurs petites turbines. A cet effet, nous diviserons l'une des surfaces de niveau en un certain nombre de tronçons, nous chercherons sur l'autre surface de niveau les parties qui débitent les mêmes volumes d'eau, et nous réunirons les points correspondants ainsi trouvés par des quarts de cercle et par des droites de façon à obtenir une figure semblable au contour extérieur. Alors, d'après la figure 3, on aura la relation :

$$\frac{(\pi r^2 - \pi r'^2)\, c_r}{(\pi R_r^2 - \pi r'^2)\, c_r} = \frac{\pi D_e\, b\, w_e}{\pi D_e\, B\, w_e},$$

en désignant par w_e la vitesse relative de l'eau lors de son entrée dans le vannage. Après réduction, l'équation ci-dessus devient :

$$\frac{r^2 - r^2}{R_r^2 - r'^2} = \frac{b}{B} \quad \text{ou} \quad \frac{r^2 - r'^2}{b} = \frac{R_r^2 - r'^2}{B} = \text{Const.}$$

On peut calculer à l'aide de ces formules les différentes valeurs de r lorsque b varie ou, ce qui revient au même, on divise la surface de l'anneau circulaire en un nombre de parties égal à celui des divisions de la largeur B. On trace, en outre, deux fois autant de trajectoires de l'eau que l'on veut plus tard tracer de développantes de cercle sur l'arête de sortie de l'aube pour en déterminer le corps. Au moyen de ces trajectoires, on détermine les surfaces de niveau situées entre la surface de niveau d'entrée et celle de sortie. Ces surfaces intercalaires sont normales aux trajectoires, et, par suite, il s'agit de tracer une courbe qui coupe à angle droit un faisceau de cercles. On le fait en élevant (fig. 4) en un point de la trajectoire principale du filet d'eau une perpendiculaire qui coupe les deux trajectoires auxiliaires. Aux deux points d'intersection ainsi obtenus, on élève des perpendiculaires à la trajectoire auxiliaire la plus rapprochée, et on les prolonge jusqu'à ce qu'elles coupent la trajectoire suivante, et ainsi de suite. En réunissant les points d'intersection des trajectoires principales par un trait continu, on aura la surface de niveau, dont la grandeur peut être mesurée de la manière suivante. On divise la surface de niveau en tronçons égaux, dont la largeur b (fig. 5) peut être facilement mesurée; en général il restera une partie b'. On peut considérer ces tronçons comme des droites dont les centres de gravité sont en leur milieu. Si l'on mesure les distances r, r' r_1, entre ces centres de gravité et l'axe de la turbine, l'aire de la surface de niveau sera de :

$$F = 2\pi (r_1 + \ldots + r_4)\, b + 2\pi r'\, b'$$

Ces surfaces de niveau sont amenées à passer par les points d'intersection de l'arête de sortie, choisie arbitrairement, avec les trajectoires principales des filets d'eau, et ensuite on mesure leur grandeur. Le débit Q et les différentes surfaces de niveau F donnent, en tenant compte de la relation $W = \frac{Q}{F}$, la composante de la vitesse

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de l'eau, qui varie pour chaque surface de niveau et par suite aussi pour chaque

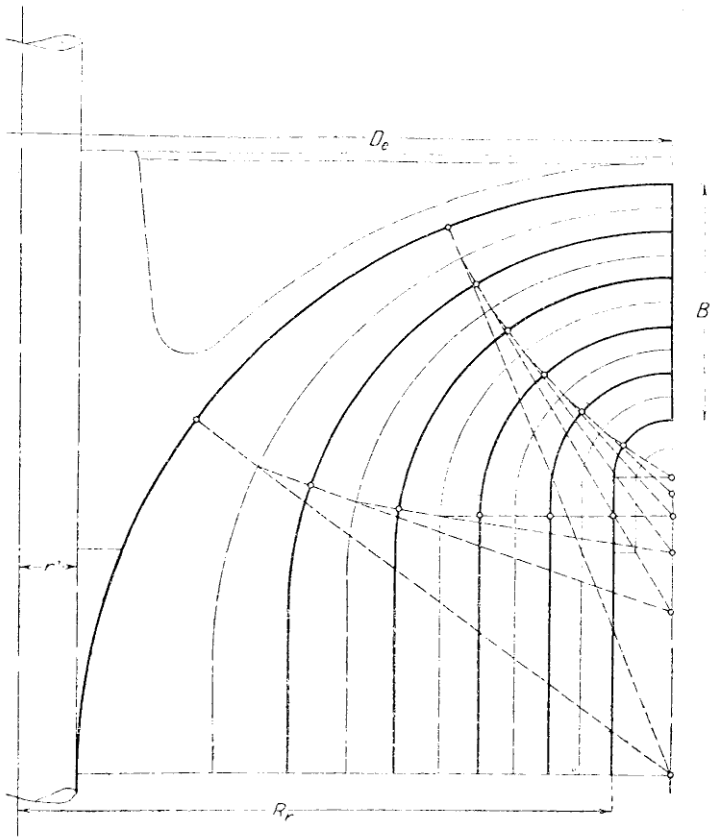


Fig. 4.

point de l'arête de sortie. Cette composante de la vitesse, normale à la surface de niveau, est tangente au point correspondant de la trajectoire de l'eau.

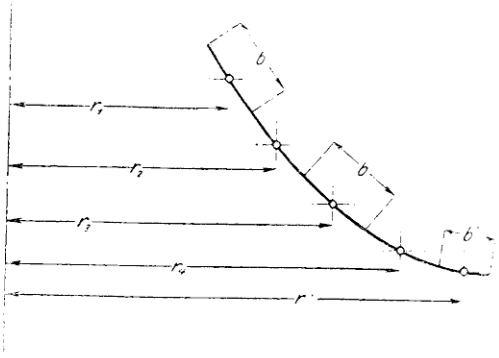


Fig. 5.

Cette détermination des trajectoires de l'eau n'est pas rigoureusement exacte. Les surfaces de niveau III et IV (fig. 6) n'ont généralement pas la même aire. Par suite, les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vitesses qui leur correspondent sont inégales. Dans la turbine élémentaire *fghc* les filets limites *dc* et *ih* sont parallèles. La surface annulaire *di* est par conséquent égale à la surface annulaire *ch*. Mais comme le débit élémentaire est invariable, les vitesses devraient être égales, ce qui ne se peut pas en réalité, puisque les surfaces de niveau III et IV ne peuvent pas, en général, avoir la même aire.

Mais on pourrait rectifier ces trajectoires en calculant, sur les surfaces de niveau, celles qui ont le même débit que les turbines élémentaires déterminées par les surfaces I et IV. Les points ainsi obtenus devraient être réunis par un trait continu qui

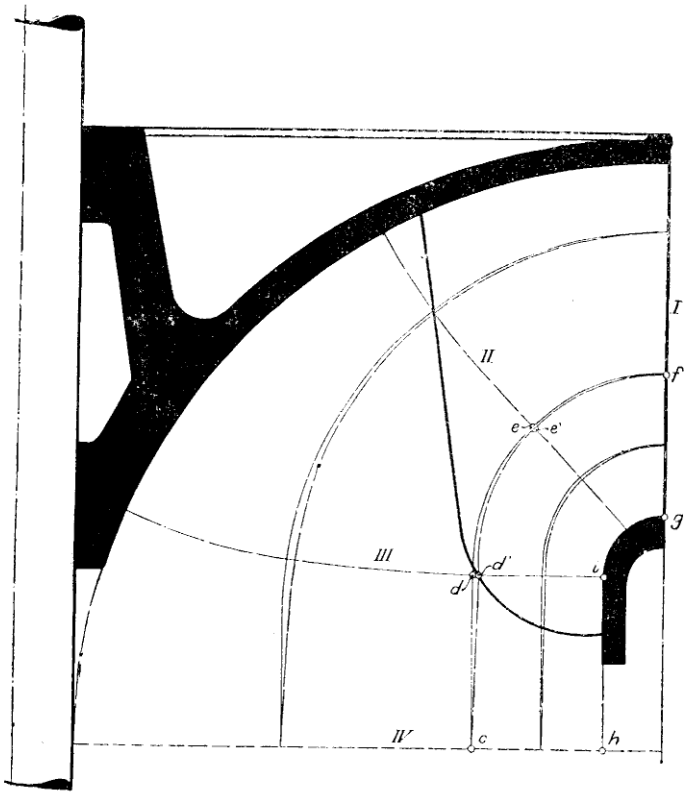


Fig. 6.

représenterait la trajectoire exacte de l'eau. Dans la figure 6, la trajectoire rectifiéel serait donnée par la courbe *cd' e'f*. La surface de niveau serait ainsi déplacée; mais ce déplacement ne modifierait notablement ni la grandeur des surfaces, ni la direction des trajectoires de filets d'eau. La courbe *cdef* diffère si peu de *cd'e'f* que les erreurs dues au maintien de la première courbe sont négligeables surtout vis-à-vis des erreurs dues au passage des angles aigus.

Une deuxième incorrection consiste dans l'expression surface de niveau. Cette désignation n'est réellement exacte qu'à l'entrée de l'eau et dans le tuyau d'aspiration, mais non entre ces deux points; en effet, dans cet espace intermédiaire, la courbure de la trajectoire donne lieu à la production d'une force centrifuge grâce à laquelle les surfaces normales ne sont plus des surfaces de niveau. Mais si l'on voulait tenir

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

compte de l'influence de la force centrifuge, ainsi que du frottement aux parois des aubes, on compliquerait trop le procédé graphique.

Les trajectoires ainsi déterminées sont utilisées pour la détermination de la direction des vitesses de l'eau, au moyen desquelles on construit ensuite les développantes du cercle à la sortie: les surfaces de niveau donnent en outre les grandeurs des com-

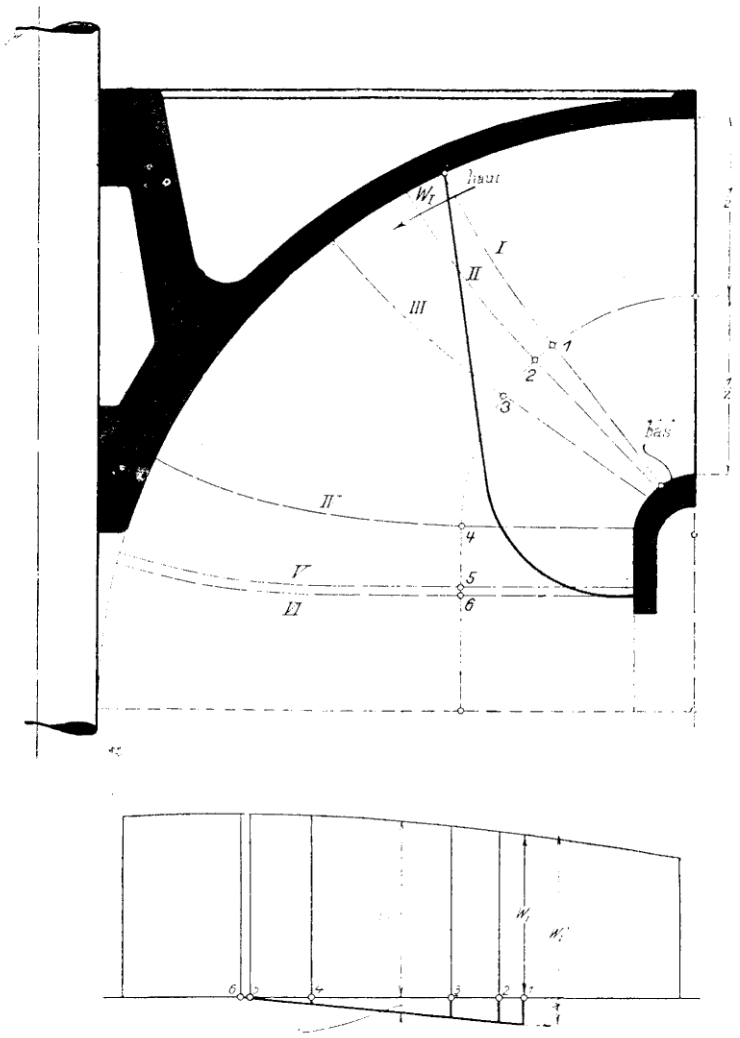


Fig. 7 et 8.

posantes de la vitesse w de l'eau qui, combinées avec la vitesse à la périphérie, déterminent l'angle de l'épure de sortie. Mais en général on détermine ces vitesses sans tenir compte du retrécissement dû aux aubes.

Dans la figure 7, la surface de niveau I est tout à fait retrécie par les aubes: la surface VI, par contre, est entièrement dégagée. Toutes les surfaces de niveau intermédiaires sont plus ou moins rétrécies. Mais ce rétrécissement ne s'opère pas d'une

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

façon uniforme sur une même surface de niveau, il varie avec les angles qui diffèrent partout. Pour en tenir compte dans une certaine mesure, on peut procéder de la manière suivante. Dans le cas de la surface de niveau I, le rétrécissement n'est pas le même en haut et en bas ; celui d'en haut est de

$$\varphi_o = \frac{t_o - \frac{s}{\sin \gamma_o}}{t_o} ;$$

celui d'en bas est de

$$\varphi_u = \frac{t_u - \frac{s}{\sin \gamma_u}}{t_u} = \frac{t - s}{t}$$

Dans ces formules t désigne le diamètre de l'entrée, s l'épaisseur de l'aube et λ l'angle de sortie de l'eau. Pour calculer φ_o, il faut d'abord déterminer γ_o, donné par

$$\operatorname{tg} \gamma_o = \frac{W_1}{v^o} \quad (v_o \text{ étant la vitesse à la périphérie}).$$

Comme W_1 doit être déterminé sans tenir compte du rétrécissement par les aubes, on peut admettre que cette valeur sera un peu plus grande lorsqu'on fait entrer en ligne de compte le rétrécissement, soit de 10 à 13 p. 100. On calculera donc γ par la formule :

$$\operatorname{tg} \gamma_o = 1{,}1 \frac{W_1}{v_o} \text{ à } 1{,}13 \frac{W_1}{v_e}$$

Pour trouver le rétrécissement moyen φ^m, on posera

$$\varphi_m = \frac{\varphi_o + \varphi_u}{2}$$

et on obtiendra alors, pour la vitesse rectifiée à la surface de niveau I :

$$W_1' = \frac{Q}{\varphi^m F_1}$$

Les autres surfaces sont également rétrécies par les aubes, mais moins que la surface I. On peut tenir compte de ce rétrécissement de la manière suivante : supposons qu'on ait tracé la trajectoire moyenne de l'eau de la turbine figure 7. Cette trajectoire coupe les différentes surfaces de niveau aux points 1 à 6. Développons en abscisses (fig. 8) la courbe 1-6 avec, pour ordonnées, les vitesses de l'eau. La vitesse W_1 la surface de niveau I, devant être augmentée parce que cette surface est rétrécie de φ_m par les aubes, portons cette vitesse W'_1 à partir du haut de W_1 et joignons le bas de W'_1 au bas de W_6. Les ordonnées ainsi prolongées représenteront les vitesses rectifiées.

