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

Auteur ou collectivité : Annales du CNAM
Auteur secondaire : Laboulaye, Charles (1813-1886)
Titre : Annales du Conservatoire des arts et métiers, publiées par les professeurs

Auteur secondaire : Laboulaye, Charles (1813-1886)
Titre du volume : 1e série, tome 1, 1861

Adresse : Paris : Librairie scientifique industrielle et agricole de Eugène Lacroix, 1861
Collation : 1 vol. ([4]-916 p.) : ill., pl. dépl. h.t. 1 à 8 ; in-8
Cote : CNAM-BIB P 949
Sujet(s) : Conservatoire national des arts et métiers (France) -- Histoire ; Technique -- 19e siècle
Note : Erreur de pagination : p. 567 pour 367, p. 625 pour 525, p. 581 pour 481.
Cote ancienne : 8 Ku 54.

URL permanente : http://cnum.cnam.fr/redir?8KU54-1.1

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 21/5/2015

ANNALES

DU

CONSERVATOIRE

IMPÉRIAL

DES ARTS ET MÉTIERS.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PARIS — IMP. P.-A. BOURDIER ET C^IE, 30, RUE MAZARINE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ANNALES

DU

CONSERVATOIRE

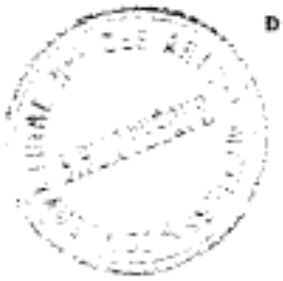
IMPÉRIAL

DES ARTS ET MÉTIERS

PUBLIÉES PAR LES PROFESSEURS

M. CH. LABOULAYE

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION.



TOME PREMIER.

PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE

DE E. LACROIX

ANCIENNE MAISON L. MATHIAS (AUGUSTIN)

15, QUAI MALAQUAIS, 15

LONDRES. — BARTHÈS ET LOWELL. | SAINT-PÉTERSBOURG. — J. ISSAKOFF

MADRID. — POUPART. | MOSCOU. — GAUTIER.

1861

Reproduction interdite.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ANNALES

DU

CONSERVATOIRE

IMPÉRIAL

DES ARTS ET MÉTIERS.

INTRODUCTION.

L'enseignement du Conservatoire impérial des Arts et Métiers est le plus populaire qui soit en France. Constitué avec toutes les ressources de la science, initié à tous les développements de l'industrie, dont il a pour mission de faire connaître les progrès, il est pour elle une source féconde de connaissances utiles, un guide sûr dans les applications.

Il fait aimer la science en mettant en lumière l'importance des règles qu'elle enseigne. Il prépare les progrès de l'avenir en familiarisant les esprits les moins exercés avec les notions scientifiques les plus délicates. Mettant l'exemple à côté du précepte, il propage la foi scientifique, et développe dans de saines limites l'esprit d'invention.

C'est parce qu'il répond réellement aux besoins de l'époque que l'enseignement du Conservatoire a été successivement doté de nouvelles chaires. Au nombre de quatorze aujourd'hui, elles embrassent les sciences physiques et mathématiques les plus importantes, ou elles sont spécialement affectées aux industries principales du pays. La législation industrielle y est

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'objet d'une étude approfondie; les données économiques de l'industrie des différents peuples y sont enseignées avec le plus grand soin.

Par ses cours et par son musée, le Conservatoire occupe incontestablement le premier rang parmi tous les établissements analogues des autres peuples, chez qui l'enseignement technologique se développe cependant depuis quelques années.

Pour aider encore aux ressources qu'offre ce grand établissement à l'étude des sciences et des arts utiles, on a pensé qu'une publication spéciale, rédigée en grande partie par MM. les Professeurs du Conservatoire, serait accueillie avec plaisir. Les *Annales du Conservatoire* constitueront au dehors un organe de publicité répondant au même objet que son enseignement.

Sans écarter de leur cadre les questions scientifiques d'un ordre élevé, les *Annales* seront plus spécialement consacrées aux applications de la science. Les rédacteurs s'attacheront à faire ressortir, à l'aide d'expériences certaines, les relations des données pratiques et de la théorie.

Outre les Mémoires originaux des Professeurs du Conservatoire insérés dans les *Annales*, on cherchera encore à y faire paraître tous les Mémoires importants qui se produiront en France et à l'étranger sur les questions de même nature. La bienveillance que les rédacteurs espèrent rencontrer chez les professeurs des principaux établissements technologiques de l'Europe leur permet de compter à cet égard sur une importante collaboration. En tous cas, les travaux les plus remarquables publiés en langue étrangère seront traduits dans leurs parties essentielles, et de manière que le recueil soit toujours au courant des principales découvertes et des perfectionnements les plus notables des opérations industrielles.

Les procès-verbaux des expériences faites au Conservatoire

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

seront publiés dans ce recueil ; ils aideront à faire connaître les coefficients pratiques dont la détermination est indispensable pour l'emploi des formules de physique et de mécanique appliquée.

Les arts chimiques et l'agriculture ont au même titre besoin de constatations expérimentales bien discutées.

La reproduction de certaines leçons spéciales pourra être faite dans les *Annales*, lorsqu'elles auront pour objet un sujet bien défini ou un procédé nouvellement introduit dans une industrie particulière ; les communications qui pourront être reçues sur ces mêmes sujets permettront de discuter utilement tous les nouveaux procédés de fabrication.

Les professeurs qui ont pris l'initiative de cette publication se proposent d'y faire paraître une revue annuelle des progrès des différentes industries et des découvertes scientifiques auxquelles se rattachent ces progrès ; les expositions publiques leur permettront fréquemment de donner à cette partie du recueil des développements plus étendus.

Cette publication, dont le projet était depuis longtemps à l'étude, ne pouvait paraître à un moment plus opportun : il devient absolument nécessaire que les progrès réalisés sur quelque point soient connus aussitôt que possible ; leur prompte adoption aidera aux développements sérieux que l'abaissement des barrières fiscales rendra désormais plus indispensables.

Pour réaliser leur projet dans les conditions les plus favorables, pour faciliter les relations avec les personnes disposées à prêter leur concours aux *Annales*, les Professeurs du Conservatoire se sont assuré la coopération, comme directeur de la publication, de M. Ch. Laboulaye, qui a déjà fait un livre si utile de son *Dictionnaire des Arts et Manufactures*, encyclopédie technologique dans laquelle il a su résumer en un petit nombre de pages les données les plus intéressantes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de toutes les opérations des manufactures. En se chargeant de la direction des *Annales*, M. Laboulaye contribuera par ses soins comme par ses travaux au succès du nouveau recueil.

Un Bulletin bibliographique sera spécialement consacré aux publications industrielles de l'Allemagne et de l'Angleterre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DESCRIPTION

DE LA

SALLE DES EXPÉRIENCES

DE MÉCANIQUE

AU CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS,

PAR M. TRESCA.

Longtemps avant l'Exposition de 1851, M. le général Morin, alors professeur de mécanique appliquée aux arts au Conservatoire des Arts et Métiers, avait reconnu l'importance qu'aurait, pour son enseignement, une installation qui lui permettrait d'expérimenter les machines de l'industrie au Conservatoire même; en même temps qu'une installation de cette nature lui permettrait d'étudier ces machines à la fois au point de vue de la théorie et de la pratique, il avait compris qu'elle donnerait à l'institution un nouveau caractère d'utilité, en offrant aux inventeurs le moyen de faire constater officiellement les résultats de leurs combinaisons nouvelles.

Une petite machine à vapeur, système Meyer, à détente variable et à condensation, fut achetée dans ce but en 1843; elle était alimentée par une chaudière système Beslay, installée dans un local dépendant de la grande salle des machines, et les premières expériences qui furent faites avec ces appareils remontent à 1847; ils servirent particulièrement à étudier les moulins portatifs de M. Bouchon, lorsque les opérations militaires en Algérie exigeaient encore l'emploi d'appareils de mouture facilement transportables.

Le but qu'il s'agissait d'atteindre était dès lors bien défini, et si les moyens d'action étaient encore insuffisants pour des expériences plus importantes, toujours est-il que ces premières constatations avaient montré tout l'avenir qui était réservé à ce genre d'institution. Les travaux de restauration de l'ancienne nef de l'église de l'abbaye Saint-Martin-des-Champs, qui renferme au-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

jourd'hui les moyens d'observation les plus complets pour des expériences de mécanique, ont seuls retardé l'exécution d'un projet plus étendu, dont nous nous proposons, dans cette note, de décrire l'organisation.

L'affluence des visiteurs, dans la galerie consacrée aux machines en mouvement, à l'Exposition Universelle de Londres en 1851, vint montrer bientôt combien le fonctionnement des machines de fabrication a d'attrait pour le public, combien aussi cet enseignement *de visu* est propre à répandre des notions exactes et précises sur les procédés de l'industrie.

Nous avions trouvé à Londres, réunies pour la première fois, un certain nombre de machines locomobiles, dont l'emploi en agriculture paraissait encore douteux à cette époque. Une de ces machines fut achetée à l'un des meilleurs constructeurs, et elle servit jusqu'en 1853, dans la salle aujourd'hui consacrée à l'exposition des machines-outils, à une série d'expériences sur les pompes, sur les ventilateurs, et sur quelques autres appareils.

C'est avec ce moteur, ainsi installé d'une manière provisoire, que furent mises publiquement en mouvement, de 1851 à 1854, les principales machines achetées à l'Exposition de Londres. La nouveauté de ce spectacle attirait un grand nombre de visiteurs et préludait à l'installation dont l'administration du Conservatoire a pris la direction à l'Exposition Universelle de 1855.

C'était la première fois que des machines exposées fonctionnaient à nos expositions françaises, et il n'y a plus aujourd'hui une seule exposition de province qui n'ait à la fois son moteur et ses machines en mouvement. La France, qui possédait à peine deux ou trois machines locomobiles avant 1851, en compte aujourd'hui plus de trois mille, employées à tous usages et sur toute l'étendue de notre territoire.

La salle actuelle des machines en mouvement au Conservatoire a été définitivement installée de 1852 à 1854. Vouée à une destination permanente, on a cherché à y réunir toutes facilités pour des expériences de toute nature; on l'a dotée de moteurs puissants, on a dû y consacrer des dispositions toutes spéciales pour l'étude de l'hydraulique et pour les machines qui en dérivent. Elle forme aujourd'hui l'observatoire le plus complet qui ait jamais été construit dans ce but: et, par le nombre des expé-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

riences que cette installation a permis de réaliser, elle a déjà puissamment aidé aux progrès des arts mécaniques.

En rendant compte successivement des expériences qui s'y sont faites, de celles que nous continuons chaque jour à y faire, nous aurons souvent à parler de ses dispositions générales : dès lors, il nous a paru convenable de décrire cette salle d'expériences avec quelques détails, qui aideront beaucoup à la clarté des explications que nous devrons ultérieurement donner sur telle ou telle expérience en particulier.

La salle des machines en mouvement du Conservatoire forme une grande nef dont la largeur est de 16 mètres, sur une longueur de 43 mètres; son axe est à peu près dirigé de l'est à l'ouest; la face nord est occupée par l'installation des machines à vapeur; elle communique avec les galeries du Conservatoire, avec le dépôt de charbon, et avec le grand amphithéâtre de l'établissement. La face sud est consacrée aux appareils hydrauliques; elle communique avec l'ancienne tour de l'église, qui la complète, et avec un petit atelier de réparation.

La planche 1 représente en plan la moitié seulement de cette salle, à l'est. La partie centrale A est dallée en pierre et marbre; les côtés B et C, dont le sol est relevé d'une hauteur de marche, sont destinés à recevoir les machines de toutes sortes, soit à demeure, soit pendant la durée des expériences seulement.

Cette nef est de construction plus récente que l'église, dont quelques parties remontent au commencement du douzième siècle. Restaurée avec le plus grand soin par M. Léon Vaudoyer, l'habile architecte du Conservatoire, elle présente sous les entraits du plafond une hauteur de 14 mètres; cette grande hauteur était favorable pour une salle dans laquelle on ne peut éviter ni l'humidité résultant des réservoirs d'eau, ni les vapeurs que répandent nécessairement les joints des organes accessoires des chaudières.

On a d'ailleurs fréquemment utilisé cette hauteur pour certaines expériences de précision. Une tour spéciale et un escalier extérieur donnent accès dans l'espace compris entre le plafond et le comble, et de nombreuses ouvertures ménagées dans le plafond permettent soit d'amarrer des cordages à la charpente du comble, soit de fixer des poulies de renvoi, soit enfin de laisser tomber

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

certains poids destinés à produire par leur chute, d'abord accélérée, un mouvement bientôt uniforme; c'est en profitant de cet espace compris entre les deux combles qu'ont pu se faire quelques expériences de résistance de matériaux sur des fils de 25 et de 30 mètres de longueur, dont les allongements sous diverses charges devaient être observés près des points d'attache aussi bien qu'à la partie inférieure.

C'est en D que se trouve l'ancienne tour avec ses réservoirs d'eau, en E la communication avec les galeries, en F le chœur de l'ancienne église servant aujourd'hui, comme la nef elle-même, de salle d'exposition pour les grandes machines. Les modèles qui y sont placés en ce moment seront en partie transportés dans l'abside, lorsque cette belle partie du bâtiment sera terminée. Elle constitue un des monuments les plus curieux de la capitale, et la commission des monuments historiques attache le plus grand prix à sa complète restauration, déjà fort avancée, et qui sera certainement achevée en 1862.

Le côté réservé aux appareils hydrauliques devait être particulièrement étudié pour répondre aux diverses exigences des nombreuses machines à l'installation desquelles il était destiné. Il fallait, de toute nécessité, disposer des réservoirs à divers étages, pouvoir les mettre en communication les uns avec les autres, leur donner des formes qui permissent de déterminer facilement leur contenance, y maintenir, pendant l'écoulement, des niveaux invariables. On va voir comment on a satisfait, autant que possible, à ces diverses conditions.

Tous les réservoirs ont des formes rectangulaires d'un jaugeage facile; le réservoir inférieur est un vaste bassin en maçonnerie, d'une profondeur de $0^m,80$, complétement enterré; il donne accès par ses deux extrémités à 6 coursiers disposés pour recevoir soit des roues hydrauliques, soit des turbines; au milieu de sa longueur, en G, se trouve un vannage qui permet d'écouler les eaux dans un égout qui traverse la salle dans toute sa longueur, et qui est en communication avec celui de la ville. Les parois de ce canal sont enduites en ciment romain, et des rainures sont ménagées à quelque distance de ses deux extrémités pour l'établissement de barrages à poutrelles, qui permettent de le fractionner au besoin en trois capacités distinctes. C'est dans ce bassin que s'écoulent les eaux dépensées par les différents récepteurs hydrauliques,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

eaux qui sont en partie relevées par les machines élévatoires dont nous donnerons plus loin l'énumération.

A trois mètres au-dessus du sol se trouve disposé un grand canal en fonte H de section carrée, formé de panneaux assemblés par des brides et boulons, et tellement disposés que l'un quelconque de ces panneaux pourrait être remplacé provisoirement par un panneau d'une autre forme, si des expériences spéciales l'exigeaient.

Les panneaux latéraux de $0^m,80$ de hauteur sont assez résistants par eux-mêmes pour qu'aucune entretoise n'ait été nécessaire : on a obtenu ce résultat au moyen de nervures en losange qui forment la seule ornementation des panneaux, et qui sont suffisamment indiquées sur l'élévation générale de la planche 2. La longueur de chaque panneau est de $1^m,46$, et la section du bassin se trouvant entièrement libre à l'intérieur, la disposition adoptée convient parfaitement à des expériences d'écoulement et de flottaison.

Des planches mobiles sont placées en travers, de distance en distance, et elles sont traversées par des pointes de fer à l'aide desquelles on affleure exactement la surface du liquide, soit au commencement, soit à la fin d'une expérience. Ce niveau d'ailleurs ne peut s'élever au delà d'une limite fixée à l'avance par une vanne en déversoir I disposée au milieu du canal.

Les ailes H' en retour d'équerre sont disposées de la même manière, et c'est particulièrement par les panneaux de ces ailes en retour que sont alimentés les récepteurs hydrauliques.

En ce moment deux turbines sont placées en h et h', et les planches indiquent suffisamment la disposition des vannes de ces appareils ; à l'autre extrémité se trouvent trois roues à axe horizontal, une roue Poncelet à aubes courbes, une roue à augets, et une roue de côté, alimentées toutes trois par le canal en fonte.

Ce canal, dans son ensemble, peut servir de bassin de jaugeage : il présente une section horizontale de 35 mètres carrés, et peut contenir 30 mètres cubes d'eau.

Pour que le niveau se maintienne pendant toute la durée d'une expérience à niveau constant, il est nécessaire de faire arriver autant d'eau qu'on en dépense, et cette alimentation peut s'obtenir par deux voies différentes : derrière la vanne en déversoir I

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

se trouve un robinet en communication avec les réservoirs de la ville; mais on ne peut obtenir ainsi qu'un débit peu considérable, les tuyaux d'amenée en fonte n'ayant que huit centimètres de diamètre; lorsque la dépense est plus grande, l'introduction se fait en H'' d'une manière toute spéciale.

On voit, par l'élévation générale, que le canal en fonte repose de distance en distance sur des piles en pierre; mais les deux piles qui se projettent en k' sont, comme le canal même, construites en panneaux de fonte; le tuyau H'' débouche au fond de la boîte formée par ces panneaux, et l'eau qui afflue par cette bouche perd en tourbillonnements sa force vive avant d'atteindre le niveau général; on peut ainsi introduire des quantités d'eau considérables sans apporter de trouble sensible dans les niveaux, quelle que soit la vitesse de l'eau à son entrée: et lorsque cette eau provient d'un des réservoirs de la tour, de celui qui est situé à 12 mètres, par exemple, il est facile de voir qu'un tuyau de $0^m,18$ de diamètre peut débiter plus de 300 litres par seconde.

Mais ce chiffre est loin d'indiquer la limite du volume d'eau que nous pouvons dépenser, puisque des machines élévatoires peuvent aussi déverser, dans le canal, jusqu'à 150 litres par seconde, et aider ainsi à l'effet d'ensemble dans une expérience de quelque durée.

Pour compléter la description des réservoirs, il faut nous transporter dans la tour où quatre étages de bassins sont déjà installés. Cette tour a été, pendant la révolution sans doute, rasée à demi hauteur. On se propose, dans les projets de restauration, de la relever à sa hauteur primitive, et alors quatre autres étages seront ajoutés, et nous pourrons disposer d'une chute totale de 24 mètres au lieu de 12.

L'ancien escalier dessert les quatre étages de réservoirs qui sont représentés en élévation, planche 2, tels qu'ils seraient vus si le mur de séparation avec la nef était enlevé. Chacun de ces réservoirs contient 13 mètres cubes d'eau, leurs dimensions étant les suivantes : longueur $3^m,10$; largeur $3^m,20$; hauteur $1^m,30$: les planchers sont placés à 3 mètres de distance les uns des autres, en telle manière qu'une distance de $1^m,30$ existe partout entre le bord supérieur d'un réservoir et le fond du réservoir suivant. Le niveau, dans chacun d'eux, pouvant être main-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tenu constant, à quelque hauteur que ce soit, au-dessous du bord, on voit que l'on dispose ainsi de chutes qui peuvent varier de 3 mètres à $4^m,50$, de 6 mètres à $7^m,50$, de 9 mètres à $10^m,50$, et de 12 mètres à $13^m,50$; la même disposition sera continuée pour les réservoirs projetés. On comprend d'ailleurs qu'au moyen du relèvement du point d'arrivée, on puisse en outre obtenir toutes les chutes intermédiaires.

L'alimentation de ces réservoirs se fait jusqu'ici par le même tuyau de 8 centimètres qui peut remplir le canal et qui est branché sur les eaux de la ville ; mais la charge des conduites étant à peine suffisante pour notre plus grande hauteur, l'emploi d'une machine élévatoire deviendra nécessaire pour l'alimentation des nouveaux bassins à construire.

Toujours est-il que, dans l'état actuel des choses, le Conservatoire a toujours en réserve 60 mètres cubes d'eau dans ses bassins, 30 mètres cubes dans le canal de fonte, 50 mètres cubes dans le réservoir inférieur, en tout 140 mètres cubes que l'on peut faire circuler d'une capacité à l'autre, et qui forment une provision suffisante pour de grandes expériences hydrauliques.

Les réservoirs devant être établis dans une vieille tour, il était indispensable de faire supporter la plus grande partie de leur poids sur le sol même : voici comment cette condition a été satisfaite. Nous avons fait fondre, aux usines de la Pique, vingt-quatre colonnes en fonte terminées à la partie supérieure par une embase carrée, devant recevoir à l'intérieur une partie cylindrique appartenant à la colonne de l'étage supérieur. Les quatre colonnes superposées se trouvent pour ainsi dire assemblées par tenons et mortaises, et il suffisait de les assurer dans une position verticale pour leur faire porter des poids énormes.

A cet effet les embases carrées ont été moisées par des fers à double T dont les nervures ont été enlevées au burin du côté des embases ; les assemblages ont été maintenus par des boulons placés à quelque distance entre les deux pièces jumelles, dont l'écartement était assuré par une cale en fonte, et l'ensemble a présenté une très-grande rigidité.

Les colonnes étaient assez écartées pour laisser entre elles l'emplacement de chaque réservoir ; lorsque l'un d'eux était monté, on le laissait reposer sur un plancher supporté par les poutres en fer à T, et formé de madriers indépendants et juxta-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

posés. Le poids de chaque réservoir est ainsi supporté dans son intégralité par les poutres dont les extrémités, un peu encastrées dans la maçonnerie, tendraient plutôt à se relever qu'à la charger.

Lorsqu'on s'occupera de la continuation du travail, le réservoir du quatrième étage sera porté au huitième, celui du premier étage au cinquième, et les quatre nouveaux réservoirs viendront prendre la place des quatre réservoirs actuels.

C'est à l'aide de ces précautions que l'on a pu établir dans la tour des réservoirs en tôle, tout assemblés, et ne laissant, au pourtour, qu'un passage de 60 centimètres à peine.

Disons maintenant comment ces différents réservoirs peuvent être mis en communication entre eux, comment ils peuvent être remplis et vidés.

La distance entre les fonds de deux bassins étant de 3 mètres, elle peut être comblée par trois tuyaux de $1^m,50$, de $0^m,50$ et de $1^m,00$; c'est cette division qui a été adoptée pour les communications. Tous les tuyaux ont $0^m,18$ de diamètre; le tuyau inférieur est entièrement cylindrique; il porte deux brides; la bride inférieure se pose sur le fond percé du bassin; la bride supérieure s'assemble avec celle du tuyau de $0^m,50$; celui-ci est formé de deux parties renfermant entre elles une vanne destinée à fermer ou à ouvrir la communication de haut en bas. Cette boîte de vanne se fixe par sa bride inférieure à la bride du tuyau de $1^m,50$; elle se termine, par le haut, en forme de manchon à tulipe pour recevoir l'extrémité inférieure du troisième tuyau. Ce manchon, dont le joint doit être fait au plomb, permet de racheter les petites différences qui pourraient exister dans la distance entre les deux réservoirs.

Quant au tuyau de 1 mètre, il se compose d'une partie droite s'assemblant d'une part au manchon précédent, et de l'autre au fond du bassin supérieur par une bride; mais il porte une bifurcation latérale de même diamètre, qui se recourbe verticalement et s'assemble aussi de la même façon avec le fond; l'orifice de cette bifurcation peut se fermer à l'intérieur du réservoir par une soupape conique, commandée par un petit volant à manette et une tige filetée.

La figure montre que deux canalisations semblables mettent en communication tous les bassins; et, si cette description a pu

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

être bien comprise, on doit voir que l'on a ainsi deux tuyaux verticaux, montant de haut en bas, sans débouché dans les bassins intermédiaires, et qui peuvent être fermés par l'une quelconque des vannes interposées dans le conduit. La communication de ces tuyaux avec les bassins ne peut se faire que par les tubulures latérales qui existent en double pour chaque bassin et qui permettent, au moyen d'une manœuvre facile, de faire écouler l'eau d'un bassin supérieur dans un des bassins inférieurs.

S'agit-il, par exemple, de faire passer l'eau du bassin 4 dans le bassin 2, on ouvrira la soupape conique *a*, et les vannes *b* et *c*; on fermera la vanne *d* et l'on ouvrira la soupape conique *f*; l'eau parcourra librement le canal *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*; et, lorsque le bassin 4 sera vide, il suffira d'ouvrir *g* pour que toute l'eau du bassin 3 se rende aussitôt dans le bassin 2, comme celle du bassin supérieur.

On pourrait de même vider, dans le premier bassin, les 45 mètres cubes que contiennent les trois bassins supérieurs; et, au moyen d'un simple règlement de vanne, maintenir le niveau constant, dans le bassin qu'on alimente, pendant toute la durée de l'écoulement de ces 45 mètres cubes.

Il faut remarquer que deux bassins seulement sont simultanément engagés dans une même expérience, et que le second conduit surtout est destiné à remplir, pendant le même temps, les réservoirs inoccupés, au moyen d'une machine élévatoire fonctionnant à la vapeur, et placée dans la salle même; l'eau nécessaire à cet objet peut être puisée dans le réservoir en maçonnerie et dirigée, par la bouche *m* de l'un des tuyaux inférieurs, dans l'un quelconque des bassins, dans le bassin 4, par exemple, si l'on ouvre toutes les vannes de la conduite *n* et si l'on ferme toutes les soupapes coniques, à l'exception de celle du bassin n° 4 de la bifurcation de cette conduite.

Soit que l'on alimente de cette façon, soit qu'il suffise d'ouvrir les robinets *b*, montés sur une conduite de la ville, on pourra continuer la manœuvre pendant un temps, pour ainsi dire, indéfini, et par conséquent donner aux expériences toute la durée nécessaire pour que leurs résultats soient irréprochables.

Chaque bassin est d'ailleurs muni d'un tube de décharge qui l'empêche de se remplir au delà d'un niveau fixé d'avance et qui ajoute encore à la certitude des opérations. Les deux conduites

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

verticales descendent jusqu'au pied de la tour et se continuent horizontalement en plusieurs ramifications, qui débouchent soit en H′ dans la pile creuse du canal en fonte, soit en m, m', m'' dans les coursiers destinés aux turbines.

La bouche m est ordinairement relevée par deux coudes formant S, et c'est par cette bouche ainsi modifiée que se font les expériences sur les machines élévatoires et sur les récepteurs hydrauliques : on élève l'eau successivement dans les différents bassins, qui servent de réservoirs jaugés, ou bien l'on se sert de ces bassins comme de biefs d'alimentation dans lesquels on peut directement évaluer la dépense.

Nous terminons en ce moment, à l'aide de cette installation, une série d'expériences sur une machine élévatoire de M. Girard, qui porte l'eau dans le bassin n° 4; le travail moteur est fourni par machines à vapeur et peut s'élever, dans certaines circonstances, jusqu'à 20 chevaux.

On remarquera sur les planches 1 et 2 l'indication d'un arbre de transmission porté sur consoles et qui règne sur presque toute la longueur du canal en fonte; cet arbre r est terminé, à ses deux extrémités, par deux parties en retour d'équerre s, qui reçoivent le mouvement des turbines ou des roues hydrauliques, et qui peuvent le transmettre aux machines élévatoires placées dans le bassin B; des embrayages à cônes de friction sont placés aux extrémités x et au milieu y de l'arbre principal, de manière à pouvoir isoler à volonté la transmission en quatre parties distinctes. Ces manœuvres sont facilitées par l'existence d'un plancher L, qui repose sur l'une des nervures inférieures du canal en fonte et qui se compose, comme les planchers de la tour, de pièces de bois mobiles à volonté; on arrive facilement à ce plancher par deux échelles en fer disposées aux deux extrémités.

Le mouvement peut également être donné à l'arbre L par les machines à vapeur au moyen d'une grande courroie qui traverse toute la salle de L en N, ou de plusieurs courroies semblablement disposées, si les différentes parties des arbres doivent marcher à des vitesses différentes.

Telle qu'elle vient d'être décrite, l'installation hydraulique dans la salle d'expériences du Conservatoire est certainement la plus complète qui y ait été tentée jusqu'ici; elle répond dans de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

larges limites à toutes les conditions de marche des machines de l'industrie; et nous verrons, par les procès-verbaux des expériences déjà faites dans les conditions les plus variées, que les résultats constatés dans ces expériences sont d'un grand intérêt.

Quant aux machines élévatoires qui la complètent, il suffira d'en faire, dans cette note, une rapide énumération. En partant de l'extrémité ouest on trouve successivement, à côté des roues motrices à axe horizontal :

1° Une pompe hélice de Whetmann, construite sur tambour cylindrique, sur les indications de M. le général Morin. Elle verse son eau dans le canal de fonte. Cette machine simple, d'une installation peu coûteuse, commence à être employée pour les épuisements : un modèle de grande dimension, construit par M. Pinet, figurait à l'Exposition du concours agricole de 1860.

2° Une roue chinoise; bon modèle à suivre lorsqu'il s'agit d'élever de petites quantités d'eau à de faibles hauteurs.

3° Un bélier hydraulique du modèle de ceux qu'établit M. Foex à Marseille, et qui est alimenté par une prise d'eau faite dans l'un des panneaux du grand canal.

4° Un modèle de vis d'Archimède, dont l'hélice est formée de feuilles de tôle emboutie, encastrées à la fois dans l'axe et dans l'épaisseur du cuvelage.

5° Une pompe à force centrifuge d'Appold, achetée à l'Exposition de Londres en 1851, et pouvant élever dans le canal en fonte jusqu'à 450 litres d'eau par seconde.

6° Un tympan qui n'a encore pu être soumis à des expériences exactes, et dont la construction devra être modifiée.

7° Une petite turbine élévatoire, mise en mouvement par la turbine motrice, système Girard, qui est alimentée directement par l'eau du canal. La turbine élévatoire verse ses eaux dans le canal même par l'intérieur de la pile creuse en fonte qui en supporte l'extrémité.

Toutes ces machines peuvent être enlevées au besoin pour laisser place aux appareils à expérimenter; il en est de même d'une série de pompes qui fonctionnent à la main et qui sont placées sur le mur de quai du bassin, savoir : une pompe Japy, une pompe dite des prêtres, anglaise, avec poche en cuir; une pompe en caoutchouc, système Franchot; une pompe Delpech,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une pompe Faure, une pompe rotative de Stoltz, et une petite pompe en gutta-percha pour acide. C'est parmi ces appareils que se trouve le beau modèle de la pompe à incendie de Bramah, que possède le Conservatoire depuis le commencement de ce siècle. Cette pompe a été restaurée récemment et remise absolument dans son état primitif.

Toutes les pompes peuvent être essayées dans le bassin principal; et, pour n'en citer qu'un exemple, nous dirons que, dans des essais récents sur une pompe centrifuge de Gwynne, nous avons pu refouler l'eau à 12 mètres de hauteur par un tuyau spécial de diamètre convenable, maintenu dans une charpente provisoire et surmonté d'une bâche dont l'eau était reversée continuellement dans le canal en fonte, servant de réservoir de jauge.

Dans ces expériences, dont nous aurons prochainement à rendre compte, le travail moteur s'est élevé jusqu'à 30 chevaux, fournis collectivement par les deux machines fixes installées sur le côté nord de la salle, et dont nous avons maintenant à donner la description.

Deux chaudières à vapeur sont établies en O et en P; une fosse N les sépare et sert au service commun. Ces deux chaudières, absolument identiques, sont composées d'un corps cylindrique principal et de quatre bouilleurs latéraux à chauffage gradué, du système de M. Farcot. Chacune de ces chaudières a une surface de chauffe de 14 mètres carrés, et peut vaporiser par heure plus de 200 kilogrammes d'eau. Les deux foyers sont en communication avec la même cheminée en briques placée à l'extérieur; hauteur totale 27 mètres; section à la bouche $0^{mq},09$.

Ces chaudières devant fréquemment servir à des expériences de comparaison, on a dû prendre certaines dispositions particulières pour jauger l'eau d'alimentation, soit pour l'une ou l'autre isolément, soit pour toutes deux ensemble.

A cet effet, un réservoir en tôle est placé dans une niche Q, entre les deux chaudières, et une petite machine à vapeur, dite petit cheval, sortant des ateliers de M. Cavé, peut distribuer l'eau d'alimentation aux deux chaudières; lorsque cela est nécessaire, il suffit de fermer un robinet pour que l'une des chaudières seulement soit alimentée. La chaudière O, d'ailleurs, peut être desservie par un injecteur Giffard, dont M. Flaud a fait don au Conservatoire, ou par la pompe alimentaire de la machine à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vapeur attenante; la bâche de cette pompe, comme le réservoir Q, peut être remplie d'une manière intermittente par l'eau des réservoirs de la tour au moyen d'une petite conduite qui traverse la salle et que l'on voit en plan sur la planche 2.

Deux machines à vapeur sont symétriquement placées sur le côté nord de la salle; l'une d'elles O′ se voit en plan sur la même figure; l'autre P′ se trouve à l'entrée, vers la porte principale sur la rue Saint-Martin, à l'ouest. La chaudière O est plus spécialement affectée au service de la machine O′; la chaudière P envoie sa vapeur à la machine P′, par un tuyau de conduite en cuivre renfermé dans le caniveau p', recouvert de plaques de fonte; une partie de ce tuyau est contournée en forme de Ω pour la liberté de la dilatation.

Un jeu de robinets, convenablement disposés, permet d'ailleurs d'alterner l'emploi de la vapeur des deux chaudières et même de la diriger tout entière sur l'une des deux machines à volonté.

Les deux machines O′ et P′ sont verticales, du système dit à colonnes. La machine O′, construite par M. Farcot, à détente variable par l'action du régulateur, est d'une telle sûreté de marche que sa vitesse ne varie pas, même lorsqu'on la fait passer dans le cours d'une expérience, de la force de 10 chevaux à celle de 2 chevaux, nécessaire pour vaincre les frottements de la transmission. Cette condition était de grande importance dans une installation spécialement destinée à de grandes variétés d'expériences.

La machine P′, dont on se sert spécialement pour fournir l'excédant de travail que certaines opérations peuvent exiger, est simplement à détente fixe, le modérateur n'ayant d'autre mission que de gêner l'écoulement de la vapeur par une valve lorsque la vitesse devient accidentellement trop grande. L'arbre de transmission se voit en plan sur la figure 2. Il est commandé à la fois par les deux machines qui se trouvent ainsi accouplées lorsqu'il en est besoin; mais un embrayage à cône de friction, semblable à celui qui existe sur l'arbre parallèle de l'installation hydraulique, permet de faire marcher séparément chacune des moitiés de cet arbre, et même d'embrayer et de débrayer pendant la marche. L'arbre N fait habituellement de 60 à 80 tours par minute; il a 7 centimètres de diamètre; l'arbre des moteurs hydrauliques a 8 centimètres, mais il ne marche habituellement qu'à 50 tours.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Au reste, ces vitesses peuvent varier dans de larges limites ; une série de poulies en deux pièces peuvent être assemblées à manchons coniques en quelque point que ce soit des deux arbres, et faciliter ainsi la transmission d'une vitesse quelconque à tout arbre secondaire, parallèle aux deux arbres principaux placés en un point quelconque de la salle.

Les arbres en retour d'équerre des moteurs hydrauliques jouissent aussi de la même facilité par rapport à tout arbre secondaire qui devrait être placé transversalement. Mais ces facilités n'étaient pas encore suffisantes : il était nécessaire de pouvoir mettre en mouvement un arbre vertical, et il fallait encore que, dans tous les cas, un dynamomètre pût être solidement installé entre le moteur et la machine soumise à l'étude.

A cet effet, on a construit un grand beffroi mobile en charpente, assez lourd pour qu'il ait une grande stabilité ; ce beffroi peut être facilement transporté d'un point à un autre ; au besoin, ses diverses parties sont facilement démontées : sur les traverses qui composent sa plate-forme, un grand dynamomètre avec poulie de 80 centimètres est disposé de manière à pouvoir renvoyer le mouvement qui lui est transmis à toute machine placée sur le sol ou dans l'intérieur même du beffroi.

L'arbre horizontal du dynamomètre porte, à l'une de ses extrémités, une roue d'angle qui engrène à volonté avec un arbre vertical solidaire avec le beffroi : c'est cet arbre qui sert à transmettre le mouvement, dans tous les cas où la machine à faire mouvoir exige cette disposition de l'arbre moteur.

Au moyen de ce beffroi mobile, on peut facilement transmettre tout mouvement de rotation autour d'un axe horizontal ou vertical, en quelque point de la nef qu'il soit placé : inutile de dire que la série des poulies de la transmission principale s'adapte facilement, et selon les besoins, à cet arbre vertical secondaire.

Avec les moyens qui viennent d'être indiqués, on obtient facilement une vitesse de trois ou quatre cents tours par minute au dynamomètre; et, en employant une poulie motrice convenable, une vitesse de 2,000 tours sur la machine à expérimenter.

Nous nous proposons, pour l'essai des machines à plus grande vitesse, d'établir un bâti spécial, muni de quelques engrenages

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui permettront d'arriver, avec la plus grande facilité, à 6.000 tours, s'il est nécessaire. En intervertissant l'ordre des organes de transmission, on obtient d'ailleurs un mouvement aussi lent que l'on veut, en partant de la vitesse de 60 tours de l'arbre principal des moteurs à vapeur.