On peut procéder de la même façon dans le cas d'autres turbines, par exemple de la turbine « Hercule ». A cet effet, on part d'un tube conique (fig. 9) ; les trajectoires sont alors des génératrices de ce cône et les surfaces de niveau des sphères décrites de son sommet.

Un récipient de la forme de la figure 10 peut être considéré comme constitué par un grand nombre de tubes coniques. Les trajectoires ne sont plus alors des droites mais des courbes que l'on obtient en déterminant les points correspondants des différentes surfaces de niveau. Sur ces courbes on doit tracer les développantes

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de cercle à la sortie. Celles-ci sont ensuite transportées dans le plan, après quoi on trace les horizontales nécessaires pour la construction du corps de l'aube.

Tandis que, dans le cas de la turbine Francis, les surfaces de niveau sont déterminées par des cylindres et des anneaux circulaires, on a, dans le cas de la turbine

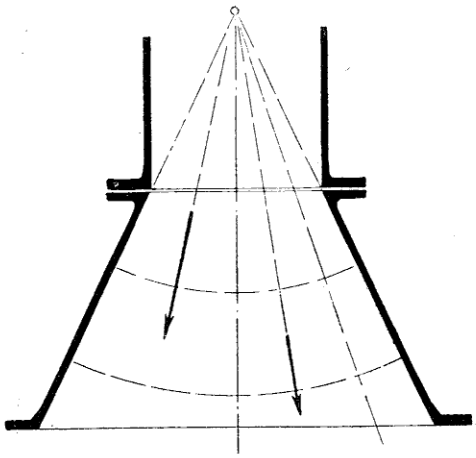


Fig. 9.

« Hercule », une troisième surface de niveau, la calotte sphérique C (fig. 11). De même que les autres, cette surface doit être divisée en un certain nombre de parties égales. La surface d'une calotte sphérique est donnée par la formule $2 \pi Rh$, R étant le rayon

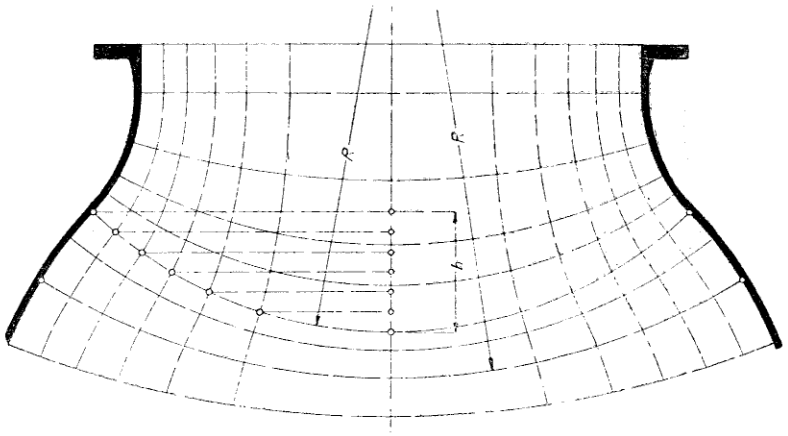


Fig. 10.

de la sphère et h la hauteur de la calotte. La n^{me} partie de cette calotte est coupée par des plans parallèles écartés de $\frac{h}{n}$ l'un de l'autre, de sorte que l'on n'a qu'à diviser la hauteur h (fig. 10) en n parties pour obtenir immédiatement le nombre désiré de parties égales de la surface de la sphère.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

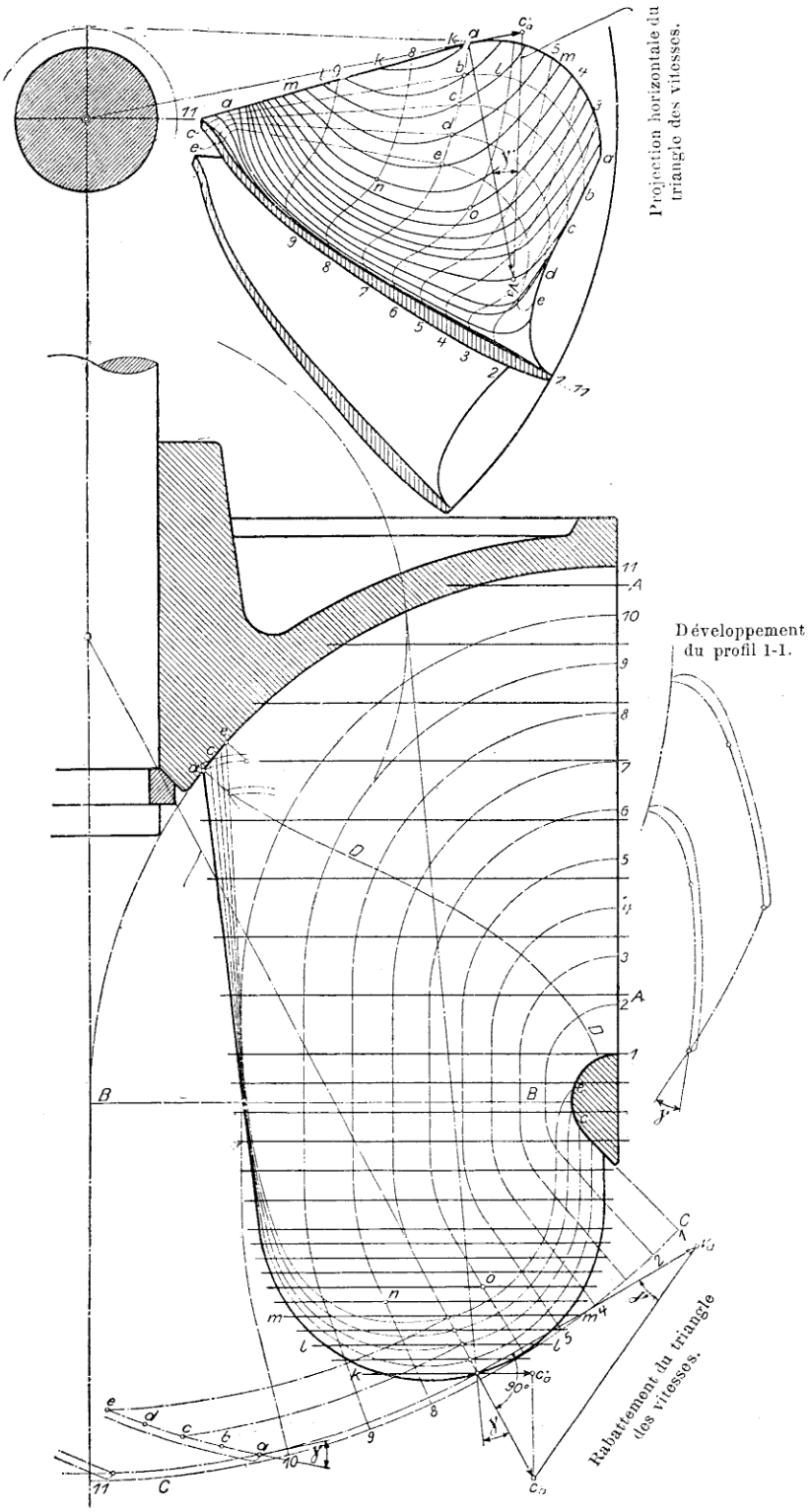


Fig. 11.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Dans la figure 11, on a appliqué le procédé à la roue d'une turbine « Hercule ». Pour obtenir une bonne utilisation de l'eau et réaliser une construction simple, on a constitué le contour extérieur (1-11) d'un cercle et d'une ligne droite. La surface d'entrée AA, la surface circulaire horizontale BB et la sphère à la sortie CC ont été divisées chacune en 20 parties égales, et on a joint les points correspondants entre eux, ce qui a donné les trajectoires principales de l'eau (de 1 à 11). L'arête de sortie a été tracée en plan et en élévation, au sentiment, et on a déterminé les surfaces de niveau que l'on peut faire passer par les points d'intersection de l'arête de sortie avec les 11 trajectoires principales. Ces surfaces sont formées comme, par exemple, CC par une surface circulaire BB et une surface de révolution DD analogue à l'une des surfaces de niveau de la turbine Francis. L'aire de chacune de ces surfaces permet de calculer les composantes des vitesses de l'eau $W = \frac{Q}{F}$ qui, combinées avec les vitesses à la périphérie, donnent l'angle de sortie γ (voir le triangle $c_0 v_0 \gamma$ de vitesse rabattu en projection horizontale). A l'aide de différents angles γ, on a construit les extrémités de l'aube en forme de développantes de cercle, qui ont été divisés en quatre parties égales ($ab = bc = cd = de$). Ces points de division, qui doivent être déterminés pour chaque développante, ont été projetés en plan et en élévation et réunis par des lignes continues (aa, bb... ee) Ensuite, on a fait, dans l'élévation, un certain nombre de coupes horizontales, qui donnent une série de points d'intersection avec les courbes que nous venons d'obtenir (aa, bb... ee) et avec les trajectoires (1 à 11) par exemple n et o. Ces points d'intersection ont été projetés en plan et, en les joignant, on obtient les courbes (kk, ll, mm, etc.) dont on se sert pour construire les aubes.

UNIFICATION DU NUMÉROTAGE DES FILS TEXTILES (1)

M. LE PRÉSIDENT constate la présence, au sein de la conférence, de MM. E. Widmer, Ed. Simon, F. Roy et P. Fleury, qui ont des Communications à faire au nom du *Comité permanent pour le numérotage des fils textiles*, et donne la parole à M. Widmer, Président d'honneur de ce Comité.

M. WIDMER tient à exprimer tout d'abord sa gratitude à MM. les Ministres Millerand et Delcassé, d'avoir bien voulu prendre sous leur haut patronage auprès du Comité la question du numérotage des fils textiles, qui intéresse une des plus grandes industries du monde. Il est également reconnaissant au Comité et à la Conférence d'avoir bien voulu admettre les représentants du Comité permanent à développer, dans cette séance, les résultats déjà obtenus et les efforts qui restent à accomplir dans un but de grande application et de propagation du Système métrique.

M. SIMON, Secrétaire général du Congrès de 1900 (2), fait l'exposé suivant :

Le temps que vous voulez bien m'accorder étant limité, je me bornerai à vous exposer sommairement l'état d'une question qui préoccupe depuis longtemps les industries de la filature et du tissage.

(1) Extrait des séances de la troisième *conférence générale des poids et mesures*, réunie à Paris en 1901 (Paris, Gauthier-Villars).

(2) M. Simon avait été également délégué par la *Société d'Encouragement* pour traiter en son nom de cette importante question.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Numéroter un fil, vous le savez, Messieurs, c'est déterminer le rapport entre la *longueur* et la *masse* de ce fil. Le système des poids et mesures métriques était tout indiqué pour établir aisément ce rapport ; et, dès 1810, un décret impérial, daté du 14 décembre, prescrivait en France, à tous les entrepreneurs de filature, de former l'échevette des fils de coton, de lin de chanvre ou de laine, d'un fil de 100^{m} de longueur, et de composer l'écheveau de dix de ces échevettes, de sorte que la longueur totale du fil formant l'écheveau fût de 1000^{m}

Ces fils, ajoutait le décret, seront étiquetés d'un numéro indicatif du nombre d'écheveaux nécessaire pour former le poids d'un kilogramme.

Telle est la base que, soixante-trois ans plus tard, le Congrès international de Vienne, tenu en 1873, puis successivement les Congrès de Bruxelles (1874), de Turin (1875), de Paris en 1878 et en 190, reprirent et adoptèrent sous la désignation le numérotage *kilogrammétrique*.

Si, en effet, le décret de 1810 eut tout d'abord pour résultat d'obliger les manufacturiers français à substituer le mètre aux anciennes mesures de longueur, une ordonnance royale du 26 mai 1819 compromit pour longtemps l'unification, en autorisant officiellement le numérotage des fils de coton d'après le « nombre d'écheveaux nécessaire pour former le poids d'une *livre métrique* ou *demi-kilogramme* ».

Cette dérogation au principe posé par le décret de 1810 ouvrit la porte à d'autres anomalies, et les divers centres industriels se bornèrent à transformer en mesures métriques les longueurs très variables de leurs échevettes et écheveaux. C'est ainsi que, dans la filature de la laine, les échées de Reims et d'Elbeuf, par exemple, ne correspondent pas à une même longueur.

Il va de soi que, dans les pays où les mesures métriques ne sont pas légales, les bases de numérotages sont plus nombreuses encore et exigent des calculs longs et compliqués, principalement lorsque le même fabricant doit, comme il arrive souvent, utiliser des fils de natures et de provenances diverses.

La *soie* n'a pas échappé à cette confusion des titrages. Dans l'énumération du décret de 1810, les fils de soie avaient été omis avec raison, non que le titre de cette matière ne pût être évalué, comme pour les autres textiles, à l'aide des mesures légales, mais parce qu'au lieu de le déterminer d'après la longueur variable de fil contenue dans une masse constante, il était plus logique d'adopter une longueur invariable, dont la masse changerait avec le titre. La filature de la soie s'effectuant suivant une méthode inverse des procédés usités pour la transformation des autres matières textiles, il devenait très naturel d'adopter également un mode de numérotage inverse ; de plus, en raison de la finesse des brins, il n'était pas pratique de prendre le kilogramme pour unité de masse. Aussi fut-il définitivement décidé, par les Congrès énumérés plus haut, que, dans le titrage de la soie, le numéro correspondrait au nombre de *grammes* que pèserait le *myriamètre*.

Je passe, bien entendu, sur les détails d'application, la rédaction des bulletins d'essai, etc.

En résumé, d'après les décisions des Congrès internationaux, et pour toutes les matières textiles autres que la soie, le numéro doit indiquer le nombre de kilomètres de fil contenus dans un kilogramme ; pour la soie, le numéro représente la masse, en grammes, de *dix mille mètres*.

Pourquoi une méthode aussi simple, aussi rationnelle, désirée par la plupart des intéressés, appliquée dans nombre d'établissements privés, de nature à faciliter les échanges internationaux, n'est-elle pas encore généralisée ?

La Grande-Bretagne, d'après les Déclarations officielles du Délégué du Gouvernement du Royaume-Uni au Congrès de 1900, constitue le principal obstacle, bien que, dans les Chambres de Commerce anglaises elles-mêmes, se manifeste un courant très favorable à l'adoption des poids et mesures métriques.

Le numérotage anglais n'a cependant pas le mérite de l'uniformité. Pour les fils de coton, de laine cardée, de bourre de soie ou schappe, le numéro indique le nombre d'écheveaux de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

840 yards contenus dans la livre anglaise de 453 grammes. Avec la laine peignée, le numéro correspond au nombre d'écheveaux de 560 yards, toujours à la livre anglaise. Pour les fils de lin, de chanvre et de jute, le paquet de fil est invariablement composé de 100 écheveaux de 12 échevettes fournissant une longueur totale de 329 000 mètres; mais la masse du paquet change avec la grosseur du fil; le n° 1 pesant 540 kilogrammes, le n° 2 pèse moitié moins $\left(\frac{540}{2} = 270 \text{ kilogrammes}\right)$; la masse du n° 3 est le tiers de la masse du n° 1, et ainsi de suite. Enfin, pour la soie, indépendamment de l'ancien titre en *deniers* appliqué aux soies fines, le *dramage* (le dram $= \frac{1}{16}$ de l'once anglaise de $28^{gr},35$) est réservé aux grosses soies en usage à Nottingham et à Calais, dans l'industrie des dentelles fabriquées mécaniquement.

Quoi qu'il en soit, le commerce international des fils de lin et de jute restant jusqu'ici entre les mains des Anglais, aussi longtemps que le numérotage kilogrammétrique de ces fils n'aura pas été adopté par la Grande-Bretagne, nos filatures de Lille et de Dunkerque seront tenues de présenter leurs produits dans les conditions de dévidage et d'empaquetage des fils anglais. Il en sera de même des autres contrées industrielles. Aussi le Président du Congrès de 1900, M. von Pacher, était-il autorisé à écrire, le 29 août 1899, à M. le Commissaire général Alfred Picard :

« Forcer par la loi les filateurs à dévider et à numéroter leurs produits métriquement, et permettre en même temps aux étrangers d'importer leur marchandise dévidée suivant les anciens systèmes, serait simplement tuer l'industrie des premiers. Mais à dater du jour où la loi interdirait à tout le commerce d'employer un numérotage et un dévidage autres que le métrique décimal, les Anglais seraient les premiers à dévider et à numéroter leurs filés destinés à l'exportation suivant la méthode rationnelle. »

Vous le voyez, Messieurs, l'unification du numérotage des fils, telle qu'elle résulte des délibérations et des décissions des Congressistes, serait bientôt adoptée dans tous les pays manufacturiers, si le Gouvernement de la Grande-Bretagne faisait un pas de plus dans l'adoption du système métrique, dont la loi de 1897, succédant aux lois de 1866, 1878 et 1889, rend l'usage facultatif. Le commerce anglais, nous l'avons dit, apprécie les avantages des mesures métriques, et désire une réforme qui ne peut être indéfiniment ajournée, sous peine de créer un état d'isolement préjudiciable aux intérêts britanniques.

Permettez-nous donc, Messieurs, de compter sur votre haute intervention pour faire mieux comprendre encore les avantages du système des poids et mesures dont vous avez la garde et le souci. Mieux que des règlements coercitifs ou que des défenses douanières, vos conseils, dictés par l'esprit scientifique et par l'unique préoccupation de faciliter les rapports entre peuples civilisés, contribueront efficacement, nous en avons le ferme espoir, à la généralisation de la réforme que poursuit, dans l'intérêt commun, la *Commission permanente du Congrès pour l'unification du numérotage des fils*.

M. Roy, Président du Comité permanent international pour l'unification du numérotage des fils, ajoute les considérations suivantes :

Vous venez d'entendre l'exposé très clair présenté par M. Édouard Simon, secrétaire de notre Commission; d'un autre côté, votre président a bien voulu faire distribuer, dans votre première réunion, le procès-verbal sommaire des séances du Congrès international pour l'unification du numérotage des fils de tous genres, tenu à Paris en 1900. Ma tâche est donc très simplifiée.

Je suis devant vous, Messieurs, comme Président de la Commission permanente internationale nommée par le Congrès afin de poursuivre dans tous les pays la réalisation des résolutions qui venaient d'être votées. Vous trouverez, dans la publication qui vous a été distribuée

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les noms des membres qui ont été désignés dans chaque pays pour faire partie du Comité permanent.

Depuis le Congrès, le Bureau du Comité permanent siégeant à Paris a entretenu une correspondance suivie avec tous les membres étrangers. Dans chaque pays, les membres du Comité ont pour mission de faire connaître aux Chambres de commerce des centres d'industrie textile les décisions du Congrès, et de les décider à émettre un avis favorable permettant à leurs gouvernements respectifs de répondre en connaissance de cause à l'invitation, qui leur sera adressée par le Ministre des Affaires étrangères de France, pour une conférence diplomatique destinée à établir l'entente internationale.

La plupart de nos collègues à l'étranger ont fait preuve d'une grande activité, et nous savons déjà que l'Espagne, la Suisse, l'Italie, la Suède, la Norvège et le Japon sont favorables à l'unification, et que leurs gouvernements sont disposés à se faire représenter à la Conférence diplomatique.

Nous attendons les réponses de la Belgique, de la Russie et des États-Unis.

L'Autriche est très bien disposée, mais ne peut se décider sans savoir ce que fera l'Allemagne, par suite des rapports importants d'affaires qui existent entre les deux pays.

En Allemagne, si de nombreux centres d'industrie textile se montrent entièrement favorable à la réforme, une autre fraction fait encore obstacle à ce progrès. Nous avons regretté de voir ce grand pays, qui possède depuis longtemps le système métrique, laisser figurer dans son avant-projet de tarif de douanes le numérotage anglais pour les filés. Nous espérons que les démarches qui sont poursuivies actuellement par nos collègues allemands, pour faire disparaître cette anomalie dans les tarifs définitifs, seront couronnées de succès.

Quant à l'Angleterre, qui a déjà admis l'usage facultatif du système métrique, nous espérons qu'elle se joindra aux autres pays quand ils se seront entendus sur cette question d'unification du numérotage des fils.

En France, nous avons tout d'abord rencontré une certaine résistance; nous avons dû faire une active propagande afin de décider notamment l'industrie de la soie à renoncer à l'ancien titrage basé sur l'aune comme unité de longueur et sur le grain ou denier comme unité de masse, pour adopter le titrage métrique décimal admis par le Congrès. Mais c'est maintenant chose faite. D'après les nouvelles reçues des membres étrangers du Comité permanent, il est certain que, d'ici peu, dans le monde entier, il n'y aura plus qu'un seul titrage métrique et décimal usité pour la soie. C'est un résultat dont nous pouvons hautement nous féliciter.

Nous avons demandé à M. le Ministre du Commerce et de l'Industrie que la loi du 13 juin 1866, concernant la soie grège et la soie ouvrée soit modifiée, et que le titre admis par le Congrès de 1900, et basé sur la masse en demi-décigrammes de l'échevette de 450 mètres, soit adopté comme titre légal.

Nous lui avons aussi demandé, pour nous conformer aux résolutions du Congrès, que l'ordonnance royale du 26 mai 1819, dont vous a entretenus M. Édouard Simon, fût rapportée et remplacée par une disposition imposant, pour le coton, la laine, la schappe et la ramie, le numérotage basé sur le nombre de kilomètres contenus dans un kilogramme.

M. le Ministre a demandé l'avis du Comité consultatif des Arts et Manufactures. Le Comité se réunira sous peu, et il n'y a pas de doute qu'il n'approuve les décisions du Congrès.

Nous pouvons donc affirmer que, dans notre pays, nous avons réussi à rompre avec les anciennes routines, et que l'unification du numérotage des fils sera bientôt un fait accompli pour la soie, la laine, le coton, la schappe et la ramie.

Nous espérons que les autres pays voudront bien suivre notre exemple.

Il ne serait fait exception, provisoirement, que pour le lin. Notre secrétaire, M. Simon, vous en a donné les motifs.

Nous pouvons affirmer que, dans les pays où les mesures métriques sont légales et obligatoires, le changement ne présente réellement pas de difficultés sérieuses. Il en est autrement, il est vrai, dans les pays comme l'Angleterre, qui n'ont pas encore abandonné leurs anciennes mesures.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

MONSIEUR LE PRÉSIDENT, MESSIEURS,

Nous osons compter beaucoup sur vos efforts pour rassurer le Gouvernement anglais sur les difficultés qu'il appréhende pour la période de transition nécessaire pour passer des anciens poids et mesures au système métrique décimal.

Dans le procès-verbal du Congrès de 1900, vous trouverez que nous avons signalé que cent quatre-vingt-onze des plus importantes Chambres de commerce du Royaume-Uni et de ses colonies, réunies à Londres en juin 1900, ont voté une adresse demandant à leur Gouvernement de rendre obligatoire le système métrique décimal dans tout l'empire britannique, dans un délai de deux ans. L'industrie et le commerce anglais sont donc bien persuadés que, tôt ou tard, le système métrique s'imposera chez eux, et que mieux vaut tôt que tard.

Le jour où cette réforme sera accomplie, nous pouvons affirmer que ce sera un immense bienfait non seulement pour le commerce britannique, mais aussi pour toutes les nations qui sont en relations commerciales avec l'Angleterre.

Au nom du Comité permanent international pour l'unification du numérotage des fils, son Président vient donc solliciter votre haute intervention auprès des pouvoirs publics de chacun des pays représentés à cette Conférence, afin que, partout, l'unification du titrage de la soie et du numérotage des autres matières textiles soit adoptée, conformément aux décisions du Congrès de 1900.

Il vous demande, en conséquence, de vouloir bien émettre le vœu suivant, qu'il se permet de vous soumettre :

La Conférence émet le vœu :

Que tous les pays se mettent d'accord pour adopter, comme titrage légal de la soie et comme numérotage légal des autres matières textiles, le titrage et le numérotage métriques *adoptés par le Congrès de 1900 à Paris.*

M. CHANEY fait à cette occasion la déclaration qui suit :

Dans le Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande, un pas vraiment important a été accompli dans la voie de la propagation et de l'extension du Système métrique depuis la dernière Conférence de 1895.

La situation légale en Grande-Bretagne est que le Système métrique peut être librement employé dans le commerce, tout aussi bien que le Système national actuel. Il en était autrement en 1895.

Le système métrique n'est pas obligatoire, et j'ignore si, à l'heure qu'il est, l'intention existe de lui donner ce caractère et, en revanche, de déclarer illégal le système impérial actuel.

Depuis que la loi des poids et mesures a été votée, en 1897, on s'est attaché le plus possible à remettre aux autorités locales des étalons métriques, à enseigner les principes du système métrique aux enfants dans toutes nos écoles normales et primaires, et à propager la connaissance de ce système parmi tous ceux qui sont intéressés dans le commerce. Sans aucun doute, quand ce système sera devenu plus familier au public de la Grande-Bretagne, il se manifestera un mouvement populaire général pour son adoption.

Le système métrique est également facultatif au Canada, et est employé dans les chemins de fer aux Indes-Orientales. Il n'est pas non plus douteux qu'une action quelconque faite en Grande-Bretagne en faveur du système métrique ne se propage bientôt à travers l'Empire britannique tout entier.

M. le Président ouvre la discussion sur le vœu formulé par M. Roy, au nom du Comité permanent du Congrès de 1900.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. DE MACEDO, malgré toute sa sympathie pour ce nouveau progrès qu'on propose en faveur du système métrique, ne pourrait pas émettre un vote formel, attendu qu'il s'agit d'une question introduite au cours de la Conférence, ce qui ne lui a pas permis de se munir d'instructions spéciales de son Gouvernement. Personnellement, il s'associerait au vote de ses collègues, si M. Roy voulait bien supprimer, à la fin du vœu présenté, les mots : *adoptés par le Congrès international de 1900 à Paris.*

Il explique qu'il s'agit de toute une série de décisions qui mériteraient un examen approfondi auquel la Conférence ne pourrait pas se livrer.

M. BAZ appuie entièrement les observations de M. de Macedo, d'autant plus que, pour le Mexique, par exemple, qui est un pays d'importation, la question aura besoin d'être mûrement étudiée pour éviter les grandes difficultés pratiques qui en pourraient résulter.

M. FOERSTER se range aussi à l'avis de la suppression des derniers mots, demandée par M. de Macedo. Il croit que MM. les représentants du Comité permanent accepteront cet amendement. Le caractère fondamental du vote à émettre n'est pas dans le détail; il s'agit plutôt d'encourager les efforts tentés dans une voie nouvelle pour l'extension du Système métrique. Sous cette forme, la Conférence est compétente pour émettre un vote.

M. LAGRAVE annonce qu'il vient de se concerter avec M. Roy et ses collègues, qui acceptent la suppression demandée par M. de Macedo. Il a le plaisir d'informer la Conférence que le titrage de la soie a été accepté par tous les membres du Congrès de 1900, y compris le Japon. MM. les Délégués peuvent donc accepter en toute assurance le vœu, qui serait ainsi définitivement formulé :

La Conférence émet le vœu que *tous les pays se mettent d'accord pour adopter comme titrage légal de la soie et comme numérotage légal des autres matières textiles, le titrage et le numérotage métriques.*

Mis aux voix, ce vœu est adopté à l'unanimité.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

PROCÈS-VERBAUX

DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

Séance du 22 novembre 1901

Présidence de M. Voisin Bey, vice-président.

M. Linder, retenu par une légère indisposition, s'excuse de ne pouvoir assister à la séance.

Correspondance. — *M. Collignon*, secrétaire, dépouille la correspondance.