Pour ce qui concerne l'essai des appareils à mouvement alternatif, tels que les pompes, une manivelle à course variable peut être directement montée sur l'arbre du dynamomètre, et une bielle unique suffit pour établir la communication avec les machines en essai que l'on fixe solidement aux semelles de la charpente du beffroi.

Nous ne parlons pas ici des divers instruments d'observation qui servent aux expériences mêmes; nous dirons seulement que divers manomètres sont en communication avec une même conduite, et qu'un manomètre à air libre permet toujours de vérifier leurs indications.

C'est vers l'extrémité ouest de l'arbre N que se trouve la poulie qui peut transmettre le mouvement à un arbre spécial établi à demeure dans le grand amphithéâtre du Conservatoire : ce mode d'installation permet de répéter, devant les auditeurs du cours de mécanique, toutes les expériences qui peuvent être faites dans la grande nef, et cette démonstration expérimentale ne sera pas sans influence sur la vulgarisation des bonnes méthodes expérimentales à employer dans les questions diverses de la mécanique pratique.

A l'extrémité de cet arbre N se trouve encore un grand réservoir en tôle, d'une capacité de trois mètres cubes, dans lequel une pompe foulante peut facilement comprimer l'air jusqu'à 12 ou 15 atmosphères. Nous aurons occasion d'indiquer en détail les résultats auxquels nous a conduits, au point de vue théorique, l'emploi de cet air comprimé comme puissance motrice. Il nous est souvent plus commode de faire marcher à l'amphithéâtre les moteurs à vapeur par ce moyen, en ce qu'il évite toute influence d'humidité sur les modèles et dans la salle.

Bien que l'installation du côté nord de la grande nef soit surtout destinée aux expériences à faire, elle est aussi consacrée, les jours publics, à faire fonctionner certains appareils, tels que les beaux outils de Whitworth, achetés à l'Exposition de 1851, quelques machines à travailler le bois, quelques ventilateurs, etc.,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dont le fonctionnement devant le public a toujours le privilége d'exciter son attention.

Une machine locomobile pouvant agir sur la transmission générale, ou au dehors, une pierre d'attente pour le scellement des machines à expérimenter, des caisses remplies de boulets, pour assurer la stabilité des installations provisoires, tels sont encore quelques-uns des moyens d'action dont on dispose : nous les examinerons avec plus de détails lorsque nous rendrons compte des expériences faites.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DES ACCIDENTS

QUE PEUT OCCASIONNER

DANS LE BLANCHIMENT, LA TEINTURE

L'IMPRESSION ET L'APPRÊT DES TISSUS,

L'EMPLOI DES MASTICS PLOMBIFÈRES,

NOTAMMENT DE CELUI A BASE DE MINIUM,

PAR M. J. PERSOZ.

Depuis longtemps il est d'usage dans la plupart des établissements de faire circuler l'eau ou la vapeur qui doivent servir aux diverses opérations à travers des tuyaux en plomb, en fonte, en fer ou en cuivre, qui sont articulés au moyen d'armatures boulonnées entre lesquelles on interpose du mastic au *minium*.

Au premier abord l'emploi de ce mastic ne paraît offrir aucun inconvénient, et nous ne savons pas qu'on ait signalé jusqu'à présent aucun accident produit par cette matière; cependant nous avons eu souvent l'occasion de remarquer qu'elle pouvait produire des effets très-funestes dans certaines industries.

Nous allons rapporter ici les principaux faits dont nous avons été témoin et que nous avons été chargé d'éclaircir. Mais, pour bien faire comprendre les inconvénients que présente, dans son emploi, le mastic au minium, il est bon de rappeler auparavant la manière dont on l'applique. On le prépare, comme on sait, en incorporant à l'huile siccative une quantité de minium suffisante pour former une pâte molle que l'on pétrit longtemps et avec soin, pour la rendre parfaitement homogène.

Tantôt on emploie cette pâte seule pour la soudure des pièces qu'il s'agit d'articuler, tantôt on la mélange avec de l'étoupe, ce qui permet d'arriver à une pression beaucoup plus forte, en empêchant le mastic de couler.

Quelles que soient les précautions que l'on prenne, il est presque impossible d'éviter qu'en serrant les boulons qui servent

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à articuler deux tuyaux, par exemple, le mastic interposé ne produise des *bavures* à l'intérieur et à l'extérieur. Si ces dernières sont sans inconvénients, il n'en est pas de même des autres qui se détachent tôt ou tard, tombent dans le tuyau et y obéissent ensuite à l'action mécanique et chimique de l'eau ou de la vapeur qui doit circuler dans ces conduits.

En supposant même que ces *bavures* ne se soient pas produites, il arrive toujours qu'au bout d'un certain temps le mastic se détache en plus ou moins grande quantité. En effet, ce mastic durcit à la longue, en éprouvant un retrait assez considérable, puis se désagrége tant par l'action mécanique de l'eau ou de la vapeur que par les chocs et ébranlements qui se produisent toujours dans les tuyaux.

Il résulte de ce qui précède que, dans tous les cas où l'on fait usage de mastic au minium pour le joint des appareils ou des conduits où circule l'eau ou la vapeur, des parties de ce mastic se détacheront inévitablement et pourront être ensuite entraînées à des distances plus ou moins considérables, suivant la disposition des appareils et des conduits.

Ce point établi, supposons l'existence d'un système de chauffage à la vapeur. Deux cas peuvent se présenter : 1° ou bien on fait passer cette vapeur à travers une série de vases à doubles fonds, de tuyaux et de serpentins circulant dans les matières à échauffer, de telle sorte qu'elle n'est jamais en contact avec ces matières et alors il n'y a aucun accident à redouter, à moins qu'on ne fasse servir à de nouveaux usages les eaux de condensation.

2° Ou bien, au contraire, on fait arriver directement la vapeur sur les corps à chauffer. Ici, il faut nécessairement tenir compte de l'accès possible du mastic, et par suite de l'action que pourront exercer sur lui les agents chimiques en présence.

Il peut se faire qu'on ait à échauffer des *eaux alcalines* qui attaquent les corps gras et laissent le plomb oxydé libre d'obéir à toutes ses affinités. Or, il est reconnu que les préparations plombifères ne se fixent jamais mieux sur les fibres que sous l'influence des alcalis. Si l'on délaye, par exemple, dans un lait de chaux le sulfate plombique, un des composés les plus insolubles que nous offre la chimie, on obtient un bain capable de fixer immédiatement de l'oxyde plombique sur toute espèce de fibres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il peut encore se faire qu'on ait à faire agir la vapeur sur des *bains acides* et que la nature de ces derniers soit telle, que les parcelles de mastic qui pourront y arriver en soient promptement attaquées. Dans ce cas, on est exposé à subir les conséquences de tous les effets auxquels peuvent donner lieu les sels plombiques dans les circonstances où l'on opère.

Enfin, il peut arriver aussi qu'on ait à opérer sur des matières organiques qui fassent entrer en dissolution l'oxyde plombique et en dissimulent les propriétés.

Ceci posé, nous allons passer en revue, dans les différentes opérations de l'industrie des tissus, les accidents qui peuvent résulter des causes précédentes.

Accidents observés pendant l'impression et l'apprêt de certains tissus de laine dont la chaîne avait été encollée avec de la gélatine (colle forte) chargée de plomb.

On sait que pour fabriquer la colle forte on traite par l'eau chaude les matières à gélatine, afin d'en opérer la dissolution. Tantôt cette cuisson se fait à feu nu et en vases clos, tantôt, et le plus souvent, à l'aide de la vapeur que l'on fait arriver directement dans la cuve où se trouve accumulée la matière à colle. Si dans l'une ou l'autre de ces circonstances du mastic au minium vient à se détacher et à tomber dans la chaudière close ou à être entraîné dans la cuve, la solution de colle qui en résultera sera *plombifère*.

A la suite de nombreux accidents survenus dans le blanchiment et l'impression de certains tissus de laine et dont il importait de retrouver la cause pour mettre fin à toute contestation entre les fabricants, les blanchisseurs et les imprimeurs, nous avons dû nous livrer à des recherches suivies, qui nous ont mis dans le cas de constater l'existence du plomb dans certaines colles fortes du commerce. Voici comment les faits se sont passés :

Des mousselines-laine blanchies étaient remises par des maisons de Paris à des imprimeurs de nos environs pour être imprimées. L'aspect du tissu n'annonçait aucun défaut d'homogénéité, et l'impression avait lieu sans qu'on remarquât rien de particulier. Mais, aussitôt après le vaporisage, qui a pour but de fixer la couleur des dessins imprimés, on constatait que les parties

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

blanches avaient passé au *gris fauve* et que toutes les couleurs claires (jaune, rose, bleu) étaient aussi plus ou moins altérées par la teinte sale du fond. La marchandise étant hors d'état d'être vendue, le fabricant réclamait contre l'imprimeur; celui-ci se justifiait entièrement en montrant qu'il suffisait d'effiler le tissu, pour se convaincre que la *trame* était restée d'un *blanc pur*, tandis que la *chaîne se trouvait fortement colorée*. La cause première de cette coloration était donc antérieure au tissage et ne pouvait être attribuée qu'à *l'encollage de la chaîne*. A cette occasion, nous fûmes chargés d'analyser un grand nombre de colles fortes du commerce, et tout d'abord celle qui avait servi dans l'affaire en question.

Nous pûmes constater qu'un certain nombre d'entre elles donnaient des cendres renfermant jusqu'à 2 et même 4 pour 100 de plomb. On conçoit alors que l'oxyde plombique, qui a été ainsi déposé sur le fil de la chaîne, reste fixé sur le tissu, si dans l'opération du blanchiment on a négligé la précaution de faire passer celui-ci dans un bain d'acide nitrique très-faible, mais chaud, afin d'enlever les oxydes métalliques adhérents à la fibre.

La laine renfermant toujours un peu de soufre, il est évident que si elle est chargée, même de très-petites quantités d'oxyde plombique, son soufre réagira nécessairement sur cet oxyde pour peu que la température vienne à s'élever comme cela a lieu dans l'opération du vaporisage des pièces qui a pour but de fixer les couleurs imprimées, ou dans celle de l'apprêt qui consiste à faire passer les tissus sur des cylindres chauds.

Des accidents du même genre ont été constatés sur des tissus destinés à être vendus blancs, et qui, grillés, dégorgés aux cristaux de soude et au savon, puis soufrés, ne laissaient encore rien à désirer. Mais dès qu'au sortir des tondeuses, on les faisait circuler sur des *cylindres chauds* pour leur donner l'apprêt, le soufre de la laine réagissait sur l'oxyde plombique fixé sur la chaîne, et le tissu passait du blanc à une teinte fauve grisâtre de l'aspect le plus désagréable. — Quand un pareil accident arrive sur un tissu blanc, il suffit, pour détruire le sulfure métallique qui produit les taches, de passer le tissu dans un bain chaud d'acide nitrique extrêmement faible. Au contraire, il est presque impossible de faire disparaître ces taches de sulfure de plomb quand elles se produisent sur des tissus imprimés; aussi l'imprimeur ne

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

devrait-il appliquer ses couleurs qu'après s'être assuré auparavant que le tissu ne contient pas de plomb, ce dont il peut se convaincre en plongeant une portion de ce tissu dans une solution de *sulfure ammonique* : les parties qui contiendraient les plus faibles traces d'oxyde plombique noirciraient immédiatement.

Taches qui prennent naissance au moment où l'on calandre à chaud les calicots apprêtés et qui ont pour double cause :

(*a*) L'introduction du mastic au minium dans les lessives (blanchiment).

(*b*) La présence des sulfures et hyposulfites alcalins dans le savon et l'outremer employés dans les apprêts.

On avait soumis à notre examen des percales et des calicots blanchis, présentant des taches réparties d'une manière irrégulière, et tantôt très-visibles, tantôt si faibles qu'elles ne paraissaient que comme un léger nuage sur le fond blanc.

L'analyse des parties tachées nous fit voir qu'elles contenaient du plomb. En brûlant une certaine quantité du tissu au moyen de l'action combinée et successive de l'acide nitrique et du nitre pur, nous pûmes nous convaincre, qu'outre le plomb, il s'y rencontrait des quantités de soufre bien supérieures à celles que l'on rencontre d'ordinaire dans les tissus de ce genre.

En imprégnant les parties tachées d'une solution de bichromate potassique, faisant sécher et lavant ensuite, on convertissait ces taches en *jaune de chrome*, qu'on pouvait faire virer à *l'orange* au moyen de l'eau de chaux convenablement chauffée.

Le plomb et le soufre avaient évidemment donné naissance à ces taches qui n'étaient cependant pas du sulfure de plomb simple, mais bien ce composé coloré qui se produit toujours lorsqu'un polysulfure alcalin, ou mieux encore un hyposulfite, se rencontre en présence d'un sel plombique ; et en effet nous avons pu reproduire parfaitement ces taches avec toutes leurs propriétés physiques et chimiques en fixant un sel plombique sur une toile et en immergeant cette dernière dans un bain d'*hyposulfite sodique*.

La nature des taches étant connue, il restait à trouver par quelles circonstances elles avaient pu prendre naissance dans deux des plus importants établissements de blanchiment et d'apprêt que nous ayons en France.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans l'un d'eux, ces taches n'avaient apparu d'abord que de temps à autre. Plusieurs semaines pouvaient s'écouler sans qu'il s'en produisît ; plus tard, elles étaient manifestées d'une manière presque constante. Ayant été appelé pour examiner ces taches, je trouvai bientôt quelle était leur origine. Par l'effet d'une pente toute naturelle des tuyaux en cuivre et en fer qui amenaient la vapeur dans les cuves à lessiver placées en contre-bas de la chaudière, le mastic au minium, se détachant peu à peu de ces différents conduits, arrivait dans ces cuves ; la chose devint tout à fait évidente lorsqu'on fit passer dans les tuyaux un vigoureux jet de vapeur, qui amena bientôt une grande quantité de débris de mastic au minium.

Quand ce mastic était entraîné dans une cuve à la chaux, par exemple, le corps gras se trouvait bientôt saponifié, et l'oxyde plombique, passant à l'état de *plombate de chaux*, devenait immédiatement adhérent aux parties du tissu avec lesquelles il se trouvait en contact. Les passages ultérieurs en sel de soude, en chlorure de chaux, en acide sulfurique n'enlevaient point le plomb une fois fixé ; et le sulfure ammonique permettait d'en constater la présence dans toutes les phases du blanchiment.

Il arrivait bien quelquefois, lorsqu'il s'était fixé de grandes quantités de plomb sur un point, que le passage en chlorure de chaux faisait apparaître des taches d'*oxyde puce* hydraté, mais elles disparaissaient bientôt par l'acide sulfurique, sans cependant que l'oxyde plombique cessât de faire corps avec le tissu.

Rien de surprenant si une toile de cette nature, parfaitement blanche en apparence, se couvre de taches, selon la nature et la qualité des matières qui entrent dans la composition de l'apprêt. La plus grande partie des corps qu'on y introduit sont, à la vérité, sans action sur les composés plombifères. Tels sont la fécule, les terres, l'albâtre, etc. Mais à ces matières on ajoute encore du savon blanc pour donner plus de souplesse au tissu, et du bleu d'outremer pour le colorer légèrement. Or, selon sa provenance, selon les soins apportés à sa préparation, le savon renferme souvent des hyposulfites ; il suffit, pour s'en assurer, de le couper et d'appliquer sur la tranche (la surface mise à nu) un papier imprégné d'acétate plombique (sel de Saturne) ; s'il se trouve des hyposulfites, le papier se colore immédiatement en *couleur fauve*. D'un autre côté, l'outremer qu'on trouve dans le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

commerce n'est pas toujours aussi bien lavé qu'il devrait l'être ; il est encore souillé de matières salines solubles, entre autres d'hyposulfite sodique. Pour s'assurer qu'il n'en contient point, il suffit de traiter l'outremer par un peu d'eau bouillante, de filtrer et d'ajouter à la liqueur quelques gouttes d'acétate plombique, qui donnera lieu à un précipité brun si l'outremer n'a pas été bien lavé.

L'impureté de ces deux agents accessoires de l'apprêt avait, quoique d'une manière secondaire, contribué à la formation des taches, du moment que les toiles qui avaient été en contact avec des portions de mastic se trouvaient recouvertes d'apprêt *sulfureux*, et que la température à laquelle ces pièces étaient soumises durant l'opération du calandrage venait à favoriser l'action de l'élément sulfuré sur le composé plombifère.

Dans le second établissement où nous avons été dans le cas d'étudier des taches du même genre, les lessivages se donnant exclusivement à la soude, l'oxyde plombique se fixait plus difficilement au tissu, et les taches n'apparaissaient généralement que sur des tissus croisés, où, sans doute, des débris de mastic avaient pénétré et séjourné assez longtems pour se fixer. Pour prévenir les accidents dont il vient d'être fait mention, il a suffi de remplacer dans l'articulation des conduits le mastic au minium par des rondelles en caoutchouc, et d'établir entre les tuyaux et les générateurs de vapeur une capacité intermédiaire remplie de copeaux, pour tamiser la vapeur et la dépouiller de toutes ses impuretés avant son accès dans les conduits.

Taches développées dans des bains de teinture, et ayant pour cause l'introduction dans ces bains du mastic au minium.

Un de nos grands teinturiers des environs de Paris ne pouvait s'expliquer la cause de certaines taches qui, durant la teinture, se développaient exclusivement sur les tissus teints en couleurs *ponceau* et *saumon*.

Ces accidents l'étonnaient d'autant plus, que dans la même journée et en opérant sur une même partie de pièces, les unes ressortaient avec des couleurs d'une pureté irréprochable, tandis que d'autres étaient complétement tachées ; les fonds ponceau

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

étaient parsemés de taches *nuageuses cramoisi* et les fonds saumon de taches couleur *fauve sale*.

On aurait pu croire, au premier abord, que ces taches provenaient d'un défaut de soin durant le tissage; mais en constatant leur irrégularité, il était difficile d'admettre cette supposition. On sait, en effet, que toutes les fois que des accidents arrivent pendant l'opération du tissage, ils se reproduisent avec une certaine symétrie, une périodicité qu'on n'observe pas dans les accidents survenus après le tissage.

Nous fîmes tout d'abord l'analyse des parties tachées en sacrifiant pour cela une certaine quantité de tissu (c'étaient des châles); nous pûmes bientôt nous convaincre que ces taches renfermaient du plomb et des traces de cuivre, substances qui n'existaient point, ainsi que nous nous en assurâmes, dans la composition d'étain employée pour les deux couleurs *ponceau* et *saumon*. La teinture se faisait dans des baquets en bois chauffés par un jet de vapeur dirigé directement dans le bain. Il se trouva que tous les tuyaux de conduite étaient joints avec du mastic au minium; aussi voyait-on de temps en temps le jet de vapeur amener dans le bain un fragment de mastic. Dès lors tout s'expliquait : le minium du mastic instantanément attaqué par la *solution acide* (composition d'étain) se fixait sur les parties du tissu en présence, et par conséquent modifiait la nuance de la cochenille et du fustel en raison de la quantité de plomb et de cuivre déposée.

En lavant les tuyaux, on y rencontra beaucoup de *boues*, dans lesquelles on retrouva par l'analyse des proportions de plomb et de cuivre sensiblement équivalentes à celles qui se trouvaient sur le tissu.

Pour faire cesser cet état de choses et éviter ces accidents, il a suffi de remplacer le mastic par des rondelles en caoutchouc et de laver la vapeur en la faisant passer dans un cylindre intermédiaire; ou mieux encore, de chauffer le bain de teinture indirectement au moyen d'un serpentin où circulait la vapeur, en un mot, en supprimant toute communication directe entre la vapeur et le bain.

Présence du plomb dans les eaux servant à l'alimentation.

Les conduits d'eau sont aussi fort souvent articulés avec mi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nium. J'ai fait à plusieurs reprises des expériences sur les eaux du Conservatoire, de la Condition des soies, et enfin sur celles de mon habitation, et j'ai pu me convaincre qu'il est des époques où les eaux renferment des proportions de plomb telles qu'il est impossible qu'elles n'exercent pas une influence fâcheuse sur la santé publique. Pour le prouver, il me suffira de dire que j'ai été dans le cas de trouver dans un litre d'eau près de 3 milligrammes de plomb.

Quand on veut se convaincre de la présence de ce métal, il faut premièrement ne pas perdre de vue un fait des plus essentiels dans la précipitation du plomb par l'hydrogène sulfuré. C'est qu'une dissolution de plomb, rendue fortement acide par l'acide chlorhydrique, peut subir pendant plusieurs heures l'action d'un courant d'hydrogène sulfuré sans se troubler, tandis que la même dissolution versée dans trente ou quarante fois son volume d'*eau saturée d'hydrogène sulfuré* donne immédiatement un précipité abondant de sulfure de plomb, qui, formé dans ces circonstances, se présente ordinairement avec une teinte bleutée.

Au reste, voici en deux mots comment il convient de procéder: après avoir évaporé à siccité, dans une capsule de porcelaine, 6 à 8 litres d'eau, on reprend le résidu par de l'acide chlorhydrique en excès, on filtre et l'on introduit la dissolution dans un flacon contenant le volume nécessaire d'eau saturée d'hydrogène sulfuré. On bouche le flacon, et après un repos suffisant, on décante la partie claire et l'on recueille sur un filtre le dépôt qui est essentiellement formé de sulfure plombique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ÉTUDE DES PROGRÈS TECHNIQUES

DE LA

FILATURE DU COTON

DEPUIS SON ORIGINE

ET DES PRINCIPALES CAUSES DU SUCCÈS DE L'INDUSTRIE COTONNIÈRE.

PAR M. ALCAN.

Nous croyons devoir dire, en abordant cette étude, que nous n'entendons pas insister d'une manière spéciale sur les noms des inventeurs de chacune des nombreuses machines qui se sont succédé dans le travail qui nous occupe, ni de préciser la valeur des revendications qui se sont produites après coup. Cette tâche, entreprise plusieurs fois par des technologues et des savants les plus compétents, a presque toujours abouti au même résultat. L'histoire industrielle, envisagée sous ce point de vue, est demeurée, sauf quelques légères rectifications, ce que l'a faite, à tort ou à raison, la notoriété publique basée sur la tradition et quelques documents incomplets. Il ne pouvait en être autrement avec un état civil des inventions dont l'origine en France remonte à soixante-neuf ans à peine. Certaines publications antérieures telles que le *Journal des savants*, les Mémoires de l'ancienne Académie des sciences, quelques dictionnaires technologiques, et surtout l'*Encyclopédie des Arts et Métiers*, s'en étaient occupées, il est vrai; mais à l'exception de cette dernière grande œuvre, critiquable sans contredit sous le rapport historique, mais très-intéressante par sa classification méthodique, la clarté de ses descriptions, et la précision des indications générales sur les moyens en usage alors dans les arts, on ne retrouve aucun plan ni aucune suite, concernant le même sujet, dans les autres ouvrages qui s'occupaient parfois de l'application des sciences à l'industrie. Les travaux les plus importants du temps y sont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

souvent passés sous silence. Il suffit de dire, pour prouver le fait, que le fameux métier de Vaucanson, qui causa une si grande sensation de curiosité dans son temps, et dont il a été si justement question de nouveau depuis quelques années, n'avait été publié nulle part avant 1847. Il eût été perdu si le Conservatoire des arts et métiers n'avait fait religieusement restaurer le seul modèle qui ait été exécuté, et que le célèbre savant avait légué à son pays. Des lacunes aussi regrettables s'expliquent cependant lorsqu'on songe que les inventions ne sont souvent que le résultat d'un bon sens trop prématuré pour pouvoir être justement appréciées par leurs contemporains.

Nous croyons en avoir dit assez pour justifier les motifs pour lesquels nous ne citerons qu'incidemment des noms devenus populaires, et sur lesquels de nouvelles dissertations ne pourraient rien apprendre au lecteur.

L'histoire des progrès industriels que nous voulons plus particulièrement envisager ne prend, d'ailleurs, d'importance qu'à partir de la fin du dernier siècle. Jusque-là le travail du filage en général n'avait à sa disposition que quelques ustentiles des plus simples : des baguettes élastiques, une claie ou un filet pour épousseter la substance et la débarrasser des corps étrangers, l'arçon sous l'action duquel les filaments reprennent la flexibilité primitive, la carde à la main de la matelassière pour les épurer complétement, les redresser et les ranger en nappe, enfin le fuseau ou le rouet, qui les tord, les renvide sous forme de fil obtenu par une série de glissements successifs entre les doigts. Tels sont les appareils élémentaires dont l'origine est inconnue. L'on assigne cependant une date et un nom à l'invention du rouet; on l'attribue généralement à un nommé *Burgens*, de Wattenmut, près de Brunswick, qui l'aurait imaginé en 1530. M. le général Poncelet fait justement remarquer qu'il s'agit « des prétentions absolues à ce sujet comme de celles qui concernent l'invention de beaucoup d'autres machines dues aux progrès lents des arts mécaniques, et dont plusieurs pays s'attribuent à la fois, mais à tort et très-souvent par pure ignorance, le mérite exclusif[1]. » Quoi qu'il en soit, c'est bien à partir de la pre-

[1] Travaux de la commission française de l'Exposition universelle de 1851, tome III, page 6.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mière moitié du seizième siècle que le rouet commença à se propager et à se substituer presque complétement au fuseau primitif. Il resta depuis lors jusqu'en 1789 presque exclusivement en possession de la transformation des substances textiles, même en Angleterre, quoique la première invention du métier à filer dans ce pays remonte à 1738. L'on trouve en effet dans un document du temps que le nombre de rouets en usage pour filer le coton dans la Grande-Bretagne était de 5,000, vers l'époque désignée par la première date ci-dessus[1]. Divers documents statistiques, tant anglais que français, estiment à 2,400,000 kilos le coton transformé par ces rouets. En France la consommation de la même matière s'élevait alors à 600,000 kilos environ. Quelques années suffirent dans les deux pays pour que l'influence des machines nouvelles produisît un résultat significatif et élevât vers 1787 la consommation anglaise à 12 millions de kilogrammes et celle de la France à 4 millions par an. « Cette énorme quantité, dit encore M. de Canteleu, en parlant de la production anglaise, provient dans les proportions suivantes :

Des îles anglaises.	6,600,000	liv. angl.
Des colonies françaises et espagnoles.	6.000,000	—
Des colonies hollandaises.	1,700,000	—
Des colonies portugaises	2,500,000	—
Des Indes orientales, par voie d'Ostende	100,000	—
De Smyrne et Turquie	5,700,000	—
	22,600,000	liv. angl.

L'on estime que cette quantité sera employée, ajoute-t-il :

Pour les mèches de bougies et de chandelles. . . .	1,500,000	livres.
Pour la bonneterie	1,500,000	—
Pour les étoffes mélangées soie et fil.	2,600,000	—
Pour la partie des futaines	6,000,000	—
Pour les calicots, mousselines, etc.	11,000,000	—
	22,600,000	liv.[2] »

[1] Mémoire sur la filature et la fabrication du coton en Angleterre, par M. Lecouteulx de Canteleu, député de Rouen. Paris, 1790, Imprimerie nationale.

[2] Le nouveau monde, les États-Unis d'aujourd'hui, qui, dans ces dernières années, ont fourni près de 500 millions de kilogrammes de coton à l'Europe,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les premières machines cylindriques à carder le coton, et les plus anciens métiers à filer, à broches multiples, construits en France paraissent remonter à 1775. Quoique l'on cardât encore généralement à la main et que l'on filât au grand rouet, il n'en est pas moins démontré, d'une manière incontestable, que Roland de la Platière avait fait construire, dès lors, des cardes mues par une manivelle et dont les dispositions principales méritent une mention succincte. Sur un bâti en bois se trouvait placée une toile sans fin, qui recevait le coton pour l'amener à une paire de cylindres alimentaires dont le premier était cannelé et le second garni de dents, et par conséquent sans pression. Des alimentaires, les filaments passaient à un grand cylindre travailleur, auquel ils étaient enlevés par un cylindre dépouilleur plus petit, qui les fournissait enfin au grand tambour cardeur. [Cette disposition paraît devoir être reprise avec avantage.] Sur la demi-circonférence supérieure du grand tambour se trouvait une série de cylindres travailleurs, de même diamètre. Enfin le coton était détaché de ce grand tambour par un cylindre d'un diamètre moindre correspondant au volant des cardes actuelles, et celui-ci en était dépouillé et fournissait des *loquettes* par l'action détacheur d'une espèce de petit moulinet à palettes. Une carde semblable pouvait carder, dit l'auteur, 50 à 60 livres de coton de 16 onces par jour. L'on remarquera cette quantité aussi considérable que celle que peut faire aujourd'hui une carde de même dimension. Mais il suffira de jeter un coup d'œil sur la machine publiée en 1780, dans l'*Art du fabricant de velours de coton*, par Roland de la Platière, pour comprendre que ce rendement tenait au mauvais règlement de la machine, qui permettait de faire passer des nappes d'une épaisseur telle que la production avait évidemment lieu aux dépens de la perfection du résultat. Il y avait d'ailleurs d'autres motifs qui s'opposaient à un bon travail ; les signaler aujourd'hui serait sans intérêt. Le même auteur a fait exécuter des métiers à filer de trente broches d'abord, de cinquante ensuite, en déclarant que l'on pourrait arriver avec la même facilité à en avoir

comptaient si peu alors, que les Anglais doutèrent si les 14,000 kilog. de coton américain annoncés pour 1784 avaient bien cette origine, tant l'envoi parut considérable, auprès des *premières* 7 *balles* de 1748 et des 1,000 kilog. envoyés en 1770 de cette contrée en Europe.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une centaine comme dans les métiers à retordre. Ce genre de machine à filer produisait l'étirage par une barre à pince et entrait par conséquent dans le système connu depuis sous le nom de *Bely* ou *Jeannette*, qui, sauf certains détails d'exécution, n'est pas encore entièrement abandonné dans quelques filatures de laine cardée pour le travail en gros.

Roland de la Platière déclare avoir fait construire, sous sa direction et sur ses plans, une vingtaine de métiers semblables pour produire le fil employé au velours de coton. Et quoiqu'il dise qu'ils ont l'avantage de rendre les produits plus réguliers et d'en faire davantage, il ajoute néanmoins qu'au delà d'une certaine finesse il n'y a plus d'économie, et que d'ailleurs il n'y a pas d'utilité de dépasser le n° 50 (42 actuel). L'exécution des machines dont il vient d'être question est attestée, le 31 juillet 1779, par de Montigny, Fougeroux de Bondaroy, et le marquis de Condorcet, nommés par l'Académie des sciences pour examiner l'ouvrage cité plus haut. « L'auteur, disent les commissaires, « a ajouté des perfections à cette machine, dont il ne se donne « pas pour l'inventeur, mais qu'il a fait exécuter et rendue pu- « blique le premier au mois d'août 1775. »

Ainsi donc, ce que nous appelons aujourd'hui *un assortiment* de machines à filer le coton se composait en 1775 du battage à la main, d'une machine à carder, mise en action par une manivelle, et d'un métier de 30 à 50 broches, également mû à la main, pour filer en gros et en fin.

Il est juste de faire remarquer que ce premier métier à broches multiples, quelque imparfait qu'il fût, a été cependant le point de départ de la filature automatique, évidemment empruntée aux Anglais. Deux documents au moins le prouvent.

D'abord, Roland de la Platière dit, page 8 de son *Traité de la fabrication des velours de coton* : « Cette mécanique, quoique « très-répandue en Angleterre, ne l'est point du tout en France; « elle y est depuis plusieurs années un objet de mystère, et la « première connue et publiquement mise en usage est celle que « j'ai entrepris de faire exécuter en août 1775, sans en avoir vu « jamais moi-même. » D'un autre côté, on lit dans un document adressé par la chambre du commerce d'Amiens au ministre de l'intérieur en 1806, et déposé au Conservatoire des arts et métiers : « En 1773, des négociants d'Amiens sont parvenus à se

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« procurer le modèle d'une petite mécanique de 18 broches, « propre à filer en fin le coton; ils en ont fait exécuter un bon « nombre, et petit à petit ils ont augmenté celui des broches, « en le portant de 36 à 40.

« En 1788, ils ont obtenu d'ouvriers anglais des moyens de « perfectionnement dans la construction de ces mécaniques et « d'augmentation dans le nombre des broches; leurs mécaniques « ont alors été de 100 broches; c'est à cette époque qu'ils ont « fait construire chez eux, par ces mêmes ouvriers, la première « mull-jenny de 180 broches et des mécaniques à cardes[1]. »

La propagation du nouveau système de filage en Angleterre, vers la même époque (1787), est d'ailleurs démontrée, comme nous l'avons déjà vu, par une consommation annuelle de 10 millions de kilog. de coton. C'est à peine s'il elle atteignait 4 millions chez nous.

Les machines employées dès lors dans le Royaume-Uni et qu'on commençait à construire en France s'étaient sérieusement modifiées. L'important organe, formé de couples de cylindres à rotation, progressivement accéléré, inventé en 1738 par Paul Louis, destiné à remplacer les doigts ou la pince du petit métier à filer nommé Jeannette pour faire glisser les fibres, s'était définitivement fait adopter, grâce à l'habile et intelligente application d'Arkwright. L'état de la filature du coton, depuis l'origine de l'introduction des machines jusqu'au commencement de ce siècle, est d'ailleurs parfaitement résumé dans un rapport fait au ministre de l'intérieur le 29 fructidor de l'an XI, et inséré dans le *Moniteur* du 3 brumaire suivant, par MM. Bardel, Bellangé, Lancelevé, Conté et Molard, commissaires d'un concours ouvert par le gouvernement pour juger les meilleures machines à filer le coton. Leur rapport est précédé de considérations préliminaires, dont nous extrayons les faits suivants :

Le 18 mai 1784, M. Martin, fabricant de velours de coton à Amiens, obtint un privilége exclusif de douze années pour la construction et l'usage de machines au moyen desquelles on pouvait préparer le coton et la laine, carder en ruban, étirer,

[1] Carte générale industrielle du département de la Somme, adressée en 1806 au ministre de l'intérieur par la chambre de commerce d'Amiens. Documents manuscrits du Conservatoire des arts et metiers.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

filer en gros, filer en fin, doubler et retordre en même temps.

Ces machines, les plus parfaites qui avaient été présentées jusqu'alors au gouvernement, furent établies à l'Épine, près d'Arpajon ; elles donnèrent naissance à la première filature continue établie en France; et cet établissement tient encore le premier rang parmi ceux du même genre. Le citoyen Delaitre, l'un des propriétaires actuels de cette manufacture, présenta à l'Exposition de l'an IX des cotons filés aux mécaniques continues jusqu'au n° 160 (par 700 aunes à l'écheveau), qui obtinrent la première distinction.

Le 8 octobre 1785, le gouvernement, dans la vue de faire jouir promptement les manufactures de France des nouvelles mécaniques à filatures continues, accorda au sieur Miln, mécanicien, qui s'était déjà fait connaître par la construction de plusieurs machines propres à la filature du coton, une somme de 60,000 livres à titre d'encouragement, un local, un traitement annuel de 6,000 livres et une prime de 1,200 livres par chaque assortiment de ces machines qu'il justifierait avoir fourni aux manufacturiers, à la charge par lui : 1° de déposer au cabinet des machines du gouvernement un assortiment complet de ses mécaniques; 2° de diriger personnellement et de tenir en activité un atelier pour la construction des machines dont il s'agit.

Les commissaires passent ensuite à la description des machines des quatre constructeurs qui se présentèrent au concours qui eut lieu au Conservatoire, où ces métiers fonctionnèrent pendant plusieurs mois. Nous nous bornons à donner la désignation de l'assortiment de MM. Bauwens et James Farrar qui remporta le prix, et constata par conséquent les progrès du temps. Ces machines se composaient :

1° D'une mécanique simple à carder à nappes, composée d'une paire de cylindres cannelés alimentaires de 33 millimètres (15 lignes) de diamètre; d'un grand tambour de 8 décimètres 65 millimètres (32 pouces) de diamètre, couvert de cardes, surmonté de 9 chapeaux; d'un autre tambour de 3 décimètres 25 millimètres (12 pouces), couvert de cardes en rubans, sur lequel agit le peigne. Le coton que le peigne détache sous forme de nappes se roule autour d'un tambour uni, de 5 décimètres 42 millimètres (20 pouces) de diamètre, d'où il est enlevé chaque fois que la charge de la carde est entièrement cardée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2° D'une mécanique double à carder en rubans, construite sur le principe de la précédente : son objet est de carder de nouveau les nappes de coton préparées par la première machine, et de les transformer en rubans qui, en sortant de la carde, passent dans les entonnoirs de cuivre poli, et entre des rouleaux de bois, d'où on les reçoit dans de très-grands cylindres de fer-blanc.

Dans l'une et dans l'autre de ces deux mécaniques à carder, la vitesse du grand tambour est à celle du cylindre, couvert de cardes en rubans comme 25 est à 1, et à celle des cylindres cannelés alimentaires comme 70 est à 1. Ces derniers cylindres sont au diamètre de 33 millimètres (15 lignes).

Le produit de la carde à nappes est de 14 kilog. 674380 milligrammes (30 livres), quantité moyenne par journée de 12 heures, avec une vitesse, au grand tambour, d'environ 100 révolutions par minute.

La charge de la carde est de 122 grammes 287 milligrammes (14 onces) de coton en laine, étendu le plus également possible sur une longueur de 8 décimètres 11 millimètres (30 pouces) de toile, qui les transmet aux cylindres alimentaires.