M. P. de Rousiers présente pour concourir au prix du Comité du Commerce son ouvrage sur les *Syndicats industriels*.

M. Gruet présente son ouvrage intitulé : *Manuel pratique d'électricité industrielle*. (Arts économiques.)

M. Cacheux, vice-président de la *Société française des amis des arbres*, remet le Bulletin de cette Société pour l'année 1901 et demande à la Société d'Encouragement de l'aider dans son œuvre de reboisement. (Comité d'agriculture.)

Correspondance imprimée. — M. Collignon présente au Conseil, avec remercîments aux donateurs, les ouvrages mentionnés au *Bulletin* de novembre.

Déclaration de vacances. — *M. Lavollée* déclare au nom du *Comité du Commerce* une vacance par suite du décès de notre regretté collègue M. *Maurice Block*.

Nominations de membres de la Société. — Sont nommés membres de la Société :

M. A. Mignot, ingénieur en chef des aciéries de Javel, présenté par *M. Rateau*.

M. Métayer, ingénieur à la Société des aciéries de Denain, présenté par *MM. Buquet et Baclé*.

M. Bloche, ingénieur civil des mines à Paris, présenté par *M. Carnot*.

M. Jean Rey, ingénieur en chef des établissements Sautter-Harlé, à Paris, présenté par *M. Rateau*.

M. E. Sauvage fait sur l'*Association internationale des méthodes d'essai des matériaux et son congrès à Budapest en 1901*, une conférence dont ci-joint le résumé.

Après quelques considérations générales sur le rôle des essais de matériaux, sur la difficulté de préciser les propriétés qu'on doit leur demander et les moyens de vérifier ces

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

propriétes, M. Sauvage indique comment les différentes contrées intéressées de même à l'étude de ces questions ont fondé l'Association internationale, qui a tenu des congrès en 1895 à Zurich, en 1897 à Stockholm et en 1901 à Budapest. Cette association compte plus de 2 000 membres, dont 500 ont pris part à ce dernier congrès.

Le Congrès était divisé en trois sections consacrées à l'étude des métaux, des matériaux de construction et des matières diverses.

A la *section des métaux*, une première série de communications avait trait à la constitution physique et chimique ; des travaux du plus haut intérêt scientifique ont été présentés par divers ingénieurs, notamment par MM. Osmond et Cartaud, Heyn, Mesnager, von Tetmayer, de Rejtö, Carnot, Jüptner. A titre d'exemples, quelques-unes des photographies microscopiques de MM. Osmond et Cartaud ont été projetées.

Une seconde série de communications avait trait aux méthodes d'essais, et ces communications ont constitué la partie la plus saillante du Congrès. Il s'agirait en effet de substituer à l'essai de traction, si largement employé, ou du moins d'ajouter à ces essais de traction des essais méthodiques et peu coûteux ; beaucoup d'ingénieurs pensent qu'on obtiendrait ainsi des résultats plus certains, qu'on pourrait utiliser pour des applications plus nombreuses certains aciers qu'on hésite aujourd'hui à employer, faute de pouvoir les essayer convenablement, et qu'enfin les essais deviendraient plus faciles et moins coûteux.

Dans cet ordre d'idées, les communications de MM. Baclé, Barba, Charpy, Le Chatelier, Frémont, Leblanc, Vanderheym ont eu une importance capitale. L'essai au choc se ferait sur des barreaux entaillés, rompus d'un seul coup de mouton. La forme précise à donner à l'entaille n'est pas la même pour tous les expérimentateurs, et les détails de l'opération demanderaient à être arrêtés. Mais le principe de cette nouvelle méthode a une telle importance, que le Congrès a cru devoir en recommander l'étude aussi développée que possible.

Des projections, relatives aux travaux de M. Frémont, ont montré comment se faisaient les essais préconisés par cet infatigable travailleur.

D'intéressantes communications ont été faites sur diverses méthodes d'essais, notamment par poinçonnage, par empreinte de bille, suivant le procédé si curieux de Brinnel. Il convient de rappeler à cette occasion les travaux du colonel Martel sur la mesure de la dureté par empreintes.

Enfin, la question de l'unification des méthodes d'essais, qui, au début, paraissait être la préoccupation principale de l'association, s'est trouvée un peu reléguée au second plan, devant l'énorme importance des autres questions soulevées, tant au point de vue scientifique qu'au point de vue pratique.

La seconde section a étudié surtout les questions relatives aux *ciments ;* les essais rapides, qui ont une si grande importance pratique, puisque les essais d'après les méthodes usuelles durent quelquefois plus de quatre-vingts jours, ont été l'objet d'un examen approfondi.

En résumé, le Congrès a étudié plusieurs questions de la plus grande importance ; plusieurs points contestés ou douteux relatifs aux nouvelles méthodes d'essais devront être élucidés par les recherches qu'il a provoquées de tout côté, et il est probable que le prochain congrès, qui aura lieu à Pétersbourg en 1903, verra compléter la tâche du congrès de Budapest.

En terminant, M. Sauvage a dit quelques mots de l'excursion en Hongrie qui a suivi le Congrès, et montré quelques vues de Budapest et des régions parcourues.

M. le Président remercie vivement M. Sauvage de sa très intéressante conférence, qui sera reproduite au *Bulletin*, et donne à *M. H. Le Chatelier* la parole pour la communication suivante :

A la suite de la communication de M. Sauvage, M. H. Le Chatelier croit utile de donner quelques indications sur l'*organisation de l'Association internationale des méthodes d'essais*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des matériaux de construction. Cette association compte aujourd'hui environ 2000 membres, sur lesquels il n'y a qu'une centaine de Français. Il serait bien désirable de voir ce nombre s'augmenter. Les travaux français ont toujours été très appréciés dans les congrès de l'Association; au dernier congrès de Budapest, bien que ne représentant que le dixième des membres présents, nous avons apporté plus de la moitié des communications présentées en séance. Notre influence serait plus grande encore si le nombre de nos adhérents était en rapport avec l'importance de nos travaux.

Dans plusieurs pays étrangers, Allemagne, Russie, États-Unis, il s'est constitué des sections nationales de l'Association internationale qui tiennent des réunions dans l'intervalle des congrès bisannuels. Cette organisation a le grand avantage de permettre une entente préalable entre les expérimentateurs d'un même pays pour concentrer leurs études sur un petit nombre de sujets déterminés. Les recherches parallèles ainsi organisées sont plus intéressantes que les études dispersées sur une infinité de sujets distincts. Elles s'imposent dans les congrès à l'attention de tout le monde. Il est bien certain que la convergence des travaux des membres français sur les essais de fragilité a eu une très heureuse influence.

Tous les membres français présents à Budapest ont été unanimes à exprimer le désir de voir *organiser une section française* et j'ai été chargé de m'occuper de la réalisation de ce vœu. La principale difficulté provenait de l'existence de la commission française des méthodes d'essais, à laquelle l'importance de ses travaux donne une situation toute spéciale. Si elle avait dû prochainement se réunir à nouveau, il ne pouvait être question de créer à côté d'elle un second organisme ayant pour objet les mêmes études. Mais ses présidents, MM. Picard et Haton de la Goupillière, m'ont donné l'assurance qu'il n'était pas question, pour le moment, d'ouvrir une troisième session de cette commission, la deuxième a été close avant l'ouverture du congrès des méthodes d'essai de l'Exposition universelle. Cette nouvelle réunion serait indiquée le jour où il s'agirait de réaliser une entente au sujet des méthodes d'essais entre les différents gouvernements. Les travaux de l'Association internationale, et en particulier ceux d'une section française, ne pourraient que contribuer à rapprocher une semblable éventualité.

Les membres français de l'Association internationale sont convoqués le *vendredi 6 décembre* à *9 heures du matin* en l'hôtel de la Société d'Encouragement, 44, *rue de Rennes*, pour une réunion où l'on discutera l'opportunité de la création d'une section française. Dans le cas où cette proposition obtiendrait l'assentiment général, il y aura lieu de s'occuper des voies et moyens pour l'organisation de cette section. Il faut avant tout se créer des ressources financières.

Il est impossible de faire fonctionner une organisation quelconque en prélevant une fraction de la cotisation déjà si faible de l'Association internationale. Il est nécessaire ou bien de demander une cotisation spéciale, assez élevée, en raison du petit nombre de nos membres, ou bien de s'adresser, pour obtenir son patronage, à une société plus riche que nous, à laquelle nous demanderions un lieu de réunion pour nos séances et la publication, dans son bulletin des procès-verbaux de nos séances.

Il y aura lieu, au cours de cette réunion, de s'occuper des travaux à entreprendre en vue de la réunion du congrès qui se tiendra en 1903 à Saint-Pétersbourg.

Les membres français de l'Association internationale sont priés de considérer le présent avis comme une convocation pour la réunion du vendredi 6 décembre.

Les personnes étrangères encore à l'Association, mais s'intéressant à ses travaux, pourront assister à cette même réunion, mais seulement avec voix consultative.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Séance du 13 décembre 1901.

Présidence de M. LINDER, président.

M. le Président fait part du décès de *M. P.-C. Lamy*, membre à vie de la *Société d'Encouragement*, qui a légué à la Société une somme de 1 000 francs; il se fait, auprès de la famille de M. Lamy, l'interprète des vifs regrets et de la reconnaissance du Conseil de la *Société d'Encouragement*.

CORRESPONDANCE. — *M. Collignon*, secrétaire, dépouille la correspondance.

M. Ducos du Hauron, 27, rue des Batignolles, se présente comme candidat au prix pour la *fabrication des trames* de photogravures. (Arts économiques.)

M. Farcot fils, 189, rue Lafayette, envoie la description de *ses ventilateurs*.

M. P. Dumas, 142, boulevard de Grenelle, demande une annuité de brevet pour un appareil destiné à *prévenir l'emballement des chevaux*. (Agriculture.)

M. J. Silbermann présente un calorifère. (Arts économiques.)

M. B. Brought, secrétaire de l'*Iron and Steel Institute*, 28, Victoria S^t^, Londres, adresse la circulaire suivante :

Une ou plusieurs *bourses de recherches*, dont l'importance sera toujours laissée à l'appréciation du Conseil de l'Institut du Fer et de l'Acier, et qui sont dues à la munificence de son vice-président, M. *Andrew Carnegie*, seront accordées annuellement, sur la recommandation du Conseil de l'Institut et *sans distinction de sexe ou de nationalité*. M. Andrew Carnegie a fait don à l'Institut du Fer et de l'Acier, en vue d'assurer le service de ces bourses, de soixante-quatre bons hypothécairees 5 p. 100 de mille dollars chacun, de la Compagnie « Pittsburg, Bessemer, and Lake Erie Railway ». Les candidats, *qui devront avoir moins de 35 ans*, devront adresser leur demande, sur bulletin spécial, au secrétaire de l'Institut, avant la fin du mois de mars.

Le but de ces bourses n'est pas de faciliter des études ordinaires, mais de permettre aux étudiants qui ont passé par le collège ou qui ont fait un stage dans des établissements industriels de se livrer à des recherches sur la métallurgie du fer et de l'acier et sujets s'y rapportant, en vue d'aider à son progrès et à ses applications industrielles. Il n'est apporté aucune restriction en ce qui concerne l'endroit où les recherches se poursuivront : université, école ou usine, pourvu qu'il soit équipé de façon à permettre les recherches métallurgiques.

Chaque bourse sera attribuée pour une année, mais le Conseil pourra, à sa discrétion, la renouveler s'il le juge bon, au lieu d'en faire une attribution nouvelle. Le résultat des recherches sera communiqué sous forme de mémoire à l'Institut du Fer et de l'Acier et sera soumis à l'Assemblée générale annuelle des membres. Dans le cas où le Conseil jugerait que le mémoire est d'un mérite suffisant, la médaille d'or Andrew Carnegie sera attribuée à son auteur. La médaille ne sera pas décernée si, dans une année quelconque, le mémoire n'en justifie pas l'attribution.

M. Compère, secrétaire de la classe 19 à l'Exposition de 1900, adresse à la Société son diplôme de participation à l'exposition collective de la Bibliothèque technologique de cette classe.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

NOMINATIONS DE MEMBRES DU CONSEIL. — Sont nommés *membres du Conseil :*

Au *Comité des Arts mécaniques*, *M. Rateau*, ingénieur des mines, en remplacement de M. M. Block.

Au *Comité du Commerce*, *M. A. Legrand*, ancien président du tribunal de commerce de la Seine, en remplacement de M. M. Block.

Membre correspondant au Comité du Commerce, *M. A. Capello*, ingénieur à Madrid, en remplacement de M. Rada y Delgado.

Membres honoraires, *MM. Leroux* et *Rouart*.

CORRESPONDANCE IMPRIMÉE. — *M. Collignon* présente au Conseil, avec remerciements aux donateurs, les ouvrages mentionnés à la page 840 du présent *Bulletin*.

RAPPORTS DES COMITÉS. — Sont lus et approuvés les rapports suivants.

Au nom du *Comité des Arts mécaniques*, de *M. Sauvage*, sur l'appareil à mesurer l'épaisseur des coussinets et sur la frise à embrèvement de *M. Joly*, et de *M. Simon*, sur le métier pour ruban de *M. Barbier*.

Au nom du *Comité de Chimie*, *de M. de Luynes*, sur l'ouvrage de *M. Thomas : Guide pratique de teinture moderne*.

COMMUNICATIONS. — Sont présentées les communications de :

M. Brillié, sur ses *moteurs à pétrole et à alcool pour automobiles*.

M. le Dr Huberson, sur le *stérilisateur* de la Compagnie aéro-hydraulique.

M. le Président remercie MM. Brillié et Huberson de leurs intéressantes communications, qui sont renvoyées aux Comités des Arts mécaniques et des Arts économiques.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

LIVRES ET OUVRAGES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE

EN DÉCEMBRE 1901

De la Direction générale des Douanes. **Tableau général du commerce et de la navigation.** Année 1900. Vol. I. *Commerce de la France avec ses colonies et les puissances étrangères.* In-4°. 824 p. Imprimerie nationale.

De l'*Encyclopédie Léauté.* **Mesures électriques,** par M. E. Vigneron. **Les Bateaux sous-marins et submersibles,** par M. R. D'Equevilley. In-18, 160 p. Paris, Gauthier-Villars.

De la *British Association for the Advancement of Science.* **Hand Book of the Industries of Glasgow and the West of Scotland.** In-8°, 288 p. Glasgow, 1901.