3° Une machine composée de 7 laminoirs à 2 paires de cylindres dont on peut varier à volonté la distance qui les sépare. Le diamètre du premier cylindre cannelé est de 22 millimètres (10 lignes); celui du second, de 31 millimètres (14 lignes).

Chacun de ces laminoirs augmente la longueur des rubans sortant de la carde dans le rapport de 1 à 4.

Trois de ces laminoirs sont munis de six lanternes qui, au moyen du mouvement de rotation qui leur est imprimé, donnent aux rubans un léger degré de tors. Cette machine suffit à la préparation de toute la quantité de coton cardé par les deux premières.

4° Un mull-jenny de 72 broches, pour filer en gros, par aiguillées de 1 mètre 299 millimètres (4 pieds) de longueur.

Le laminoir est composé de 3 paires de cylindres à étirer. Le diamètre des premier et second cylindres cannelés est de 22 millimètres (10 lignes); celui du troisième, de 28 millimètres (12 lignes et demie).

La seconde paire peut s'écarter de la troisième à volonté.

Le coton, tel qu'il sort des lanternes de la mécanique précédente, est déposé dans des cases pratiquées derrière ce mull-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

jenny, sur lequel il éprouve une augmentation de longueur de la première à la seconde paire de cylindres dans le rapport de 9 à 16, et de la seconde à la troisième, de 16 à 31. Le chariot qui porte les broches de cette machine opère lui-même un étirage qui augmente la longueur de chaque aiguillée dans le rapport de 5 à 6.

Ce mull-jenny produit 11 kilogrammes 739,504 milligrammes (25 livres) de fil en gros, en 12 heures de travail, propre à former un fil en fin au nº 40. Cette quantité varie suivant le degré de finesse qu'on se propose d'obtenir.

5° Un mull-jenny de 300 broches, pour filer en fin, par aiguillées de 1 mètre 380 millimètres (4 pieds 3 pouces) de longueur. La roue qui imprime le mouvement aux laminoirs et aux broches est placée vers le milieu du bâti. Cette disposition permet à un même fileur de soigner deux mécaniques semblables placées en face l'une de l'autre, qui reçoivent le mouvement d'un moteur commun.

Le laminoir de ce mull-jenny est composé de 3 paires de cylindres. La distance de la deuxième à la troisième paire peut varier à volonté. Le diamètre des premier et deuxième cylindres cannelés est de 22 millimètres (10 lignes); celui du troisième, de 29 millimètres (13 lignes).

Le fil en gros éprouve un étirage de la première paire à la seconde dans le rapport de 3 à 4, et de la seconde à la troisième, de 4 à 17. On peut varier ce dernier étirage au moyen de pignons de rechange.

Le chariot des broches opère aussi un étirage qui augmente la longueur des fils de chaque aiguillée dans le rapport de 7 à 8. Cet allongement varie suivant la finesse du fil.

Ce mull-jenny, conduit à la main par un fileur aidé de deux rattacheurs, a produit, dans une première expérience, 10 kilogrammes 272,066 milligrammes (21 livres) de fil nº 40 en 12 heures de travail; et dans plusieurs expériences successives, recevant le mouvement d'un moteur particulier, il a produit 7 kilogrammes 337,190 millig. (15 liv.) de fil nº 74 dans le même espace de temps.

Ces différentes machines, qui composent le système entier de la filature par mull-jenny, sont disposées pour recevoir le mouvement d'un moteur hydraulique ou de tout autre qu'on voudrait employer.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il résulte de cette description que le progrès réalisé dans une quinzaine d'années de 1785 à 1801 était relativement immense. L'assortiment partait alors de la carde (il n'était pas question encore des machines préparatoires qui la précèdent actuellement); mais celle-ci s'est considérablement améliorée; elle fait, à dimensions égales, autant de travail que celles d'aujourd'hui; mais probablement ce résultat déjà amélioré ne valait pas celui que l'on obtient maintenant. Après la carde l'on voit pour la première fois apparaître des machines spéciales à étirer dont les dernières rendent leurs rubans dans des pots tournants. Ces machines sont loin certes de ce qu'elles sont devenues depuis, mais elles devaient déjà avoir une influence considérable sur la perfection du produit. Enfin les métiers à filer ont à leur tour comme organe fondamental les fameux cylindres à étirer qui devaient désormais changer la face de l'industrie du filage. La production de ces métiers est déjà remarquable puisqu'elle correspond à 34 grammes par broche et par jour en numéro 33 60 titrage actuel, c'est-à-dire à une production égale à la moitié de ce qu'elle est devenue depuis. Nous avons des motifs, qui seraient trop longs à détailler ici, pour supposer, ou que ce rendement était exceptionnel, ou que le fil recevait alors une torsion insuffisante. Nous pensons que la première hypothèse est la vraie, attendu que les échantillons de cotons filés de cette époque déposés au Conservatoire attestent une qualité très-convenable. Ces mêmes échantillons peuvent également nous servir à fixer les prix des produits les plus courants transformés en numéros du titrage actuel.

Ils étaient, pour la chaîne aux métiers continus mus par une usine hydraulique, les suivants:

N° 30.	17f.25	N° 58.	38f
36.	22	65.	47
44.	29	73.	53

Ce tableau démontre 1° que l'on demandait alors au continu des finesses bien plus élevées qu'aujourd'hui; 2° qu'il y avait une différence d'environ 83 cent. par numéro et par 500 grammes. Cette différence était déjà tout à l'avantage du mull-jenny, car les mêmes documents ci-dessus cotent le numéro 30 à 13 fr. 50 c. et le numéro 64, le plus élevé des échantillons, à 27 fr. 75 c. le kilogramme; la différence d'un numéro à l'autre obtenue à ce système n'était donc que de 25 cent.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le coton employé pour faire les fils continus, disent encore les membres de la chambre de commerce d'Amiens, venait du Brésil et coûtait de 6 fr. à 7 fr. 60 c. le kilogramme, soit 6 fr. 60 c. à 8 fr. 36 c. avec le déchet; il s'ensuit qu'il restait 10 fr. 77 c. pour la fabrication d'un kilogramme de fil du numéro 29 à 30 en chaîne. Aussi les 3/4 de la consommation étaient-ils encore produits à la main. Cette concurrence entre le travail au rouet et la filature mécanique a dû se prolonger en France jusque vers 1813, si nous en jugeons par la consommation annuelle, qui s'éleva à 8,000,000 de kilogrammes [1] environ, et surtout par le prix élevé de la façon. Il résulte en effet des documents conservés à Mulhouse que le prix du kilogramme de fil du numéro 27/29 chaîne valait alors 23 fr. 22 c.; et comme il y entrait pour 14 fr. 87 c. de coton brut, 10 fr. 35 c. représentaient le prix de façon.

C'est surtout à partir de 1814 que l'industrie cotonnière prit son élan chez nous; il fut tel que vers 1819 on était arrivé, exceptionnellement, il est vrai, à filer du numéro 100, et la consommation s'élevait à 20,000,000 de kilogrammes [2] ne valant plus dans le numéro et la destination ci-dessus que 12 fr. 79 c., contenant pour 4 fr. 82 c. de matière première, et laissant par conséquent 6 fr. 97 de façon. Aussi l'outillage mécanique s'était-il sensiblement complété; on était arrivé à une série d'opérations automatiques avant le cardage. Ces transformations s'étaient substituées en un travail manuel lent, imparfait, nuisible à la substance filamenteuse et à la santé des ouvriers. L'assortiment se composait alors, d'après un filateur du temps [3], des machines suivantes :

1° La machine à battre;
2° La machine à ouvrir;
3° Le ventilateur;
4° La carde en gros ou brisoir;
5° La carde en fin ou finissante;
6° Le laminoir;
7° Le doubloir, c'était une espèce de réunisseuse;
8° Le boudinoir, c'était l'étirage à pot tournant;

[1] L'Angleterre consommait à la même époque 46,000,000 de kilog.
[2] Elle était alors de 62,000,000 de kilog. en Angleterre.
[3] F. Vautier, l'*Art du Filateur de coton*. Paris, 1821, page 11.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

9° Le bobinoir destiné à former les bobines pour alimenter le métier en gros;

10° machine à étendre;
11° Le double expéditeur; } Nous ne savons quelle était la destination de ces deux machines dont il n'est d'ailleurs pas autrement question dans l'ouvrage.

12° La machine à courant d'eau ou de filage à l'eau, c'était une machine à préparer à ailette et à bobine, une espèce de banc à brocher imparfait;

13° La grive, c'était un métier continu;

14° Le mull-jenny;

15° Le dévidoir;

16° Machine à tordre;

17° Machine à pelotonner.

La première machine de la liste faisait agir automatiquement des baguettes pour battre les filaments. On en retrouve le modèle dans la galerie des filatures au Conservatoire des arts et métiers. Toutes les autres machines, conservées en principe, ont été en général considérablement modifiées et améliorées dans leurs détails. Les métiers à filer, de 260 broches au maximum, tournaient avec une vitesse d'environ 2,400 tours à la minute.

Les perfectionnements du matériel se poursuivaient toujours avec une nouvelle ardeur. On commença dès lors à chercher des moyens de débourrer automatiquement, on perfectionna les tambours des cardes, on imagina les couloirs réunisseurs, on améliora sensiblement les étirages, les premiers bancs à broches commencèrent à se substituer aux boudinoirs et aux métiers en gros. Des appareils à aiguiser les garnitures des cardes furent créés, les machines américaines à bouter se propagèrent, le métier continu fut soumis à de nouvelles investigations et l'objet d'améliorations rationnelles. Les tentatives faites vers la fin du dernier siècle pour arriver au métier mull-jenny complétement self-acting furent reprises, etc., etc. Nous ne citons ces faits que pour donner une idée du mouvement extraordinaire qui allait en grandissant toujours.

Il n'est pas sans intérêt maintenant de chercher dans quelle situation économique se trouvait la production au milieu de cette fièvre de progrès quelque temps avant la révolution de 1830. Un rapport publié en 1829 par une commission de manu-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

facturiers et de négociants de Paris, à l'occasion d'une enquête relative à l'état de l'industrie du coton en France, donne nettement cette situation. Il ressort de l'ensemble de ce travail, et notamment de la déposition de l'un des fabricants les plus compétents, M. Feray d'Essonne, qu'une filature à vapeur de 30 chevaux, toute montée, *clef en main*, revenait à 40 fr. la broche, qu'un cheval dynamique faisait mouvoir 500 broches avec les machines préparatoires; la production par broche et par jour en fil du n° 30 à 40 métrique était de 20 grammes. Le prix de la façon par kilogramme était de 2 fr. 45 c., qui se subdivisaient de la manière suivante :

Frais généraux, loyer compris.	0f,75
Intérêt et dépréciation du mobilier	0f,50
Main-d'œuvre	1f,20
Ensemble.	2f,45[1]

Ces principaux faits ont été reproduits, sauf quelques variantes et additions que nous allons signaler, à la grande enquête administrative de 1833.

Il a été démontré alors que l'industrie française, qui avait eu tant de difficulté à arriver à la filature *extra-fine*, présentait des progrès sensibles; que les maisons Schlumberger et Hartmann filaient couramment des nos 200 métriques, et produisaient même exceptionnellement jusqu'à des nos 300.

La production, basée sur les nos ordinaires de 30 à 33, s'était sensiblement élevée : elle était, d'après MM. *Mimerel, Fauquet-Lemaître, Sanson-Davillier*, etc., de 30 grammes par broche et par jour de 13 à 14 heures. Un seul manufacturier, M. *Nicolas Kœchlin*, portait cette production en moyenne à 41 grammes[2]. Il ressort également des diverses dépositions de ces manufacturiers sur le nombre d'ouvriers et de broches de leurs filatures, qu'on employait en moyenne 1 ouvrier par 50 broches[3].

[1] Rapport de la commission libre nommée par les manufacturiers et négociants. Paris, 1829, page 52.

[2] Mémoires et extraits des délibérations des chambres de commerce, par MM. Cochard et de Moléon. Paris, 1834.

[3] Ce nombre de broches comprend implicitement les machines nécessaires à la préparation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La vitesse des broches, qui ne peut être très-grande dans des métiers d'une exécution médiocre et pour des machines préparatoires peu soignées, peut, toutes choses égales d'ailleurs, être considérée comme l'un des éléments les plus caractéristiques du progrès. Il est donc regrettable qu'elle n'ait pas été indiquée dans les enquêtes de 1829. Mais la production de ces broches et le nombre attribué à la force de cheval nous permettent de supposer qu'elle ne dépassait pas 3,500 tours; quoique modérée encore, elle avait néanmoins grandement contribué à l'amélioration des conditions économiques précédemment exposées.

A partir de l'époque dont nous venons de constater les résultats, la perfection du travail devint plus générale grâce à l'invention de nouvelles machines à préparer, à celle du banc à broches qui est devenue fondamentale dans l'assortiment, et du *rota frotteur* qui peut en tenir lieu dans une certaine limite (la création de ces machines remonte en effet vers 1824), quoique leur application ne devînt générale que plusieurs années après. Leur emploi joint à des progrès moins faciles à préciser, ceux obtenus par une diffusion plus grande des sciences positives, et par conséquent d'une étude plus attentive et plus raisonnée de l'établissement, du réglage et de la conduite des machines, ainsi que l'appréciation de jour en jour plus précise des caractères et des qualités de la matière première, déterminèrent un progrès que le rapport du jury de l'Exposition de 1844 fit ressortir, en disant que les 58 millions de kilog. de coton qui se filaient alors avec 3,600,000 broches en eussent nécessité 4,500,000 dix ans plus tôt, et que les produits eussent été moins parfaits, moins réguliers et plus chers néanmoins[1].

Le kilogramme de fil que nous avons pris pour type de comparaison ne valait en effet alors que 2 fr. 83 c. et la façon 1 fr. 29 c., car le coton coûtait 1 fr. 54 c.

Si de ce concours de 1844 nous passons à la grande épreuve internationale de l'Exposition universelle de 1851 à Londres, nous y remarquerons, comme une preuve des progrès toujours ascendants dans la filature, des fils de coton amenés à une longueur de 600 kilomètres par 500 grammes. Trois filateurs avaient exposé de ces produits, deux anglais et un français. Pour dé-

[1] Tome I, page 377. Rapport du jury de l'Exposition de 1844.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

montrer la bonne application de ces fils extra-fins, l'un des exposants anglais en avait fait faire de la mousseline, le filateur français les avait transformés en tulle à la mécanique d'une exécution irréprochable. Il était donc démontré que, sous le rapport de l'avancement des connaissances industrielles, la France n'avait rien à envier à l'Angleterre. La mention faite à cet égard par le jury international, composé en majorité de membres anglais, est d'ailleurs trop significative pour que nous ne la reproduisions pas comme l'a fait la commission française dans le tome IV, page 50, de ses travaux sur cette même Exposition; on y lit : « Les cotons filés exposés par l'Angleterre et l'Écosse sont « presque exclusivement de qualité secondaire, propre à mettre « en évidence le caractère de la fabrication qui donne l'habille- « ment à une partie si considérable de la population ouvrière « du monde.

« Les cotons filés français et suisses sont généralement de « qualité supérieure, convenables à la production qui réclame « à la fois de la souplesse dans le tissu, de l'éclat dans la cou- « leur; la préparation dans les filatures a été conduite avec « autant de talent que de succès. »

Cette appréciation résume bien les tendances industrielles des nations qui y sont mentionnées, trop généralement démontrées par les faits et le génie de ces peuples pour que nous ayons à y insister autrement. Si de l'examen des produits nous passons à celui des moyens et à l'outillage des filatures, nous remarquerons que les progrès les plus signalés alors furent : 1° L'invention d'une machine française, de l'*épurateur*, distinguée par une première médaille du conseil; 2° la propagation presque générale en Angleterre du métier mull-jenny renvideur, c'est-à-dire entièrement automate, qui supprimait un homme par métier à filer de 500 broches, et le remplaçait par la force d'environ un cheval dynamique, permettant aux prix relatifs de la force motrice et de la main-d'œuvre de faire une économie de près de 700 francs par an et par métier. Cette économie n'étant pas aussi grande pour la France par suite du prix du combustible et des machines, la propagation de ce système y était moins avancée. Il ne s'est fait adopter sur une assez large échelle que du jour où ces métiers ont été assez parfaits, d'un nombre de broches assez élevé et d'une vitesse assez grande pour que leur usage

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

apportât également un avantage sensible à notre industrie. Quoique le prix du kilogramme de fil fût de 3 fr. 81 c., le prix de la façon était tombé à 1 fr. 18 c. La différence de la valeur vénale tenait au prix du coton, qui valait alors 2 francs.

Le concours universel de 1855 nous a démontré la continuation de ce mouvement assez lent, mais cependant sensiblement ascensionnel, de l'emploi des métiers à filer self-acting; ils avaient alors au maximum 500 broches, il y en avait plusieurs d'un nombre moindre. Depuis lors on s'est *lancé*, nous dirons presque avec témérité, dans cette voie, puisqu'on est arrivé à faire des métiers de 1,200 broches. L'on remarquait surtout à l'Exposition de 1855 des résultats qui indiquaient un ensemble général de progrès dans tous les détails de la construction, plus de solidité dans les pièces servant au point d'appui des machines, plus de légèreté dans les organes en mouvement, une certaine harmonie de formes qui satisfaisait et charmait parfois l'œil. On constatait, en un mot, surtout dans les machines exposées par nos principales maisons, que les tâtonnements avaient cessé, et que la construction des machines à filer avait ses lois précises et un outillage spécial opérant avec une précision mathématique.

Cette grande solennité industrielle a démontré de plus que l'on reprenait avec ardeur des questions secondaires en apparence, telles que le débourrage automatique, l'aiguisage des garnitures de cardes, la commande des broches par engrenages, les transmissions de mouvement dans les bancs à broches pour augmenter la précision de leur action et leur donner plus de légèreté, etc. Mais le fait saillant et considérable de la spécialité fut l'exposition, par MM. Nicolas Schlumberger et Comp., d'une peigneuse à coton, de leur construction et de l'invention de Josué Heilmann, comme spécimen des machines semblables que cette maison livrait, depuis quelques années, à tous les pays industriels.

Pour résumer en un mot les conséquences de ces progrès successifs, disons que les frais de fabrication d'un kilogr. de fil, qui s'élevaient à 2 fr. 45 c. il y a une vingtaine d'années et à 10 fr. environ il y a moins de trente ans, ne dépassent pas 1 fr. aujourd'hui. Les éléments de ce progrès sont complexes, et appartiennent en partie aux améliorations considérables apportées aux moteurs hydrauliques et à vapeur, et en partie à celles introduites dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le mobilier industriel. Les roues hydrauliques ont été modifiées de façon à ce que de 25 p. 100 d'effet utile fourni à peine, elles sont arrivées à en rendre 65 et 70 en moyenne.

Les bonnes machines à vapeur, qui valent aujourd'hui 1,000 fr. par force de cheval, et qui ne brûlent au maximum que 1k,50 de charbon de terre dès qu'elles dépassent 15 chevaux, coûtaient alors de 2,000 à 2,500 fr. la force de cheval, et brûlaient moyennement de 5 à 6 kilog. de combustible. Quant aux machines spéciales, elles ont été améliorées au point d'avoir des métiers dont les broches tournent avec une vitesse prodigieuse de 6,000 tours et plus à la minute. Il en est résulté, toutes choses égales d'ailleurs, une augmentation de production et une diminution considérable dans les frais de toute espèce. La proportion entre le nombre d'ouvriers et celui des broches d'une filature en témoigne suffisamment. Nous avons déjà vu que l'on comptait en moyenne une personne pour 50 broches[1], et un rendement de 30 grammes par broche et par jour; tandis qu'il ressort de nos recherches sur de nombreux établissements montés avec l'outillage le plus perfectionné, qu'un ouvrier suffit actuellement pour 140 broches. Or la production par broche et par jour peut s'évaluer de 55 à 65 grammes, toujours pour les numéros de fils précédemment désignés. Il s'ensuit que dans une période de moins de 30 années, les résultats, très-sensiblement améliorés, ont doublé, et la coopération de la main-d'œuvre a été réduite des trois quarts au moins dans notre pays. L'industrie anglaise est généralement plus avancée encore dans la voie automatique; elle est arrivée à n'avoir qu'un ouvrier pour 170 broches. Ce résultat est la conséquence chez elle plutôt d'une plus grande habileté du personnel qui lui permet de surveiller plus de machines, et de certaines modifications dans le groupement de ces machines.

Quoi qu'il en soit, envisagée en France ou en Angleterre, l'industrie cotonnière offre le type par excellence du travail automatique le plus avancé. Elle indique dès à présent l'état vers lequel elle doit tendre, et vers lequel toutes les autres s'acheminent; elle démontre, si nous ne nous trompons, que nous approchons enfin

[1] M. Nicolas Kœchlin évaluait, en 1839, un ouvrier pour 49 broches. (Rapport du jury central, 1839.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du moment où les troubles et les perturbations amenés transitoirement à chaque laborieuse étape dans la voie automatique touchent à leur terme, parce qu'à chacune d'elles correspond un perfectionnement du produit et un triomphe de la pensée sur la matière. Elle ne peut se faire sans enlever chaque fois un reste du travail musculaire et abrutissant de l'ouvrier, pour le transformer en une direction et une surveillance intellectuelles plus productives. Et cela, grâce précisément à ces perfectionnements progressifs, si souvent le sujet de l'affliction et de la colère du travailleur. Ne peut-on l'excuser en songeant à l'horreur éprouvée par le patient à la vue de l'instrument qui doit l'opérer pour son salut?

Nous nous sommes bornés jusqu'ici à parler de la filature du coton en France et en Angleterre; on se tromperait si on déduisait de là que les autres contrées manufacturières de l'Europe et au delà de l'Atlantique sont restées stationnaires dans cette voie. Il suffit, pour prouver le contraire, de donner un aperçu général des établissements qui filent aujourd'hui le coton dans le monde.

Valeur et personnel des établissements qui filent le coton dans les divers pays.

Pour arriver à cette évaluation, il suffit de connaître la quantité de coton qui peut être filée par une broche dans un temps donné, et le prix de cette broche avec toutes les dépenses qu'entraîne sa mise en action. Or, la production du fil par broche dans l'unité de temps varie : elle est en raison inverse de la finesse du produit. Dans les nos courants ordinaires, 26, 28 pour chaîne, et 36, 38 pour trame bien conditionnés, une broche peut produire en 12 heures de travail 50 grammes de fil en moyenne; en no 100 le rendement est à peine de 7 grammes; il s'abaisse de 3 à 6 gr. si c'est du no 150 à 160, etc. Pour déterminer la quantité produite, il faut donc tenir compte de la finesse du fil. Nous pouvons, sans erreur sensible, et d'après les quantités de coton en laine, arriver approximativement à cette appréciation, en supputant les proportions entre la matière première dans les qualités supérieures, telles que le géorgie longue soie et le jumel, particulièrement réservés aux nos élevés. Or, cette proportion ne dépasse pas 10

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

p. 100 de la masse du coton récolté; nous pouvons donc supposer tout d'abord que les filés dépassant le n° 150 n'entrent pas pour plus d'un dixième dans la production totale. Mais au-dessus et au-dessous des titres cités, il y a encore une série de finesses pour lesquelles la production varie en raison de la loi précitée. Il faut cependant reconnaître que la grande production a surtout les n°s courants pour base. Nous pensons donc que l'on peut, sans notables chances d'erreur, tout en tenant compte des déchets, supposer 40 grammes de production moyenne par broche et par jour. Or, d'après les tableaux officiels publiés par les différentes contrées, on peut admettre que le travail automatique dans le monde absorbe, par semaine :

En Europe, 71,042 balles, soit		13,142,770 kilog.
États-Unis, 14,271 balles, ou		2,640,135 —
qui donnent une consommation de. .	2,190,461k,66	par jour en Europe,
et pour les Etats de l'Amérique. . . .	460,022k,50	id. id.
Ensemble.	2,650,484,16	

Le nombre de broches nécessaires pour filer cette quantité sera donc $\frac{2,650,484,16}{0,040} = 66,262,104$ broches.

Pour arriver à la somme représentative de ce nombre de broches, il faut tenir compte des pays où elles fonctionnent, attendu qu'elles coûtent moins cher en Angleterre et en Amérique que sur le continent. On compte en général qu'une filature complète, immeuble, moteur et machines, établie avec tous les progrès réalisés jusqu'ici, et les bâtiments aussi soignés que possible, en briques ou pierres, suivant les localités, et même avec charpente en fer pour certaines autres, telles que la Belgique, par exemple, revient à son propriétaire, *clef en main*, de 50 à 55 fr. la broche. En Angleterre, l'on peut obtenir le même établissement au maximum à 30 fr. Nous pensons que, pour l'Amérique, le prix doit varier de 40 à 50 fr. Supposons, en moyenne, 45 fr.

Comme la consommation de l'Amérique et du continent réunis est à peu près égale à celle des trois royaumes de la Grande-Bretagne, nous pouvons supposer la valeur moyenne de la broche à 40 fr.; celle des filatures automatiques sera par conséquent $66,262,104 \times 40 = 2,650,484,160$ fr.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nombre de personnes qu'il faudrait pour filer la quantité produite par ces broches.

Le nombre d'ouvriers, hommes et femmes, nécessaire pour le service de ces usines, en supposant une personne pour 130 broches seulement, est par conséquent de 509,716. Ce nombre est évidemment trop bas, car il suppose les établissements fonctionnant avec tous les progrès du jour et ayant réduit le personnel à un minimum; or, il n'en est pas encore ainsi : dans beaucoup d'usines, il faut au moins une personne par 120 broches, et, dans d'autres, on peut même en supposer une par 100. On peut donc avancer, avec un certain degré de certitude, que le personnel ci-dessus est un minimum de 600,000. Si l'on voulait se rendre compte du nombre d'hommes que représente la force motrice employée, on y arriverait en supposant en moyenne 8 hommes pour la force d'un cheval, le nombre de chevaux de 75 kilog. mét. étant de $\frac{66,262,104}{140} = 473,300$ [1] et celui des hommes 3,786,400 seulement pour la force motrice des établissements automatiques du monde qui filent le coton.

Mais pour arriver exactement à évaluer le personnel nécessaire au filage actuel du coton, il est bon de faire remarquer que les broches mécaniques tournent avec une vitesse de 4 à 6,000 tours à la minute, et la fileuse fait faire à peine 60 tours à la sienne d'une manière régulière. Si donc nous supposons une vitesse moyenne de 5,000 tours aux premières, il faudrait cent fois autant de rouets que de broches; ce serait donc *soixante millions* de personnes pour le filage, non compris les préparations, qui en exigeraient à peu près autant.

Mais à ce nombre il faudrait ajouter l'état-major administratif et les employés que nécessite ce genre d'établissement, tels que charretiers, hommes de peine, ouvriers mécaniciens pour les réparations, graisseurs, portiers, veilleurs de nuit, etc. Et encore n'aurait-on ainsi que des forces comparées indépendamment des résultats. Si on voulait chercher le nombre de rouets nécessaires à la consommation des deux millions et demi de kilogrammes

[1] La différence entre les 140 broches d'aujourd'hui et les 500 que l'on comptait autrefois par force de cheval, résulte de l'augmentation du matériel des préparations et surtout de celle des vitesses des broches.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

filés par jour dans le monde industriel, en faisant entrer en ligne de compte les conditions de finesse et de régularité obtenues par les moyens en usage, la solution deviendrait tellement complexe qu'elle serait impossible.

L'on peut au contraire déterminer *à priori*, avec une approximation très-grande, le travail obtenu par une broche automatique, quelle que soit la finesse du fil que l'on en exige. Sa production peut s'évaluer en longueur ou en poids. La première restant à peu près constante pour les mêmes vitesses des cylindres étireurs qui fournissent la mèche à la broche, le poids transformé sera par conséquent en raison inverse de la finesse ou du nº des fils. Ainsi les 1,300 mètres de fils contenus dans les 50 grammes du fil nº 27/28, par exemple, pèseront à peine 25 grammes pour un produit d'un titre double, etc.

Ces relations peuvent servir, selon nous, à la transformation des *droits au poids en droits à la valeur* pour toute espèce de fils. Il suffit à cet effet de prendre pour point de départ les dépenses de toute sorte pour le travail d'une broche, c'est-à-dire tous les frais occasionnés pour obtenir le fil transformé par cet organe dans un temps donné, d'y ajouter le prix de la matière première y compris son déchet pour avoir le prix exact du produit. Or, ces dépenses par broche sont constantes et à peu près indépendantes de la finesse du fil [1]. Qu'une broche file du numéro 30 ou du 100, les frais resteront sensiblement les mêmes. Ces frais étant dans de bonnes conditions en France, de 90 cent. par kilogramme du numéro 30 par exemple, il en résultera pour les 60 grammes par broche et par jour une dépense annuelle de 16 fr. 20 c. Or une semblable broche produisant 18 kilogrammes du numéro 30 n'en produira plus que 9 pour le numéro 60, et ainsi de suite.

Il suffirait donc d'être fixé sur la quotité du droit à établir pour une catégorie quelconque de fil pour en déduire la proportion équitable afférente à toute autre, d'un numéro plus gros ou plus fin. Resterait à déterminer le titre réel en cas de doute lors de la déclaration à la douane; cette vérification pratique est trop simple et trop connue pour que nous ayons à nous y arrêter;

[1] Il y a une légère différence dans la proportion du rendement résultant de ce que la vitesse des broches pour les fils extra-fins ne peut pas être aussi grande que celle des broches produisant des fils ordinaires.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une erreur de quelques numéros ne serait d'ailleurs d'aucune importance.

La dépense que nous venons de déterminer varie nécessairement en raison des éléments économiques de chaque contrée, et baisse constamment avec les progrès universels. Malgré les succès immenses déjà obtenus, bien des transformations heureuses sont encore à espérer.

Nous avons la conviction que le métier mull-jenny renvideur, par exemple, si avantageux qu'il soit à l'heure qu'il est, dont la production est la base principale, et le point de départ des calculs qui doivent régler le régime nouveau, sera bientôt remplacé par un métier plus simple, plus léger, plus productif, d'un emploi plus général, et plus favorable aux qualités des fils. Cette conviction, qui n'était pendant longtemps que le résultat de nos études théoriques, repose désormais sur des faits et des expériences positives qui se continuent et seront probablement publiées sous peu.

L'énumération des caractères des filaments que nous allons exposer, tout en expliquant les succès remarquables de l'industrie cotonnière, pourra servir à faire apprécier *à priori* les opérations susceptibles de nouvelles modifications et la direction dans laquelle des modifications pourront se produire.

Caractères des filaments du coton, leurs conséquences techniques sur les progrès qui viennent d'être signalés.

Examinées isolément, chacune des fibres élémentaires qui constitue le coton est un organe bien défini qui ne peut être divisé sans être altéré. A l'état normal, il présente un tube cylindrique fermé de toutes parts, plus ou moins aplati, très-flexible, doué d'une certaine transparence, surtout sur la partie médiane du brin. Sa surface, débarrassée des corps étrangers qui n'y adhèrent que mécaniquement, devient nette, lisse, plus ou moins brillante et sensiblement douce au toucher. La longueur moyenne des fibres tubulaires tient le milieu entre celles des autres substances textiles dont l'industrie dispose (la soie grège exceptée, dont le fil continu tout formé par le ver atteint parfois 1,200 mètres). Chacun de ces caractères concourt pour sa part d'une façon avantageuse au résultat final; le brin indivisible d'une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ténuité extrême et d'une régularité relative dispense des opérations de divisions mécaniques auxquelles les divers autres corps végétaux sont soumis pour en obtenir des filasses plus ou moins fines, et d'une constance de forme problématique dans leurs fibres élémentaires. De là une homogénéité et une facilité de régulariser la masse à l'avantage du coton. Sa ténacité, sa compressibilité et la faible conductibilité de certains de ses produits, s'expliquent par la double paroi close de chaque brin, assez condensable pour pouvoir, grâce à sa ténuité et à sa flexibilité extrêmes, en loger une quantité innombrable dans un volume très-réduit.

Le poli et la netteté de la surface de ces fibres élémentaires leur donnent une propriété particulière de glissement, et par conséquent d'échelonnement si précieuse aux transformations. C'est cette faculté très-prononcée des fibrilles de pouvoir glisser indéfiniment les unes sur les autres sans subir d'altération qui permet d'étendre les limites de finesse des fils d'un même coton, en raison de la perfection et des modifications des machines. C'est-à-dire que l'on peut avec des filaments identiques et de même provenance obtenir des fils qui varient de numéros du simple au double au moins: il suffit à cet effet que les machines soient agencées en conséquence. Aucune substance textile ne jouit de cette faculté au même degré et ne peut se mélanger et se lier aux autres avec la même facilité. Les longueurs moyennes des fibres indiquées précédemment constituent à leur tour une condition favorable au travail automatique; moins longues, elles échapperaient à l'action des machines, témoin certains cotons des Indes et surtout le fromager; plus longues, au contraire, elles nécessiteraient des machines préparatoires compliquées, analogues à celles du chanvre, du lin, de la laine longue, etc. Enfin, un certain degré de porosité et de transparence rend compte de l'éclat et de l'affinité particulière du duvet du cotonnier pour les matières tinctoriales. Aussi, dès que les caractères des fibres normales sont altérés, comme dans le *coton mort* par exemple, par une espèce d'incrustation siliceuse totale ou partielle du tube élémentaire, ces propriétés si remarquables disparaissent à tel point que les filaments viciés doivent être rejetés pour éviter des défectuosités graves que leur présence occasionne.

Si aux caractères qui influent si avantageusement sur la trans-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

formation de la matière, la variété et les qualités de ses tissus, l'on ajoute que, malgré la quasi-insuffisance de sa production dans le monde, elle est encore de toutes les substances textiles le meilleur marché, surtout eu égard à son faible déchet relatif, les causes essentielles du bas prix de ses produits s'expliqueront spontanément. Une dépense de 18 à 20 centimes de matière première, déchet compris, suffit en effet pour faire un mètre carré de bon calicot, livré à la consommation au prix de 40 à 50 centimes. Les 22 à 30 centimes, différence entre le coton et le produit, doivent par conséquent couvrir les frais de fabrication de toute nature, et laisser certain bénéfice; cela dit assez les prodiges économiques imposés aux machines. Quant à la précision de leur perfectionnement, elle ressort de la perfection avec laquelle elles fournissent les produits les plus délicats, des fils du n° 300 et souvent d'une finesse plus élevée, et si nous nous arrêtons au n° 300 métrique: le problème résolu consiste donc dans la transformation de 500 grammes de filaments de coton de moins de 3 centimètres de longueur mêlés et enchevêtrés dans tous les sens en une longueur de 300 kilomètres ou 75 lieues de fils parfaits, c'est-à-dire en un cylindre flexible, élastique, d'une ténuité extrême, d'une homogénéité parfaite, d'une section constante sur toute sa longueur, d'une ténacité maxima par rapport aux qualités de la substance constituante et invariable sur tous les points de la longueur.

Pour arriver à ce résultat dans l'état actuel de l'industrie, il suffit de livrer la substance en masse à la première machine d'un assortiment de filature pour que la dernière, le métier à filer, la rende dans les conditions déterminées *à priori*, sans que la main ait à y toucher autrement que pour l'alimentation et les réparations accidentelles et exceptionnelles, qui sont d'autant moins sensibles que l'outillage est mieux exécuté et mieux réglé, toutes choses égales d'ailleurs. L'importance de l'appropriation de la matière première, de l'agencement et de la combinaison des machines d'un assortiment et surtout de leur réglage est évidente, lorsqu'on songe que l'on peut, avec les mêmes métiers, obtenir, de 500 grammes de filaments, des longueurs de fil de 1 à 600 kilomètres, d'une valeur de moins de 2 à plus de 100 fr. le kilogramme, et des tissus doués des aspects les plus divers: des mousselines diaphanes et des velours, par exemple, dont les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

poids par mètre carré peuvent varier de 5 à 1,000 grammes et plus. Il n'est par conséquent pas un climat, une saison, une situation de fortune, et un besoin dans l'art vestimentaire, auquel les caractères intimes, les apparences, les qualités et les prix de la vaste échelle des produits du coton ne puissent satisfaire.

C'est surtout dans l'ensemble de ses moyens et de ses résultats que réside la puissance de l'industrie cotonnière; on citait bien déjà chez les anciens certains tours de force imités encore en Orient, par lesquels on arrive à des étoffes si légères qu'on les comparait à du *vent tissé*. Mais ce produit exceptionnel exige alors des doigts de fées et des yeux de lynx, pour nous servir du langage du temps. Aujourd'hui ce sont, au contraire, deux agents naturels parfois les plus brutaux, le feu et l'eau, qui sont chargés de ces travaux aussi délicats que précis.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ÉTUDE HISTORIQUE

SUR LA

THÉORIE DE LA CHALEUR.

PAR M. CH. LABOULAYE.

Nombre de philosophes et de physiciens ont successivement proposé des systèmes pour rendre compte de la manière dont se produisent les phénomènes calorifiques. Malgré les efforts de bien des hommes de génie, aucune théorie satisfaisante n'a pu être formulée ; malgré notamment les recherches, si fécondes en découvertes, des savants qui ont constitué la chimie à la fin du dernier siècle, rien de définitif n'a été admis dans la science. Nous sommes toujours, en apparence, dans la position que l'abbé Nollet indiquait ainsi en 1748, dans son *Traité de Physique* : « Après une étude de deux ou trois mille ans, disait-il, après les méditations des Descartes, des Newton, des Malebranche, après les observations et les expériences des Boyle, des Boerhaave, des Réaumur, des Lémery, etc., nous en sommes encore à savoir définitivement si le feu est une substance simple, inaltérable, destinée à produire par sa présence ou par son action la chaleur, ou bien si son essence consiste dans le mouvement seul... » En réalité, cependant, nous sommes plus avancés que nos prédécesseurs, nous disposons d'une bien plus grande quantité de matériaux propres à nous mener à la connaissance de la vérité, parce que depuis le commencement du siècle, et, pour ainsi dire, par un commun accord, les physiciens, abandonnant presque systématiquement la voie des pures spéculations qui ne conduisait qu'à des hypothèses plus ou moins contestables, ont accumulé de nombreuses recherches expérimentales, exécutées avec une précision jusqu'alors inconnue.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il n'est pas douteux que ces travaux ne doivent conduire un jour à une théorie générale de la chaleur. Le moment est-il venu où nous pouvons espérer la voir sortir à la fois des recherches accumulées et du progrès théorique accompli dans ces dernières années, qui consiste à avoir formulé nettement le principe de l'*équivalence de la chaleur et du travail mécanique*, qui paraît tout à fait susceptible de servir de base à une théorie dynamique de la chaleur? L'avenir seul répondra à cette question; mais ce n'est certes pas trop s'avancer que de dire que de nombreux signes précurseurs annoncent que nous nous rapprochons de ce moment.

Nous avons pensé qu'il était d'un grand intérêt, dans l'état actuel de la science, de passer en revue les principaux travaux qui se rapportent aux deux natures de théories qui se sont encore succédé depuis l'époque de la constitution de la chimie; de reproduire les monuments historiques, oubliés aujourd'hui ou peu connus, dans lesquels ont été développés des systèmes incomplets, mais infiniment précieux, parce qu'ils sont fondés sur une partie de la vérité que leurs auteurs voyaient clairement. L'histoire d'une théorie est souvent un excellent moyen d'indiquer la voie dans laquelle doit se poursuivre une évolution nouvelle, et de bien poser la question. Dans le cas actuel l'importance capitale du sujet doit faire accueillir avec faveur tout ce qui peut aider à un bien grand progrès; car il s'agit d'une des questions les plus intéressantes tant au point de vue purement théorique qu'à celui des incessantes applications de la chaleur que fait l'industrie.

Nous rangerons dans deux divisions les théories qui se sont succédé dans les deux directions déjà indiquées : la première comprendra celles qui se rattachent à l'existence d'un principe spécial; elles prennent naissance dans l'étude des phénomènes de la chaleur, manifestés dans les transformations, les réactions qu'étudient les chimistes, et que nous appellerons théories chimiques; la seconde comprendra les théories mécaniques, dans lesquelles on cherche dans le mouvement l'explication des faits, et en premier lieu de ceux qui se rapportent à la production du travail mécanique à l'aide de la chaleur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

I. THÉORIES CHIMIQUES.

1° Stahl.

Les anciens, en présence des phénomènes dans lesquels ils voyaient le feu apparaître, le considérèrent comme un des quatre éléments de l'univers, ayant la propriété de convertir d'autres corps en sa propre substance.

L'action du feu dans la transformation des corps ne pouvait échapper entièrement aux alchimistes, cependant on ne voit pas que leurs idées se soient formulées d'une manière nette; mais, ce qui est plus extraordinaire, la création de la physique et de la mécanique expérimentale n'a pas exercé grande influence sur le progrès des idées relatives à la nature de la chaleur. Il est vrai que la création de la chimie, et par suite l'analyse des combinaisons productrices de chaleur, est de près de deux siècles postérieure à celle de la physique expérimentale.

Dans une intéressante *Revue des Sciences*, un jeune savant, M. Émile Lamé, cherchant à analyser les causes de ce retard, montre qu'on ne saurait l'attribuer à l'ignorance des méthodes expérimentales, puisqu'on les appliquait chaque jour aux recherches de physique, dont les progrès étaient incessants, et que l'obstacle le plus sérieux qui s'opposait à la création de la chimie venait de la grandeur même des découvertes de Galilée et de ses successeurs.

« Que disait la nouvelle physique? Les terres, les liquides, l'air sont soumis à l'action de la gravité; que devenait le quatrième élément des anciens, le feu, substance à laquelle la physique rapportait de plus en plus les phénomènes calorifiques? Fallait-il croire, avec l'antiquité si reniée, si souvent prise en défaut, que cette substance était sans pesanteur? Tout n'engageait-il pas plutôt à généraliser, pour ce quatrième élément, l'action de la gravité, vérifiée pour les trois autres, et à admettre que le feu était un fluide pondérable comme l'air? »

La balance, l'instrument par excellence de la chimie pour suivre les molécules des corps matériels, étudier les transformations et en découvrir les lois, ne pouvait donc être vraiment utilisée avec confiance qu'après la conception des fluides

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

impondérables. Ce fut l'œuvre ébauchée par Stahl et définitivement accomplie par Lavoisier.

Ce fut vers la fin du XVII^e^ siècle que Stahl formula sa célèbre théorie du phlogistique qui fut généralement adoptée. Le phlogistique était, suivant lui, un principe contenu dans tous les corps susceptibles de brûler. Lorsque le corps entrait en combustion, il dégageait le phlogistique qu'il contenait, et le résidu dépourvu de ce principe était incombustible. Ainsi le fer était considéré comme un composé de phlogistique et de chaux de fer (oxyde de fer); lorsqu'on le faisait brûler, le phlogistique se dégageait, et il restait de la chaux de fer ; si au contraire on soumettait à une température élevée de la chaux de fer mélangée avec du charbon, on obtenait du fer métallique formé de phlogistique et de chaux de fer, parce que, dans ce cas, le charbon avait cédé à l'oxyde de fer toute la quantité de phlogistique que cet oxyde avait perdue pendant la combustion.

La chaleur et la lumière qui apparaissaient lors du dégagement du phlogistique se confondaient avec celui-ci, imaginé uniquement pour expliquer leur apparition. Ce système inspiré par un sentiment vrai de la réalité, par l'apparition du feu lors de la réaction, expliquait peu de chose toutefois, et n'ajoutait guère à la simple description du phénomène lui-même. Sans doute cette conception ouvait une ère nouvelle, et, comme il vient d'être dit, permettait de construire l'édifice de la chimie en introduisant la balance dans les recherches, en vulgarisant la notion d'impondérabilité qui ne fut admise que par quelques chimistes. Au point de vue de la théorie de la chaleur, la conséquence forcée de la théorie était, puisque la combustion d'un corps en faisait dégager un principe, que son poids devait, ou diminuer, ou au plus rester constant, en admettant l'impondérabilité du phlogistique.

Cet édifice dut donc s'écrouler lorsque Lavoisier eut démontré qu'un corps augmentait de poids par la combustion ; que celle-ci consistait dans la combinaison du corps combustible avec le gaz oxygène, et qu'il eut constaté que le poids final est celui du corps augmenté de celui de l'oxygène.

Passons à cette théorie, où Lavoisier a fait entrer à la fois la notion d'impondérabilité de la chaleur acquise par les progrès de la chimie, et aussi la connaissance des phénomènes de chaleur latente que Black avait su découvrir et mesurer, une des plus

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

importantes découvertes des temps modernes, un des plus grands pas qui aient été faits pour arriver à constituer une théorie satisfaisante de la chaleur.

2° Lavoisier.

La doctrine que Lavoisier a formulée, ou plutôt qui résulte de l'analyse qu'il a faite des phénomènes de la chaleur avec une netteté, une précision parfaite, est celle qui a été admise sans contestation jusque dans ces derniers temps, et qu'admettent encore implicitement beaucoup de chimistes. Les mots mêmes employés aujourd'hui datent de ce travail. C'est au début de son *Traité élémentaire de Chimie*, publié en 1789, que ce puissant génie a placé cette analyse. Elle est si capitale à tous les points de vue qu'on nous saura gré de reproduire ici le premier chapitre de ce bel ouvrage, trop oublié par nos générations.

CHAPITRE PREMIER.

Des combinaisons du calorique et de la formation des fluides élastiques aériformes.

C'est un phénomène constant dans la nature, et dont la généralité a été bien établie par Boerhaave, que lorsqu'on échauffe un corps quelconque, solide ou fluide, il augmente de dimension dans tous les sens. Les faits sur lesquels on s'est fondé pour restreindre la généralité de ce principe ne présentent que des résultats illusoires, ou du moins dans lesquels se compliquent des circonstances étrangères qui en imposent; mais lorsqu'on est parvenu à séparer les effets et à les rapporter chacun à la cause à laquelle ils appartiennent, on s'aperçoit que l'écartement des molécules par la chaleur est une loi générale et constante de la nature.

Si, après avoir échauffé jusqu'à un certain point un corps solide, et en avoir ainsi écarté de plus en plus toutes les molécules, on le laisse refroidir, ces mêmes molécules se rapprochent les unes des autres, dans la même proportion suivant laquelle elles avaient été écartées; le corps repasse par les mêmes degrés d'extension qu'il avait parcourus, et si on le ramène à la même température qu'il avait en commençant l'expérience, il reprend sensiblement le volume qu'il avait d'abord. Mais comme nous sommes bien éloignés de pouvoir obtenir un degré de froid absolu, comme nous ne connaissons aucun degré de refroidissement que nous ne puissions supposer susceptible d'être augmenté, il en résulte que nous n'avons pas encore pu parvenir à rapprocher le plus qu'il est possible les molécules d'aucun corps, et que, par conséquent, les molécules d'aucun corps ne se touchent dans la nature; conclusion très-singulière, et à laquelle cependant il est impossible de se refuser.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On conçoit que les molécules des corps étant ainsi continuellement sollicitées par la chaleur à s'écarter les unes des autres, elles n'auraient aucune liaison entre elles, et qu'il n'y aurait aucun corps solide, si elles n'étaient retenues par une autre force qui tendît à les réunir, et pour ainsi dire à les enchaîner, et cette force, quelle qu'en soit la cause, a été nommée attraction.

Ainsi les molécules des corps peuvent être considérées comme obéissant à deux forces, l'une répulsive, l'autre attractive, entre lesquelles elles sont en équilibre. Tant que la dernière de ces forces, l'attraction, est victorieuse, le corps demeure dans l'état solide; si, au contraire, l'attraction est la plus faible, si la chaleur a tellement écarté les unes des autres les molécules du corps, qu'elles soient hors de la sphère d'activité de leur attraction, elles perdent l'adhérence qu'elles avaient entre elles, et le corps cesse d'être un solide.

L'eau nous présente continuellement un exemple de ces phénomènes : au-dessous de zéro du thermomètre français, elle est dans l'état solide, et elle porte le nom de glace; au-dessus de ce même terme, ses molécules cessent d'être retenues par leur attraction réciproque, et elle devient ce qu'on appelle un liquide; enfin, au-dessus de 80 degrés R., ses molécules obéissent à la répulsion occasionnée par la chaleur, l'eau prend l'état de vapeur ou de gaz, et elle se transforme en un fluide aériforme.

On en peut dire autant de tous les corps de la nature; ils sont ou solides, ou liquides, ou dans l'état élastique et aériforme, suivant le rapport qui existe entre la force attractive de leurs molécules et la force répulsive de la chaleur, ou, ce qui revient au même, suivant le degré de chaleur auquel ils sont exposés.

Il est difficile de concevoir ces phénomènes sans admettre qu'ils sont l'effet d'une substance réelle et matérielle, d'un fluide très-subtil qui s'insinue à travers les molécules de tous les corps et qui les écarte; et en supposant même que l'existence de ce fluide fût une hypothèse, on verra dans la suite qu'elle explique d'une manière très-heureuse les phénomènes de la nature.

Cette substance, quelle qu'elle soit, étant la cause de la chaleur, ou, en d'autres termes, la sensation que nous appelons chaleur étant l'effet de l'accumulation de cette substance, on ne peut pas, dans un langage rigoureux, la désigner par le nom de chaleur, parce que la même dénomination ne peut pas exprimer la cause et l'effet. C'est ce qui m'avait déterminé, dans le Mémoire que j'ai publié en 1777 (Recueil de l'Académie, p. 420), à la désigner sous le nom de fluide igné et de matière de la chaleur. Depuis, dans le travail que nous avons fait en commun, M. de Morveau, M. Berthollet, M. de Fourcroy et moi, sur la réforme du langage chimique, nous avons cru devoir bannir ces périphrases qui allongent le discours, qui le rendent plus traînant, moins précis, moins clair, et qui

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

souvent même ne comportent pas des idées suffisamment justes. Nous avons, en conséquence, désigné la cause de la chaleur, le fluide éminemment élastique qui la produit, par le nom de *calorique*. Indépendamment de ce que cette expression remplit notre objet dans le système que nous avons adopté, elle a encore un autre avantage, c'est de pouvoir s'adapter à toutes sortes d'opinions, puisque, rigoureusement parlant, nous ne sommes pas même obligés de supposer que le calorique soit une matière réelle : il suffit, comme on le sentira mieux par la lecture de ce qui va suivre, que ce soit une cause répulsive quelconque qui écarte les molécules de la matière, et l'on peut ainsi en envisager les effets d'une manière abstraite et mathématique.

La lumière est-elle une modification du calorique, ou bien le calorique est-il une modification de la lumière? C'est sur quoi il est impossible de prononcer dans l'état actuel de nos connaissances. Ce qu'il y a de certain, c'est que, dans un système où l'on s'est fait une loi de n'admettre que des faits, et où l'on évite autant qu'il est possible de rien supposer au delà de ce qu'ils présentent, on doit provisoirement désigner par des noms différents ce qui produit des effets différents. Nous distinguerons donc la lumière du calorique ; mais nous n'en conviendrons pas moins que la lumière et le calorique ont des qualités qui leur sont communes, et que dans quelques circonstances ils se combinent à peu près de la même manière, et produisent une partie des mêmes effets.

Ce que je viens de dire suffirait déjà pour bien déterminer l'idée qu'on doit attacher au mot de *calorique*. Mais il me reste une tâche plus difficile à remplir : c'est de donner des idées justes de la manière dont le calorique agit sur les corps. Puisque cette matière subtile pénètre à travers les pores de toutes les substances que nous connaissons, puisqu'il n'existe pas de vases à travers lesquels elle ne s'échappe, et qu'il n'en est par conséquent aucun qui puisse la contenir sans perte, on ne peut en connaître les propriétés que par des effets qui, la plupart, sont fugitifs et difficiles à saisir. C'est sur les choses qu'on ne peut ni voir ni palper qu'il est surtout important de se tenir en garde contre les écarts de l'imagination, qui tend toujours à s'élancer au delà du vrai, et qui a bien de la peine à se renfermer dans le cercle étroit que les faits lui circonscrivent.

Nous venons de voir que le même corps devenait solide ou liquide, ou fluide aériforme, suivant la quantité de calorique dont il était pénétré, ou, pour parler d'une manière plus rigoureuse, suivant que la force répulsive du calorique était égale à l'attraction de ses molécules, ou qu'elle était plus forte ou plus faible qu'elle.

Mais s'il n'existait que ces deux forces, les corps ne seraient liquides qu'à un degré indivisible du thermomètre, et ils passeraient brusquement de l'état de solide à celui de fluide élastique aériforme. Ainsi l'eau, par exemple, à l'instant même où elle cesse d'être glace, commencerait à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bouillir; elle se transformerait en un fluide aériforme, et ses molécules s'écarteraient indéfiniment dans l'espace. S'il n'en est pas ainsi, c'est qu'une troisième force, la pression de l'atmosphère, met obstacle à cet écartement, et c'est par cette raison que l'eau demeure dans l'état fluide depuis zéro jusqu'à 80 degrés du thermomètre français; la quantité de calorique qu'elle reçoit dans cet intervalle est insuffisante pour vaincre l'effort occasionné par la pression de l'atmosphère.

On voit donc que, sans la pression de l'atmosphère, nous n'aurions pas de liquide constant; nous ne verrions les corps dans cet état qu'au moment précis où ils se fondent : la moindre augmentation de chaleur qu'ils recevraient ensuite en écarterait sur-le-champ les parties et les disperserait. Il y a plus : sans la pression de l'atmosphère, nous n'aurions pas, à proprement parler, de fluides aériformes. En effet, au moment où la force de l'attraction serait vaincue par la force répulsive du calorique, les molécules s'éloigneraient indéfiniment, sans que rien limitât leur écartement, si ce n'est leur propre pesanteur, qui les rassemblerait pour former une atmosphère.

De simples réflexions sur les expériences les plus connues suffisent pour faire apercevoir la vérité de ce que je viens d'énoncer. Elle se trouve d'ailleurs confirmée d'une manière évidente par l'expérience qui suit, dont j'ai déjà donné le détail à l'Académie (voy. Mém., p. 426).

On remplit d'éther sulfurique un petit vase de verre étroit. Ce vase ne doit pas avoir plus de 12 à 15 lignes de diamètre et environ 2 pouces de hauteur. On couvre ce vase avec une vessie humectée, qu'on assujettit autour du col du vase par un grand nombre de tours de gros fil bien serrés ; pour plus grande sûreté, on remet une seconde vessie par-dessus la première, et on l'assujettit de la même manière. Ce vase doit être tellement rempli d'éther qu'il ne reste aucune portion d'air entre la liqueur et la vessie; on le place ensuite sous le récipient d'une machine pneumatique, dont le haut doit être garni d'une boîte à cuir traversée par une tige dont l'extrémité se termine en une pointe ou lame très-aiguë.

Lorsque tout est ainsi disposé, on fait le vide sous le récipient; puis, en faisant descendre la tige pointue, on crève la vessie. Aussitôt l'éther commence à bouillir avec une étonnante rapidité; il se vaporise et se transforme en un fluide élastique aériforme qui occupe tout le récipient. Si la quantité d'éther est assez considérable pour que, la vaporisation finie, il en reste encore quelques gouttes dans la fiole, le fluide élastique qui s'est produit est susceptible de soutenir le baromètre adapté à la machine pneumatique à 8 ou 10 pouces environ pendant l'hiver, et à 20 et 25 pouces pendant les chaleurs de l'été. On peut, pour rendre cette expérience plus complète, introduire un petit thermomètre dans le vase qui contient l'éther, et l'on s'aperçoit qu'il descend considérablement pendant tout le temps que dure la vaporisation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On ne fait autre chose, dans cette expérience, que de supprimer le poids de l'atmosphère, qui, dans l'état ordinaire, pèse sur la surface de l'éther, et les effets qui en résultent prouvent évidemment deux choses : la première, qu'au degré de température dans lequel nous vivons, l'éther serait constamment dans l'état d'un fluide aériforme si la pression de l'atmosphère n'y mettait obstacle. La seconde, que ce passage de l'état liquide à l'état aériforme est accompagné d'un refroidissement considérable, par la raison que, pendant la vaporisation, une partie du calorique, qui était dans un état de liberté, ou au moins d'équilibre, dans les corps environnants, se combine avec l'éther pour le porter à l'état de fluide aériforme.

La même expérience réussit avec tous les fluides évaporables, tels que l'esprit-de-vin ou alcool, l'eau et le mercure même, avec cette différence cependant que l'atmosphère d'alcool qui se forme sous le récipient ne peut soutenir le baromètre adapté à la machine pneumatique, en hiver, qu'à un pouce au-dessus de son niveau, et à 4 ou 5 en été ; que l'eau ne le soutient qu'à quelques lignes, et le mercure à quelques fractions de ligne. Il y a donc moins de fluide vaporisé lorsqu'on opère avec l'alcool que lorsqu'on opère avec l'éther ; moins encore avec l'eau, et surtout avec le mercure : par conséquent, moins de calorique employé et moins de refroidissement, ce qui cadre parfaitement avec le résultat des expériences [1].

Un autre genre d'expérience prouve encore d'une manière aussi évidente que l'état aériforme est une modification des corps, et qu'elle dépend du degré de température et de pression qu'ils éprouvent.

Nous avons fait voir, M. de Laplace et moi, dans un Mémoire que nous avons lu à l'Académie en 1777, mais qui n'a pas été imprimé, que lorsque l'éther était soumis à une pression de 28 pouces de mercure, c'est-à-dire à une pression égale à celle de l'atmosphère, il entrait en ébullition à 32 ou 33 degrés du thermomètre de mercure. M. de Luc, qui a fait des recherches analogues sur l'esprit-de-vin, a reconnu qu'il entrait en ébullition à 67 degrés. Enfin, tout le monde sait que l'eau commence à bouillir à 80 degrés. L'ébullition n'étant autre chose que la vaporisation d'un fluide, ou le moment de son passage de l'état liquide à celui d'un fluide élastique aériforme, il était évident qu'en tenant constamment de l'éther à une température supérieure à 33 degrés et au degré habituel de pression de l'atmosphère, on devait l'obtenir dans l'état d'un fluide aériforme ; que la même chose devait arriver à l'esprit-de-vin au-dessus de 66 degrés, et

[1] Lavoisier arrive, par expérience, à modifier ce qu'avait de trop absolu le principe posé précédemment, qu'il n'y aurait pas de liquide dans le vide. Il reconnaît que cela est moins admissible pour le mercure que pour l'éther à la température ordinaire, et, par suite, tend à limiter sa proposition au cas d'une température convenable. Le mercure, à basse température, ne donne aucune trace de vapeur dans le vide barométrique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à l'eau au-dessus de 80 : c'est ce qui s'est trouvé parfaitement confirmé par les expériences.

Tous ces faits particuliers, dont il me serait facile de multiplier les exemples, m'autorisent à faire un principe général de ce que j'ai déjà annoncé plus haut, que presque tous les corps de la nature sont susceptibles d'exister dans trois états différents : dans l'état de solidité, dans l'état de liquidité et dans l'état aériforme, et que ces trois états d'un même corps dépendent de la quantité de calorique qui lui est combinée. Je désignerai dorénavant ces fluides aériformes sous le nom générique de *gaz*, et je dirai en conséquence que dans toute espèce de gaz on doit distinguer le calorique, qui fait en quelque façon l'office de dissolvant, et la substance qui est combinée avec lui et qui forme sa base.

C'est à ces bases des différents gaz, qui sont encore peu connues, que nous avons été obligés de donner des noms. Je les indiquerai dans le chapitre IV de cet ouvrage, après que j'aurai rendu compte de quelques phénomènes qui accompagnent l'échauffement et le refroidissement des corps, et que j'aurai donné des idées plus précises sur la constitution de notre atmosphère.

Nous avons vu que les molécules de tous les corps de la nature étaient dans un état d'équilibre entre l'attraction, qui tend à les rapprocher et à les réunir, et les efforts du calorique, qui tend à les écarter. Ainsi, non-seulement le calorique environne de toutes parts les corps, mais encore il remplit les intervalles que leurs molécules laissent entre elles. On se formera une idée de ces dispositions si l'on se figure un vase rempli de petites balles de plomb, et dans lequel on verse une substance en poudre très-fine, telle que du sablon : on conçoit que cette substance se répandra uniformément dans les intervalles que les balles laissent entre elles et les remplira. Les balles, dans cet exemple, sont au sablon ce que les molécules des corps sont au calorique, avec cette différence que dans l'exemple cité les balles se touchent, au lieu que les molécules des corps ne se touchent pas, et qu'elles sont toujours maintenues à une petite distance les unes des autres par l'effort du calorique.

Si à des balles, dont la figure est ronde, on substituait des hexaèdres, des octaèdres, ou des corps d'une figure régulière quelconque et d'une égale solidité, la capacité des vides qu'ils laisseraient entre eux ne serait plus la même, et l'on ne pourait plus y loger une aussi grande quantité de sablon. La même chose arrive à l'égard de tous les corps de la nature ; les intervalles que leurs molécules laissent entre elles ne sont pas tous d'une égale capacité : cette capacité dépend de la figure de ces molécules, de leur grosseur, et de la distance les unes des autres à laquelle elles sont maintenues, suivant le rapport qui existe entre leur force d'attraction et la force répulsive qu'exerce le calorique.

C'est dans ce sens qu'on doit entendre cette expression : *capacité des*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

corps pour contenir la matière de la chaleur ; expression fort juste, introduite par les physiciens anglais, qui ont eu les premiers des notions exactes à cet égard. Un exemple de ce qui se passe dans l'eau et quelques réflexions sur la manière dont ce fluide mouille et pénètre les corps rendront ceci plus intelligible : on ne saurait trop s'aider, dans les choses abstraites, de comparaisons sensibles.

Si l'on plonge dans l'eau des morceaux de différents bois égaux en volume, d'un pied cube, par exemple, ce fluide s'introduira peu à peu dans leurs pores, ils se gonfleront, et augmenteront de poids; mais chaque espèce de bois admettra dans ses pores une quantité d'eau différente : les plus légers et les plus poreux en logeront davantage; ceux qui seront compactes et serrés n'en laisseront pénétrer qu'une très-petite quantité; enfin, la proportion d'eau qu'ils recevront dépendra encore de la nature des molécules constituantes du bois, de l'affinité plus ou moins grande qu'elles auront avec l'eau, et les bois très-résineux, par exemple, quoique très-poreux, en admettront très-peu. On pourra donc dire que les différentes espèces de bois ont une capacité différente pour recevoir de l'eau; on pourra même connaître, par l'augmentation de poids, la quantité qu'ils en auront absorbée; mais comme on ignorera la quantité d'eau qu'ils contenaient avant leur immersion, il ne sera pas possible de connaître la quantité absolue qu'ils en contiendront en en sortant.

Les mêmes circonstances ont lieu à l'égard des corps qui sont plongés dans le calorique, en observant cependant que l'eau est un fluide incompressible, tandis que le calorique est doué d'une grande élasticité; ce qui signifie, en d'autres termes, que les molécules du calorique ont une grande tendance à s'écarter les unes des autres quand une force quelconque les a obligées de se rapprocher, et l'on conçoit que cette circonstance doit apporter des changements très-notables dans les résultats.

Les choses amenées à ce point de clarté et de simplicité, il me sera aisé de faire entendre quelles sont les idées qu'on doit attacher à ces expressions : *calorique libre* et *calorique combiné*, *quantité spécifique de calorique* contenue dans les différents corps, *capacité pour contenir le calorique*, *chaleur latente*, *chaleur sensible*, toutes expressions qui ne sont point synonymes, mais qui, d'après ce que je viens d'exposer, ont un sens strict et déterminé. C'est ce sens que je vais chercher encore à fixer par quelques définitions.

Le *calorique libre* est celui qui n'est engagé dans aucune combinaison. Comme nous vivons au milieu d'un système de corps avec lesquels le calorique a de l'adhérence, il en résulte que nous n'obtenons jamais ce principe dans l'état de liberté absolue.

Le *calorique combiné* est celui qui est enchaîné dans les corps par la force d'affinité ou d'attraction, et qui constitue une partie de leur substance, même de leur solidité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On entend par cette expression : *calorique spécifique* des corps, la quantité de calorique respectivement nécessaire pour élever d'un même nombre de degrés la température de plusieurs corps égaux en poids. Cette quantité de calorique dépend de la distance des molécules des corps, de leur adhérence plus ou moins grande; et c'est cette distance, ou plutôt l'espace qui en résulte qu'on a nommé, comme je l'ai déjà observé, *capacité pour contenir le calorique.*

La *chaleur* considérée comme sensation, ou, en d'autres termes, la *chaleur sensible*, n'est que l'effet produit sur nos organes par le passage du calorique qui se dégage des corps environnants. En général, nous n'éprouvons de sensation que par un mouvement quelconque, et l'on pourrait poser comme un axiome : *Point de mouvement, point de sensation.* Ce principe général s'applique naturellement au sentiment du froid et du chaud. Lorsque nous touchons un corps froid, le calorique, qui tend à se mettre en équilibre dans tous les corps, passe de notre main dans le corps que nous touchons, et nous éprouvons la sensation du froid. L'effet contraire arrive lorsque nous touchons un corps chaud : le calorique passe du corps à notre main, et nous avons la sensation de la chaleur. Si le corps et la main sont du même degré de température, ou à peu près, nous n'éprouvons aucune sensation, ni de froid, ni de chaud, parce qu'alors il n'y a point de mouvement, point de transport de calorique, et qu'encore une fois il n'y a pas de sensation sans un mouvement qui l'occasionne.

Lorsque le thermomètre monte, c'est une preuve qu'il y a du calorique libre qui se répand dans les corps environnants; le thermomètre, qui est au nombre de ces corps, en reçoit sa part, en raison de sa masse et de la capacité qu'il a lui-même pour contenir le calorique. Le changement qui arrive dans le thermomètre n'annonce donc qu'un déplacement de calorique, qu'un changement arrivé à un système de corps dont il fait partie; il n'indique tout au plus que la portion de calorique qu'il a reçue, mais il ne mesure pas la quantité totale qui a été dégagée, déplacée ou absorbée. Le moyen le plus simple et le plus exact pour remplir ce dernier objet est celui imaginé par M. de Laplace, et qui est décrit dans les Mémoires de l'Académie, année 1780 [1]. Il consiste à placer le corps ou la combinaison d'où se dégage le calorique au milieu d'une sphère creuse de glace : la quantité de glace fondue est une expression exacte de la quantité de calorique qui s'est dégagée. On peut, à l'aide de l'appareil que nous avons fait construire d'après cette idée, connaître, non pas comme on l'a prétendu, la capacité qu'ont les corps pour contenir le calorique, mais le rapport des augmentations ou diminutions que reçoivent ces capacités par

[1] La substitution de la mesure des quantités de chaleur aux degrés de température, accomplie pour la première fois dans cet appareil, est un des plus grands progrès dus à la collaboration des deux illustres savants.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des nombres déterminés de degrés du thermomètre. Il est facile, avec le même appareil et par diverses combinaisons d'expériences, de connaître la quantité de calorique nécessaire pour convertir les corps solides en liquides et ceux-ci en fluides aériformes, et réciproquement ce que les fluides élastiques abandonnent de calorique quand ils redeviennent liquides, et ceux-ci quand ils redeviennent solides. On pourra donc parvenir un jour, lorsque les expériences auront été assez multipliées, à déterminer le rapport de calorique qui constitue chaque espèce de gaz.

Je rendrai compte dans un chapitre particulier des principaux résultats que nous avons obtenus en ce genre [1].

Il me reste, en finissant cet article, à dire un mot sur la cause de l'élasticité des gaz et des fluides en vapeurs. Il n'est pas difficile d'apercevoir que cette élasticité tient à celle du calorique, qui paraît être le corps éminemment élastique de la nature. Rien de plus simple que de concevoir qu'un corps devient élastique en se combinant avec un autre qui est lui-même doué de cette propriété. Mais il faut convenir que c'est expliquer l'élasticité par l'élasticité ; qu'on ne fait par là que reculer la difficulté, et qu'il reste toujours à expliquer ce que c'est que l'élasticité, et pourquoi le calorique est élastique. En considérant l'élasticité dans un sens abstrait, elle n'est autre chose que la propriété qu'ont les molécules d'un corps de s'éloigner les unes des autres lorsqu'on les a forcées de s'approcher. Cette tendance qu'ont les molécules du calorique à s'écarter a lieu même à de fort grandes distances. On en sera convaincu si l'on considère que l'air est susceptible d'un grand degré de compression ; ce qui suppose que ses molécules sont déjà très-éloignées les unes des autres, car la possibilité de se rapprocher suppose une distance au moins égale à la quantité du rapprochement. Or ces molécules de l'air, qui sont déjà très-éloignées entre elles, tendent encore à s'éloigner davantage : en effet, si on fait le vide de Boyle dans un très-vaste récipient, les dernières portions d'air qui y restent se répandent uniformément dans toute la capacité du vase, quelque grand qu'il soit ; elles le remplissent en entier et pressent contre ses parois : or cet effet ne peut s'expliquer qu'en supposant que les molécules font un effort en tout sens pour s'écarter, et l'on ne connaît point la distance à laquelle ce phénomène s'arrête.

Il y a donc une véritable répulsion entre les molécules des fluides élastiques, *ou du moins les choses se passent de la même manière que si cette répulsion avait lieu* [2], et l'on aurait quelque droit d'en conclure que les molécules du calorique se repoussent les unes les autres. Cette force de

[1] Notamment la mesure des quantités de chaleur devenues sensibles par la combustion des principaux corps.

[2] Imitation excellente de la manière dont Newton définit l'attraction universelle.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

répulsion une fois admise, les explications relatives à la formation des fluides aériformes, ou gaz, deviendraient fort simples; mais il faut convenir en même temps qu'une force répulsive entre des molécules très-petites qui agit à de grandes distances est difficile à concevoir.

Il paraîtrait peut-être plus naturel de supposer que les molécules du calorique s'attirent plus entre elles que ne le font les molécules des corps, et qu'elles ne les écartent que pour obéir à la force d'attraction qui les oblige de se réunir. Il se passe quelque chose d'analogue à ce phénomène quand on plonge une éponge sèche dans de l'eau : elle se gonfle, ses molécules s'écartent les unes des autres, et l'eau remplit tous les intervalles. Il est clair que cette éponge, en se gonflant, a acquis plus de capacité pour contenir de l'eau qu'elle n'en avait auparavant; mais peut-on dire que l'introduction de l'eau entre ses molécules leur ait communiqué une force répulsive qui tende à les écarter les unes des autres? Non, sans doute; il n'y a, au contraire, que des forces attractives qui agissent dans ce cas, et ces forces sont : 1° la pesanteur de l'eau et l'action qu'elle exerce en tout sens, comme tous les fluides; 2° la force attractive des molécules de l'eau les unes à l'égard des autres; 3° la force attractive des molécules de l'éponge entre elles; enfin, l'attraction réciproque des molécules de l'eau et de celles de l'éponge. Il est aisé de concevoir que c'est de l'intensité et du rapport de toutes ces forces que dépend l'explication du phénomène. Il est probable que l'écartement des molécules des corps par le calorique tient de même à une combinaison de différentes forces attractives, et c'est le résultat de ces forces que nous cherchons à exprimer d'une manière plus concise et plus conforme à l'état d'imperfection de nos connaissances, lorsque nous disons que le calorique communique une force répulsive aux molécules des corps.

Ce beau chapitre mérite de rester dans la science comme un modèle excellent de méthode. Les faits y sont exposés avec une netteté parfaite, et toutes les fois que l'explication ne peut sortir que d'une extension de déductions indiquées par les faits, l'auteur a grand soin de faire bien remarquer qu'il s'agit alors d'une hypothèse. C'est ce qu'il dit même en définissant le calorique, dont l'existence devait paraître si naturelle à l'époque où le système de l'émission régnait sans conteste pour l'explication des phénomènes lumineux. De même l'hypothèse de la répulsion, malgré la vérification des faits, ne le satisfait pas, et il semble se méfier des déductions exagérées que l'on pourrait tirer du mode d'explication des faits qui lui paraît le meilleur.

C'est qu'en effet il faut bien, quand une théorie est établie, chercher à s'en servir pour prévoir, mesurer les effets, et alors

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

souvent on arrive à des conséquences que l'hypothèse primitive ne comportait pas, si elle n'est qu'un mode de classer des faits connus, si elle n'est pas une loi naturelle, ne pouvant, par suite, être en contradiction avec aucun.

Or, si l'on tire les conséquences des principes posés par Lavoisier, ce qu'il n'eut malheureusement pas le temps de faire complétement lui-même, si l'on applique la conception du calorique, fluide impondérable, doué d'une grande élasticité et susceptible de se combiner avec les corps, on arrive à une application directe de la théorie de la chaleur latente. Si l'oxygène prend l'état gazeux en se combinant avec une grande quantité de calorique qui cesse d'être sensible, inversement il ne peut passer à l'état liquide sans dégager le calorique qui le maintenait à l'état gazeux; si de liquide il devenait solide, il abandonnerait une nouvelle quantité de chaleur et de lumière, en sorte que l'on doit poser en principe que, dans la combustion, l'effet calorifique est en raison du changement d'état plus ou moins marqué des corps combinés. Telle est la théorie de la production de la chaleur qui a été admise universellement à l'époque où les grandes découvertes de son auteur renouvelaient la chimie.

Pour vérifier cette explication, il faudrait constater toutes les fois que de la chaleur apparait une condensation assez grande pour produire le dégagement de chaleur observé. Or, il est loin d'en être toujours ainsi. Dans la combustion du phosphore, du fer, dans la formation des oxydes des métaux, où le résidu est solide, cette condition parait, il est vrai, à peu près remplie, bien qu'on n'ait jamais vérifié si la quantité de chaleur dégagée dans ces circonstances correspond réellement à la condensation de l'oxygène qui en serait l'origine; mais à l'égard des combustions qui s'opèrent entre corps solides et donnent de grands volumes gazeux, lors de l'explosion de la poudre à canon par exemple, l'explication est évidemment en défaut. Comme, au lieu d'une condensation, on n'observe qu'une dilatation considérable, la théorie de Lavoisier indique qu'il devrait se produire du froid, quand au contraire l'expérience constate le dégagement de très-grandes quantités de chaleur.

Cette objection est tellement capitale qu'on a généralement abandonné la théorie de Lavoisier, pour expliquer les faits de chaleur; mais le bel exposé rapporté ci-dessus des phénomènes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui accompagnent l'action de la chaleur sur les corps n'en est pas moins conforme aux faits, et tout système nouveau est tenu de donner une explication satisfaisante des faits capitaux indiqués dans ce résumé.