Annuaire de l'Imprimerie, 12e année (1902). In-18, 330 p., chez l'auteur M. A. Muller, 36, rue de Seine, Paris.

Étude sur l'Électro-métallurgie du fer, par M. Harmet. In-8°, 28 p., 1, Saint-Étienne, imprimerie Théolier.

Annuaire du Bureau des longitudes, pour 1901. In-18. Paris, Gauthier-Villars.

Du Comité central des houillères de France. Observations au sujet du **projet de loi pour l'amélioration des retraites des ouvriers mineurs.** In-4°, 70 p. au siège du Comité, 55, rue de Châteaudun.

Notes sur la langue internationale, par M. P. Chapellier. In-8°, 60 p. au secrétariat de la Société pour la propagation des langues étrangères, à Paris, 28, rue Serpente.

Débrayages des poulies de tramways mécaniques. par M. E. Lunt. In-8°, 16 p. extrait *des Publications des ingénieurs du Hainaut.*

Handbuch des Materialienkunde fur den Maschinenbau, par M. A. Martens. Vol. 1. Essais des matériaux et machines à essayer. In-8°, 515 p. 20 pl. Berlin, J. Springer.

Du ministère de l'Agriculture, **Annales de l'institut national agronomique,** *années* 1897-1900. In-8°, 610 p. Paris, Rerger-Levrault.

Du ministère de la Marine, **Mémorial du génie maritime,** 3e série, fascicule 1.

L'Ame du cheval, par M. A. Guedon. In-8°, 410 p. Châlons-sur-Marne, imprimerie de l'*Union républicaine,* 27, rue d'Orfend.

Analyse des matières agricoles, par M. A. Hubert, in-8° 80, p. Paris, Dunod.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Université de Liège. Ouverture des cours. Discours du recteur, M. Dwelshauvers-Dery. **Histoire de la machine à vapeur.** In-8°, 60 p. Liège, imprimerie Poncelet.

Bulletin of the Geological Institution of the University of Upsala. Vol. V, 1900, part. I.

Méthode pratique pour le calcul des moteurs asynchrones polyphasés, par M. Boy de la Tour. In-8°, 217 p., 70 fig. Paris, Béranger.

Le matériel agricole à l'Exposition de 1900, par M. Ringelmann. In-8°, 224 p., 363 fig. Paris, Dunod.

Ventilateurs et appareils de ventilation mécanique, par M. E. Farcot fils. In-8°, 60 p. Chez l'auteur.

Bureau of Labor Statistics of the State of New-York, année 1900. In-8°, 1070 p. Albany, imprimerie de l'État.

Du ministère de Commerce. **Brevets d'invention.** N^os^ 293.647 à 294,718 (année 1899).

La vie allongée, par M. Ch. Tellier. In-18, 250 p. Paris, chez l'auteur, 74, rue d'Auteuil.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

LITTÉRATURE

DES

PÉRIODIQUES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE DE LA SOCIÉTÉ

Du 15 Novembre au 15 Décembre 1901

DÉSIGNATIONS ABRÉGÉES DES PUBLICATIONS CITÉES

Ag. . . . Journal de l'Agriculture.
Ac. . . . Annales de la Construction.
ACP. . . Annales de Chimie et de Physique.
AM. . . . Annales des Mines.
AMa . . . American Machinist.
Ap. . . . Journal d'Agriculture pratique.
APC. . . Annales des Ponts et Chaussées.
Bam. . . . Bulletin technologique des anciens élèves des écoles des arts et métiers.
BMA . . . Bull. du ministère de l'Agriculture.
CN. . . . Chimical News (London).
Cs. . . . . Journal of the Society of Chemical Industry (London).
CR. . . . Comptes rendus de l'Académie des Sciences.
DoL. . . . Bulletin of the Department of Labor, des États-Unis.
Dp. . . . Dingler's Polytechnisches Journal.
E. . . . . Engineering.
E'. . . . . The Engineer.
Eam. . . . Engineering and Mining Journal.
EE. . . . Eclairage électrique.
Elé. . . . L'Électricien.
Ef. . . . . Économiste français.
EM. . . . Engineering Magazine.
Es. . . . . Engineers and Shipbuilders in Scotland (Proceedings).
Fi . . . . Journal of the Franklin Institute (Philadelphie).
Gc. . . . . Génie civil.
Gm. . . . Revue du Génie militaire.
IC. . . . . Ingénieurs civils de France (Bull.).
Ie. . . . . Industrie électrique.
Im . . . . Industrie minérale de St-Étienne.
IME. . . . Institution of Mechanical Engineers (Proceedings).
IoB. . . . Institution of Brewing (Journal).
La . . . . La Locomotion automobile.
Ln . . . . La Nature.
Lo. . . . Locomotion.
Ms. . . . . Moniteur scientifique.
MC. . . . Revue générale des matières colorantes.
N. . . . . Nature (anglais).
PC . . . . Journal de Pharmacie et de Chimie.
Pm. . . . Portefeuille économ. des machines.
RCp . . . Revue générale de chimie pure et appliquée.
Rgc. . . . Revue générale des chemins de fer et tramways.
Rgds. . . . Revue générale des sciences.
Ri . . . . Revue industrielle.
RM. . . . Revue de mécanique.
Rmc. . . . Revue maritime et coloniale.
Rs. . . . . Revue scientifique.
Rso. . . . Réforme sociale.
RSL. . . . RoyalSocietyLondon(Proceedings).
Rt. . . . . Revue technique.
Ru. . . . . Revue universelle des mines et de la métallurgie.
SA. . . . Society of Arts (Journal of the).
SAF . . . Société des Agriculteurs de France (Bulletin).
ScP. . . . Société chimique de Paris (Bull.).
Sie. . . . . Société internationale des Électriciens (Bulletin).
SiM. . . . Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse
SiN. . . . Société industrielle du Nord de la France (Bulletin).
SL. . . . . Bull. de statistique et de législation.
SNA. . . . Société nationale d'agriculture de France (Bulletin).
SuE. . . . Stahl und Eisen.
USR. . . . Consular Reports to the United States Government.
VDI. . . . Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure.
ZOI. . . . Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieure und Architekten-Vereins.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

AGRICULTURE

Avoines unilatérales. *Ag*. 23 *Nov*., 813.
— A. Chapelet. *Ap*. 5 *Déc*., 719.
Bétail. Race laitière bordelaise. *Ag*. 23 *Nov*. 819. Bovine des polders. *Ap*. 5 *Déc*., 728.
— (Séchage des pommes de terre pour l'alimentation du). *Ag*. 30 *Nov*., 849.
Betteraves (Arracheuses de). Concours international. *Ap*. 28 *Nov*., 699.
Blés durs. Composition et constitution des glutens (Fleurent). *CR*. 2 *Déc*., 944.
Champignons comestibles et vénéneux. *Ap*. 5 *Déc*., 720.
Engrais (Falsification des). *Ap*. 12 *Déc*., 754.
— Formules pour culture maraîchère en plein champ. *Ag*. 23 *Nov*., 814.
— Richesse d'une bonne terre arable en potasse. *Ag*. 23 *Nov*., 816.
— Valeur agricole de l'azote de la matière noire des phosphates des Pyrénées (Joffre). *ScP*. 20 *Nov*., 960.
— Fumure minérale et qualité des pois et haricots (Grandeau). *Ap*. 21 *Nov*., 651.
— Influence des engrais sur la composition chimique des pommes de terre (Sutherst). *CN*. 29 *Nov*., 258.
— Inoculation du sol et des légumineuses (Grandeau). *Ap*. 12 *Déc*., 751.
Forêts. Influence de l'époque d'abatage sur la durée et la conservation des bois (Mouillefert). *Ap*. 20 *Nov*., 656.
— Identification des bois (Stone). *Ln*. 6 *Déc*., 40.
Grêle (Congrès international de défense contre la). *Ap*. 21 *Nov*., 659; *Ag*. 30 *Nov*., 866; 7 *Déc*., 893.
Machines agricoles à l'Exposition de 1900. *VDI*. 30 *Nov*., 1706.
Navets (Tenthrède des). *Ag*. 30 *Nov*., 854.
Riz. Culture au Japon. *Ap*. 12 *Déc*., 761.
Semences (Choix des). *Ln*. 23 *Nov*., 411.
— Détermination de la valeur culturale (Curtel). *Ap*. 5 *Déc*., 730.
Sibérie. Agriculture et élevage. *Ap*. 12 *Déc*., 757.
Sulla. Culture en Andalousie. *Ap*. 12 *Déc*., 752.
Vignes. Peut-on supprimer le labour et la fumure? *Ap*. 5 *Déc*., 718.
Vignes. Vins de la plaine du Cheliff. *Pc*. 15 *Déc*., 551.

CHEMINS DE FER

Chemins de fer. Métropolitain de New-York. *E*. 22, 29 *Nov*., 699; 6 *Déc*., 763.
— *Électriques* (Les). (Langdon). *E*. 29 *Nov*., 747.
— — Fayet à Chamounix. *IC*. *Oct*., 662.
— — Enquête sur le Métropolitain de Londres. *E*. 22, 29 *Nov*., 723, 751; 13 *Déc*., 809.
— — Vannsee-Berlin. *E'*. 6 *Déc*., 573.
Frein Lipkowsky. *Rm*. *Nov*., 586.
Locomotives à l'Exposition de 1900. *VDI*. 23 *Nov*., 1663; *Bam*. *Nov*., 1123; *Rgc*. *Déc*., 573.
— (État actuel des). (Birkel). *E'*. 13 *Déc*., 612.
— Compound à marchandises de la Société Vulcan. *E*. 6 *Déc*., 765. Essais comparatifs allemands. *RM*. *Nov*., 581. à 4 cylindres américaines et françaises. *Rgc*. *Déc*., 625.
— à 4 essieux couplés du North Eastern. *E'*. 29 *Nov*., 559.
— (Équilibrage des). (Dalby). *E*. 22, 29 *Nov*., 727, 755; 6 *Déc*., 581.
— Chaudière Vanderbelt. *RM*. *Nov*., 584.
— Surchauffeur Schmidt. *RM*. *Nov*., 584.
— Suspension Pitkin et Sague. *RM*. *Nov*., 585.
— Stuffing box de la Railway Appliances C°. *RM*. *Nov*., 585.
— Chaudières à tubes d'eau Drummond. *E'*. 13 *Déc*., 603.
Signaux. Block system Krizik, Cardam, Siemens. *Rgc*. *Déc*., 614.
Station de Victoria à Nottingham. *E*. 29 *Nov*., 737; 13 *Déc*., 799.
Wagons de 35 tonnes pour le Transvaal. *E*. 29 *Nov*., 740.

TRANSPORTS DIVERS

Automobiles (Trépidations des). (Drouin). *Gc*. 7, 14 *Déc*., 85, 106.
— Exposition du Grand Palais. *Lo*. 14 *Déc*., 165.
— Puissance disponible à la jante (Garnier). *Lo*. 14 *Déc*., 179.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Automobiles à alcool. Concours du Grand Palais. *Lo.* 21 *Nov.*, 737; *Ap.* 28 *Nov.*, 694.
— — Camion Kuhlstein. *Ap.* 28 *Nov.*, 686.
— *à pétrole.* Hurtu. *Lo.* 7 *Déc.*, 157.
— — Darracq. *Lo.* 14 *Nov.*, 172.
— — Clément. Autocyclette. *Lo.* 30 *Nov.*, 133.
— — Womer. *Id.* 7 *Déc.*, 155.
— — Renault. *Lo.* 7 *Déc.* 160.
— — Réglage (Lavergne). *Ri.* 23, 30 *Nov.*, 462, 473; 7 *Déc.*, 483.
— — Camion Brillié. *Lo.* 30 *Nov.*, 136.
— *à vapeur.* Camions militaires (Concours des). *E.* 13 *Déc.*, 793; *E'.* 13 *Déc.*, 601.
— — Thornycroft. *E.* 6 *Déc.*, 771, 778.
— *Électrique.* Électricca. *Élé.* 30 *Nov.* 7 *Déc.*, 337, 355.
— — Moteurs et combinateurs (Rosset). *Pm. Déc.*, 182.
— *Pétro-électrique* Champrobert. *Lo.* 14 *Déc.*, 170.

Tramways. A l'Exposition de 1900 (Godfermann). *Rgc. Déc.*, 578.
— *Électriques* de Salford. *E.* 13 *Déc.*, 803.
— Soudures des rails, procédé Folk. *Rm. Oct.*, 64.
— Dépense d'énergie d'une voiture. *EE.* 7 *Déc.*, 351.
— Résistance à la traction, détermination de la (Wimperis). *EE.* 30 *Nov.*, 330.
— Voiture automotrice de la Compagnie française d'Ivry, *Pm. Déc.*, 178.

Vélocipèdes joints Petit. *E'.* 29 *Nov.*, 554.

CHIMIE ET PHYSIQUE

Acide nitrique. Propriétés physiques des dissolutions (Veley et Monley). *RSL.* 19 *Nov.*, 86.

Alcool dénaturé. Éclairage et chauffage. Exposition du Grand Palais (Guérin). *Gc.* 7, 14 *Déc.*, 88, 104; *Ap.* 5, 13 *Déc.*, 724, 763.

Amalgame d'ammonium (Moissan). *CR.* 18 *Nov.*, 803.

Baryum (Préparation du). (Guntz). *CR.* 25 *Nov.*, 872.

Blanchiment des tissus Mather et Platt. *Gc.* 23 *Nov.*, 64.

Brasserie. Divers. *Cs.* 30 *Nov.*, 1127.
— Expériences sur le maltage (Evans). *Ms. Déc.*, 765.

Brasserie. Extraits de malt (examen de s). *Cs.* 30 *Nov.*, 1148.

Carbures métalliques (Les). (Moissan). *Rgds.* 15 *Nov.*, 946.
— de calcium, pouvoir réducteur (Kugelgen). *Rcp.* 1er *Déc.*, 638.

Chaux et ciments. Divers. *Cs.* 30 *Nov.*, 1114.
— Essais du ciment en Allemagne (*Le Ciment*). *Nov.*, 175.
— Fours tournants Hurry et Seaman (*Le Ciment*). *Nov.*, 337.
— Presses à briques et tuiles Bradly et Craven. *Ri.* 30 *Nov.*, 473.