Dans ces derniers temps, on a cherché à reprendre et compléter la théorie du calorique ou celle du phlogistique. Un chimiste distingué, M. Henri Deville, vient de publier le commencement d'un grand travail entrepris dans ce but. Il est difficile d'en donner une idée d'après la première note publiée par ce savant. Nous tenterons toutefois d'indiquer la direction de ses recherches, en reproduisant les deux passages suivants :

« J'appelle, dit-il, chaleur latente ou phlogistique, la somme de chaleur emmagasinée dans les corps. Cette chaleur latente n'est donc pas seulement celle qui fait varier l'état des corps; je ferai remarquer à ce propos, qu'en supposant autour des molécules et même entre les molécules intégrantes des corps composés une atmosphère calorifique, je ne fais que reproduire l'hypothèse des atmosphères électriques d'Ampère....

« Lorsque Lavoisier, dit-il encore, eut détruit le système de Stahl, on ne lui laissa pas le temps d'expliquer les phénomènes physiques de la combustion. Si du phlogistique on dégage l'oxygène, on voit qu'il n'y reste plus que de la chaleur latente, et dès lors les idées de Stahl deviennent absolument justes. Les corps simples sont des composés de chaleur et de matière : la chaleur se dégage par la combinaison et le composé devient de plus en plus stable et inerte au fur et à mesure que, s'étant plus entièrement combiné, il a perdu plus de chaleur, ce qui fait que le sulfate de baryte est un corps qu'on ne peut plus *ouvrir*, suivant l'expression allemande, qu'en le soumettant aux températures les plus élevées. L'affinité étant la cause, la chaleur dégagée est l'effet produit par cette force et lui est proportionnel, d'où il suit que, si l'on veut prendre l'effet pour la cause ou la cause pour l'effet, ce qui est permis ici, on arrive à admettre que l'affinité (en intensité) n'est pas autre chose que la quantité de chaleur latente ou phlogistique enfermée dans les corps..... »

Autant qu'on peut apprécier ce système aujourd'hui, l'auteur complète le système de Lavoisier en douant les molécules d'une quantité de chaleur propre, indépendamment, en quelque sorte, de celle qui répond à l'état physique du corps. A l'aide de cette hypothèse, il peut dans les cas où la théorie de Lavoisier est en défaut, par insuffisance de la chaleur répondant à l'état physique du composé, faire appel à cette quantité accessoire pour expliquer les faits. Rien cependant ne conduit à admettre que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la chaleur qui apparaît dans les réactions était adhérente aux molécules des corps, et qu'une partie de cette chaleur peut être sans relations avec leur état physique.

Dans une partie expérimentale, M. Deville cherche à déterminer les effets calorifiques produits lors du mélange de liquides ayant des actions chimiques mutuelles, par exemple par de l'acide sulfurique auquel on ajoute 1, 2, 3, 4... équivalents d'eau par équivalent d'acide.

« La chaleur sensible, dit-il, dégagée par deux corps qui se combinent sans changer d'état, et en se contractant comme l'acide sulfurique, doit être fournie par la chaleur latente qu'exhalent ces deux corps au moment de la combinaison, et cette chaleur est égale à celle que perd le composé pour passer de la température à laquelle s'est opérée la réaction à la température initiale. Il suffira donc, quand il n'y aura pas de perte de forces vives, de connaître le coefficient de dilatation du corps composé et sa contraction déduite de la densité de ses éléments, pour connaître la température à laquelle le corps composé prendra le volume de ses éléments, et par suite la température de la réaction. Mais de même que dans les machines il y a des pertes de forces vives, de même dans les combinaisons chimiques il y a des pertes de forces vives ou de température, qu'on peut calculer par la règle que j'ai donnée : c'est de la chaleur perdue ou plutôt rendue latente en vertu de causes tout à fait connues. Ainsi la dissolution étant une cause de froid, toutes les fois qu'il y aura en même temps combinaison et dissolution, il y aura dégagement de chaleur, mais aussi perte de forces vives..... »

Je reviendrai plus loin sur cette perte de forces vives dans les machines, qui est posée ici comme un axiome, et qui cependant n'a rien de réel, n'est vraie qu'autant qu'on se borne à considérer un genre d'effets déterminé à l'exclusion de tout autre.

Les expériences laborieusement poursuivies de l'habile chimiste l'amèneront peut-être à des découvertes précieuses; mais, dans son état actuel, le système qu'il tend à formuler ne paraît pas reposer sur des fondements bien solides, être susceptible de fournir les résultats qu'on doit retirer d'une bonne théorie, c'est-à-dire non pas seulement de représenter à peu près les phénomènes en général, mais de fournir le moyen de prévoir les faits et de mesurer les effets produits.

3° Berzélius.

Pour terminer l'exposé des théories de la chaleur engendrées

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par les travaux des chimistes, auxquelles ils ont été conduits par leurs observations multipliées sur les transformations de la matière, il nous faut dire un mot de la théorie électro-chimique, qui, si elle est un peu oubliée aujourd'hui, a excité un instant l'engouement universel.

La décomposition des combinaisons chimiques par la pile électrique, le transport de l'oxygène et des acides au pôle positif tandis que les corps combustibles et les bases se rendent au pôle négatif, enfin le fait si remarquable de la production de l'ignition et du dégagement de la chaleur lorsque l'on réunit les pôles de la pile, sont les bases sur lesquelles repose cette théorie. « Dans l'état actuel de nos connaissances, dit Berzélius, l'explication la plus probable de la combustion et de l'ignition est que : *dans toutes combinaisons chimiques il y a neutralisation d'électricités opposées, et que cette neutralisation produit le feu, de la même manière qu'elle les produit dans les décharges de la bouteille de Leyde, de la pile et du tonnerre, sans être accompagnée, dans ces derniers phénomènes, d'une combinaison chimique.* »

Malgré tout ce que cette théorie offrait d'ingénieux, de séduisant, les progrès de la chimie ont été contraires à son adoption pour l'explication universelle des phénomènes chimiques, et elle n'est plus guère aujourd'hui qu'une réserve pour le cas où on ne peut sans elle trouver une explication satisfaisante des faits.

Au point de vue de la production de la chaleur, il est facile de voir combien cette explication est insuffisante. 1° Elle suppose qu'il y a toujours neutralisation lors d'une combinaison chimique, tandis que l'expérience démontre qu'il y a en général, au contraire, dégagement d'une grande quantité d'électricité rendue libre. C'est sur ce fait que repose la construction de la pile électrique, l'instrument par excellence pour la production de l'électricité. De même M. Becquerel a reconnu que dans la combustion du charbon il se développe beaucoup d'électricité, et rien n'indique la neutralisation d'une autre quantité. Cette neutralisation est une conception de l'esprit, née du désir d'expliquer les faits, et qui n'est pas plus l'expression exacte de la réalité que l'hypothèse des deux fluides différents, qui est aujourd'hui généralement considérée comme fort contestable.

2° Si l'électricité appartient aux atomes des corps (ce que rend difficile à admettre le changement perpétuel de rôle d'un même

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

corps tantôt électro-négatif, tantôt électro-positif, suivant le corps avec lequel il se combine, et si la chaleur est produite par la neutralisation qui se produit lors d'une combinaison, une même quantité de chaleur devrait être absorbée lorsque le même corps sortirait d'une première combinaison. Il s'ensuit que les combinaisons précédées de décompositions, comme dans les explosions, devraient dégager pas ou peu de chaleur; or, c'est le contraire qui a lieu.

3° Enfin l'expérience a parfaitement démontré qu'on devait attribuer les effets calorifiques qui apparaissent lorsqu'on réunit les pôles d'une pile uniquement à la résistance qu'oppose le conducteur au passage du courant. Ces effets varient rapidement par cette cause, en effet, et pour une même quantité d'électricité, sont proportionnels à la résistance du conducteur, tandis qu'ils devraient être constants pour la neutralisation d'une même quantité, suivant la théorie électro-chimique.

En résumé, l'explication du phénomène de la production de la chaleur par la puissance mystérieuse de l'électricité n'est pas le résultat de la discussion des faits, n'a pas d'existence réelle, ne présente pas de vérifications nombreuses qui lui donnent de la valeur. Elle est un simple aperçu provoqué par le grand nombre d'expériences qui prouvent que les phénomènes calorifiques et électriques s'accompagnent les uns les autres, ou qu'ils se provoquent mutuellement. La loi de la production de l'électricité se déduira plutôt de la connaissance plus approfondie des lois qui président aux combinaisons chimiques que celles-ci de la première.

II. THÉORIES MÉCANIQUES.

1° Newton. — Rumford.

A côté des phénomènes de transformation, de destruction apparente des substances par le feu, qui étaient surtout ceux qui devaient frapper les alchimistes, puis les chimistes, sont ceux non moins curieux que l'on doit appeler d'ordre mécanique et qui devaient appeler l'attention d'une autre catégorie de savants.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La dilatation des corps par l'effet de la chaleur, qui conduisit à la construction du thermomètre, les mouvements de l'éolipyle des anciens, les effets de la poudre à canon et ceux des volcans, en un mot, des phénomènes extrêmement nombreux montrent l'apparition simultanée d'effets mécaniques et de phénomènes calorifiques. Il devait résulter de faits d'une nature toute spéciale une manière particulière de concevoir la nature de la chaleur; toutefois, ce n'est qu'à une époque rapprochée de nous que cette nouvelle catégorie de faits est venue se traduire en même temps en applications d'une grande importance et en conceptions théoriques formulées avec précision.

Le grand Newton, qui n'a touché à aucune question sans y laisser l'empreinte du maître, s'occupa de la chaleur qu'il voyait toujours intimement liée à la lumière, objet spécial de ses recherches. Nous ne rappellerons ici qu'en passant ses études pour l'amélioration du thermomètre alors si imparfait, sachant bien que le perfectionnement de l'instrument de mesure était la condition essentielle de toute découverte scientifique, la constatation qui lui est due de la fixité des points de fusion, etc. Mais ce qui offre un bien grand intérêt, c'est de voir quelle idée se faisait de la nature de la chaleur ce grand esprit qui venait de produire le beau système de l'attraction universelle. Comme son rival perpétuel Hooke, qui s'occupa aussi de la question, il considérait la chaleur comme consistant dans des mouvements moléculaires *susceptibles de mettre l'éther en mouvement*, et cela lorsqu'il combattait le système des ondulations pour l'explication des phénomènes lumineux. C'était également l'opinion de Descartes, que la chaleur était un mouvement.

En laissant de côté, pour le moment, la seconde partie bien remarquable de la définition de Newton, nous voyons ici adopter par ce puissant esprit la plus ancienne conception de la chaleur bien différente de celle formulée par les chimistes. Suivant cette manière de voir, il n'y a dans le corps échauffé nulle portion de calorique, de fluide impondérable de plus que dans le corps froid; la différence n'est que dans le mouvement des molécules elles-mêmes. La sensation de la chaleur est bien due à un mouvement, comme le veut avec raison Lavoisier, mais c'est le mouvement des molécules des corps qui est perçu, mais nullement le flux du calorique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce fut à ce point de vue que se plaça, au commencement du siècle, le comte de Rumford, dont les nombreux travaux sur la chaleur sont malheureusement imparfaits au point de vue de la mesure des éléments, faite toujours d'une manière trop sommaire. C'est sans doute à leur forme trop peu scientifique qu'ils doivent d'avoir eu si peu d'influence, mais ils n'ont pas moins une grande valeur, partant d'un esprit éclairé, indépendant, et ils offrent beaucoup d'intérêt au point de vue historique.

J'indiquerai ici les parties les plus saillantes de ses travaux, d'après le volume publié par lui en 1804 (*Mémoires sur la chaleur*, par le comte de Rumford). Dès la première page, il indique une expérience qui lui a donné l'idée de plusieurs de ses recherches et qui est d'un grand intérêt.

« Occupé en 1778, dit-il, à faire des recherches sur la force de la poudre à canon, et la vitesse des balles projetées par les armes à feu, j'avais occasion de tirer souvent, avec des charges différentes, un canon de fusil, qui était suspendu par deux baguettes en fer dans une position horizontale, et j'eus l'occasion d'observer un phénomène qui me frappa fortement.

« Comme ces expériences avaient pour objet principal de déterminer, par le recul du canon, la vitesse avec laquelle la balle était projetée, il fallait commencer par déterminer combien le poids de la poudre qui était employée pour chasser la balle contribuait au recul; et pour décider cette question, je fis plusieurs expériences consécutives, avec la même charge de poudre, tantôt sans balle, et tantôt avec une, deux, trois, et même quatre balles, placées les unes sur les autres.

« J'étais dans l'habitude de saisir avec la main gauche le canon, aussitôt après chaque décharge, pour le tenir pendant que je l'essuiais en dedans avec une baguette garnie d'étoupes, et j'étais fort surpris de trouver que le canon était beaucoup plus échauffé par l'explosion d'une charge de poudre donnée, quand il n'y avait point de balle devant la poudre, que quand une ou plusieurs balles étaient chassées par la charge.

« Jusqu'alors j'avais regardé la chaleur qu'acquiert une arme à feu, quand on la tire, comme provenant immédiatement de celle qui résulte de la combustion de la poudre communiquée par la flamme; mais le résultat de cette expérience me fit voir que cette opinion était certainement erronée. »

Je ne suivrai pas l'auteur dans l'explication qu'il donne du fait curieux qu'il rapporte et qui mériterait certainement d'être expérimenté de nouveau. Il attribue au coup sec produit par l'explo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sion les vibrations calorifiques qui se produisent, et explique par la raison qu'il est plus sec, plus prompt dans ce cas, la plus grande chaleur engendrée par la combustion de la poudre sans balle. Cette explication n'est pas admissible; le fait observé correspond à une transformation évidente en travail d'une quantité notable de chaleur sensible. Bien étudié il eût conduit à fonder la théorie dynamique de la chaleur telle qu'on cherche à l'établir aujourd'hui, mais il ne pouvait d'aucune manière, comme le dit très-bien Rumford, s'accorder avec l'hypothèse du calorique.

Cette observation fut pour lui le point de départ d'expériences nombreuses sur le rayonnement de la chaleur, qui lui permirent d'établir que les faits pouvaient s'expliquer en considérant le corps chaud comme un centre d'ébranlement, et sur la production de la chaleur par le frottement qui donnait le moyen de produire une quantité indéfinie de chaleur sans changer aucunement la nature des corps. Je citerai ici les principaux passages du Mémoire lu par lui à l'Institut le 25 juin 1804.

Une preuve que nos connaissances sur la chaleur sont encore extrêmement bornées et imparfaites, c'est la diversité d'opinions qui existe entre les savants sur la nature de la chaleur et sa manière d'agir. Les uns la regardent comme une *substance*, les autres comme un *mouvement vibratoire* des particules de matière dont les corps sont composés.

Ceux qui ont adopté l'hypothèse d'une substance particulière calorifique, que l'on a nommée *calorique*, supposent que l'échauffement d'un corps est toujours le résultat d'une *accumulation* de cette substance dans le corps; mais ceux qui considèrent la chaleur comme un mouvement vibratoire, qui est supposé exister toujours, avec plus ou moins de vitesse, parmi les particules de tous les corps, regardent l'échauffement comme l'*accélération* de ce mouvement.

Dans l'hypothèse du mouvement vibratoire, un corps qui se trouve refroidi est censé n'avoir rien perdu, que du mouvement, dans l'autre hypothèse, il est supposé avoir subi une perte de quelque chose de matériel, c'est-à-dire du *calorique*.

Les illustres savants français qui proposèrent, il y a vingt-cinq ans, l'hypothèse moderne du calorique, loin de considérer l'existence de cet être comme démontrée, en parlent avec cette modeste réserve qui distingue toujours les hommes supérieurs. Ils proposent le mot, plutôt pour éviter les périphrases et raccourcir le langage de la science, que pour introduire une nouvelle opinion [1].

[1] Voir le passage de Lavoisier cité plus haut.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si le point en question, de l'existence ou non-existence du calorique, était moins important, on pourrait se contenter de le laisser indécis; mais l'emploi de la chaleur est si universel, et l'art de l'exciter et de la diriger est si intimement lié avec le perfectionnement de tous les arts mécaniques, et avec un grand nombre d'usages domestiques, que l'on ne peut pas se donner trop de peine pour la connaître.

Sans entrer dans les détails des différentes expériences qui ont été faites pour déterminer la nature de la chaleur, je m'attacherai dans ce Mémoire à quelques-uns des principaux résultats de ces recherches.

Un phénomène très-remarquable, et qui a dû être observé aussitôt que les hommes ont eu connaissance du feu, c'est *le rayonnement* des corps solides aussitôt qu'ils deviennent très-chauds.

Quand un corps solide, une barre de fer, par exemple, se trouve à peu près à la température de l'air de l'atmosphère, nous ne voyons ni n'apercevons rien qui indique que sa surface soit rayonnante; mais si nous l'échauffons fortement dans le feu vif d'une forge, ce corps change de couleur, — devient premièrement rouge, — et ensuite blanc, — est visible dans l'obscurité, — éclaire les corps environnants, — et échauffe sensiblement tous les corps qui sont frappés par les rayons qu'il envoie dans toutes les directions.

Si on le laisse refroidir lentement dans l'air tranquille d'une chambre obscure, on le voit de nouveau changer de couleur; — de blanc, il devient rouge, ensuite d'un rouge plus obscur, — la clarté qu'il répand diminue peu à peu, — l'intensité de ses rayons calorifiques s'affaiblit aussi en même temps, et bientôt il cesse de répandre de la clarté à l'entour de lui.

Mais il continue pourtant d'envoyer de sa surface des rayons calorifiques pendant quelque temps, après qu'il a cessé d'être lumineux, comme il est facile de s'en convaincre en lui présentant la main ouverte.

Les rayons calorifiques que les corps très-chauds envoient de leurs surfaces passent à travers l'air transparent sans l'échauffer, et ils n'échauffent pas sensiblement les corps aux surfaces desquels ils sont réfléchis.

Ces faits, très-importants, et que l'on ne doit point oublier, ont été constatés par les résultats d'un grand nombre d'expériences.

Voilà un pas de fait dans l'examen de la chaleur. Nous voyons que les corps très-chauds envoient de leurs surfaces des rayons, qui, passant (comme la lumière) à travers l'air, vont au loin exciter de la chaleur aux surfaces des corps environnants où ils frappent *sans être réfléchis*.

L'existence des rayons calorifiques dont il est question ici étant bien prouvée, et leur manière d'agir étant naturellement telle que je viens de la décrire, il s'agit de savoir si la connaissance de ces faits ne suffit point pour former une théorie de la chaleur qui expliquera tous ces phénomènes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Une théorie qui aurait l'avantage d'expliquer la communication de la chaleur d'une manière *unique*, simple, et facile à comprendre, serait préférable, à ce qu'il me semble, à une autre, qui, pour expliquer les phénomènes, serait obligée d'admettre *deux* manières différentes de communication de chaleur.

Pour pouvoir se former une idée nette et claire des rayonnements dont il est question ici, et des effets qu'ils sont propres à produire, il faut remonter à leur cause mécanique, et les considérer et dans leur manière d'être et dans leur manière d'agir.

Il y a deux manières de concevoir le rayonnement d'un corps : la première, en regardant les rayons comme des émanations réelles d'une substance lancée de la surface du corps; la seconde, en les regardant comme des *ondulations*, qui, partant de chaque point de la surface du corps rayonnant, sont propagées dans toutes les directions, en lignes droites, dans un fluide élastique environnant.

Le système de Newton *suppose* que les rayons de lumière sont des émanations réelles.

Le son, que nous connaissons mieux que la lumière, nous offre un exemple d'un rayonnement ou ondulation dans un fluide élastique, qui, très-certainement, n'est point une émanation.

Nous avons des idées claires et satisfaisantes des opérations mécaniques par le moyen desquelles les ondulations dans l'air, qui constituent *le son*, sont excitées et propagées; mais nous n'avons aucune idée d'aucune opération mécanique possible par le moyen de laquelle *une substance* pourrait être lancée continuellement, et *dans toutes les directions* de la surface d'un corps.

Pour qu'une hypothèse en physique soit admissible, il faut qu'elle soit fondée sur la supposition d'une opération mécanique *concevable*.

Pour que la théorie de la chaleur, qui est fondée sur l'hypothèse des vibrations, soit admissible, il est nécessaire de faire voir que les vibrations dont il est question peuvent exister, et qu'il est possible qu'elles causent les rayons ou ondulations que les corps envoient de leurs surfaces, et par le moyen desquelles nous supposons que les corps à différentes températures s'affectent mutuellement à distance, opérant des changements réciproques et simultanés dans leurs températures, et les amenant peu à peu à une température moyenne intermédiaire.

Si les particules qui composent les corps ne se touchent point (opinion qui est généralement reçue, et qui paraît extrêmement probable), comme il n'y a aucun doute que ces particules sont sollicitées continuellement l'une vers l'autre par la force connue de la gravitation universelle, on ne peut pas concevoir comment, dans un assemblage de particules qui forment un corps solide sensible, ces particules peuvent conserver leurs situations relatives sans être en mouvement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

De ce raisonnement on pourrait conclure que les particules qui composent les corps sont nécessairement en mouvement, et si nous admettons l'existence d'un fluide éminemment élastique, un éther qui remplit tout l'espace dans l'univers, à l'exception de celui qu'occupent les particules éparses des corps pondérables, il est facile de concevoir que les mouvements des particules qui composent les corps sensibles doivent causer des ondulations dans ce fluide; et, réciproquement, que les ondulations de ce fluide doivent affecter sensiblement et modifier les mouvements des particules de ces corps.

L'on pourra peut-être penser que ces mouvements parmi les particules des corps seraient incompatibles avec la conservation des formes des corps solides; mais en réfléchissant attentivement sur ce sujet, l'on trouvera que les mouvements ici supposés peuvent fort bien exister sans rien ôter de la stabilité des formes extérieures des corps.

Il suivrait nécessairement de l'état des choses que l'hypothèse en question suppose : 1° *que la somme des forces vives dans l'univers doit rester toujours la même, nonobstant toutes les actions et réactions des corps* ; et 2° que les molécules de tous les corps pondérables doivent nécessairement être rayonnants.

Mais en admettant toujours l'existence de l'éther, il y a encore une autre manière d'expliquer le rayonnement des corps; c'est de supposer que les particules des corps sont tenues éloignées les unes des autres, non en conséquence de l'action de la force centrifuge de ces particules, mais par des atmosphères composées d'éther, ou d'un autre fluide, à nous inconnu, très-élastique, et que c'est par le moyen des vibrations très-rapides qui ont lieu dans ces atmosphères que sont excitées les ondulations dans l'éther environnant par le moyen desquelles les températures des corps sont changées.

L'adoption de cette dernière hypothèse rapprochera le système des vibrations de celui d'une substance calorifique, mais encore ne faudra-t-il point considérer l'échauffement d'un corps comme le résultat de l'*accumulation* de cette substance, mais comme l'*accélération* de son mouvement.

Pour établir solidement la théorie de la chaleur, qui est fondée sur l'hypothèse des vibrations, il est nécessaire non-seulement de faire voir que les vibrations dont il s'agit sont possibles, mais aussi de prouver que les ondulations qu'elles doivent causer existent réellement.

Dans l'état ordinaire des choses, les corps qui nous entourent de près ne donnent aucun signe visible de rayonnement, et ne produisent aucun effet capable d'affecter directement aucun de nos sens, de manière à nous faire soupçonner que leurs surfaces soient rayonnantes. Mais le physicien qui veut pénétrer les mystères de la nature doit être continuellement sur ses gardes pour ne pas être trompé, ni par les rapports, ni par le silence de ses sens.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il est d'abord évident que nos organes ont été formés pour l'usage journalier de la vie, et que trop de sensibilité aurait rendu les jouissances qu'ils nous procurent de véritables supplices.

Si nos oreilles avaient été construites de manière à être sensiblement affectées par toutes les vibrations qui ont lieu dans l'air, nous serions étourdis sans doute par un bruit insupportable, même dans la plus profonde retraite; et si nos yeux voyaient tous les rayons qui les frappent, l'on serait ébloui par une clarté insupportable au milieu de la nuit la plus obscure.

Il est connu que si les vibrations d'un corps sonore sont moins fréquentes que trente dans une seconde, ou plus fréquentes que trois mille dans une seconde, les ondulations dans l'air qui sont causées par ces vibrations n'affectent point sensiblement les organes de l'ouïe, et il est probable que la sensibilité des organes de la vue est encore plus bornée.

Quand on a trouvé de fortes raisons pour soupçonner l'existence des êtres qui échappent à nos sens, c'est pour lors qu'on doit employer toute son adresse pour inventer les moyens de les forcer à se montrer à découvert, et de dévoiler le mystère de leurs opérations invisibles.

Avec l'aide d'un instrument que j'ai appelé *thermoscope*, qui possède un degré extraordinaire de sensibilité, j'ai trouvé que tous les corps, à toutes les températures, sont rayonnants.

Je rappellerai encore brièvement les expériences par lesquelles Rumford chercha à établir la non-matérialité du calorique.

Je pensai, dit-il, que si le calorique a une existence réelle, un corps ou un système de corps isolé ne pouvait continuer de fournir cette substance, et de la donner à d'autres corps environnants, sans en être épuisé peu à peu.

Une éponge remplie d'eau, suspendue par un fil au milieu d'une chambre remplie d'air sec, donne de l'humidité à cet air; mais l'éponge est bientôt épuisée d'eau et mise en état de ne plus pouvoir en fournir; — mais une cloche étant frappée donne du son aussi longtemps que l'on voudra, sans aucun signe d'épuisement. — L'eau est une substance, — mais le son ne l'est point.

Il est connu que deux corps durs frottés l'un contre l'autre donnent beaucoup de chaleur. — Peuvent-ils en donner sans en être épuisés? — Voilà ce que l'expérience doit décider.

Ayant fait tourner une barre de bronze C sur une autre, en la chargeant d'un poids de 5,000 kilog., avec une vitesse de 32 révolutions par minute, et ayant renfermé le tout dans un vase D rempli d'eau, Rumford constata que la chaleur fournie continuellement par les surfaces ainsi frottées était considérable; elle éga-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lait, dit-il, la quantité que peuvent fournir les flammes de *neuf* bougies, de grosseur moyenne, brûlant toutes à la fois avec le plus grand degré de vivacité.

Ces expériences, qui ont besoin d'être reprises en vue d'obtenir des mesures plus précises, conduisent à des conséquences incontestables par la seule existence du fait de la production de la chaleur. Voici comment Rumford les établit :

La source de chaleur excitée par le moyen de cet appareil est *inépuisable* [1].

Aussi longtemps que l'on continue à tourner la barre C autour de son axe, aussi longtemps l'appareil continue de donner de la chaleur, et toujours avec la même abondance.

Quand le vase D est rempli d'eau, ce liquide s'est échauffé peu à peu, et finit par bouillir : j'ai fait bouillir de cette manière une masse d'eau fort considérable.

Si l'on fait l'expérience en hiver, quand la température de l'air est un peu au-dessus du point de la congélation, et si l'on remplit le vase D avec un mélange d'eau et de glace pilée, on peut mesurer très-exactement les quantités de chaleur fournies par les surfaces frottées, dans un temps donné, par la quantité de glace fondue par cette chaleur.

Comme l'appareil continue toujours à fournir de la chaleur, et avec la même abondance, l'on peut de cette manière faire fondre autant de glace que l'on voudra.

D'où vient cette chaleur? C'est là la grande question que cette expérience était destinée à résoudre.

D'abord il est très-certain qu'elle ne vient ni de la décomposition de l'eau, ni de la décomposition de l'air.... Elle ne vient pas non plus d'un changement de capacité pour la chaleur opérée par le frottement, dans le métal; cela est prouvé premièrement par la *permanence* et l'*uniformité* de la production de la chaleur, et secondement par une expérience directe, dans laquelle j'ai trouvé que la capacité du métal n'était point changée.

Elle ne pouvait être fournie par l'air, ni par l'eau en contact avec l'appareil, puisque ces fluides en recevaient au contraire continuellement.

D'où vient donc cette chaleur? Qu'est-ce que c'est que la chaleur?

Il m'a toujours paru tout à fait impossible d'expliquer les résultats de cette expérience sans adopter la théorie très-ancienne, qui est fondée sur la supposition que la chaleur n'est autre chose qu'un *mouvement vibratoire* parmi les particules dont les corps sont composés.

[1] Résultat d'expérience confirmé par la pratique journalière dans une foule de circonstances, et tout à fait décisif.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A la même époque, et pour se mettre à l'abri des influences extérieures, Davy fit encore une expérience dont on ne tint peut-être pas assez compte, pas plus que de la précédente; toutes deux montraient, d'une manière frappante, les relations intimes du travail mécanique et de la chaleur.

L'expérience de Davy est la suivante : il faisait frotter l'un contre l'autre deux morceaux de glace, dans un lieu dont la température était inférieure à zéro, et parvenait à les fondre, bien que la quantité de chaleur nécessaire pour produire cet effet soit considérable. Il en concluait que la chaleur de fusion ne pouvait être distincte des vibrations excitées par le frottement, que celles-ci constituaient la chaleur et non le fluide hypothétique auquel on avait donné le nom de calorique.

Dans cette expérience comme dans la précédente, comme dans une foule de circonstances connues, l'échauffement produit par la percussion, celui des essieux des roues de voitures mal graissés, etc., la chaleur était le résultat direct d'une action mécanique, et comme on ne pouvait guère concevoir comment de pareilles actions pouvaient faire naître, dégager un fluide impondérable tel que le calorique, en quantité indéfinie, variant directement avec le travail mécanique dépensé, avec l'action exercée, il semblait naturel de considérer les mouvements moléculaires sûrement produits comme étant la chaleur même.

2° S. Carnot.

Des faits bien plus importants vinrent bientôt s'accumuler chaque jour et montrer les profondes affinités du travail mécanique et de la chaleur. Je veux parler de la multiplication de la machine à vapeur, devenant de plus en plus le moteur universel de l'industrie depuis les grandes inventions de Watt, rendant vulgaire le phénomène de la production du travail mécanique par la chaleur.

Longtemps ce fut à la vapeur, à la pression atmosphérique, etc., que l'on rattacha les résultats obtenus; mais grâce aux modifications successives de la machine à vapeur, aux heureux efforts faits pour la transformer de diverses manières, la lumière se fit. La vérité fut reconnue par un homme bien distingué, Sadi-Carnot, ancien élève de l'École polytechnique, mort capitaine du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

génie, qui ne put voir le succès qu'eut enfin, après bien des années, l'admirable brochure intitulée *Réflexions sur la puissance motrice du feu*, qu'il publia en 1824.

On nous saura gré de reproduire ici la partie capitale de la brochure, fort rare aujourd'hui, de S. Carnot, celle où il établit :

1° Que c'est la chaleur qui produit le travail mécanique ;

2° Que l'unité de chaleur ne peut engendrer qu'un maximum théorique qui ne saurait dans aucun cas être dépassé.

Personne n'ignore que la chaleur peut être la cause du mouvement, qu'elle possède même une grande puissance motrice : les machines à vapeur, aujourd'hui si répandues, en sont une preuve parlante à tous les yeux.

C'est à la chaleur que doivent être attribués les grands mouvements qui frappent nos regards sur la terre; c'est à elle que sont dues les agitations de l'atmosphère, l'ascension des nuages, la chute des pluies et des autres météores, les courants d'eau qui sillonnent la surface du globe et dont l'homme est parvenu à employer pour son usage une faible partie; enfin les tremblements de terre, les éruptions volcaniques, reconnaissent aussi pour cause la chaleur.

C'est dans cet immense réservoir que nous pouvons puiser la force mouvante nécessaire à nos besoins; la nature, en nous offrant de toutes parts le combustible, nous a donné la faculté de faire naître en tous temps et en tous lieux la chaleur et la puissance motrice qui en est la suite. Développer cette puissance, l'approprier à notre usage, tel est l'objet des machines à feu.

L'étude de ces machines est du plus haut intérêt, leur importance est immense, leur emploi s'accroît tous les jours. Elles paraissent destinées à produire une grande révolution dans le monde civilisé. Déjà la machine à feu exploite nos mines, fait mouvoir nos navires, creuse nos ports et nos rivières, forge le fer, façonne les bois, écrase les grains, file et ourdit nos étoffes, transporte les plus pesants fardeaux, etc. Elle semble devoir un jour servir de moteur universel et obtenir la préférence sur la force des animaux, les chutes d'eau et les courants d'air. Elle a, sur le premier de ces moteurs, l'avantage de l'économie; sur les deux autres, l'avantage inappréciable de pouvoir s'employer en tous temps et en tous lieux, et de ne jamais souffrir d'interruption dans son travail.

Si quelque jour les perfectionnements de la machine à feu s'étendent assez loin pour la rendre peu coûteuse en établissement et en combustible, elle réunira toutes les qualités désirables, et fera prendre aux arts industriels un essor dont il serait difficile de prévoir toute l'étendue.

Non-seulement, en effet, un moteur puissant et commode, que l'on peut se procurer ou transporter partout, se substitue aux moteurs déjà en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

usage; mais il fait prendre aux arts où on l'applique une extension rapide; il peut même créer des arts entièrement nouveaux.

Le service le plus signalé que la machine à feu ait rendu à l'Angleterre est, sans contredit, d'avoir ranimé l'exploitation de ses mines de houille, devenue languissante, et qui menaçait de s'éteindre entièrement, à cause de la difficulté, toujours croissante, des épuisements et de l'extraction du combustible. On doit mettre sur le second rang les services rendus à la fabrication du fer, tant par la houille, offerte avec abondance et substituée aux bois au moment où ceux-ci commençaient à s'épuiser, que par les machines puissantes de toutes espèces dont l'emploi de la machine à feu a permis ou facilité l'usage.

Le fer et le feu sont, comme on sait, les aliments, les soutiens des arts mécaniques. Il n'existe peut-être pas en Angleterre un établissement d'industrie dont l'existence ne soit fondée sur l'usage de ces agens, et qui ne les emploie avec profusion. Enlever aujourd'hui à l'Angleterre ses machines à vapeur, ce serait lui ôter à la fois la houille et le fer; ce serait tarir toutes ses sources de richesses, ruiner tous ses moyens de prospérité; ce serait anéantir cette puissance colossale. La destruction de sa marine, qu'elle regarde comme son plus ferme appui, lui serait peut-être moins funeste.

La navigation sûre et rapide des bâtiments à vapeur peut être regardée comme un art entièrement nouveau, dû aux machines à feu. Déjà cet art a permis l'établissement de communications promptes et régulières sur les bras de mer, sur les grands fleuves de l'ancien et du nouveau continent; il a permis de parcourir des régions encore sauvages, où naguère on pouvait à peine pénétrer; il a permis de porter les fruits de la civilisation sur des points du globe où ils eussent été attendus encore bien des années. La navigation due aux machines à feu rapproche, en quelque sorte, les unes des autres les nations les plus lointaines. Elle tend à réunir entre eux les peuples de la terre comme s'ils habitaient tous une même contrée. Diminuer en effet le temps, les fatigues, les incertitudes et les dangers des voyages, n'est-ce pas abréger beaucoup les distances?

La découverte des machines à feu a dû, comme la plupart des inventions humaines, sa naissance à des essais presque informes, essais qui ont été attribués à diverses personnes, et dont on ne connaît pas bien le véritable auteur. C'est, au reste, moins dans ces premiers essais que consiste la principale découverte, que dans les perfectionnements successifs qui ont amené les machines à feu à l'état où nous les voyons aujourd'hui. Il y a à peu près autant de distance entre les premiers appareils où l'on a développé la force expansive de la vapeur et les machines actuelles, qu'entre le premier radeau que les hommes aient formé et le vaisseau de haut bord.

Si l'honneur d'une découverte appartient à la nation où elle a acquis tout son accroissement, tous ses développements, cet honneur ne peut être

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ici refusé à l'Angleterre : Savery, Newcomen, Smeathon, le célèbre Watt, Woolf, Trevetick et quelques autres ingénieurs anglais, sont les véritables créateurs de la machine à feu ; elle a acquis entre leurs mains tous ses degrés successifs de perfectionnement. Il est naturel, au reste, qu'une invention prenne naissance et surtout se développe, se perfectionne, là où le besoin s'en fait le plus impérieusement sentir.

Malgré les travaux de tous genres entrepris sur les machines à feu, malgré l'état satisfaisant où elles sont aujourd'hui parvenues, leur théorie est fort peu avancée, et les essais d'amélioration tentés sur elles sont encore dirigés presque au hasard.

L'on a souvent agité la question de savoir si la puissance motrice de la chaleur est limitée, ou si elle est sans bornes; si les perfectionnements possibles des machines à feu ont un terme assignable, terme que la nature des choses empêche de dépasser par quelque moyen que ce soit, ou si, au contraire, ces perfectionnements sont susceptibles d'une extension indéfinie. L'on a aussi cherché longtemps, et l'on cherche encore aujourd'hui, s'il n'existerait pas des agents préférables à la vapeur d'eau pour développer la puissance motrice du feu; si l'air atmosphérique, par exemple, ne présenterait pas, à cet égard, de grands avantages. Nous nous proposons de soumettre ici ces questions à un examen réfléchi.

Le phénomène de la production du mouvement par la chaleur n'a pas été considéré sous un point de vue assez général. On l'a considéré seulement dans des machines dont la nature et le mode d'action ne lui permettaient pas de prendre toute l'étendue dont il est susceptible. Dans de pareilles machines, le phénomène se trouve en quelque sorte tronqué, incomplet ; il devient difficile de reconnaître ses principes et d'étudier ses lois.

Pour envisager dans toute sa généralité le principe de la production du mouvement par la chaleur, il faut le concevoir indépendamment d'aucun mécanisme, d'aucun agent particulier; il faut établir des raisonnements applicables, non-seulement aux machines à vapeur, mais à toute machine à feu imaginable, quelle que soit la substance mise en œuvre, et quelle que soit la manière dont on agisse sur elle.

Les machines qui ne reçoivent pas leur mouvement de la chaleur, celles qui ont pour moteur la force des hommes ou des animaux, une chute d'eau, un courant d'air, etc., peuvent être étudiées jusque dans leurs moindres détails par la théorie mécanique. Tous les cas sont prévus, tous les mouvements imaginables sont soumis à des principes généraux solidement établis et applicables en toute circonstance. C'est là le caractère d'une théorie complète. Une semblable théorie manque évidemment pour les machines à feu. On ne la possédera que lorsque les lois de la physique seront assez étendues, assez généralisées, pour faire connaître à l'avance tous les effets de la chaleur agissant d'une manière déterminée sur un corps quelconque.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nous supposerons dans ce qui va suivre une connaissance, au moins superficielle, des diverses parties qui composent une machine à vapeur ordinaire. Ainsi nous jugeons inutile d'expliquer ce que c'est que foyer, chaudière, cylindre à vapeur, piston, condenseur, etc.

La production du mouvement dans les machines à vapeur est toujours accompagnée d'une circonstance sur laquelle nous devons fixer l'attention. Cette circonstance est le rétablissement d'équilibre dans le calorique, c'est-à-dire son passage d'un corps où la température est plus ou moins élevée à un autre où elle est plus basse. Qu'arrive-t-il, en effet, dans une machine à vapeur actuellement en activité? Le calorique, développé dans le foyer par l'effet de la combustion, traverse les parois de la chaudière, vient donner naissance à de la vapeur, s'y incorpore en quelque sorte [1]. Celle-ci, l'entraînant avec elle, la porte d'abord dans le cylindre, où elle remplit un office quelconque, et de là dans le condenseur, où elle se liquéfie par le contact de l'eau froide qui s'y rencontre. L'eau froide du condenseur s'empare donc en dernier résultat du calorique développé par la combustion. Elle s'échauffe par l'intermédiaire de la vapeur, comme si elle eût été placée directement sur le foyer. La vapeur n'est ici qu'un moyen de transporter le calorique; elle remplit le même office que dans le chauffage des bains par la vapeur, à l'exception que dans le cas où nous sommes son mouvement est rendu utile.

L'on reconnaît facilement, dans les opérations que nous venons de décrire, le rétablissement d'équilibre dans le calorique, son passage d'un corps plus ou moins échauffé à un corps plus froid. Le premier de ces corps est ici l'air brûlé du foyer, le second est l'eau de condensation. Le rétablissement d'équilibre du calorique se fait entre eux, si ce n'est complétement, du moins en partie : car, d'une part, l'air brûlé, après avoir rempli son office, après avoir enveloppé la chaudière, s'échappe par la cheminée avec une température bien moindre que celle qu'il avait acquise par l'effet de la combustion, et, d'autre part, l'eau du condenseur, après avoir liquéfié la vapeur, s'éloigne de la machine avec une température supérieure à celle qu'elle y avait apportée.

La production de la puissance motrice est donc due, dans les machines à vapeur, non à une consommation réelle du calorique, *mais à son transport d'un corps chaud à un corps froid* [2], c'est-à-dire à son rétablissement

[1] L'auteur part de la théorie de Lavoisier, mais sans considérer comme une vérité absolue l'hypothèse de l'existence du calorique, ce qui lui permet de s'en servir sans en être gêné pour les conséquences auxquelles la logique le conduit. (R.)

[2] Le raisonnement de l'auteur est vrai seulement pour la machine de Watt qu'il avait surtout en vue, et qui était presque la seule usitée à l'époque où il écrivait, en ne considérant que ce qui se passe dans le cylindre, où la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'équilibre, équilibre supposé rompu par quelque cause que ce soit, par une action chimique, telle que la combustion, ou par toute autre. Nous verrons bientôt que ce principe est applicable à toute machine mise en mouvement par la chaleur.

D'après ce principe, il ne suffit pas, pour donner naissance à la puissance motrice, de produire de la chaleur : il faut encore se procurer du froid ; sans lui la chaleur serait inutile. Et en effet, si l'on ne rencontrait autour de soi que des corps aussi chauds que nos foyers, comment parviendrait-on à condenser la vapeur? où la placerait-on une fois qu'elle aurait pris naissance? Il ne faudrait pas croire que l'on pût, ainsi que cela se pratique dans certaines machines, la rejeter dans l'atmosphère ; l'atmosphère ne la recevrait pas. Il ne la reçoit, dans l'état actuel des choses, que parce qu'il remplit pour elle l'office d'un vaste condenseur, parce qu'il se trouve à une température plus froide : autrement il en serait bientôt rempli, ou plutôt il en serait d'avance saturé [1].

Partout où il existe une différence de température, partout où il peut y avoir rétablissement d'équilibre du calorique, il peut y avoir aussi production de puissance motrice. La vapeur d'eau est un moyen de réaliser cette puissance, mais elle n'est pas le seul : tous les corps de la nature peuvent être employés à cet usage; tous sont susceptibles de changements de volume, de contractions et de dilatations successives par des alternatives de chaleur et de froid; tous sont capables de vaincre, dans leurs changements de volume, certaines résistances et de développer ainsi

vapeur n'agit que par action directe, sans détente. Les expériences récentes de M. Hirn sont bien conformes à cette manière de voir, car elles ont toujours fait retrouver dans le condenseur toute la chaleur contenue dans la vapeur à sa sortie de la chaudière, *lorsqu'il n'y avait pas de détente dans le cylindre*. (R.)

[1] L'existence de l'eau à l'état liquide, admise nécessairement ici, puisque sans elle les machines à vapeur ne pourraient pas s'alimenter, suppose l'existence d'une pression capable d'empêcher cette eau de se vaporiser, par conséquent d'une pression égale ou supérieure à la tension de la vapeur, eu égard à la température. Si une pareille pression n'était pas exercée par l'air atmosphérique, il s'élèverait à l'instant une quantité de vapeur d'eau suffisante pour l'exercer sur elle-même, et il faudrait toujours surmonter cette pression pour rejeter la vapeur des machines dans la nouvelle atmosphère. Or cela équivaudrait évidemment à surmonter la tension qui reste à la vapeur après sa condensation effectuée par les moyens ordinaires.

Si une température très-élevée régnait à la surface de notre globe, comme il ne paraît pas douteux qu'elle règne dans son intérieur, toutes les eaux de l'Océan existeraient en vapeur dans l'atmosphère, et il ne s'en rencontrerait aucune portion à l'état liquide. (A.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la puissance motrice. Un corps solide, une barre métallique, par exemple, alternativement chauffée et refroidie, augmente et diminue de longueur, et peut mouvoir des corps fixés à ses extrémités. Un liquide alternativement chauffé et refroidi augmente et diminue de volume et peut vaincre des obstacles plus ou moins grands opposés à sa dilatation. Un fluide aériforme est susceptible de changements considérables de volume par les variations de température : s'il est renfermé dans une capacité extensible, telle qu'un cylindre muni d'un piston, il produira des mouvements d'une grande étendue. Les vapeurs de tous les corps susceptibles de passer à l'état gazeux, de l'alcool, du mercure, du soufre, etc., pourraient remplir le même office que la vapeur d'eau. Celle-ci, alternativement chauffée et refroidie, produirait de la puissance motrice à la manière des gaz permanents, c'est-à-dire sans jamais retourner à l'état liquide. La plupart de ces moyens ont été proposés, plusieurs même ont été essayés, quoique ce soit jusqu'ici sans succès remarquable.

Nous avons fait voir que, dans les machines à vapeur, la puissance motrice est due à un rétablissement d'équilibre dans le calorique : cela a lieu non-seulement pour les machines à vapeur, mais aussi pour toute machine à feu, c'est-à-dire pour toute machine dont le calorique est le moteur. La chaleur ne peut évidemment être une cause de mouvement qu'en vertu des changements de volume ou de forme qu'elle fait subir aux corps; ces changements ne sont pas dus à une constance de température, mais bien à des alternatives de chaleur et de froid : or, pour échauffer une substance quelconque, il faut un corps plus chaud qu'elle ; pour la refroidir, il faut un corps plus froid. On prend nécessairement du calorique au premier de ces corps pour le transmettre au second par le moyen de la substance intermédiaire. C'est là rétablir, ou du moins travailler à rétablir, l'équilibre du calorique.

Il est naturel de se faire ici cette question à la fois curieuse et importante : la puissance motrice de la chaleur est-elle immuable en quantité, ou varie-t-elle avec l'agent dont on fait usage pour la réaliser avec la substance intermédiaire, choisie comme sujet d'action de la chaleur ?

Il est clair que cette question ne peut être faite que pour une quantité de calorique donnée, la différence des températures étant également donnée. L'on dispose, par exemple, d'un corps A, maintenu à la température 100°, et d'un autre corps B, maintenu à la température 0°, et l'on demande quelle quantité de puissance motrice peut naître par le transport d'une portion donnée de calorique (par exemple celle qui est nécessaire pour fondre un kilogramme de glace) du premier de ces corps au second ; on demande si cette quantité de puissance motrice est nécessairement limitée, si elle varie avec la substance employée à la réaliser, si la vapeur d'eau offre à cet égard plus ou moins d'avantage que la vapeur d'alcool, de mercure, qu'un gaz permanent ou que toute autre substance.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nous essayerons de résoudre ces questions en faisant usage des notions précédemment établies.

L'on a remarqué plus haut ce fait évident par lui-même, ou qui du moins devient sensible dès que l'on réfléchit aux changements de volume occasionnés par la chaleur : *Partout où il existe une différence de température, il peut y avoir production de puissance motrice.* Réciproquement, partout où l'on peut consommer de cette puissance, il est possible de faire naître une différence de température, il est possible d'occasionner une rupture d'équilibre dans le calorique. La percussion, le frottement des corps ne sont-ils pas en effet des moyens d'élever leur température, de la faire arriver spontanément à un degré plus haut que celui des corps environnants, et par conséquent de produire une rupture d'équilibre dans le calorique, là où existait auparavant cet équilibre? C'est un fait d'expérience que la température des fluides gazeux s'élève par la compression et s'abaisse par la raréfaction. Voilà un moyen certain de changer la température des corps et de rompre l'équilibre du calorique autant de fois qu'on le voudra avec la même substance. La vapeur d'eau employée d'une manière inverse de celle où on l'emploie dans les machines à vapeur, peut aussi être regardée comme un moyen de rompre l'équilibre du calorique. Pour s'en convaincre, il suffit de réfléchir attentivement à la manière dont se développe la puissance motrice par l'action de sa chaleur sur la vapeur d'eau. Concevons deux corps A et B entretenus chacun à une température constante, celle de A étant plus élevée que celle de B : ces deux corps, auxquels on peut donner ou enlever de la chaleur sans faire varier leur température, feront les fonctions de deux réservoirs indéfinis de calorique. Nous nommerons le premier foyer et le second réfrigérant.

Si l'on veut donner naissance à de la puissance motrice par le transport d'une certaine quantité de chaleur du corps A au corps B, l'on pourra procéder de la manière suivante.

1° Emprunter du calorique au corps A pour en former de la vapeur, c'est-à-dire faire remplir à ce corps les fonctions du foyer, ou plutôt du métal composant la chaudière, dans les machines ordinaires : nous supposerons ici que la vapeur prend naissance à la température même du corps A.

2° La vapeur ayant été reçue dans une capacité extensible, telle qu'un cylindre muni d'un piston, augmenter le volume de cette capacité et par conséquent aussi celui de la vapeur. Ainsi raréfiée, elle descendra spontanément de température, comme cela arrive pour tous les fluides élastiques : admettons que la raréfaction soit poussée jusqu'au point où la température devient précisément celle du corps B.

3° Condenser la vapeur en la mettant en contact avec le corps B, et en exerçant en même temps sur elle une pression constante, jusqu'à ce qu'elle soit entièrement liquéfiée. Le corps B remplit ici le rôle de l'eau d'injec-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tion dans les machines ordinaires, avec cette différence qu'il condense la vapeur sans se mêler avec elle et sans changer lui-même de température.

Les opérations que nous venons de décrire eussent pu être faites dans un sens et dans un ordre inverses. Rien n'empêchait de former de la vapeur avec le calorique du corps B, et à la température de ce corps, de la comprimer de manière à lui faire acquérir la température du corps A, enfin de la condenser par son contact avec ce dernier corps, et cela en continuant la compression jusqu'à une liquéfaction complète.

Par nos premières opérations, il y avait eu à la fois production de puissance motrice et transport du calorique du corps A au corps B; par les opérations inverses, il y a à la fois dépense de puissance motrice et retour du calorique du corps B au corps A. Mais si l'on a agi de part et d'autre sur la même quantité de vapeur, s'il ne s'est fait aucune perte ni de puissance motrice ni de calorique, la quantité de puissance motrice produite dans le premier cas sera égale à celle qui aura été dépensée dans le second, et la quantité de calorique passée, dans le premier cas, du corps A au corps B sera égale à la quantité qui repasse, dans le second, du corps B au corps A, de sorte qu'on pourrait faire un nombre indéfini d'opérations alternatives de ce genre sans qu'il y eût en somme ni puissance motrice produite, ni calorique passé d'un corps à l'autre.

Or, s'il existait des moyens d'employer la chaleur préférables à ceux dont nous avons fait usage, c'est-à-dire s'il était possible, par quelque méthode que ce fût, de faire produire au calorique une quantité de puissance motrice plus grande que nous ne l'avons fait par notre première série d'opérations, il suffirait de distraire une portion de cette puissance pour faire remonter, par la méthode qui vient d'être indiquée, le calorique du corps B au corps A, du réfrigérant au foyer, pour rétablir les choses dans leur état primitif et se mettre par là en mesure de recommencer une opération entièrement semblable à la première, et ainsi de suite : ce serait là, non-seulement le mouvement perpétuel, mais une création indéfinie de force motrice sans consommation ni de calorique ni de quelque autre agent que ce soit. Une semblable création est tout à fait contraire aux idées reçues jusqu'à présent, aux lois de la mécanique et de la saine physique; elle est inadmissible [1]. On doit donc conclure que *le maximum de puissance mo-*

[1] On objectera peut-être ici que le mouvement perpétuel, démontré impossible par les seules actions mécaniques, ne l'est peut-être pas lorsqu'on emploie l'influence soit de la chaleur, soit de l'électricité; mais peut-on concevoir les phénomènes de la chaleur et de l'électricité comme dus à autre chose qu'à des mouvements quelconques de corps, et comme tels ne doivent-ils pas être soumis aux lois générales de la mécanique? Ne sait-on pas d'ailleurs *à posteriori* que toutes les tentatives faites pour produire le mou-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trice résultant de l'emploi de la vapeur est aussi le maximum de puissance motrice réalisable par quelque moyen que ce soit. Nous donnerons, au reste, bientôt une seconde démonstration plus rigoureuse de ce théorème. Celle-ci ne doit être considérée que comme un aperçu (voy. p. 93).

On est en droit de nous faire, au sujet de la proposition qui vient d'être énoncée, la question suivante : Quel est ici le sens du mot *maximum?* à quel signe reconnaîtra-t-on que ce maximum est atteint? à quel signe reconnaîtra-t-on si la vapeur est employée le plus avantageusement possible à la production de la puissance motrice?

Puisque tout rétablissement d'équilibre dans le calorique peut être la cause de la production de la puissance motrice, tout rétablissement d'équilibre qui se fera sans production de cette puissance devra être considéré comme une véritable perte : or, pour peu qu'on y réfléchisse, on s'apercevra que tout changement de température qui n'est pas dû à un changement de volume des corps ne peut être qu'un rétablissement inutile d'équilibre dans le calorique. La condition nécessaire du maximum est donc qu'*il ne se fasse dans les corps employés à réaliser la puissance motrice de la chaleur aucun changement de température qui ne soit dû à un changement de volume utilisé.* Réciproquement, toutes les fois que cette condition sera remplie, le maximum sera atteint.

vement perpétuel par quelque moyen que ce soit ont été infructueuses? que l'on n'est jamais parvenu à produire un mouvement véritablement perpétuel, c'est-à-dire un mouvement qui se continuât toujours sans altération dans les corps mis en œuvre pour le réaliser?

L'on a regardé quelquefois l'appareil électromoteur (la pile de Volta) comme capable de produire le mouvement perpétuel; on a cherché à réaliser cette idée en construisant des piles sèches, prétendues inaltérables. Mais, quoi que l'on ait pu faire, l'appareil a toujours éprouvé des détériorations sensibles, lorsque son action a été soutenue pendant un certain temps avec quelque énergie.

L'acception générale et philosophique des mots *mouvement perpétuel* doit comprendre, non pas seulement un mouvement susceptible de se prolonger indéfiniment après une première impulsion reçue, mais l'action d'un appareil, d'un assemblage quelconque, capable de créer la puissance motrice en quantité illimitée, capable de tirer successivement du repos tous les corps de la nature, s'ils s'y trouvaient plongés, de détruire en eux le principe de l'inertie, capable enfin de puiser en lui-même les forces nécessaires pour mouvoir l'univers tout entier, pour prolonger, pour accélérer incessamment son mouvement. Telle serait une véritable création de puissance motrice. Si elle était possible, il serait inutile de chercher dans les courants d'eau et d'air, dans les combustibles, cette puissance motrice; nous en aurions à notre disposition une source intarissable où nous pourrions puiser à volonté. (A.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce principe ne doit jamais être perdu de vue dans la construction des machines à feu; il en est la base fondamentale. Si l'on ne peut pas l'observer rigoureusement, il faut du moins s'en écarter le moins possible.

Tout changement de température qui n'est pas dû à un changement de volume ou à une action chimique (action que provisoirement nous supposons ne pas se rencontrer ici) est nécessairement dû au passage direct du calorique d'un corps plus ou moins échauffé à un corps plus froid. Ce passage a lieu principalement au contact de corps de températures diverses : aussi un pareil contact doit-il être évité autant que possible. Il ne peut pas être évité complétement sans doute, mais il faut du moins faire en sorte que les corps mis en contact les uns avec les autres diffèrent peu entre eux de température.

Nous allons donner ici une seconde démonstration de la proposition fondamentale énoncée p. 91, et présenter cette proposition sous une forme plus générale que nous ne l'avons fait ci-dessus.

Lorsqu'un fluide gazeux est rapidement comprimé, sa température s'élève; elle s'abaisse, au contraire, lorsqu'il est rapidement dilaté. C'est là un des faits les mieux constatés par l'expérience; nous le prendrons pour base de notre démonstration [1].

[1] Les faits d'expérience qui prouvent le mieux le changement de température des gaz par la compression ou la dilatation sont les suivants :

1° L'abaissement du thermomètre placé sous le récipient d'une machine pneumatique où l'on fait le vide. Cet abaissement est très-sensible sur le thermomètre de Breguet : il peut aller au delà de 40 à 50 degrés. Le nuage qui se forme dans cette occasion semble devoir être attribué à la condensation de la vapeur d'eau causée par le refroidissement de l'air.

2° L'inflammation de l'amadou dans les briquets dits pneumatiques, qui sont, comme on sait, de petits corps de pompe où l'on fait éprouver à l'air une compression rapide.

3° L'abaissement du thermomètre placé dans une capacité où, après avoir comprimé de l'air, on le laisse échapper par l'ouverture d'un robinet.

4° Les résultats d'expérience sur la vitesse du son. M. de Laplace a fait voir que, pour soumettre exactement ces résultats à la théorie et au calcul, il fallait admettre l'échauffement de l'air par une compression subite.

Le changement de température occasionné dans les gaz par le changement de volume peut être regardé comme l'un des faits les plus importants de la physique à cause des nombreuses conséquences qu'il entraîne, et en même temps comme l'un des plus difficiles à éclaircir et à mesurer par des expériences décisives. Il semble présenter, dans plusieurs circonstances, des anomalies singulières.

N'est-ce pas au refroidissement de l'air par la dilatation qu'il faut attribuer le froid des régions supérieures de l'atmosphère? Les raisons données

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si, lorsqu'un gaz s'est élevé de température par l'effet de la compression, l'on veut le ramener à sa température primitive sans faire subir à son volume de nouveaux changements, il faut lui enlever du calorique. Ce calorique pourrait aussi être enlevé à mesure que la compression s'exécute, de manière à ce que la température du gaz restât constante. De même, si le gaz est raréfié, l'on peut éviter qu'il ne baisse de température en lui fournissant une certaine quantité de calorique. Nous appellerons le calorique employé dans ces occasions où il ne se fait aucun changement de température, calorique dû au changement de volume. Cette dénomination n'indique pas que le calorique appartienne au volume, il ne lui appartient pas plus qu'il n'appartient à la pression, et pourrait être tout aussi bien appelé calorique dû au changement de pression. Nous ignorons quelles lois il suit relativement aux variations de volume : il est possible que sa quantité change soit avec la nature du gaz, soit avec sa densité, soit avec sa température. L'expérience ne nous a rien appris sur ce sujet; elle nous a appris seulement que ce calorique se développe en quantité plus ou moins grande par la compression des fluides élastiques.

Cette notion préliminaire étant posée, imaginons un fluide élastique, de l'air atmosphérique par exemple, enfermé dans un vaisseau cylindrique *abcd* (fig. 1), muni d'un diaphragme mobile ou piston *cd*; soient en outre les deux corps A, B, entretenus chacun à une température constante, celle de A étant plus élevée que celle de B; figurons-nous maintenant la suite des opérations qui vont être décrites :

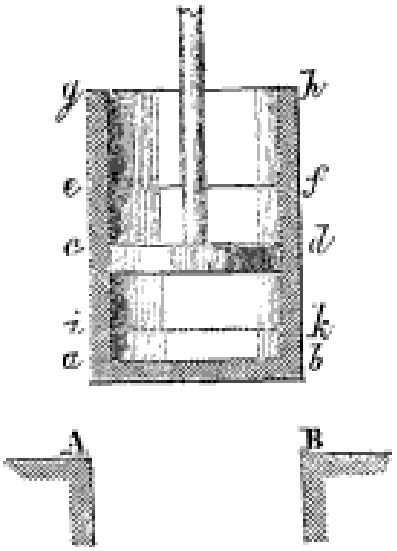


Fig. 1.

1° Contact du corps A avec l'air renfermé dans la capacité *abcd*, ou avec la paroi de cette capacité, paroi que nous supposerons transmettre facilement le calorique. L'air se trouve par ce contact à la température même du corps A; *cd* est la position actuelle du piston.

2° Le piston s'élève graduellement, et vient prendre la position *ef*. Le contact a toujours lieu entre le corps A et l'air, qui se trouve

jusqu'ici pour expliquer ce froid sont tout à fait insuffisantes : on a dit que l'air des régions élevées, recevant peu de chaleur réfléchie par la terre, et rayonnant lui-même vers les espaces célestes, devait perdre du calorique, et que c'était là la cause de son refroidissement; mais cette explication se trouve détruite si l'on remarque qu'à égale hauteur le froid règne aussi bien et même avec plus d'intensité sur les plaines élevées que sur le sommet des montagnes, ou que dans les parties d'atmosphère éloignées du sol. (A.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ainsi maintenu à une température constante pendant la raréfaction. Le corps A fournit le calorique nécessaire pour maintenir la constance de température.

3° Le corps A est éloigné, et l'air ne se trouve plus en contact avec aucun corps capable de lui fournir du calorique; le piston continue cependant à se mouvoir, et passe de la position *ef* à la position *gh*. L'air se raréfie sans recevoir de calorique, et sa température s'abaisse. Imaginons qu'elle s'abaisse ainsi jusqu'à devenir égale à celle du corps B : à ce moment le piston s'arrête et occupe la position *gh*.

4° L'air est mis en contact avec le corps B; il est comprimé par le retour du piston que l'on ramène de la position *gh* à la position *cd*. Cet air reste cependant à une température constante, à cause de son contact avec le corps B auquel il cède son calorique.

5° Le corps B est écarté et l'on continue la compression de l'air, qui, se trouvant alors isolé, s'élève de température. La compression est continuée jusqu'à ce que l'air ait acquis la température du corps A. Le piston passe pendant ce temps de la position *cd* à la position *ik*.

6° L'air est remis en contact avec le corps A ; le piston retourne de la position *ik* à la position *ef*; la température demeure invariable.

7° La période décrite sous le n° 3 se renouvelle, puis successivement les périodes 4, 5, 6, 3, 4, 5, 6, 3, 4, 5, ainsi de suite.

Dans ces diverses opérations, le piston éprouve un effort plus ou moins grand de la part de l'air renfermé dans le cylindre; la force élastique de cet air varie, tant à cause des changements de volume que des changements de température; mais l'on doit remarquer qu'à volume égal, c'est-à-dire pour des positions semblables du piston, la température se trouve plus élevée pendant les mouvements de dilatation que pendant les mouvements de compression. Pendant les premiers, la force élastique de l'air se trouve donc plus grande, et par conséquent la quantité de puissance motrice produite par les mouvements de dilatation est plus considérable que celle qui est consommée pour produire les mouvements de compression. Ainsi, l'on obtiendra un excédant de puissance motrice, excédant dont on pourra disposer pour des usages quelconques. L'air nous a donc servi de machine à feu ; nous l'avons même employé de la manière la plus avantageuse possible, car il ne s'est fait aucun rétablissement inutile d'équilibre dans le calorique.

Toutes les opérations ci-dessus décrites peuvent être exécutées dans un sens et dans un ordre inverses. Imaginons qu'après la sixième période, c'est-à-dire le piston étant arrivé à la position *ef*, on le fasse revenir à la position *ik*, et qu'en même temps on maintienne l'air en contact avec le corps A : le calorique fourni par ce corps pendant la sixième période retournera à sa source, c'est-à-dire au corps A, et les choses se trouveront dans l'état où elles étaient à la fin de la période cinquième. Si main-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tenant on écarte le corps A, et que l'on fasse mouvoir le piston de *ik* en *cd*, la température de l'air décroitra d'autant de degrés qu'elle s'est accrue pendant la période cinquième, et deviendra celle du corps B. L'on peut évidemment continuer une suite d'opérations inverses de celles que nous avons d'abord décrites : il suffit de se placer dans les mêmes circonstances et d'exécuter pour chaque période un mouvement de dilatation au lieu d'un mouvement de compression, et réciproquement.

Le résultat des premières opérations avait été la production d'une certaine quantité de puissance motrice et le transport du calorique du corps A au corps B; le résultat des opérations inverses est la consommation de la puissance motrice produite, et le retour du calorique du corps B au corps A : de sorte que ces deux suites d'opérations s'annulent, se neutralisent en quelque sorte l'une l'autre[1].

L'impossibilité de faire produire au calorique une quantité de puissance motrice plus grande que celle que nous en avons obtenue par notre première suite d'opérations est maintenant facile à prouver. Elle se démontrera par un raisonnement entièrement semblable à celui dont nous avons fait usage pag. 91. Le raisonnement aura même ici un degré d'exactitude

[1] M. Clapeyron a eu l'heureuse idée de représenter par des courbes les opérations ci-dessus décrites, ce qui fait apprécier les effets produits à première vue. Soit A'B' (fig. 2) une ordonnée représentant la pression lorsque le piston est en *ik*, le gaz se dilatant à température constante et les volumes successifs étant représentés par les abscisses, $A'_1 B'_1$ sera la pression en *ef*, et l'aire $A'A'_1 B'B'_1$ le travail produit. Le piston passant de *ef* à *gh* sans que le gaz reçoive de chaleur, quand il se refroidit rapidement, la courbe $B'_1 B_1$ est plus inclinée que la précédente sur l'axe de x, et $A'_1 B'_1 B_1 A_1$ est le travail produit pendant cette période. Les périodes de compression à température constante B et à température croissante, ou le travail résistant, sont de même représentées par les aires $B_1 A_1 BA$ et $BAB'A'$. L'excédant de la somme des premières sur celle des secondes, ou le travail mécanique engendré par la chaleur, est donc représenté par l'aire du rectangle curviligne $BB'B_1 B'_1$. En opérant à l'inverse, comme il a été dit, on trouvera que le même rectangle représentera le travail consommé pour effectuer le passage d'une même quantité de chaleur du corps froid au corps chaud. (R.)

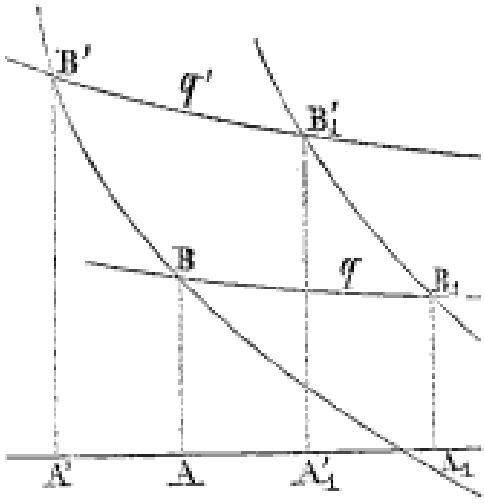


Fig. 2.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de plus : l'air dont nous nous servons pour développer la puissance motrice est ramené, à la fin de chaque cercle d'opération, précisément à l'état où il se trouvait d'abord, tandis qu'il n'en était pas tout à fait de même pour la vapeur d'eau, ainsi que nous l'avons remarqué [1].

Nous avons choisi l'air atmosphérique comme l'instrument qui devait développer la puissance motrice de la chaleur; mais il est évident que les raisonnements eussent été les mêmes pour toute autre substance gazeuse, et même pour tout autre corps susceptible de changer de température par des contractions et des dilatations successives, ce qui comprend tous les corps de la nature, ou du moins tous ceux qui sont propres à réaliser la puissance motrice de la chaleur. Ainsi nous sommes conduits à établir la proposition générale que voici :

La puissance motrice de la chaleur est indépendante des agents mis en œuvre pour la réaliser; sa quantité est fixée uniquement par les températures des corps entre lesquels se fait en dernier résultat le transport du calorique.

Il faut sous-entendre ici que chacune des méthodes de développer la puissance motrice atteint la perfection dont elle est susceptible. Cette condition se trouvera remplie si, comme nous l'avons remarqué plus haut, il ne se fait dans les corps aucun changement de température qui ne soit dû à un changement de volume, ou, ce qui est la même chose autrement exprimée, s'il n'y a jamais de contact entre des corps de températures sensiblement différentes.

Les diverses méthodes de réaliser la puissance motrice peuvent être prises d'ailleurs, soit dans l'emploi de substances diverses, soit dans l'emploi de la même substance à deux états différents, par exemple, d'un gaz à deux densités différentes.

[1] Nous supposons implicitement dans notre démonstration que, lorsqu'un corps a éprouvé des changements quelconques, et qu'après un certain nombre de transformations il est ramené identiquement à son état primitif, c'est-à-dire à cet état considéré relativement à la densité, à la température, au mode d'agrégation ; nous supposerons, dis-je, que ce corps se trouve contenir la même quantité de chaleur qu'il contenait d'abord, ou autrement, que les quantités de chaleur absorbées ou dégagées dans ses diverses transformations sont exactement compensées. Ce fait n'a jamais été révoqué en doute; il a été d'abord admis sans réflexion et vérifié ensuite dans beaucoup de cas par les expériences du calorimètre. Le nier, ce serait renverser toute la théorie de la chaleur à laquelle il sert de base. Au reste, pour le dire en passant, les principaux fondements sur lesquels repose la théorie de la chaleur auraient besoin de l'examen le plus attentif. Plusieurs faits d'expérience paraissent à peu près inexplicables dans l'état actuel de cette théorie. (A.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La seconde partie de la brochure de S. Carnot, qui est consacrée à des déductions sur le rapport qui lie entre elles les chaleurs spécifiques des gaz à pression constante et à volume constant, n'a plus d'intérêt puisqu'on sait aujourd'hui qu'elles ne sont pas différentes, et en outre à l'appréciation de ce qu'il appelait les chutes de température, source d'erreur analogue à celle de la supériorité d'une vapeur sur une autre, et qui a entraîné à quelques propositions erronées cet esprit éminent. Les quantités de chaleur sont certainement seules à considérer dans la production du travail mécanique et non les températures.

La valeur du raisonnement de Carnot, fondé sur la nécessité du rapport entre l'effet et la cause, jetait une vive lumière sur la question. Il a démontré qu'à moins d'admettre que l'on pouvait mettre l'univers entier en mouvement avec la chaleur de la flamme d'une bougie, il faut reconnaître que la puissance motrice d'une quantité déterminée de chaleur a un maximum théorique; résultat considérable prouvant une analogie profonde entre la chaleur et le travail mécanique, que celle-ci ne peut engendrer que suivant un rapport déterminé. Sans fournir en apparence de nouvelles lumières sur la nature de la chaleur, l'analyse de S. Carnot établissait donc avec une grande netteté la relation intime qui existe entre le travail mécanique et la chaleur. C'était là un pas bien important vers la découverte de la vérité, et son utilité pratique ressortait clairement de ce qu'elle fournissait le moyen, pour la première fois, d'introduire l'élément de mesure dans l'évaluation des effets mécaniques produits par de la chaleur (en comparant le travail produit, et la quantité de chaleur, et non des éléments seulement de ces quantités).

Il est probable que l'influence du beau Mémoire de S. Carnot a été plus grande qu'on n'eût dû le croire d'après l'obscurité dans lequel il est resté longtemps; car le jour où l'attention publique s'est portée sur la question, on a vu plusieurs esprits distingués rappeler ses idées qui évidemment les avaient beaucoup impressionnés et les avaient dirigés dans leurs recherches.

Il est cependant une conséquence nécessaire du raisonnement si logique de Carnot, ou plutôt de l'existence du calorique dont il part, qui est inadmissible, c'est que le travail mécanique est engendré non par une consommation de chaleur, mais par sa transmission d'un corps à un autre. Sans doute, si le calorique

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

existait, il ne saurait être anéanti, mais s'il n'est qu'une hypothèse propre à expliquer les faits, il eût fallu la démontrer ou la vérifier. Or, si l'on étudie avec soin la démonstration de S. Carnot, on voit facilement où est le point faible qui, au reste, n'infirme pas ses raisonnements et ses déductions principales. Il admet, sans le prouver, que le corps B reçoit toute la chaleur fournie par A, tandis que la chaleur qui lui est communiquée est celle dégagée par une compression qui correspond à un travail moindre que celui produit par la dilatation engendrée par la chaleur de A, et lorsque, pour un même changement de volume dans les deux cas, les pressions sont constamment plus faibles. Cela revient à admettre que des volumes égaux de gaz, à des températures et des pressions différentes, absorbent d'égales quantités de chaleur en se dilatant également, ce qu'il eût été nécessaire de prouver, et ce qui n'est pas vrai.

C'est à compléter en ce point capital la théorie déjà fort avancée par S. Carnot de la production du travail par la chaleur, que s'appliquent surtout, comme nous allons le voir, les derniers travaux qui ont fixé, dans ces dernières années, l'attention du monde savant.

Avant d'en traiter, nous compléterons les indications des progrès accomplis dans leur ordre chronologique, et nous citerons un travail inspiré par la réaction, qui devait naturellement résulter de l'adoption définitive de la théorie des ondulations pour expliquer les phénomènes lumineux, sur la théorie de la chaleur, la lumière et la chaleur apparaissant presque toujours simultanément. Il devait nécessairement sortir une tendance à transformer la théorie de la chaleur d'un progrès aussi considérable.

3° Dulong. — Ampère. — Fresnel.

Les travaux des physiciens sur la chaleur, depuis le commencement du siècle jusqu'à nos jours, ont surtout consisté en recherches expérimentales exécutées avec une grande précision, comme nous l'avons déjà observé.

La série de travaux la plus remarquable et la plus complète est celle de Dulong et Petit, c'est la seule dont je parlerai dans cette rapide esquisse du mouvement des idées. Leurs Mémoires sur le thermomètre à mercure, et sa comparaison sur le ther-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

momètre à air, sur le refroidissement, etc., sont justement célèbres; mais, parmi leurs découvertes, on doit surtout citer la relation qu'ils trouvèrent entre les chaleurs spécifiques et les poids atomiques, dite loi de Dulong, découverte capitale, vérifiée et précisée depuis par les travaux de M. Regnault, que rien ne pouvait faire prévoir, et dont on n'a peut-être pas assez apprécié l'importance majeure pour l'analyse de la nature de la chaleur.

On sait que cette loi consiste en ce que le produit du poids atomique des corps simples par leur chaleur spécifique déterminée pour l'unité de poids est une quantité constante. Elle ne paraît guère conciliable avec la conception d'un calorique, d'un fluide indépendant du corps matériel, car il semble que la chaleur spécifique devrait alors être proportionnelle au poids des atomes, ou à leur écartement; tandis que si la chaleur est une vibration moléculaire, l'accroissement de forces vives correspondant à une même quantité de chaleur doit être une quantité constante. Or c'est là l'interprétation directe de la loi de Dulong, et l'exactitude de celle-ci vient donner une grande probabilité à cette assimilation de la chaleur et des forces vives.