Chimie (Revue annuelle de). (Étard). *Rgds.* 15 *Déc.*, 1076.

Chlorure d'aluminium. Combinaison avec les chlorures alcalins (Baud). *CR.* 25 *Nov.*, 869.

Combustibles. Puissance calorifique (Adams). *Cs.* 30 *Nov.*, 1084.

Cuirs pour reliures (J. G. Parker). *SA.* 20 *Nov.*, 25.

Égouts. Filtration continue. *E.* 13 *Déc.*, 811.

Essences et parfums. Divers. *Cs.* 30 *Nov.*, 1134.
— Essence de rose. *Cs.* 30 *Nov.*, 1136.
— de jasmin. *Id.* 1137.
— d'Orange. *Id.* 1138.

Gaz *d'éclairage.* Becs incandescents (Découcouverte des). (Auer). *Cs.* 30 *Nov.*, 1097.
— Examen photométrique des manchons (*id.*), 1098.
— *à l'eau.* Dans la distillation destructive de la houille (Lewes). *Cs.* 30 *Nov.*, 1095.

Glucinium (Nouveau sel volatil de). (Urbain et Lacombe). *CR.* 25 *Nov.*, 874.

Graisses. Proportion des acides gras liquides dans les graisses et huiles, et leurs valeurs iodines (Lone). *Cs.* 30 *Nov.*, 1083.

Hydrogène solide (Dewar). *CN.* 13 *Déc.*, 281.
— sulfuré. Appareil à production continue Kock. *Cs.* 30 *Nov.*, 1141.

Industries chimiques à l'Exposition de 1900 (Guillet). Matières colorantes. *Gc.* 23 *Nov.*, 55. Parfums. *Id.*, 30 *Nov.*, 73. Produits pharmaceutiques. *Id.*, 7 *Déc.*, 95. Cellulose (*Id.*), 14 *Déc.*, 115.

Laboratoire. Divers. *Cs.* 30 *Nov.*, 1142.
— Analyses pour aciéries. Bibliographie (Brearley). *CN.* 22 *Nov.*, 249.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Laboratoire. Antimoine. Détermination qualitative et quantitative de traces en présence de l'arsenic (Deniger). *ScP.* 5 *Déc.*, 995.

— Creuset électrique pour laboratoire (Howe). *Eam.* 16 *Nov.*, 636.

— Manganèse. Dosage volumétrique (Ibotson et Brearley). *CN.* 22 *Nov.*, 247. (Romage). *Id.*, 6 *Déc.*, 269.

— Molybdène. Dosage de l'acide molybdique réduit par l'acide hydriodique (Crooch et Pulman). *American Journal of Sciences*, *Déc.*, 449.

— Recherche des poisons minéraux : arsenic et antimoine par destruction intégrale des matières organiques (Denigès). *ScP.* 20 *Nov.*, 943.

— Détermination colorimétrique de l'oxygène dissous dans l'eau (Ramsay et Homfray). *Cs.* 30 *Nov.*, 1071.

— Dosage de l'acide phosphorique et des phosphores, de l'étain, procédé Lenssen, et analyse des minerais d'étain (Muller). *ScP. Déc.*, 1000.

— Dosage du soufre total dans les combustibles (Dubois). *Id.*, 1088.

Linoléum. Progrès de son industrie. *Bulletin de la Société d'Encouragement de Berlin. Nov.*, 247.

Optique. Diocinescope Hurt. *Ln.* 7 *Déc.*, 1.

Papier. Divers. *Cs.* 30 *Nov.*, 1132.

— Traitement chimique systématique des chiffons (Beadle). *CN.* 29 *Nov.*, 257.

Peroxyde d'hydrogène. Action sur l'oxyde d'argent (Baeyer et Villiger). *Ms. Déc.*, 738.

Photographie des couleurs. (Abney). *Cs.* 30 *Nov.*, 1060.

Prussiate rouge et chlorures solubles; action sur les sels de chrome (Saget). *Ms. Déc.*, 764.

Radio-activité de l'uranium (Becquerel). *CR.* 9 *Déc.*, 977.

— Induite provoquée par les sels de radium (Curie et Debierne). *CR.* 2 *Déc.*, 931.

— Influence des substances radio-actives sur la luminescence des gaz (Hemptine). *CR.* 2 *Déc.*, 934.

Rayonnement aux basses températures (Compan). *CR.* 18 *Nov.*, 813.

Résines et vernis. *Cs.* 30 *Nov.*, 1123.

Sucrerie. Divers. *Cs.* 30 *Nov.*, 1124.

— Progrès du raffinage depuis 25 ans (Patterson). *Cs.* 30 *Nov.*, 1088.

Soufre (Viscocité du). (Malus). *ACP. Déc.*, 491.

Tannerie. Effets des extraits de tannage contenant des bisulfites (Parker et Gausser). *Cs.* 30 *Nov.*, 1085.

Teinture. Matières colorantes diverses. *Cs.* 30 *Nov.*, 1103, 1108.

— Revue des matières colorantes (Reverdin). *Ms. Déc.*, 754.

— — *Théorie* de la dissolution (Brown et Mac Bric). *Cs.* 30 *Nov.*, 1092.

— Exposition de Rouen. *MC.* 1er *Dec.*, 289.

— L'Oxycellulose en impression. Kurr. *MC.* 299.

Thiosulfate de soude. Action sur les dissolutions de sels métalliques à hautes températures et pressions (C. Norton). *CN.* 29 *Nov.*, 261.

Terres rares. Leur place parmi les éléments (Steele). *CN.* 23 *Nov.*, 245.

Transformations chimiques. Rôle du temps (Ditte). *Rs.* 30 *Nov.*, 673.

Uranium. Séparation quantitative et qualitative (Kern). *CN.* 22, 29 *Nov.*, 251, 260, 613, *Déc.*, 271, 283.

Vernis. Fabrication par le procédé sous pression (Smith). *Cs.* 30 *Nov.*, 1076.

COMMERCE ET ÉCONOMIE POLITIQUE

Accidents. Loi anglaise. Application en 1901. *E.* 13 *Déc.*, 795.

Algérie. Questions algériennes. *Ef.* 30 *Nov.*, 737.

Angleterre. Cours des consolidés depuis 1793. *SL. Nov.*, 524.

— Année financière 1901. *SL. Nov.* 521.

Brevets. Modifications de la législation française. *IC. Oct.*, 646.

Caisse de prévoyance pour l'invalidité et la vieillesse des ouvriers. Loi italienne. *SL. Nov.*, 538.

Charbons américains. Exportations croissantes (Saward). *EM. Déc.*, 321.

Congo Français. Régime des concessions. *Ef.* 23 *Nov.*, 705.

Enseignement ménager en Suisse (Brunher). *Musée social. Nov.*

Fabrique Lyonnaise (La). *Ef.* 23 *Nov.*, 703.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Gaz. Exploitations régies municipales et concessions. *Ef.* 14 *Déc.*, 809.

Femmes (Travail des) aux États-Unis. *Rso.* 1er *Déc.*, 781.

France. Abaissement constant de la natalité. *Ef.* 7 *Déc.*, 769. Gestion des finances. *Ef.* 14 *Déc.*, 805.

Impôt sur le revenu avant la Révolution et aujourd'hui. *Ef.* 30 *Nov.*, 739.

Marine marchande. Projet de loi. *Ef.* 30 *Nov.*, 741.

Métiers de famille (Les). *Rso.* 1er *Déc.* 824.

Mineurs. Ouvriers en Belgique. *Rso.* 1er *Déc.*, 802.

— Avantages dans les compagnies françaises. *Rso.* 1er *Déc.*, 829.

— Durée du travail et productivité. *Ef.* 30 *Nov.*, 743.

Mutualité familiale (La). *Rso.* 16 *Déc.* 904.

CONSTRUCTION ET TRAVAUX PUBLICS

Bétons (Résistance des) (*Le Ciment*). *Nov.* 166.

— et métal déployé. Planchers Colding. *Rt.* 25 *Nov.*, 505.

Ciment armé (Applications du) (Lubaux). *Rgc. Déc.* 519.

Dalles armées (Planchers en) (*Le Ciment*). *Nov.*, 162.

Pont Lépine à Paris. Lancement et essais. *Ac. Déc.*, 178.

Rouleau compresseur électrique Sarrazin. *Bam. Nov.*, 1247.

Voûtes (Théorie des). (Landsberg). *VDs.* 14 *Déc.*, 1765.

ÉLECTRICITÉ

Accumulateurs. De Dion-Bouton. *Élé.* 14 *Déc.*, 369. Max. *EE.* 14 *Déc.*, 400. décharge des (Montel). *EE.* 14 *Déc.*, 404.

Conducteurs. Instruction technique pour leur établissement. *Élé.* 23 *Nov.*, 327.

Conjoncteurs. Disjoncteurs pour accumulateurs et dynamos (Fiévé). *Ie. Oct.*, 668.

Diélectriques. Constantes diélectriques des paraffines (Hormell). *American Journal of Science. Déc.* 433.

Distributions par courants alternatifs (Guilbert). *FE.* 14 *Déc.* 381.

Dynamos. Rendement des (Brenaime). *Ie* 25 *Nov.*, 517.

— Courants de Foucault dans les pièces polaires des dynamos à courants continus. *Ie.* 25 *Nov.*, 516.

— Proportion des dynamos à commutation sans étincelles. *Ie.* 10 *Déc.*, 543.

— Alternateurs à l'Exposition. *EE.* 23 *Nov.*, 276 ; 7 *Déc.* 356.

— — Étude par les oscillographes (Blondel). *EE.* 14 *Déc.*, 391.

— — grands alternateurs (Rothert). *EE.* 30 *Nov.* ; 7 *Déc.* 307, 362.

— — Construction des. *Rt.* 25 *Nov.*, 507.

— Anneaux à collecteurs (propriétés des) (Latour). *EE.* 23, 30 *Nov.*, 294, 328.

Moteur. Triphasé à faible vitesse angulaire. *Ie*, 25 *Nov.*, 520.

— Alternatif. Simple synchrone sans excitation. *Ie.* 10 *Déc.*, 541.

— Mesure du glissement d'un asynchrone par le tube de Brown. *EE.* 14 *Déc.*, 408.

— Essai sans dynamomètre. *EE.* 14 *Déc.*, 409.

Éclairage. *E.* 13 *Déc.*, 607.

— Fabrication des charbons. *Élé.* 14 *Déc.* 375.

Arc. Lampe Vigreux-Brillié. *Élé.* 23 *Nov.*, 326. Koerting et Matchiersen. *Élé.* 7, 14 *Déc.* 353, 374.

— Mesures photométriques, appareil Matheros. *Ie*, 25 *Nov.*, 521.

Incandescence, dissymétrie du flux lumineux (Willcox). *EE.* 30 *Nov.*, 341.

Électro-chimie. Divers. *Cs.* 30 *Nov.*, 1119.

— L'industrie électro-chimique (Iwan). *Ms. Déc.* 737.

Électro-aimants. Construction des. (Conor). *Élé.* 30 *Nov.*, 345.

Interrupteurs de courants continus. Lecarme et Michel. *Élé.* 7, 14 *Déc.* 359, 372.

Isolants, constantes diélectriques des paraffines (Hormell). *American Journal of Science. Déc.*, 433.

Magnétisme et couches de passage (Maurain). *Rgds.* 15 *Déc.*, 1059.

Mesures d'un coefficient de self induction sans étalon de capacité. *Ie.* 14 *Déc.*, 543.

— Appareil de Divers (Armagnat). *EE.* 7 *Déc.* 345.

— Oscillographes, applications à l'étude des alternateurs (Blondel). *EE.* 14 *Déc.*, 391.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Stations centrales. Allemandes. *E'.* 22 *Nov.*, 228. Statistique en France en 1901. *Ie.* 14 *Déc.*

Téléphone. Divers. *Dp.* 7 *Déc.*, 773, à batterie centrale. Tobler. *EE.* 30 *Nov.*, 334.

Télégraphie. Dragage des câbles sous-marins. *EE. Nov.*, 334.

Transformateurs rotatifs. Théorie graphique (Blondel). *EE.* 23 *Nov.*, 283.

— de la General-Electric. *Fi. Nov.*, 355.

HYDRAULIQUE

Distribution d'eau. de Philadelphie. *Gc.* 23 *Nov.*, 58.

Pompes commandées par l'Électricité. *Dp.* 7, 14. *Déc.* 777, 792.

— à incendies. Concours de Berlin. *VDI.* 7 *Déc.* 1729.

— centrifuges Richards. *RM. Nov.*, 587.

— directes Weir. *RM. Nov.*, 588.

MARINE. NAVIGATION

Avertisseur des navires en fer Spilberg. *EE.* 30 *Nov.*, 342.

Dock flottant pour le Mississipi. *E'.* 6 *Déc.* 589.

Drague à succion pour la Seine Satre et Averly. *E.* 22 *Nov.*, 705.

Embrayages (Les). (Euverte). *RM. Nov.*, 516.

Loch manométrique différentiel Raverot et Belly. *CR.* 18 *Nov.*, 841.

Marine de guerre. Artillerie et construction des bâtiments. *E.* 52 *Nov.*, 745, 747.

— Allemagne. *Rmc. Nov.*, 2381.

— Anglaise. *Rmc. Oct.*, 2153è. *Nov.*, 2382.

— — Croiseur Monmouth. *E'.* 22 *Nov.*, 537.

— — Manœuvres en 1901. *Rmc. Oct.*, 2066. 2143.

— Américaine. *Rmc. Oct.*, 2163. *Nov.*, 2388.

— Japon. *Rmc. Nov.*, 2392.

— Russe, cuirassé Potemkin. *E'. Nov.*, 553,

— sous-marins Question des. *Rmc. Oct.*, 2119.

— Contre-torpilleurs, *E.* 29 *Nov.*, 749. *E.* 29 *Nov.*, 558.

— Disposition de l'artillerie. *E'.* 13. *Déc.*, 609.

Marine marchande Japonaise. *Rmc. Oct.*, 2173. Française. *E'.* 6 *Déc.*, 569.

Navigation du Pas de Calais. Historique. *E'.* 22 *Nov.*, 525, 13 *Déc.*, 599.

Port de Bremerhaven. Rmc. Oct., 2184.

Pêche d'Islande. Moyen de prévenir les désastres. *Rmc. Oct.*, 2199.