Dulong avait entrevu la portée de cette loi; mais sa modestie ne lui permettait pas de sortir de la voie des recherches expérimentales. C'est dans les écrits d'un autre physicien de la même époque, d'un des plus grands esprits qui se soient livrés à des recherches spéculatives sur la philosophie naturelle, dans les mémoires d'Ampère, qu'il faut chercher les idées sur la théorie de la chaleur qui se faisaient jour, alors que les progrès de la science ne permettaient plus de s'en tenir à la théorie du calorique, telle qu'elle avait été formulée par Lavoisier.

C'est dans un curieux Mémoire, publié dans la Bibliothèque universelle de Genève (1832), que se trouve l'exposé le plus complet de la manière dont il concevait l'explication des phénomènes calorifiques par les vibrations, travail dont on va apprécier la valeur, et qui est surtout remarquable à notre avis par l'indication bien nettement formulée que c'est sous la forme de *forces vives* que l'on doit étudier et chercher à mesurer les effets calorifiques. Nous donnerons ici cet intéressant Mémoire.

M. Ampère distingue les vibrations moléculaires (la molécule étant for-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mée par une réunion d'atomes) des vibrations atomiques. Dans les premières, les molécules vibrent en masse, en s'approchant et s'éloignant alternativement les unes des autres, et soit qu'elles vibrent de cette manière, ou qu'elles soient en repos, les atomes de chaque molécule peuvent vibrer et vibrent en effet toujours, en s'approchant et s'éloignant alternativement les unes des autres, sans cesser d'appartenir à la même molécule. Ces dernières vibrations sont celles qu'il appelle vibrations atomiques.

C'est aux vibrations moléculaires et à leur propagation dans les milieux ambiants que M. Ampère attribue tous les phénomènes du son; c'est aux vibrations atomiques et à une propagation dans l'éther, qu'il attribue tous ceux de la chaleur et de la lumière.

Tout mouvement vibratoire ne pouvant avoir lieu qu'autour d'un état d'équilibre stable entre des forces opposées, les vibrations atomiques supposent nécessairement l'existence d'une force répulsive en équilibre avec une force attractive, ces deux forces s'exerçant à la fois entre deux atomes, de manière qu'il y ait possibilité d'un équilibre stable entre ces deux forces; ce qui exige que la force répulsive croisse et décroisse plus rapidement que la force attractive, quand la distance varie. Au reste, on peut ramener l'existence de ces deux forces à celle d'une force unique, dont l'expression mathématique contient deux termes de signe contraire, dont chacun correspondrait à chacune des forces en question.

Il est clair que, du moment où l'on admet que les phénomènes de la chaleur sont produits par des vibrations, il est contradictoire d'attribuer à la chaleur la force répulsive des atomes nécessaire pour qu'ils puissent vibrer.

Pour se faire une idée nette de la manière dont la chaleur se propage suivant des lois diverses : 1° Quand elle se meut dans un corps; 2° quand elle est à l'état de chaleur rayonnante, il faut remarquer que dans ce dernier cas elle ne se distingue pas de la lumière, car la lumière n'est que de la chaleur rayonnante, devenue capable de traverser les humeurs de l'œil, parce que la fréquence et l'intensité des vibrations qui la constituent sont alors assez grandes pour que ces vibrations puissent être transmises à travers ces humeurs. Il faut ensuite comparer ces deux sortes de propagation aux deux modes de propagation que présente le son. Exposons d'abord ces deux modes.

Concevons qu'un diapason soit mis en vibration, et définissons ce qu'on doit entendre par la *force vive* de son mouvement vibratoire. On obtient cette force vive, si l'on fait la somme des produits de toutes les masses de ses molécules par le carré de leurs vitesses à un instant donné, et qu'on y ajoute le double de l'intégrale de la somme du produit des forces multipliées par les différentielles des espaces parcourus dans le sens de ces forces par chaque molécule; cette intégrale qui ne dépend que de la posi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tion relative des molécules étant prise de manière qu'elle soit nulle dans la position d'équilibre autour de laquelle se fait la vibration.

Voyons ensuite ce qui arrive au diapason dans les cas suivants :

1° Si le diapason est dans le vide, le mouvement vibratoire se continue indéfiniment, et la somme des forces vives, explicites et implicites (*les deux termes de l'expression ci-dessus*), reste constante.

2° Si ce diapason est dans un fluide dont la densité soit moindre que la sienne, chaque vibration totale du diapason, c'est-à-dire son mouvement entre deux retours à la même position, avec des vitesses dirigées dans le même sens, produira dans le fluide une onde d'une épaisseur déterminée, qui parcourt le fluide suivant les lois connues de la propagation du son, en laissant la partie qu'elle a traversée en repos, sauf le mouvement qu'y excitera l'onde suivante, lorsque le diapason continuera à vibrer. A chaque vibration, la force vive du diapason diminuera de toute la force vive qui passe dans l'onde; en sorte que les diverses pertes successives du diapason iront en diminuant avec l'intensité des ondes qu'il produit.

3° Si le diapason était dans un milieu de même densité et de même élasticité que lui, il perdrait tout le mouvement à la première vibration, et toute sa force vive passerait dans l'onde unique qu'il propagerait autour de lui.

4° S'il y a dans un milieu indéfini un nombre quelconque de diapasons à l'unisson, dont un seul diapason, ou un groupe de diapasons voisins soient en vibration, les ondes produites dans ce milieu, que nous supposons d'une densité beaucoup moindre que celle des diapasons, en rencontrant ceux des diapasons qui étaient en repos, leur communiqueront peu à peu des mouvements d'autant moindres qu'ils seront plus éloignés du groupe vibrant, la force vive des ondes qui ne rencontre aucun diapason étant perdue pour le système. Mais à mesure que les diapasons, d'abord en repos, prendront du mouvement, ils produiront de nouvelles ondes, dont une partie de la force vive reviendra de même au premier groupe, mais en lui reportant moins de force vive qu'il n'en reçoit, parce qu'en vertu de ces échanges mutuels, la force vive de leurs vibrations ne peut augmenter qu'autant qu'elle est inférieure à celle du groupe vibrant primitivement. La force vive du système de tous les diapasons ira en diminuant indéfiniment, par suite des ondes que le milieu propage hors du système; à moins qu'on ne le supposât renfermé dans une enceinte de diapasons entretenus en vibration avec une force vive constante, que nous supposons par exemple inférieure à celle de la partie du système qui vibrait primitivement. Dans ce cas, la force vive de cette partie et du reste du système tend à s'approcher indéfiniment de celle des diapasons de l'enceinte, sans jamais pouvoir l'atteindre, mathématiquement parlant; parce que les diapasons renfermés dans l'enceinte, qui auront une force vive supérieure à la sienne, perdront une partie de leur force vive par la pré-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sence de l'enceinte, en lui envoyant plus qu'ils n'en reçoivent, et que la force vive de ceux qui en auraient moins que l'enceinte en recevraient au contraire plus qu'ils ne lui en enverraient.

Si l'on considère, soit les diapasons placés dans une enveloppe cylindrique d'un très-petit diamètre, pour n'avoir égard qu'à sa propagation dans une seule dimension, soit les diapasons placés entre deux plans, pour avoir la propagation suivant deux dimensions, soit les diapasons dans l'espace, on pourra supposer dans le premier cas que la longueur du cylindre occupé par ces diapasons est divisée en tranches parallèles aux bases du cylindre; dans le second, que l'espace compris entre les deux plans parallèles est partagé par des couronnes circulaires, dont le centre est dans la partie, supposée très-petite, où les diapasons vibraient primitivement; dans le troisième cas, que l'espace autour de chaque partie est divisé en couches sphériques, et on pourra chercher dans tous ces cas la force vive transmise des diapasons d'une tranche, d'une couronne, ou d'une couche sphérique, à la tranche, à la couronne, à la couche sphérique consécutive; or comme cette quantité serait nulle, à égalité de force vive, on pourra supposer, comme première approximation, que la quantité de force vive transmise est proportionnelle à la différence des forces vives des deux éléments consécutifs. Alors on trouve nécessairement pour la distribution de la force vive dans les diapasons les mêmes équations que M. Fourier a trouvées pour la distribution de la chaleur dans les trois mêmes cas, en partant de la même hypothèse que la température ou chaleur transmise, que représente ici la force vive transmise, est proportionnelle à la différence des valeurs respectives des deux éléments. . . .

Observons ici que, tant qu'on considère les diapasons comme n'ayant sensiblement qu'une seule dimension, on est obligé de les assujettir à la condition de pouvoir vibrer à l'unisson, mais que, comme M. Savart a démontré que des surfaces vibrantes à deux dimensions, et à plus forte raison des corps vibrants à trois dimensions, sont susceptibles, par des changements graduels des lignes nodales, de prendre l'unisson d'un corps vibrant quelconque, il suffit de remplacer, dans tout ce qui précède, le mot de diapason par celui de plaque vibrante, ou solide vibrant, pour que tout ce que nous venons de dire soit encore vrai, sans aucune condition relative à la forme ou à la dimension de ces corps.

Appliquons maintenant ceci aux molécules d'un corps échauffé, considérant ces molécules comme autant de petits solides susceptibles de vibrer indépendamment les uns des autres, et de communiquer graduellement des parties de la force vive de leur mouvement vibratoire à l'éther environnant, en y produisant une onde à chaque vibration, précisément comme un diapason communique une partie de la force vive de son mouvement vibratoire à l'air environnant, et admettons que c'est seulement par l'intermède de cet éther qu'une molécule voisine, et qui aurait un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mouvement vibratoire moins intense, augmente graduellement sa force vive, tant que celle-ci est inférieure à celle de la première molécule; il est évident qu'on trouvera pour la distribution de la force vive entre les diverses molécules précisément les mêmes équations qui ont été données pour la distribution de la chaleur, d'après les différentes hypothèses sur la manière dont la force vive, transmise d'une molécule à une autre, dépend de la différence de leurs températures.

On trouve évidemment les mêmes résultats en considérant les choses comme nous venons de le dire, dans le système de l'émission, ou dans celui des vibrations, la quantité de calorique dans le premier système étant remplacée par la force vive du mouvement vibratoire des molécules dans le second. C'est pour rendre l'analogie plus facile à saisir entre la propagation de la chaleur dans les corps et les vibrations sonores de solide à solide, que M. Ampère a supposé dans cette explication que les molécules des corps ne se transmettaient pas leur mouvement vibratoire par l'intermédiaire de l'éther; car il pense qu'elles peuvent aussi se le transmettre parce que, une molécule changeant de forme, ce qui peut rester à la distance où elle est d'une molécule voisine, des forces attractives ou répulsives des atomes dont ces molécules sont composées, est susceptible d'éprouver quelques changements qui tendent à faire vibrer les atomes de la seconde; mais ce point de vue exigeant des calculs qu'il n'a pas faits, il n'a pas insisté sur le développement des conséquences de cette idée. Son but dans ces considérations est seulement de montrer comment les vibrations par lesquelles se propage la chaleur dans les corps peuvent y suivre une loi toute différente de celle des vibrations du son, de la lumière et de la chaleur rayonnante, ces dernières vibrations se propageant par des ondes qui laissent en repos la partie du corps vibrant où elles ont passé, sans qu'il y reste trace de leur passage, tandis que les premières se forment peu à peu, de proche en proche, et de manière que les vibrations des parties qui sont les plus près de la source de chaleur restent toujours supérieures en intensité aux vibrations des parties plus éloignées, d'une quantité qui va, à la vérité, en diminuant continuellement, mais qui, mathématiquement parlant, ne deviendrait nulle qu'après un temps infini.

On voit facilement que dans ce curieux travail, Ampère était surtout préoccupé d'accorder la théorie des vibrations avec les travaux mathématiques faits sur la chaleur, ceux de Fourier notamment, qui étaient tenus en haute estime dans le monde savant. Nous n'avons pas à nous y arrêter ici, car, malgré la beauté des déductions analytiques, ces travaux n'ont qu'une assez faible valeur au point de vue de la nature physique de la chaleur; ils ne sont que déductifs, n'exposent que les conséquences éloignées

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des principes adoptés, et ils doivent nécessairement être modifiés si le point de départ vient à changer.

Ampère néglige dans cet aperçu, comme nous croyons dans ses autres travaux, la production même de la chaleur, l'analyse directe de l'action des forces auxquelles sont dues les combinaisons chimiques qu'il s'efforçait d'expliquer par l'électricité. Le progrès que l'on pouvait espérer dans cette voie n'avait pas échappé à un autre grand physicien, Fresnel, qui écrivait ce qui suit en 1822, dans un admirable résumé de la nouvelle théorie de la lumière.

Après avoir indiqué la similitude de la chaleur rayonnante et de la lumière, il dit :

« Si la lumière n'est qu'un certain mode de vibration d'un fluide universel, comme les phénomènes de la diffraction le démontrent, on ne doit plus supposer que son action chimique sur les corps consiste dans une combinaison de ses molécules avec les leurs, mais dans une action mécanique que les vibrations de ce fluide exercent sur les particules pondérables, et qui les oblige à de nouveaux arrangements, à des systèmes d'équilibre plus stables pour l'espèce et l'énergie des vibrations auxquelles elles sont exposées. On voit combien l'hypothèse que l'on adopte sur la nature de la lumière et de la chaleur peut changer la manière de concevoir leurs actions chimiques, et combien il importe de ne pas se méprendre sur la véritable théorie, pour arriver enfin à la découverte des principes de la mécanique moléculaire, dont la connaissance jetterait un si grand jour sur toute la chimie. »

4° Meyer. — Joule. — Montgolfier.

La voie de déductions d'ordre mécanique appliquées à la chaleur qui avait déjà inspiré plusieurs des travaux exposés ci-dessus, a été encore celle qui a permis d'arriver au dernier progrès qu'il nous reste à signaler. Il est bien vrai que cette manière de raisonner suppose implicitement que les effets calorifiques sont soumis aux lois des forces que considère la mécanique, qu'il y a entre ces effets une certaine homogénéité, mais la vérification que l'on trouve dans les effets mécaniques qui accompagnent la chaleur, les lois nécessaires auxquelles ceux-ci sont assujettis en démontrent la justesse, comme nous l'avons déjà indiqué à propos du travail de S. Carnot.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le docteur Meyer d'Heilbronn, remarquant que les actions mécaniques qui consomment du travail, le frottement, par exemple, entre deux corps pressés l'un sur l'autre, produisent l'échauffement de ces corps, posa en principe vers 1842 l'équivalence des deux effets, la proportionnalité de la quantité de travail disparue, et de la quantité de chaleur engendrée par la même action. Ce fut là l'idée lumineuse qui donna un nouveau but aux recherches dont les résultats promettent d'être si importants.

Sans rien diminuer de la reconnaissance que l'on doit à ce savant pour l'éminent service rendu par lui à la science, il est intéressant de montrer que l'idée qu'il a formulée très-nettement, d'une manière facilement applicable, avait déjà été émise avant lui d'une maniére plus générale; c'est un moyen d'en faire bien apprécier toute la valeur. Ainsi on trouve déjà indiqué dans Descartes le grand principe de la permanence du travail des forces dans l'univers, qui peut bien changer de forme, être transformé, mais ne saurait disparaître, point de vue supérieur qui domine en réalité la notion d'équivalence. On lit en effet dans la lettre 134 de ses œuvres (1er avril 1648). « *Je tiens qu'il y a une certaine quantité de mouvement dans toute matière créée qui n'augmente et ne diminue jamais*, et ainsi lorsqu'un corps en fait mouvoir un autre, il perd autant de mouvement qu'il en donne; comme lorsqu'une pierre tombe de haut contre la terre, si elle ne retourne pas et qu'elle s'arrête, je conçois que cela vient de ce qu'elle ébranle cette terre, et ainsi lui transfère son mouvement . . . . »

Le même principe de l'indestructibilité de la force fut repris vers 1800 par Montgolfier, qui en fit une admirable application au bélier hydraulique. C'est parce que le mouvement ne peut être brusquement anéanti dans une colonne d'eau qui parcourt un tuyau, qu'il réussit à l'élever à une grande hauteur en fermant l'orifice d'écoulement, après avoir mis cette eau en mouvement.

Il n'échappa pas à Montgolfier que le principe que la force ne peut pas plus être anéantie que créée s'appliquait nécessairement à la chaleur, qui était une cause de mouvement; il en devait conclure qu'elle était une force mécanique qui existait dans le corps échauffé, conclusion lumineuse dont il sentit fort bien l'importance, dit son neveu M. Séguin; elle conduisait à considérer la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

force et la chaleur comme étant des manifestations sous une forme différente, des effets d'une seule et même cause.

Montgolfier chercha, dit-on, mais inutilement une combinaison propre à manifester clairement la vérité de cette théorie, analogue au bélier hydraulique. C'est que la persistance de la force ou du mouvement n'est pas la vérité tout entière, et dans une infinité de circonstances nous voyons le mouvement s'anéantir. La cause principale du succès du bélier hydraulique fut l'emploi de l'eau, d'un fluide incompressible; dans les mêmes conditions, le mouvement s'arrêterait, par exemple avec un bélier à air; mais, à la place du mouvement, il apparaîtrait une compression, un *travail mécanique égal à la force* vive disparue. Tels sont les éléments entre lesquels doit se suivre la persistance, en considérant le travail, la force vive, l'unité complète qui représente l'action totale des forces. Alors le principe est profondément vrai et doit être établi comme une des grandes lois naturelles.

Rien ne se perd, rien ne se crée, était la formule que Lavoisier posait comme point de départ de la science qu'il régénérait, et qui lui faisait retrouver, à l'aide de la balance, tous les éléments des compositions et décompositions qu'étudie le chimiste. Le développement si considérable de la chimie, comme le nombre infini de vérifications faites chaque jour, prouve la vérité absolue comme la portée de ce principe. Ce qui est vrai de la matière en elle-même doit être également vrai de l'action des forces auxquelles elle est soumise.

M. Grove, qui a creusé avec une grande finesse les questions de *corrélation des forces naturelles*, dit avec grande raison :

« Nous est-il possible, de fait, de nous représenter sous une forme réellement accessible à notre esprit une force sans force antécédente? Je ne le puis pas sans faire appel à l'intervention de la puissance créatrice; pas plus que, sans cette intervention, je ne puis concevoir l'apparition soudaine d'une masse de matière passant du non-être à l'être, ou formée de rien... Les raisons qui portent à admettre la même doctrine de la non-création et du non-anéantissement sont puissantes au même degré dans les deux cas... En réalité, la preuve que nous acquérons de l'existence continue de la matière nous est fournie par la continuation de l'exercice de la force qu'elle développe, comme lorsque nous pesons la matière, notre preuve de son existence est la force d'attraction qu'elle exerce; de même aussi, la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

preuve pour nous de l'existence de la force est la matière sur laquelle elle agit. »

Le principe de la permanence des puissances naturelles se traduit en mécanique par la loi fondamentale de la *conservation des forces vives*. Admirablement vérifiée par le système du monde, par la régularité des mouvements des corps planétaires, cette grande loi se trouve en défaut dans quelques cas de mécanique physique, dans celui du choc entre corps imparfaitement élastiques, du frottement entre surfaces pressées, etc. Mais dans ces cas, comme chacun sait, avec des effets mécaniques apparaissent des effets calorifiques. Est-il raisonnable d'admettre que ces derniers n'ont aucun rapport avec la cause qui les produit, sont complétement hétérogènes avec le travail mécanique consommé, comme il arrive avec l'ancienne manière de concevoir les faits? N'est-il pas bien plus certain que la grande loi de la *conservation des forces vives* est générale, au milieu des transformations, des aspects différents des phénomènes, que le grand principe de la *permanence des puissances naturelles* ne peut être en défaut, et que dans les cas précédents la chaleur n'est qu'une transformation du travail disparu, dont les manifestations sous cette nouvelle forme sont nécessairement liées à la première par la relation d'équivalence?

C'est en la rattachant ainsi au principe supérieur de la permanence des puissances naturelles, que la notion d'équivalence du travail mécanique et de la chaleur me paraît la plus claire, la plus satisfaisante pour l'esprit.

Bien que purement historique, cet essai devrait peut-être, pour mettre complétement hors de doute les bases de la nouvelle théorie, indiquer ici quelques-unes des expériences déjà nombreuses, et qu'il est facile de varier, qui rendent sensible et mesurable la relation intime de la chaleur et du travail mécanique, la transformation de l'un dans l'autre, et qui prouvent qu'il s'agit, dans les nouvelles recherches, de tirer parti d'expériences positives, tout autant que de déduire des conséquences logiques d'une vérité de la philosophie naturelle de l'ordre le plus élevé. Je ne citerai ici que celle de M. Joule, qui montre nettement que la chaleur ne disparaît pas, reste sensible, quand elle n'est pas transformée en travail mécanique. Il a pris pour exemple un cas d'abaissement de température bien connu, celui qui accompagne l'ac-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

croissement de volume d'un gaz. Or, dans toutes les expériences faites jusqu'ici, c'était au moyen d'un travail mécanique que l'on produisait la dilatation accompagnée d'un abaissement de température. En disposant l'expérience, au contraire, de manière à ce qu'aucun travail extérieur ne se produise, les résultats sont bien différents.

Il place dans un calorimètre deux ballons, réunis par un ajutage muni d'un robinet; l'un d'eux renferme de l'air comprimé à 15 ou 20 atmosphères, l'autre est vide. Si, tout étant en place, on ouvre le robinet de communication, l'air se répand dans les deux ballons, et, malgré la diminution de la pression, il est impossible de constater le moindre effet calorifique, ce qui prouve qu'en l'absence de travail extérieur, il n'y a pas d'effet calorifique produit, que la somme des forces vives des molécules gazeuses ne variant pas, la quantité de chaleur ne change pas.

Cette expérience, dont l'exactitude a été vérifiée par M. Regnault, est tout à la fois décisive contre la théorie de Lavoisier, qui a pour point de départ la production de la chaleur par la condensation et conséquemment son absorption par la dilatation, et en faveur de la théorie dynamique, qui considère la chaleur comme un mouvement. Elle vient s'ajouter à celles également probantes que le frottement avait déjà fournies, en permettant de produire indéfiniment de la chaleur en raison du travail mécanique dépensé.

THÉORIE DYNAMIQUE DE LA CHALEUR.

Il nous a semblé intéressant de rapporter les travaux et de reproduire quelques-uns des monuments qui montrent comment deux séries d'idées bien distinctes se sont développées relativement à la manière de concevoir les phénomènes de la chaleur. La première, avons-nous vu, se rapporte aux premiers faits que constate l'observation des phénomènes les plus usuels produits par le feu, à la combustion, aux décompositions, aux transformations produites par l'action de la chaleur. Ce sont ces actions

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui, variées, multipliées par les chimistes, étudiées indépendamment des progrès de la mécanique et avec le désir de tout expliquer par des actions analogues à celles qui font l'objet de la chimie, ont conduit à la théorie du phlogistique d'abord, puis enfin au calorique de Lavoisier, seul reconnu par la science jusque dans ces derniers temps, et qui avait rejeté dans l'ombre des projets d'explication des effets de la chaleur par le mouvement plusieurs fois proposés. Il fallut une succession de grandes découvertes sur la lumière, toujours intimement liée à la chaleur, consistant à l'expliquer par les vibrations de l'éther, pour leur rendre du crédit auprès de quelques esprits distingués.

Pendant ce temps, la propriété, presque inaperçue jusqu'alors, des corps échauffés de produire du mouvement, devenait la base d'une invention qui allait changer la face de l'industrie, grâce au génie de Papin et à celui de Watt, grâce aux beaux travaux de Black sur la chaleur latente, et la machine à vapeur devint le moteur général, universel. A partir de ce moment, la chaleur fut, pour tout un ordre de personnes, ingénieurs, mécaniciens, navigateurs, industriels, etc., le moyen d'engendrer du travail mécanique, et l'habitude de considérer ces effets de la chaleur, au milieu des modifications diverses de la machine à vapeur, pouvait difficilement les conduire à la même conception de la nature de la chaleur que les chimistes livrés à l'étude d'actions bien différentes. Cette importante catégorie de faits nouveaux devait amener un progrès nécessaire dans les idées. C'est le point de départ de la belle analyse de S. Carnot; c'est la même impulsion qui a encore fait formuler à Meyer, sous le nom d'*équivalence mécanique de la chaleur*, un complément de cette seconde manière de concevoir les phénomènes, et qui conduit à ce qu'on appelle la théorie dynamique de la chaleur, constituée principalement pour rendre compte de la transformation de la chaleur en travail, et réciproquement.

Je la résumerai ici en disant qu'elle consiste essentiellement à considérer les effets calorifiques comme engendrés par des mouvements des éléments dont les corps sont formés; d'où suit l'application, sans restriction, du principe de la conservation des forces vives, ce qui mène à l'équivalence des quantités de chaleur et de travail mécanique qui peuvent apparaître ou disparaître par suite de transformation, de métamorphose d'un de ces

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

modes de manifestation en l'autre. Il ne suffit évidemment pas toutefois que cette théorie soit susceptible d'expliquer les effets mécaniques de la chaleur en vue desquels elle a été combinée, elle n'est admissible qu'autant qu'elle explique à son tour les effets chimiques et physiques d'une manière au moins aussi satisfaisante que la théorie de Lavoisier. Je veux seulement parler ici de l'admirable chapitre rapporté plus haut, qui est plutôt un exposé de l'action physique de la chaleur sur les corps qu'une analyse de son mode d'action.

Nul doute, si la nouvelle théorie est vraie, qu'elle ne puisse fournir l'explication de tous les faits ; mais on ne sera pas étonné qu'il soit nécessaire de la compléter laborieusement si l'on songe qu'elle est née de faits presque entièrement d'ordre mécanique, et qu'il s'agit de la rendre susceptible de fournir les lois de phénomènes qui se produisent dans les réactions chimiques. Pour donner un seul exemple, comment expliquer la gazéifaction produite par la chaleur, le fait principal en vue duquel Lavoisier propose l'hypothèse du calorique, si le calorique répulsif n'existe pas, si la chaleur n'est qu'un mouvement? Difficulté prévue par Ampère dans le Mémoire cité plus haut, et à peine levée d'une manière un peu satisfaisante dans de récents travaux.

Je ne chercherai pas à indiquer ici l'explication de ce fait qui paraît la plus probable. Chercher à répondre aux objections qui se présentent à l'esprit, à propos d'un exposé sommaire de la nouvelle théorie, n'est pas la vraie route à suivre aujourd'hui, à mon avis. Bien des points de détail, successivement discutés dans ces dernières années, n'ont pourtant pas encore constitué une théorie acceptée généralement, et ce qui serait aujourd'hui souverainement désirable, c'est un travail d'ensemble qui présentât les explications que fournit la théorie dynamique des divers phénomènes calorifiques de tout genre et contraignît à préciser celle-ci dans tous ses détails.

S'il est impossible de ne pas admettre que les nouveaux éléments introduits par les considérations dynamiques dans l'analyse des phénomènes de la chaleur doivent permettre d'avancer sensiblement vers la découverte de la vérité, sont-ils suffisants pour constituer une théorie complète? Il est sans doute intéressant d'arriver à une analyse plus satisfaisante des faits, de présenter à l'esprit, au lieu d'un mystère incompréhensible, une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

manière d'agir que l'on admet volontiers à cause de son analogie avec des faits bien connus; c'est déjà certainement ce que produit dans quelques cas la théorie dynamique de la chaleur. Mais peut-on espérer aller au delà de cette analyse plus ou moins imparfaite, constituer une véritable théorie des phénomènes calorifiques (et par suite de la constitution même des corps avec lesquels elle est intimement liée), c'est-à-dire un ensemble logique de lois positives, permettant de prévoir, de mesurer ? Nous pensons que ce qui précède nous permet de répondre plus affirmativement que nous ne l'avons fait au début de cette étude, et nous croyons fermement que ce sera l'œuvre de notre époque, et certes c'est là un des plus beaux édifices que la science puisse élever.

Pour arriver à avoir confiance dans la possibilité de ce grand progrès, il faut se rappeler toutes les recherches de physique expérimentale sur les phénomènes de la chaleur exécutées surtout depuis quarante ans avec une précision jusqu'alors inconnue. Je me contenterai de citer ici, parmi beaucoup d'autres, les nombreux travaux de Dulong et Petit; ceux de Dalton, Gay-Lussac, Clément-Désormes, Pouillet, Despretz, Magnus, Rudberg, etc.; ceux de Melloni sur la chaleur rayonnante, qu'il a prouvé être assimilable de tout point à la lumière, dont la théorie a été si admirablement constituée par les travaux de Young, Arago et Fresnel; enfin, et surtout ceux, si excellents de tout point, accumulés depuis trente ans, avec un zèle infatigable, par M. Regnault, sur presque toutes les questions relatives à la chaleur.

A côté de ces éléments si précieux l'on doit placer les travaux dirigés tout spécialement vers la constitution de la nouvelle théorie, montrant la route à suivre pour mesurer les effets de la chaleur, tels que le Mémoire d'Ampère; ceux, plus récents, de MM. Joule, Thompson, Clausius, Séguin, Hirn, etc., qui ont, soit tenté des analyses systématiques, soit élucidé divers points d'une manière incontestable.

Il ne paraît donc pas déraisonnable de tenter la voie que j'ai indiquée, c'est-à-dire de passer en revue tous les ordres de phénomènes engendrés par la chaleur, et, en appliquant à leur explication les principes de la théorie dynamique, d'essayer de démontrer la valeur, la supériorité de celle-ci; ce n'est qu'en prouvant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qu'elle n'est en défaut dans aucun cas, que les conclusions auxquelles elle conduit sont conformes aux résultats de l'expérience, que l'on peut la constituer définitivement.

J'ai tenté dans le Complément du *Dictionnaire des arts et manufactures* d'esquisser quelques-unes des parties capitales, encore inattaquées, de ce grand travail; peut-être oserai-je reprendre ici l'ensemble de la théorie dynamique de la chaleur à l'aide de nouveaux efforts et de nouveaux documents; surtout si, comme je l'espère, quelques personnes poursuivant le même but, viennent unir leurs efforts aux miens pour exposer la nouvelle théorie aussi complétement qu'il est possible de le faire aujourd'hui. Dût-on laisser quelques parties imparfaites, ce ne serait pas moins une œuvre d'un grand intérêt et d'une grande utilité que d'avoir formulé l'ensemble d'une théorie capitale, surtout si, comme j'en ai la conviction profonde, il en ressortait la démonstration de sa vérité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SUR L'ÉCLAIRAGE DES PHARES

ET SUR LA

LUMIÈRE ÉLECTRIQUE

Par M. le Professeur FARADAY.

(Extrait d'une lecture faite le 9 mars 1860 à l'Institution royale de la Grande-Bretagne.

L'usage de la lumière pour guider les navigateurs près des côtes ou dans les détroits dangereux a réclamé des perfectionnements graduels, et appelé, avec une exigence toujours croissante, l'attention des savants et des praticiens sur les développements et les applications des principes de physique qui pouvaient conduire à des solutions heureuses. Autrefois, les moyens étaient assez simples, et si l'éclat d'une lanterne ou d'une torche ne suffisait pas, on entretenait un feu. A mesure que le système s'est développé, on a reconnu que l'on pouvait l'améliorer, non-seulement en augmentant l'intensité de la lumière, mais encore en en dirigeant les rayons, soit par leur réfraction dans des lentilles, soit par leur réflexion sur des surfaces métalliques polies. Ce moyen s'est trouvé même, dans beaucoup de cas, plus efficace et plus utile que l'accroissement de la masse du feu, car il permettait de diminuer le volume de la lumière, et d'en faire croître en même temps l'intensité.

A une époque plus récente, on a imaginé aussi de réunir, autant que possible, tous les rayons émis et de les réfléchir, ce qui a exigé l'emploi combiné de la réfraction et de la réflexion. Dans toutes ces dispositions, on sacrifie une fraction notable de la lumière; car, si l'on recourt au métal, une portion des rayons sont absorbés par sa surface; si l'on se sert du verre, il se fait une déperdition partout où les rayons passent d'un milieu dans l'autre; enfin, une nouvelle absorption s'effectue dans le verre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

même. On ne peut donc, par aucun appareil optique, porter l'éclat jusqu'au maximum correspondant à l'intensité totale de la lumière.

Les rayons qu'on lance dans l'espace doivent être, jusqu'à un certain point, divergents. La divergence dans le sens vertical doit être suffisante pour que la clarté parvienne aux vaisseaux qui voguent à une certaine distance des côtes. Si l'angle de divergence est trop aigu, le phare pourra n'être pas aperçu assez tôt; s'il est trop grand, une partie de la lumière sera dispersée inutilement. Quant à la divergence horizontale, il peut être nécessaire de construire l'appareil optique de telle sorte qu'il rassemble la lumière émise dans l'étendue d'un angle de 45 à 60 degrés, et qu'il en forme un faisceau dont la divergence ne soit plus que de 15 degrés, produisant à une grande distance l'effet d'un éclair d'une certaine durée, ou même dont l'angle soit réduit à 5 ou 6 degrés, pour donner un éclat beaucoup plus court, mais beaucoup plus intense, et perceptible au loin dans les temps brumeux. La grandeur de la divergence dépend d'ailleurs beaucoup de l'abondance de la source lumineuse, et ne peut être diminuée au-dessous d'une certaine mesure pour une flamme donnée. Si, par exemple, on place une lampe d'Argand au foyer d'un réflecteur parabolique ordinaire de Trinity-House, et que la flamme ait $0^m,022$ de diamètre et $0^m,038$ de hauteur, on pourra obtenir un cône lumineux de 15 degrés de divergence. Mais si l'on veut augmenter l'éclat, on ne pourra le faire convenablement en accroissant la flamme de la lampe; car bien que, pour les appareils dioptriques de Fresnel, on construise des lampes qui ont jusqu'à 4 mèches et dont la flamme atteint un diamètre de $0^m,089$, si l'on plaçait une de ces fortes lampes au foyer du réflecteur dont nous venons de parler, son principal effet serait d'agrandir la divergence des rayons lumineux; et si, pour prévenir ce défaut, on augmentait la distance focale du réflecteur, cet appareil deviendrait beaucoup trop volumineux. On rencontre la même difficulté dans les systèmes dioptriques; aussi, en Angleterre, quand on emploie les lampes à 4 mèches, est-on obligé de placer quelquefois la flamme à près de $1^m,016$ de la lentille, ce qui exige des appareils très-beaux, à la vérité, mais fort grands.

Cependant, si la lumière pouvait être plus éclatante, il ne serait plus nécessaire de recourir à des dispositions aussi embarras-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

santes, et l'on pourrait, au contraire, les réduire considérablement. C'est cette condition que l'on s'efforce de remplir en employant pour l'éclairage des phares l'étincelle électrique ou les autres sources de lumière analogues par leur intensité. A la vérité, en ajoutant des lampes à des lampes, en les munissant chacune de son réflecteur, et donnant à tous les faisceaux lumineux la même direction, il est possible d'accroître la puissance du phare ; et, dans quelques feux tournants, on fait concourir jusqu'à dix lampes munies de leurs réflecteurs à la production d'éclairs intermittents, d'une intensité voulue Mais on ne peut pas disposer plus de trois de ces systèmes sur la circonférence entière d'un cercle ; et, s'il est besoin de répandre autour du phare dans toutes les directions une lumière fixe, on n'a pas encore trouvé de moyen plus satisfaisant que la lampe à quatre mèches de Fresnel, placée au centre de son appareil dioptrique et catadioptrique. Or, la lumière électrique peut être facilement portée à l'intensité de celle de la lampe à huile, et avec une simple dépense d'argent on peut même en rendre la puissance 5 fois, 10 fois plus grande et même plus considérable encore, non-seulement sans augmenter les dimensions de la flamme, mais encore en diminuant même ces dimensions jusqu'à la deux millième partie de celles de la flamme d'une lampe à huile. Cette propriété peut donc faciliter extraordinairement la réduction du volume et le perfectionnement de l'exécution des appareils optiques.

On a soumis à l'administration de Trinity-House un grand nombre de systèmes de lumière intense ou condensée; et cette corporation, en consacrant à ces recherches, dans plusieurs occasions, beaucoup d'argent et de temps, a prouvé son vif désir de contribuer à l'amélioration des appareils et à l'éclairage plus parfait des côtes. Il est évident que l'usage d'un phare ne doit jamais être interrompu; que son service doit être toujours assuré; qu'il ne doit jamais être dénaturé temporairement par l'introduction d'un système qui n'a pas reçu les développements les plus complets, pour lequel on n'a pas constaté d'une manière absolue la quantité de lumière produite, la dépense, l'usure des appareils, la constance de l'éclat pendant seize heures, l'impossibilité de subir l'extinction, les soins réclamés pendant la nuit, le nombre des personnes nécessaires pour le service, la nature

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des accidents possibles, l'adaptation aux emplacements exigus, et en général toutes les autres propriétés dont l'essai peut être fait hors d'un phare. L'appareil que le professeur Holmes a placé dans celui de South-Foreland, et qui est fondé sur l'emploi de l'étincelle électrique, a dû subir toutes ces épreuves préparatoires avant d'être soumis à un essai pratique pendant six mois d'hiver. L'étincelle y est produite par un système magnétique et non par une machine à frottement ou par une pile voltaïque. On sait que, si l'on entoure d'un fil conducteur un noyau en fer, et qu'on le fasse passer devant le pôle d'un aimant permanent, il se développe dans le fil, ou bien il tend à s'y développer un courant électrique. On dispose donc sur une roue plusieurs aimants puissants qui peuvent être mis en relation, à une très-petite distance, avec une autre roue sur laquelle on a fixé un certain nombre d'hélices en fil entourant des noyaux en fer. Une troisième roue, garnie d'aimants permanents, et analogue à la première, est disposée près de la seconde ; puis, à côté, se trouve une quatrième roue portant des hélices en fil sur des noyaux en fer ; enfin une cinquième roue, très-proche de la quatrième, porte des aimants permanents et complète le système. Toutes les roues munies d'aimants permanents sont montées sur un axe unique, tandis que les roues garnies d'hélices restent immobiles. Les fils des hélices sont réunis et aboutissent à un commutateur qui, à mesure que tournent les roues chargées d'aimants, rassemble les différents courants électriques développés dans les hélices, en forme un seul courant et le lance dans la lanterne du phare au moyen de deux fils isolés. Pour produire l'électricité, il suffit donc de faire tourner les roues munies d'aimants. Malgré la brièveté du texte, il paraît évident que les cinq roues sont placées sur le même axe ; que les deux qui portent des électro-aimants sont folles sur l'axe commun, restent immobiles, et sont situées respectivement entre deux des trois autres roues munies d'aimants permanents ; que ces dernières sont assemblées à clavette sur l'arbre ; enfin que les aimants permanents et les électro-aimants sont établis sur les couronnes cylindriques de leurs roues dans une direction parallèle aux génératrices. Il existe à South-Foreland deux appareils magnéto-électriques de ce genre, mis en mouvement chacun par une machine à vapeur de deux chevaux. A l'exception de l'usure, la production de la lumière *n'exige pas d'autres dépenses*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que le coke et l'eau nécessaires pour la production de la vapeur, et en outre les électrodes en charbon pour la lampe électrique de la lanterne.

Cette lampe est un appareil très-délicat qui comprend les deux pointes entre lesquelles se produit la lumière, et qui règle leur distance, de telle sorte qu'à mesure qu'elles s'altèrent, l'éclat et même la situation de l'étincelle ne changent pas. Les fils électriques viennent aboutir aux deux rails d'un petit chemin de fer qui porte l'appareil éclairant. Lorsque les charbons d'une lampe sont presque hors de service, on enlève cette lampe et on la remplace immédiatement par une autre. Les machines et les lampes ont fait un bon service, réel et pratique, pendant les six derniers mois. La lumière n'a jamais manqué par suite de l'insuffisance des machines ou des appareils; et, lorsqu'elle s'est éteinte dans la lanterne, il a suffi que le surveillant y mît un instant la main pour la rendre aussi brillante que jamais. La lumière traversait le Pas-de-Calais, était visible en France, et jetait un éclat supérieur à celui de toutes les autres que l'on pouvait apercevoir et même à celui d'un phare quelconque. L'expérience a donc été satisfaisante[1]. Il est encore nécessaire de soumettre le problème à un examen, principalement quant à la dépense et sous quelques autres rapports; mais les administrateurs de Trinity-House, comme toutes les personnes qui s'intéressent à la question, espèrent que la suite des épreuves conduira à l'adoption définitive du système.

(*Philosophical Magazine.*)

Traduit par M. J.-B. VIOLLET.

[1] Des expériences analogues sont poursuivies en France, et déjà l'administration des phares a fait exécuter un matériel complet pour étudier dans tous ses détails l'application de la lumière produite par les machines magnéto-électriques à l'éclairage des côtes. Le mouvement devant être produit par une machine à vapeur, on doit s'attendre à rencontrer quelque difficulté pour assurer par ce moyen un service qui ne peut faillir sans graves inconvénients, même pendant un temps très-court.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

COMPTE RENDU

DE

L'EXPOSITION D'AGRICULTURE

EN 1860.

INSTRUMENTS.

Lorsqu'en 1851 nous nous étonnions de rencontrer, à l'Exposition universelle de Londres, un si grand nombre de machines agricoles, nous avions peine à croire que ces instruments fussent réellement d'un usage général. Ils nous semblaient plutôt destinés à une parade stérile chez les grands propriétaires, qui tenaient à se faire honneur de posséder tout ce qu'il y avait de plus nouveau. En examinant de plus près la question, il était cependant facile de reconnaître que ces nombreux ateliers, uniquement consacrés à la fabrication des machines agricoles, ne travaillaient pas pour satisfaire un caprice de cette nature, et quelques-uns d'entre eux occupaient déjà 1,000 et 1,200 ouvriers. A cette époque, la France possédait aussi quelques ateliers de construction; mais il eût été difficile d'en citer un seul de quelque importance : on ne connaissait que de nom les instruments anglais; les machines locomobiles n'étaient considérées par aucun de nos constructeurs comme un des engins nécessaires dans une grande exploitation.

Plus encore que l'Exposition, les catalogues illustrés des constructeurs anglais ont appelé l'attention générale sur l'emploi plus général du fer et de la fonte jusque dans les instruments de culture, et ont servi à propager ces nombreuses machines à battre qui ne peuvent fonctionner utilement qu'à l'aide d'un moteur à vapeur.

Le matériel agricole de l'Angleterre a été comme la cause

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'une révolution qui s'est produite chez nous : quelques constructeurs ont timidement fait venir un petit nombre d'instruments anglais; ils les ont vendus, puis copiés, mais en ne sachant pas tout d'abord s'imposer toutes les obligations qu'entraîne une fabrication irréprochable. Ils n'ont réussi qu'à moitié, tandis qu'à la suite de l'Exposition de 1855, d'autres industriels, et parmi eux des ingénieurs distingués, se sont fait les importateurs des instruments anglais eux-mêmes.

Ces hommes, qui ont jusqu'ici peu inventé, beaucoup vendu sans construire, ont déjà rendu d'immenses services que le jury du concours de 1860 a voulu récompenser d'une manière éclatante. On a dit quelque part que le mérite de pareils vendeurs était largement rétribué par les profits de leur commerce, mais on n'a pas assez tenu compte de ce que, marchands aujourd'hui, ils construiront demain, et qu'ils apporteront dans cette position nouvelle tous les avantages d'une expérience longuement acquise par la fréquentation des concours et les observations mêmes de leurs clients.

Quelques-uns de ces grands importateurs sont déjà entrés dans cette voie : la machine à faucher qui a obtenu le premier prix, bien que d'origine anglo-américaine, a été de toutes pièces construite en France. D'autres s'efforcent de placer les machines françaises au même rang que les machines étrangères, et nulle part ailleurs que dans leurs magasins ou dans les concours on ne peut comparer avec autant de précision les unes avec les autres. Ces magasins sont de grands concours toujours ouverts, au grand profit de l'agriculture française.

Les fabricants français les plus importants ont compris l'utilité des catalogues : on ne saurait trop répandre ces images qui montrent au paysan le plus arriéré tout ce qu'il pourrait faire avec des machines, avec une rapidité bien plus grande.

Ceux de MM. Laurent, Renaud et Lotz, Duvoir, Cumming, etc., nous apparaissent comme des livres utiles que l'on ne saurait trop répandre, et qui porteront les progrès constatés dans nos expositions jusque dans les campagnes les plus isolées.

En 1854 on construisait le palais actuel de l'Industrie, dans le but d'y réunir tous les produits de l'Exposition universelle de 1855; mais on n'avait pas tenu un compte suffisant de l'espace que devait exiger ce programme, et c'est à grand'peine que nous

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pûmes arriver à placer dans de vastes annexes le trop-plein du bâtiment principal. L'importance du concours agricole qui vient d'avoir lieu a été telle que, limité à la France seulement et à tous les objets qui se rattachent d'une manière plus ou moins directe à l'agriculture, ce même local a été également insuffisant. Jamais on n'avait vu pareille affluence, et de ce que les exposants de machines agricoles sont aujourd'hui si nombreux, de ce que leurs produits sont si variés, il faut tout d'abord reconnaître qu'un grand mouvement s'est produit, et que la France est sous ce rapport dans une excellente voie de progrès.

Sans doute, les instruments anglais étaient encore en grand nombre, mais à côté d'eux il s'est rencontré plus d'un modèle de construction française, mieux approprié aux besoins de notre agriculture et plus abordable par son prix.

Le moment est venu peut-être de faire des concours plus essentiellement nationaux : le progrès est assez marqué, la voie est assez ouverte pour que nous accordions nos récompenses aux constructions vraiment françaises, qui ont été cette fois encore en partie étouffées par la concurrence étrangère. Autant l'émulation était jusqu'ici nécessaire entre les constructeurs des divers pays, autant il serait aujourd'hui désirable que tous les moyens convenables fussent dirigés vers la production en France des diverses machines que nous étions forcés d'acheter à l'étranger. L'élan est donné, et au prochain concours général le mouvement, s'il est favorisé par les tendances administratives, sera tout à fait produit.

Le concours de 1860 a marqué les premiers pas de ce mouvement qui ne peut plus se ralentir : il dénote de grands efforts, et il est peut-être plus remarquable par ce caractère de progrès d'ensemble que par des appareils d'une bien réelle nouveauté, encore bien que l'on y ait admis un grand nombre d'objets qui ne touchent que de bien loin aux industries agricoles.

Cette observation est surtout vraie pour les instruments de culture proprement dits : il serait difficile de préciser le caractère d'une tendance générale dans leur construction, et nous sommes trop incompétents pour essayer de mettre au jour les améliorations qu'ils ont pu présenter avec quelque chance d'avenir.

Le fait le plus saillant est sans contredit le résultat attein-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour la première fois par les machines à faucher. Déjà les concours des années précédentes avaient montré qu'on n'était pas loin d'une solution pour cet important problème, d'autant plus intéressant qu'une bonne machine doit rendre les opérations plus rapides et moins coûteuses, tout en n'exigeant qu'un nombre de bras moins considérable.

Les machines à faucher de Wood et d'Allen ont mieux fonctionné que les machines françaises, celle de Bingham aurait peut-être été leur égale si quelques organes, trop peu étudiés au point de vue de la résistance, n'avaient pas été mis tout d'abord hors de service.

Nous voudrions dire ici tout ce qu'il y a d'ingénieux, comme principes et comme détails, dans ces machines qui pour la première fois atteignent le but d'une manière pratique; mais il sera plus convenable de les décrire au moment où le concours des moissonneuses sera terminé. La parenté qui existe entre ces deux genres de machines nécessite une comparaison minutieuse entre leurs différents organes, et cette comparaison ne pourra être utilement faite qu'après le concours.

Toujours est-il qu'avec les faucheuses de Wood et d'Allen, on peut, avec deux chevaux et un conducteur, faire aussi bien le travail qu'un faucheur ordinaire, et que dans ces conditions, on peut travailler d'une manière courante près d'un mètre carré de surface par seconde, ou près de trois hectares en un jour de 10 heures. Ce résultat est déjà satisfaisant, et il est tel que tous les constructeurs ou entrepositaires refusent chaque jour la vente d'un grand nombre de ces machines, faute d'en avoir fait construire à l'avance.

On trouvera d'ailleurs dans l'excellent rapport de M. Barral, inséré au *Moniteur* du 29 juin 1860, tous les détails des expériences qui ont été faites à Vincennes devant le jury spécialement chargé de cet examen.

Quant aux machines à faner et aux râteaux à cheval rien de nouveau, si ce n'est une disposition très-ingénieuse de M. Hamoir, au moyen de laquelle le relèvement des dents se fait presque d'une manière automatique, au moyen d'une sorte de pied qui fait basculer tout le système quand il rencontre le sol : il suffit d'un simple mouvement appliqué sur une manette disposée à l'arrière pour que cet effet se produise, et la longueur beaucoup

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plus grande des dents en facilite encore le relèvement, qui se fait beaucoup mieux qu'avec tous les modèles anglais ordinaires.

La charrue à vapeur de Fowler a fonctionné à Villiers devant le jury. On sait que cet appareil consiste en une machine à vapeur locomobile placée à poste fixe dans un champ, et transmettant au moyen d'un cordage le mouvement à une charrue puissante à plusieurs socs, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. La charrue porte double système de socs et de versoirs, de manière à pouvoir travailler dans ces deux sens. Des poulies de transmission sont disposées aux deux extrémités des raies à ouvrir, et elles se déplacent facilement avec leurs supports dans un sens perpendiculaire aux sillons : c'est sur cette partie de la disposition générale que les améliorations ont porté depuis le concours de 1856. Exécution irréprochable, travail parfait; on ne saurait reprocher au système que d'être d'un prix fort élevé comme premier établissement et d'exiger encore une dépense de plus de soixante francs par hectare en terre facile. Le labourage par machines à vapeur n'a pas reçu de notables améliorations dans ces dernières années.

Nous avons été chargé par l'Empereur de faire construire, dans de meilleures conditions mécaniques, les machines à piocher, système Barrat et Kientzy. Sous cette forme, la question n'a pas fait et ne pouvait faire aucun progrès définitif du premier coup. La machine locomotive n'est arrivée à un état satisfaisant qu'après des hésitations nombreuses : la machine à labourer à action directe doit pouvoir se déplacer comme une locomotive sous l'action de sa force motrice, mais ce déplacement doit s'opérer sur un terrain non préparé, et elle doit aussi faire mouvoir dans des conditions convenables et assez compliquées les organes destinés à diviser et à retourner le sol. Ces organes sont dans les machines Barrat de véritables pioches fonctionnant comme les pioches ordinaires, mais plus lourdes, elles exigent nécessairement une plus grande puissance pour leur mouvement. Dans la machine Kientzy, les pioches sont remplacées par des fers analogues à ceux de certains scarificateurs; ils tournent autour d'un axe horizontal, maintenu à quelque distance du sol, et ils entament la terre en la retournant sur une grande largeur.

Ces machines pourraient fonctionner utilement dans un sol un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

peu résistant et homogène : l'une d'elles a été employée avec quelque succès à des essais de défrichement des landes dans le domaine de l'Empereur.

Une autre plume que la nôtre rendrait mieux compte des perfectionnements de détail que l'on a pu remarquer dans les instruments de culture ; nous sommes peut-être mieux préparé à nous occuper des autres appareils qui ont figuré avec honneur au concours, et nous nous occuperons d'abord des moyens généraux de transport et des machines motrices, avant de faire une incursion dans les machines servant plus spécialement à la préparation des produits ou dans la plupart des industries agricoles.

En ce qui concerne les voitures, les objets étaient en petit nombre, et nous ne saurions citer utilement qu'une charrette de M. Bassot à caisse articulée sur les brancards, un peu à l'arrière de l'essieu, de manière à pouvoir basculer complétement sans faire éprouver une grande secousse au cheval, et les divers systèmes d'arcanseurs du docteur Blatin si bien disposés pour agir au moment opportun. Dans l'un de ces appareils, un simple sabot fixé à une sorte de bielle, excentrique par rapport à la roue, ne gêne jamais la marche en avant et est toujours prêt à arrêter le recul lorsqu'il est à craindre. Impossible d'imaginer une disposition plus simple et plus efficace.

Quant aux véhicules destinés au transport des engrais, l'attention doit être surtout appelée sur le wagon citerne de MM. Gargan et C^ie^, construit avec la perfection que l'on rencontre dans tout le matériel des chemins de fer ; ce wagon peut être chargé à la manière ordinaire de marchandises quelconques, ou bien il peut recevoir dans sa citerne jusqu'à dix tonnes de liquide. Si ce liquide est celui des fosses d'aisances, on voit que l'on pourra considérablement étendre le rayon d'utilisation de ces matières le long de nos railways, tout en profitant de la plate-forme du wagon pour prendre en retour d'autres marchandises et ainsi diminuer les frais de transport.

M. Gargan, qui a spécialement imaginé ce modèle pour des transports d'eau potable en Égypte qui se font ainsi à de grandes distances et avec un succès complet, s'est proposé d'appliquer ce système aux vins communs, aux bières et aux cidres. Il éviterait ainsi les pertes de valeur résultant de la dépréciation des fûts, et il pourrait en quelque sorte livrer ces boissons avec certificat

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'origine. Quel que soit l'avenir de cette application nouvelle, on peut assurément prédire que la plus importante, la plus rationnelle et la plus utile est celle dont nous avons parlé en premier lieu : c'est celle aussi qui a particulièrement motivé la médaille d'or accordée par le jury à M. Gargan.

M. Galy Cazalat s'est moins occupé de voitures que des voies de communication. Il avait exposé un spécimen de chemin de fer agricole avec rails formés de barres de fer rondes. Ces rails, en grande partie enterrés, et qui reposent de distance en distance sur des patins en bois, ne forment qu'une saillie à peine sensible sur la route, et il est certain qu'ils doivent diminuer les frais de traction dans une proportion considérable. L'avenir dira les applications auxquelles est appelé ce système, dont le prix de revient ne dépasse pas 2,000 francs par kilomètre, tout compris. Il a sur les chemins américains cet avantage qu'il ne présente pas d'ornière pouvant s'encrasser, et que les roues, au lieu d'exiger l'emploi d'un boudin saillant, doivent seulement être creusées en gorge de poulie sur une partie de l'épaisseur de la jante. Nous avons entendu reprocher à ce système de ne pas s'opposer assez efficacement aux déraillements, mais on devra remarquer que le remède est à côté du mal, puisqu'il sera toujours facile de rentrer dans la voie, et qu'ainsi cette observation ne saurait servir de base à un reproche sérieux à faire au système.

Les machines locomobiles sont aujourd'hui employées en France pour le besoin des exploitations agricoles, comme elles l'étaient en Angleterre il y a dix ans. L'un de nos plus importants constructeurs en a livré près de cinq cents à lui seul, et les demandes que l'on en fait sont chaque jour plus nombreuses pour tous les cas dans lesquels on veut avoir à sa disposition une force motrice considérable.

Les locomobiles de six chevaux, à peine suffisantes pour le fonctionnement des machines complètes à battre dont on se sert en Angleterre, sont plus fortes qu'il ne faut pour les nôtres et aussi pour la plupart des opérations des industries agricoles. Aussi le programme du concours avait-il limité à ce chiffre la puissance des machines à vapeur. Plus de trente de ces machines ont été envoyées de divers points de la France, et jamais on n'avait vu une pareille réunion d'appareils bien disposés, bien construits, et d'un fonctionnement aussi régulier.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cette partie de l'Exposition n'était pas moins remarquable d'ailleurs par les tendances qu'elle témoigne.

On sait que les chaudières des machines locomobiles sont en général tubulaires, comme celles des locomotives ; on peut, par l'emploi de tubes nombreux dans lesquels la fumée circule, obtenir une grande étendue de surface de chauffe sous un faible volume, condition indispensable à la facilité du transport. Mais l'emploi des tubes n'est pas sans inconvénient : lorsque les eaux d'alimentation sont sujettes à former des incrustations en s'évaporant, les tubes se recouvrent de croûtes épaisses qui forment bientôt obstacle au passage de la chaleur, et par suite de la présence desquelles le pouvoir de vaporisation des chaudières se trouve réduit dans une proportion notable. Ces incrustations sont surtout à craindre pour des machines qui peuvent être transportées sur les différents points d'une exploitation, et l'on a vu cette fois que plusieurs constructeurs se sont efforcés d'obtenir la surface de chauffe nécessaire au moyen de bouilleurs placés dans l'intérieur d'une double enveloppe cylindrique formant le véritable corps de chaudière. On ne saurait dire encore que cette tendance ait conduit à une solution définitive du problème, mais au moment où l'on voudrait substituer aux chaudières fixes à bouilleurs des chaudières tubulaires en grand nombre, il est au moins curieux de voir qu'un mouvement en sens contraire se manifeste pour les machines agricoles.

Pour économiser le combustible, plusieurs dispositions ont été adoptées quant à l'emplacement occupé par le cylindre, soit dans la boîte à vapeur de la chaudière même, soit dans le parcours de la fumée avant son échappement dans la cheminée. Il est à remarquer que les deux machines qui ont consommé le moins de combustible par force de cheval et par heure présentaient cette dernière disposition.

Sans doute on peut craindre que la vapeur ne soit surchauffée outre mesure par l'échauffement dû aux gaz brûlés, mais on remarquera cependant que ce surcroît de température est toujours maintenu entre des limites très-restreintes, si la fumée, par un double parcours, s'est suffisamment refroidie auparavant. C'est ce qui semble se réaliser dans les deux machines dont nous parlons, puisque leur marche a été de tout point irréprochable. On a dit quelquefois que l'économie de combustible n'était pas

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le seul élément à considérer dans une machine destinée aux usages agricoles; nous sommes certainement de cet avis, mais il n'est pas permis d'oublier que chaque kilogramme de houille correspond à une dépense de dix kilogrammes d'eau, et nous pourrions citer bien des cas dans lesquels les difficultés de l'alimentation sont plus gênantes que le haut prix du combustible. La meilleure machine ne sera pas nécessairement celle qui consomme le moins de charbon; mais si elle brûle peu, soyez sûr qu'elle est bien étudiée, qu'elle est bien faite, et d'ailleurs ne faut-il pas tenir compte des essais que son exemple entraînera dans la vue d'obtenir les mêmes avantages de consommation avec une disposition plus sobre et d'un entretien facile. De louables efforts ont été faits, tant pour chauffer aux dépens de la vapeur d'échappement l'eau d'alimentation jusqu'à une température élevée, que pour régler l'alimentation par la dépense même.

Les dispositions de M. Falguière et de M. Flaud sont intéressantes au premier de ces points de vue: celles de M. Gargan, de M. Artige, de M. Duvoir doivent être mentionnées quant à l'alimentation, en quelque sorte automatique, des appareils à vapeur.

L'application de l'injecteur Giffart aux locomobiles devra aussi arrêter notre attention.

En ce qui concerne les moyens d'alimentation, le plus imprévu et le plus remarquable est celui de l'appareil qui est bien connu sous le nom d'injecteur Giffard, et qui déjà était appliqué à deux des machines locomobiles de l'Exposition.

La régularité du fonctionnement de cet appareil nous fait espérer qu'il conviendra pour ces machines, comme il convient pour les machines fixes et pour les locomotives auxquelles il est déjà appliqué.

Une seule objection pourrait être faite à son emploi dans ces circonstances, c'est qu'il ne peut alimenter que quand la chaudière est en vapeur; mais les pompes elles-mêmes sont dans ce cas, et l'on ne saurait se placer à l'abri de cet inconvénient que par l'addition d'une petite pompe à bras, ou simplement d'un orifice par lequel on verserait l'eau nécessaire avant la mise en feu de la machine. Un bon chauffeur doit d'ailleurs amener son niveau à hauteur convenable dans la chaudière avant d'éteindre le feu, et l'emploi de l'injecteur est tout aussi favorable que celui d'une pompe sous ce rapport.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On sait que le nouvel appareil fonctionne à volonté, au moyen d'un courant de vapeur emprunté à la chaudière. Ce courant, disposé de manière à faire aspiration latérale, entraine de l'eau froide dans laquelle il se condense, et l'eau chaude résultant de ce mélange, héritant de la force vive de la vapeur même, conserve assez de vitesse pour vaincre la pression de la chaudière et y faire retour, quand les orifices sont convenablement ouverts.

Ce mode d'alimentation a l'avantage de pouvoir être modéré à volonté, et comme il n'introduit que de l'eau déjà chauffée par la condensation, il n'abaisse pas sensiblement la température intérieure de la chaudière. La manœuvre n'est pas difficile; mais il faut encore voir si l'expérience en recommandera l'emploi dans les campagnes. Malgré toute la sûreté qu'il présente, les compagnies de chemin de fer, en l'adoptant, conservent encore une pompe pour servir dans les cas imprévus.

Nous nous abstiendrons de plus amples détails sur l'injecteur : quoique d'invention encore récente, il est déjà d'un emploi général, et nous nous bornerons à féliciter M. Flaud d'en avoir fait aux machines locomobiles une nouvelle application. Disons toutefois que cet appareil ne peut fonctionner qu'avec de l'eau froide, et qu'ainsi l'on peut craindre de ne pas tirer tout le parti possible de la vapeur d'échappement comme moyen d'échauffer l'eau d'alimentation avant son introduction dans la chaudière.

Cet emploi, d'ailleurs, peut lui-même présenter quelques inconvénients dans le fonctionnement des pompes ordinaires qui n'aspirent pas régulièrement l'eau chaude, et qui doivent être souvent visitées, si l'on n'a pas pris le soin d'éloigner autant que possible le piston des parties chaudes de la chaudière, et si le réservoir d'eau est à un niveau trop bas.

M. Gargan, pour remédier à cet inconvénient qui est quelquefois le désespoir des chauffeurs de machines locomobiles, a imaginé une disposition particulière qui, toute nouvelle, mérite d'être signalée ici avec les plus grands éloges.

Cette disposition est représentée dans la figure ci-jointe, et elle fonctionne à la manière des tiroirs de machines à vapeur, sans clapet ni soupape.

La pièce centrale A est une sorte de piston évidé à l'intérieur, de manière à présenter une capacité vide B; elle se meut d'un mouvement alternatif dans le corps de pompe C, de telle manière

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que, dans l'une des positions, l'orifice D correspond avec le conduit D', tandis que, dans l'autre position extrême, les orifices E et F soient respectivement mis en relation avec les conduits E' et F'.

Dans la première position, l'eau d'un réservoir supérieur, chaude ou froide, afflue par le canal D' dans la capacité B ; le piston se meut ensuite, emportant l'eau ainsi introduite ; et, dans la nouvelle position, cette eau se trouve mise en communication d'une part par le conduit F avec l'eau de la chaudière, d'autre part par le conduit E' avec la vapeur de cette même chaudière ; dès lors le niveau tend à s'établir, et l'eau de la capacité B passe dans la chaudière par le conduit F'.

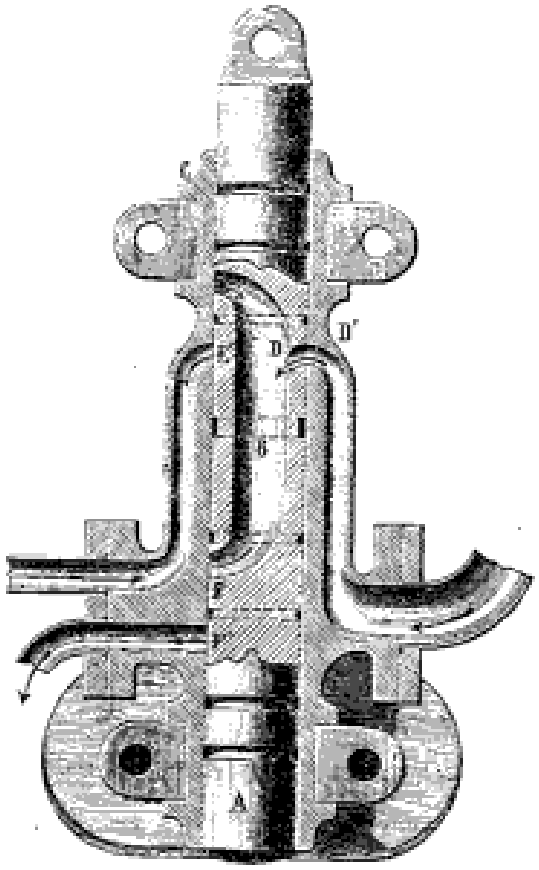


Fig. 3.

Le même mouvement se reproduisant, une nouvelle quantité d'eau se trouve, au tour suivant, introduite encore, et le jeu de l'appareil est encore facilité par la condensation partielle de la vapeur amenée dans la capacité B pour produire l'alimentation. L'appareil fonctionne à la manière d'une *bouteille* alimentaire, à cela près que les jeux de robinets sont remplacés par le mouvement alternatif d'un piston. Dans le modèle qui fonctionnait sur la machine locomobile, exposé par M. Gargan, les transmissions avaient été établies de telle façon qu'un temps d'arrêt facilitait encore l'introduction de l'eau dans la capacité B : l'expérience montrera si cette précaution est indispensable. Le piston était d'ailleurs sans garniture, et le constructeur n'avait pas d'autre moyen, pour s'opposer aux fuites, que des cannelures transversales, employées déjà par M. Cavé avec succès dans certaines machines soufflantes, et qui sont représentées en haut et en bas du piston sur le dessin.

On voit qu'il y a entre l'appareil de M. Flaud et celui de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. Gargan une grande différence. Le premier ne demande pas à être manœuvré par une succession d'organes mécaniques, et c'est là son caractère propre; le second fonctionne à la manière des pompes, par mouvement alternatif, mais il permet d'utiliser dans une certaine mesure la chaleur de la vapeur d'échappement.

Tous deux sont intéressants, et il était nécessaire de les signaler à l'attention publique. L'appareil de M. Gargan jouit d'ailleurs d'une propriété très-remarquable et qui consiste en ce que l'alimentation n'a lieu que quand elle est nécessaire : il suffit pour la rendre automatique de placer la prise de vapeur qui aboutit en E très-peu au-dessus du niveau normal de l'eau dans la chaudière. Si ce niveau s'élève, l'orifice E ne communique plus avec la vapeur, l'eau contenue dans la capacité B ne s'écoule plus, et l'alimentation cesse, pour reprendre lorsque l'orifice sera de nouveau démasqué, c'est-à-dire quand le niveau de l'eau de la chaudière sera revenu à la hauteur habituelle.

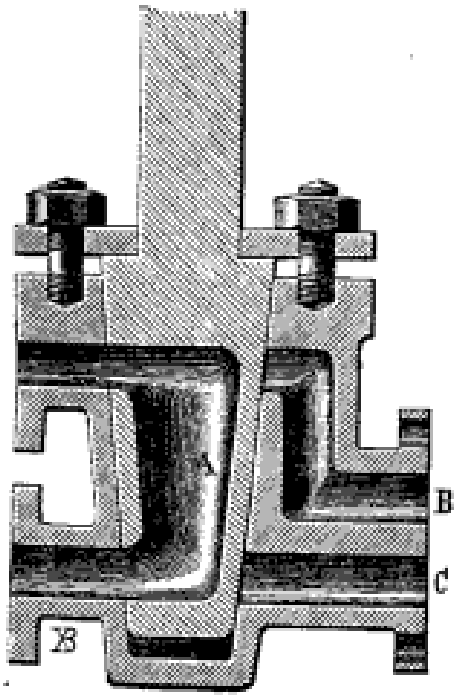


Fig. 4.

M. Gargan arrive encore au même résultat à l'aide de la disposition suivante, qui consiste en un robinet à plusieurs eaux, dont la clef, qui offre une cuvette centrale, est constamment mise en mouvement par les organes de la machine à vapeur. Dans la position qu'occupe la figure, cette cuvette A est à la fois en communication avec la vapeur et avec l'eau de la chaudière; dans la position inverse l'eau du réservoir alimentaire viendra remplir cette capacité centrale A simultanément par les conduits B et C.

Nous ne saurions avoir dans cette disposition la même confiance que dans la première : les distributions à mouvement circulaire se maintiennent difficilement dans un bon état d'entretien.

Ce serait sans doute un grand progrès que celui qui permettrait de régler l'alimentation d'après la consommation même de la chaudière : nous n'en voulons pour preuve d'autre argument que les efforts faits par divers constructeurs dans ce même but.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. Duvoir, de Liancourt, se sert à cet effet d'un flotteur, dont les déplacements font ouvrir ou fermer un robinet placé sur le tuyau d'aspiration de la pompe. Pendant toute la durée des expériences du jury, nous avons avec plaisir constaté que cette disposition bien simple suffisait pour maintenir le niveau constant dans la chaudière. Il faut toutefois observer qu'il ne sera pas toujours facile de donner à ce robinet une mobilité suffisante pour qu'il obéisse à toutes les indications du flotteur.

M. Artige arrive au même résultat par une combinaison qui mérite d'être indiquée, et qui parait échapper à l'observation qui précède. La pompe fonctionne toujours, mais elle n'aspire d'eau que quand la bâche dans laquelle elle s'alimente en contient, et l'introduction de cette eau dans la bâche est ici déterminée par l'action directe du flotteur sur un clapet, qui permet ou qui arrête l'entrée de l'eau dans la bâche. Cette disposition était à la fois bien entendue et bien exécutée.

Puisque nous parlons d'alimentation, disons un mot d'une disposition particulière de la machine locomobile de MM. Barbier et Daubrée, pour éviter la rupture du tuyau de refoulement de la pompe, lorsque le robinet de retenue de la chaudière se trouve fermé ; pour arriver à ce résultat, MM. Barbier et Daubrée placent les soupapes dans le boisseau même du robinet, de manière que le conduit de refoulement se trouve nécessairement fermé toutes les fois que l'eau ne doit pas être admise dans la chaudière. Ce petit perfectionnement de détail a de l'intérêt, si l'on conserve toutefois aux conduites d'eau des dimensions suffisamment grandes.

Le modérateur à boules de Watt est celui qui est généralement employé dans les machines locomobiles, mais son installation autour d'un axe vertical est si incommode que plusieurs constructeurs ont été conduits à la pensée de supprimer cet organe important. En faveur de cette suppression, on peut dire que la présence du chauffeur étant toujours nécessaire pour l'entretien du foyer, rien ne l'empêche de veiller à la marche de la machine et de tourner le robinet d'admission toutes les fois que cette marche est trop rapide ou trop lente. Il est même juste de dire que dans grand nombre de circonstances cette modération à la main peut suffire, si la machine n'est pas exposée à des variations de travail considérables, comme il arrive dans la plus importante des fonctions de ces machines, considérées comme machines

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

agricoles, le battage des grains. Dans cette opération, il suffit d'un chargement un peu inégal du tablier pour que la machine s'emporte ou s'arrête; l'emploi d'un modérateur est donc absolument indispensable, et la disposition la plus simple sans doute, bien que peu employée, est celle qui réussit si bien à M. Flaud dans ses machines à grande vitesse, lorsqu'il place l'arbre du modérateur à boules dans une position horizontale, et qu'il remplace l'action résistante de la pesanteur par un ressort à boudin.

M. Duvoir a employé dans ce but une disposition qui avait fait son apparition à l'Exposition universelle de 1851, sous le nom de modérateur à anneau de Saturne, mais il l'a mieux agencée qu'on ne l'avait fait à cette époque, et le bon fonctionnement de cet appareil l'a conduit à en faire l'application à la plupart de ses machines.

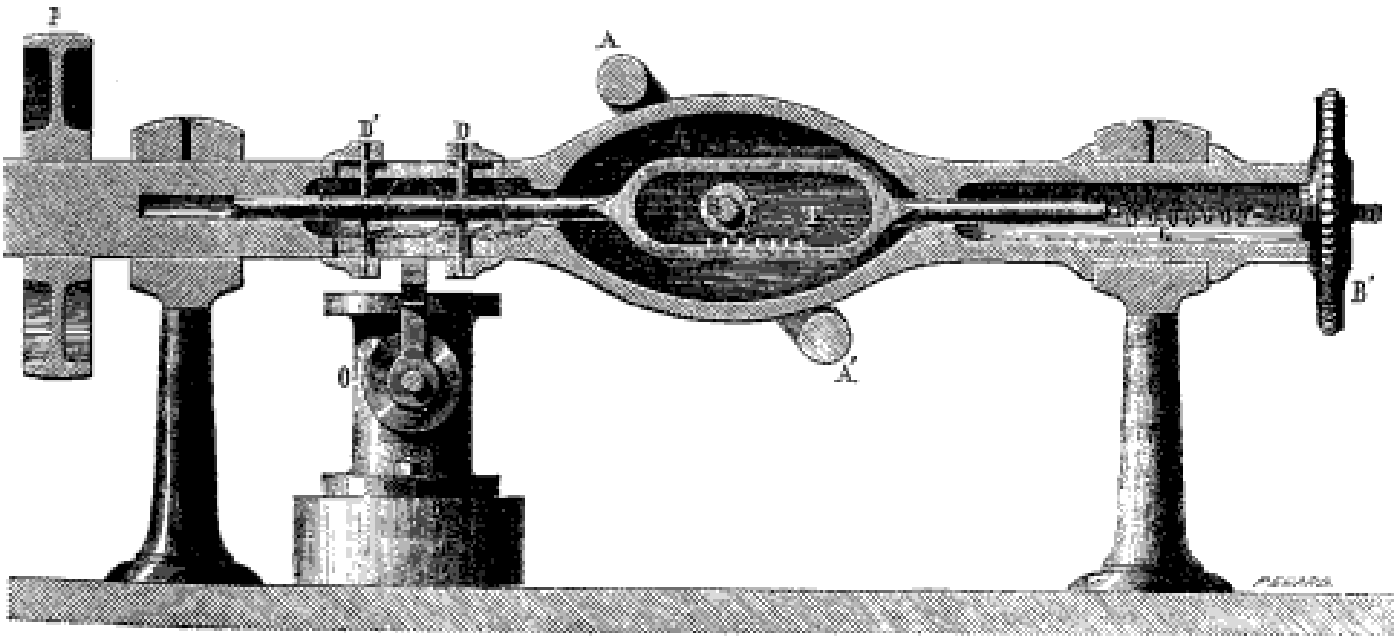


Fig. 5.

L'organe principal A consiste en un anneau de métal relié par plusieurs rayons à son centre, qui participe au mouvement général de l'arbre B sur lequel il est installé. Un ressort C tend à coucher les bords de l'anneau contre l'arbre, et l'on conçoit que si l'ensemble de l'appareil est animé d'un mouvement de rotation plus ou moins rapide, la force centrifuge, développée par ce mouvement dans l'anneau, tendra à l'amener dans une position perpendiculaire à l'axe : il s'établira donc une sorte d'équilibre entre cette tendance et l'action contraire du ressort, par suite de laquelle

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'inclinaison sera pour chaque vitesse différente ; cette inclinaison ne peut varier qu'