Rhône. Son aménagement comme voie navigable, *Ef.* 7 *Déc.*, 777.

MÉCANIQUE GÉNÉRALE

Aviation. Concours de l'Aéro-Club. *Lo.* 23 *Nov.*, 121.

— Ballons dirigeables (Les). Villard. *Lo.* 14 *Déc.*, 176.

Chaudières à l'Exposition de Glasgow. *VDI.* 23 *Nov.*, 1657.

— *à tubes d'eau* Durr. *Rmc. Nov.*, 2347.

— Hurd, Solignac. Higgins, Hornsby, Porto-Riche. *RM. Nov.*, 577.

— Braby. *E'.* 13 *Déc.*, 611.

— Appareil électrique de sécurité pour chaudières et tuyautages à vapeur (Valmier). *Rmc. Nov.*, 2337.

— Désincrusteur mécanique Molinard. *Gc.* 23 *Nov.*, 65.

— — Solubilité du sulfate de chaux (Boyer, Guillon). *RM. Nov.*, 508.

— Foyers. Chargeur Morton. *E'.* 6 *Déc.*, 584.

— — Chauffage au pétrole. *Dp.* 7 *Déc.*, 782. au pétrole hydroleum. *E.* 13 *Déc.*, 817.

— Pompes alimentaires Lamont. *Ri.* 23 *Nov.*, 461.

Courroies croisées (Transmissions par) (Smits). *Ri.* 7 *Déc.*, 488.

Embrayages (Les). (Euverte). *RM. Nov.*, 516.

Engrenages hélicoïdaux. *AMa.* 30 *Nov.*, 1263; 7-14 *Déc.*, 1285, 1309.

— Hauteur des dents. *AMa.* 30 *Nov.*, 1269; 7 *Déc.*, 1288.

— (Théorie des). *ZOI.* 29 *Nov.*, 818.

Freins électro-mécaniques Feuerner, Reiter, Pasqualine. *EE.* 23 *Nov.*, 265.

Froid. Machines frigorifiques (Mathias). *Rgds.* 15 *Nov.*, 970.

Graissage des cylindres (Expériences sur le) (Beckford). *E'.* 29 *Nov.*, 563.

Graveuse électrique Rost. *AMa.* 23 *Nov.*, 1232.

Laboratoire technique de l'école de Stuttgard. *Gc.* 14 *Déc.*, 101.

Levage. Ascenseurs hydro-électriques Otis. *Elé.* 23 *Nov.*, 321.

— Grues (Calcul des). Williams. *AMa.* 14 *Déc.*, 1305.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Levage. Titan.? de 100 tonnes. Ateliers de Benrath. *Ri.* 30 *Nov.*, 474.
— Manutention mécanique du charbon et du coke dans les usines à gaz de Dijon et du Havre. *Gc.* 7 *Déc.*, 85.
— Pont roulant électrique de 125 tonnes. Vaughan. *E'.* 29 *Nov.*, 561.
Machines à écrire (Les) (Beyerlen). *Dp.* 30 *Nov.*, 764.
Machines-outils (Progrès des). *VDI.* 26 *Nov.*, 1669.
— pour ateliers de chemins de fer. *E'.* 13 *Déc.*, supplément.
— Ateliers des Victoria Works, Rugby. *EM. Déc.*, 377.
— à l'Exposition de Buffalo. *AMa.* 23 *Nov.*, 1225. de 1900. *VDI.* 7 *Déc.*, 1741.
— de la Société suédoise Atlas. *AMa.* 23 *Nov.*, 1236.
— Cisaille multiple Lenz, *AMa.* 23 *Nov.*, 1228; sur chariot Johns. *Gc.* 30 *Nov.*, 80.
— Courbeuse pour cornières Davis. *E.* 22 *Nov.*, 706.
— Crémaillères. Machine à tailler Fellows. *AMa.* 14 *Déc.*, 1311.
— Forge à l'étampe (Horner). *E.* 6 *Déc.*, 761.
— Frappeurs divers. *Dp.* 30 *Nov.*, 757.
— Gabarits pour perçage. *AMa.* 7 *Déc.*, 1295.
— Affûteuse Guest. *E.* 6 *Déc.*, 773.
— — Bath. *RM. Nov.*, 573.
— Meule à rectifier Demoor. *Ri.* 7 *Déc.*, 482.
— Presse Bliss à découper les plaques d'armatures. *EE.* 7 *Déc.*, 375.
— Mouleuse Huber. *RM. Nov.*, 595.
— Perceuse radiale Demoor. *Ri.* 7 *Déc.*, 481.
— — Mac Gower. *Ri.* 14 *Déc.*, 495.
— Poinçonneuse Doolittle. *RM. Nov.*, 602.
— Raineuse portative Davis. *Ri.* 30 *Nov.*, 476.
— Scie à froid Hill. *RM. Nov.*, 607.
— Tour revolver Gisholt. *AMa.* 23 *Nov.*, 1229.
— Davenport. *RM. Nov.*, 603.
— Herbert. *E.* 13 *Déc.*, 796.
— — à chucker Herbert. *E.* 6 *Déc.*, 769.
— — elliptique Vrignault et Brosse. *Gc.* 30 *Nov.*, 77.
— — harnais Schumacher. *AMa.* 23 *Nov.*, 1230.
Machines-outils. Vis (Machine à) Acme. *E* 29 *Nov.*, 732
— — Herbert. *E.* 6 *Déc.*, 769.
Machines à vapeur. Prix de la puissance (Gray). *Fi. Nov.*, 331.
— (Rendement des) (Kammerer). *VDI.* 7 *Dec.*, 1750.
— Coefficient de régularité. *EE.* 14 *Déc.*, 412.
— verticale, 300 chevaux Markmann. *E.* 22 *Nov.*, 706. Vauxhall. *E'.* 22 *Nov.*, 537.
— Rossiter. *Ri.* 14 *Déc.*, 493.
— Condenseurs aériens Fouché de 4500 chevaux. *IC. Oct.*, 651.
— — Ledward. *E'.* 13 *Déc.*, 614.
— Distributions Dubbel. *VDI.* 30 *Nov.*, 1713.
— — Robinson, Lean, Rossiter, Walker et Hargreaves. *RM. Nov.*, 610.
— à déclic, dimensions à donner aux organes de rappel. *Pm. déc.*
— Régulateur Piguet. *RM. Nov.*, 614.
— Turbine Rateau. *RM. Nov.*, 608.
— Volants (Calcul des). *AMa.* 14 *Déc.*, 1315.
— **à gaz.** Letombe, Corsen. *RM. Nov.*, 615. Allumage électro-catalytique Wydts. *Lo.* 14 *Déc.*, 169.
— à l'Exposition de 1900. *VDI.* 30 *Nov.*, 1694.
— Essais des Mechanical Engineers. *RM. Nov.*, 547.
— Indicateur d'explosion Mathot. *RM. Nov.*, 617.
— Gazogènes Taylor, Duplex, Letombe. *Ri.* 23 *Nov.*, 405.
— Gaz de haut fourneau. Crossley. *RM. Nov.*, 616.
— **à alcool.** Exposition du grand palais. *Lo.* 23 *Nov.*, 124; *Ap.* 21 *Nov.*, 659; *Gc.* 30 *Nov.*, 69; *Ln.* 7 *Déc.*, 7.
— Résultats en Allemagne. *MS. Déc.* 769.
— Essai comparatif avec le pétrole. *La.* 28 *Nov.*, 759.
— Moteur Noel. *Ri.* 14 *Déc.*, 494.
— **à pétrole** Diesel. *Fi. Nov.*, 371; *RM. Nov.*, 619.
— — Boulier. *Lo.* 7 *Déc.*, 154.
— — Saurer. *RM. Nov.*, 618.
— — Cundall. *Id.*, 621.
Résistance des matériaux. Congrès des essais de Buda-Pesth (Pourcel). *Gc.* 23 *Nov.*, 60.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Roulements sur billes (Heerwagen). *VDI.* 30 *Nov.*, 1701.
Télétachymètre électrique. *Ic.* 25 *Nov.*, 529.

MÉTALLURGIE

Aluminium (Wilson). *SA.* 13 *Déc.*, 54.
Cuivre. Procédé David. *E.* 22 *Nov.*, 707.
Fer et acier. Aciers au nickel, propriétés magnétiques (Wedding). *Société d'Encouragement de Berlin*, 418.
— Acieries américaines. *SuE.* 1er *Déc.*, 1294.
— Procédé Bertrand Thiel. *SuE.* 1er *Déc.*, 1305.
— Forges de Barrow. *E.* 22 *Nov.*, 710.
— Fonderies aux États-Unis. *E.* 22-29 *Nov.*, 521, 549; 6 *Déc.* 570.
— Hauts fourneaux d'Eisenoor. *SuE.* 15 *Déc.*, 1347.
— — (Théorie des) (Osann). *SuE.* 1er *Déc.*, 1277.
— — Commande électrique des cloches. *SuE.* 15 *Déc.*, 1353.
Or. Combinaison avec le chlorure (Meyer). *CR.* 18 *Nov.*, 815.
— Cyanuration à Ely (Nevada). *Eam.* 7 *Déc.*, 753.
— Dragage en Est Russie. *EM. Déc.*, 398.
Zinc. Séparation du fer de la blende. *Eam.* 30 *Nov.*, 711.

MINES

Alaska. Mines du district de Ketchikan. *Eam.* 16 *Nov.*, 630.
Briquettes pour minerais fins. Machine Mould. *Eam.* 20 *Nov.*, 724.
Classeur Klein. *Eam.* 20 *Nov.*, 713.
Diamants de Salobro. Brésil. *Eam.* 16 *Nov.*, 634.
Épuisement. Machines souterraines (Laponche). *Sem.* XV, IVe, 813.
Fer. Mines de Santiago, Cuba. *Eam.* 16 *Nov.*, 632.
Houillères du Kansas. *Eam.* 7 *Déc.*, 748.
Little Colorado Valley. Géologie (Ward). *American Journal of Science*. *Déc.*, 401.
Machines d'épuisement hydrauliques. *E.* 13 *Déc.*, 821.
Mexique (Industrie minérale au). *Eam.* 30 *Nov.*, 692, 705, 713.
Oural (Congrès des exploitants des mines de l'). *Ru. Oct.*, 76.
Perforatrices et haveuses à l'Exposition (Habets). *Ru. Oct.*, 1.
Pétroles du Wyoming. *Eam.* 16 *Nov.*, 628.
Russie. Manganèse, Plomb et Houille en les cinq dernières années. *Ru. Oct.*, 92.
Sondeuse Cyclone. *Eam.* 20 *Nov.*, 726.
Treuil électrique Scott et Mountain. *E.* 13 *Déc.*, 611.
Zinc et plomb au Nord Arkansas. *Eam.* 20 *Déc.*, 719.

Le Gérant : Gustave Richard.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

LISTE DES NOUVEAUX MEMBRES

ADMIS PENDANT LE DEUXIÈME SEMESTRE 1901

A FAIRE PARTIE DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

MM.

BEIGBEDER (D.), ancien ingénieur des poudres et salpêtres, 125, avenue de Villiers, Paris.

BLOCHE, ingénieur civil des mines, 80, rue de Monceau, Paris.

DELAGRAVE (Charles), libraire-éditeur, 15, rue Soufflot, Paris.

ERNAULT (H.), ingénieur constructeur, 169, rue d'Alésia, Paris.

LEGRAND (Victor), ancien président du Tribunal de Commerce de la Seine, 115, rue Lafayette, Paris.

MÉTAYER (Maurice), ingénieur à la Société des aciéries de Denain, 4, rue Mogador prolongée, Paris.

MM.

MIGNOT (A.), ingénieur en chef des aciéries de Javel, villa Montmorency, Paris.

PAIXHANS (Louis), à Bretteville-sur-Laize (Calvados).

RADIGUET, constructeur d'instruments pour les sciences, 15, boulevard des Filles-du-Calvaire, Paris.

REY (Jean), ingénieur en chef des établissements Sautter-Harlé, 26, avenue de Suffren, Paris.

RIGO (E.), directeur de l'usine de Saint-Marcel, à Haumont (Nord).

SARTIAUX (Eugène), ingénieur, chef des services électriques au chemin de fer du Nord, 48, rue de Dunkerque, Paris.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLE ALPHABÉTIQUE

DES

NOMS DES AUTEURS MENTIONNÉS

DANS LE DEUXIÈME SEMESTRE DE LA CENT-UNIÈME ANNÉE DU BULLETIN

(La lettre (**P**), à la suite d'un article, indique qu'il ne s'agit que d'une présentation.)

A B

Baashuns. Tracé des turbines, 820.
Bach. Résistance du bronze, 655.
Badois. Nécrologie, 7.
Baillon. Moteur à air comprimé (P.), 687.
Barbier. Métier à ruban. Rapport de M. Simon, 701.
Behrens et Zimmermann. Moteur à vapeur froide, 798.
Billard (M. br.), 35.
Blérie. Mécanisme d'horlogerie (P.), 687.
Block (Maurice). Nécrologie, 6.
Bonnard (M. br.), 35.
Boucher. Médaille d'or, 32.
Boudouard. Alliages d'aluminium et de magnésium, 773.
Bourquelot (M. br.), 35.
Brillouin. Médaille commémorative, 34.
Brull. Rapport sur la Noria Lemaire, 212. La grille Kudlier, 563.
Buisson-Chavot (Mz. br.), 35.
Bullié. Moteurs à pétrole pour automobiles (P.), 639.

C

Caban (M. br.), 35.
Cadoret. Médaille d'agriculture, 18.
Capobianco (M. br.), 35.
Cappe (M. br.), 35.
Caquand (M. br.), 35.
Carnegie. Bourses de recherches, 838.
Chasseloup-Laubat. Les marines de guerre modernes, Italie, 484. Japon, 632.
Chatin. Nécrologie, 4.
Chester et Wegeriff. Broyeur, 795.
Chinkiewitz. Sous-marin (P.), 687.
Codron. Le cisaillage, 215.
Colignon. Rapport sur le prix Fourcade, 12.
Cordebart. Alimentation de chaudière (P.), 686.
Cornu. Nécrologie, 5.

D

Damiens (M. br.), 35.
D'Arsonval. Production des basses températures, 788.
Daubrée et Bordet. État financier de la Société, 193.
Debray. Médaille d'or, 32.
Delaurier. Aviateur. Roue élastique (P.), 687.
De Loisy. Procédé au minerai, 572.
De Luynes. Rapport sur le Guide pratique du teinturier, de M. Thomas, 713.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

DEVAL. Action du sulfate de chaux sur les ciments, 784.
DIEPPEDALLE (M. br.), 35.
DIGEON. Nécrologie, 7.
DORMOY. Médaille d'or, 32.
DUCRETET. Télégraphie hertzienne (P.), 687.

E F

FAGEDET. Manivelle de sûreté, 569.
FARCOT. Ventilateurs (P), 838.
FASQUELLE et FOLLET. Médaille d'agriculture, 18.
FAURE. Prix des irrigations agricoles, 20.
FEUILLAR (M. br.), 35.
FOSSE. Prix de chimie, 13.
FREMONT et OSMOND. Médaille commémorative, 34. Essais des métaux par pliage, 365.
FRUGIER. Aluminite (P.). 689.

G

GAGNEUR. Prix FOURCADE, 12.
GALLOT, GUILLET, GUILLIN (M. br.), 35.
GAUTIER. Alliages de strontium, de zinc et de cadmium, 780.
GIRARDVILLE. Obturateur pour bec de gaz, 309.
GRAVES. Poiçonneuses hydrauliques, 681.
GRININGER. Médaille d'argent, 32.
GUEDON. Médaille d'argent, 32.
GUICHARD. Prix de chimie, 13.
GUILLAUME. Médaille commémorative, 34. La Convention du Mètre et le Bureau international des Poids et Mesures, 251, 425, 588, 714.
GUILLET. Alliages cuivre aluminium, 650.
GUILLET (M. br.), 35.

H I

HENNEBIQUE, HOCQUARD, HUOT (M. br.), 35.
HEUCLIN. Presse pour huilerie, 561.
HEYCOCK et NEUVILLE. Trempe du bronze, 278.
HEYN. Le cuivre et l'oxygène, 276.
HIRSCH. Nécrologie, 7. Rapport sur les travaux de M. SINIGAGLIA, 31.
HOLLY. Pompes des eaux de Boston, 790.
HORSINS, DÉON. Prix de chimie, 13.
HUBERT et KENNEDY. Laminoirs et transbordeurs, 519,
HUBERSON. Stérilisateur (P), 639.

J

JACOLLIOT (M. br.), 36.
JOLY. Appareils à mesurer l'épaisseur des coussinets, 707. Frise à embrèvement et languettes, 710.

K

KŒNIGS. Théorie des mécanismes, 298, 413, 544.
KUDLIEZ. Grille. Rapport de M. BRUEL, 563.

L

LAUR. Bassin ferrifère de la Lorraine (P.), 686.
LAVERGNE. Médaille de vermeil, 32.
LE CHATELIER. Médaille commémorative, 34. La trempe du bronze, d'après MM. HEYCOCK et NEUVILLE, 278. Association internationale pour l'essai des matériaux, 836.
LEDAN, LESTANG, LIQUE, LIROT (M. br.), 36.
LEFEBVRE. Chauffage des ballons (P.), 686.
LEMAIRE. Noria, 212.
LENKE. Machine à vapeur surchauffée, 411.
LIEVING et RHEINFELD. Four rotatif à ciment, 273.
LIEVRE. Prix d'agriculture, 17.
LINDER (Président). Discours à la séance générale des prix, 4.
LINDET. Rapport sur les travaux scientifiques de MM. FOSSE et GUICHARD.
LIVACHE. Cuirs pour reliures, 515.
LUNET. Moteur à gaz (P.), 686.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M N O

Mac Kehnie. La machine marine depuis 10 ans, 390.
Maillard. Décoration des meubles (P.), 687.
Mallat. Les États danubiens, 612.
Marre. Prix d'agriculture, 17.
Michelson. Interféromètre, 281.
Moissan. Gaz liquéfiés (manipulation des) en tubes scellés, 652.
Morin. Turbine à vapeur (P.), 686.

P Q

Pichon. Moteur hydraulique (P.), 687.

R

Rateau. Ventilateurs et pompes centrifuges à hautes pressions, 728.
Renard. Médaille commémorative, 34.
Renaud. Médaille commémorative, 34.
Revin. Machine à jambes (P.), 686.
Richard (G.). Littérature des périodiques, 185, 300, 417, 553, 693. Notes de mécanique, 135, 281, 390, 681, 790. Propriétés des aciers coulés d'après M. J. Arnold, 124. Four rotatif Lessing et Rheinfeld, 273.
Rostand. Médaille commémorative, 34.
Robin. Châssis d'automobiles (P.), 686.
Rinat. Lampe électrique (P.), 687.
Risler. Rapport sur le prix d'agriculture, 16.
Rivière et Lecq. Médaille d'or, 32.
Rolet. Médaille d'or, 32.
Ronna. Rapport sur le prix des irrigations agricoles, 19. Médaille commémorative, 34.
Rocca, Tassy et Roux. Médaille de vermeil, 32.
Roy. Unification du numérotage des fils, 831.

S

Samain. Rappel de médaille d'or, 32.
Sartiaux. Médaille commémorative, 34.
Sauvage. Presse pour huilerie Henclin, 561.
Sauvage. Médaille commémorative, 34. Rapports sur l'appareil à mesurer l'épaisseur des coussinets, et sur les frises à languette et embrèvement de M. Joly, 707, 710. Association internationale pour l'essai des matériaux, 835.
Siemens et Halske. Voiture électrique, 813.
Simon. Obturateur de bec de gaz Girardville, 365. Manivelle de sûreté Fagedet, 569. Métier à ruban Barbier, 701. Numérotage des fils textiles, 829.
Sinigaglia. Médaille d'or, 31.
Stanger et Blount. Fabrication du ciment, 507.

T U

Tate. Machines-outils pneumatiques, 677.
Thénard. Prix des irrigations agricoles, 25.
Thomas. Guide pratique du teinturier. Rapport de M. de Luynes, 713.
Thirion. Robinet verseur (P.), 686.
Tison. Protection des galvanos (P.), 687.
Tribeaudeau. Prix d'agriculture, 16.

V

Vogt. Études aur les conditions des argiles de France, 209.

W

Weber. Dessins géométriques (P.), 686.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLE ALPHABÉTIQUE ET ANALYTIQUE

DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE DEUXIÈME SEMESTRE DE LA CENT-UNIÈME ANNÉE DU BULLETIN

A

Alliages. (Travaux de la Commission des), 8. *Cuivre-aluminium* (GUILLET), 650. *Aluminium-magnésium* (BOUDOUARD), 773. *Strontium-zinc-cadmium* (GAUTIER) 780.

B

Bec de gaz GIRARDVILLE. Rapport de M. SIMON, 309.

Broyeur CHESTER et WEGERIFF, 795.

C D

Céramique. Expériences relatives à l'étude de la constitution des argiles de France. Rapport de M. VOGT, 273.

Chambre de commerce de Lyon. Grande médaille du Commerce, 9.

Chaudières.

— *Chemins de fer électriques* à grandes vitesses, 802.

— *Foyers* au charbon pulvérisé, 144, tirage naturel et forcé, essais comparatifs, 295.

— *Grille* KUDLIEZ. Rapport de M. BRULL, 563.

Ciments. *Réaction du sulfate de chaux* (sur les) (DEVAL), 96, 784. *Four rotatif*, LESSING et RHENFELD, 273. *Fabrication en fours tournants* (STANGER et BLOUNT), 507.

Canaux en bois pour irrigations aux États-Unis, 286.

Coussinets. Appareil à mesurer les épaisseurs, de M. JOLY. Rapport de M. SAUVAGE, 707.

Cuirs de reliure (Recherches sur les), (LIVACHE), 515.

E

État financier de la *Société d'Encouragement*. Exercice 1900. Rapport de M. DAUBRÉE et BORDET, 193, 207.

États Danubiens (les) (MALLAT), 312.

F G H

Fils textiles (Numérotage des), 829.

Frise à embrèvement de M. JOLY. Rapport de M. SAUVAGE, 710.

Froid. Production et maintien des basses températures (D'ARSONVAL), 788.

Gaz liquéfié. Manipulation en tubes scellés (MOISSAN), 652.

Hydraulique.

— *Roues tangentielles* (Essais KEELY), 135.

— *Turbines*. Tracé des aubes, 820.

I J K L

Interféromètre MICHELSON, 254.

Irrigations agricoles (Prix des). Rapport de M. RONNA, 19.

Joint à angle variable KOENIGS, 182.

Lait. Composition du — et des produits de la laiterie (ROLET), 74.

Levage. (*Appareils de*) Allège pour charbons CLARKE, 147.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

— *Grues électriques* du port de ROTTERDAM, 158.
— *Pont roulant*, électrique de fonderie, 670.
Littérature des périodiques, 185, 300, 417, 553, 693, 842.
Livres reçus à la bibliothèque, 131, 690.

M

MACHINES-OUTILS

Machines-outils (Travail des) (CODRON). **Le cisaillage**, 40, 215.
— *Aciers pour outils*, 539.
— *Poinçonnage des métaux*, LOOS, 152.
— *Poinçonneuse*, GRAVES, 681.
— *Outils pneumatiques*, 667.
Machines marines pendant les 10 dernières années (MAC KECHNIE), 390.
Machines à vapeur surchauffées (LENKE), 411; *à vapeur froide* BEHREND et ZIMMERMANN, 798.
Manivelle de sûreté FAGEDET. Rapport de M. SIMON, 569.
Marines de guerre modernes (DE CHASSELOUP-LAUBAT). Italie, 484; Japon, 632.
Mécanismes (Théorie des) (KŒNIGS), 298, 413, 544.
Métier à rubans de M. BARBIER. Rapport de M. SIMON, 701.
Métrologie. Convention du mètre et le *Bureau international des poids et mesures* (GUILLAUME), 251, 425, 388.

MÉTALLURGIE

Métallurgie.
— *Laminoirs* HOGDSON et NORTON, 138, pour tôles CARNEGIE, 155, HUBER et KENNEDY, 519.
Presse HUGER à faire les billettes, 142.
Variante du procédé au minerai (E. DE LOISY), 572.
Aciers coulés (propriétés) (ARNOLD), 124).
Bronze (trempe du) (HEYCOCK et NEVILLE), 278.
Cuivre et oxygène (HEYN), 276.
Fonte de niobium (MOISSAN), 131.
Alliages. Aluminium et magnésium (BOUDOUARD), 773. *Cuivre-aluminium* (GUILLET), 650. *Strontium, zinc, cadmium* (GAUTIER), 780.

N

Noria Lemaire. Rapport de M. BRULL, 221.

O P Q

Pesage et contrôle. Appareils CHAMEROY. Rapport de M. ROZÉ. 37.
Pompes HOLLY des eaux de Boston, 790. *Centrifuges à hautes pressions* (RATEAU), 728.
Presse pour huileries HEUCLIN. Rapport de M. SAUVAGE, 361.
Prix. (Séance générale des), 4.
Procès-verbaux des séances. Séance générale des prix, 4; 12 juillet, 25; octobre, 8; novembre, 685; 22 novembre, 835; 13 décembre, 838.

R S T

Résistance des matériaux. Essais des métaux par *pliage des barettes entaillées* (FRÉMONT), 365. *Association internationale pour l'unification des essais*. Congrès de Budapesth. Création d'une section française, 835-836.
Tannerie. *Valeur relative des matières tannantes;* recherches du laboratoire des industries du cuir de Londres (LIVACHE), 106.
Teinture. Guide pratique du teinturier de M. THOMAS. Rapport de M. DE LUYNES, 713.

V

Variation de la résistance des bronzes avec la température (BACH), 655.
Ventilateurs et pompes centrifuges à hautes pressions (RATEAU), 728.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLE DES DESSINS

DESSINS

	Pages.
Travail des machines-outils, cisaillage. — 106 figures	40, 215
Composition du lait et des produits de la laiterie. — 2 figures	75
Propriétés des aciers coulés. — 4 figures	126
Essais de roues tangentielles. — 7 figures	135
Laminoirs Hodgson et Norton. — 7 figures	139
Presse à billettes Hughes. — 4 figures	143
Chauffage des chaudières au charbon pulvérisé. — 6 figures	145
Allège pour charbon Clarke. — 8 figures	147
Poinçonnage des métaux. — 13 figures	152
Laminoir de la Carnegie C°. — 3 figures	156
Grues électriques du port de Rotterdam. — 89 figures	158
Noria Lemaire. — 2 figures	212
La convention du mètre et le bureau international des poids et mesures. — 67 figures	250, 425, 588, 715
Four rotatif Lessing et Rheinfeld. — 12 figures	272
Le cuivre et l'oxygène. — 2 figures	276
Trempe du bronze. — 6 figures	279
Interféromètre Michelson. — 7 figures	280
Canaux en bois pour irrigations aux États-Unis. — 13 figures	286
Tirage naturel et tirage forcé. — 3 figures	297
Obturateur pour becs de gaz Girardville. — 2 figures	309
Les États danubiens. — 1 figure	338
Essais des métaux par pliage des barrettes entaillées. — 11 figures	365
La machine marine pendant ces dix dernières années. — 44 figures	390
Les marines de guerre modernes. Italie, Japon. — 32 figures	484, 632
Laminoirs et transbordeurs Huber et Kennedy. — 30 figures	517
Grille Kudlicz. — 6 figures	563

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

Variation de la résistance du bronze avec la température. — 8 figures 655
Pont roulant électrique. — 14 figures. 670
Les outils pneumatiques. — 7 figures. 677
Poinçonneuse Graves. — 5 figures 681
Métier à ruban Barbier. — 8 figures 701
Appareil Joly, à mesurer l'épaisseur des coussinets. — 1 figure. 707
Frises de wagons Joly. — 12 figures. 711
Ventilateurs et pompes centrifuges à hautes pressions. — 24 figures. 728
Alliages d'aluminium et de magnésium. — 6 figures. 773
Pompes Holly. — 9 figures 790
Broyeur Chester et Wegerif. — 7 figures. 795
Moteur Behrend et Zimmermann. — 10 figures 799
Chemins de fer électriques à grandes vitesses. — 30 figures. 802
Tracé des aubes des turbines. — 11 figures 820

Paris. — Typographie PHILIPPE RENOUARD, 19, rue des Saints-Pères. — 41640.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires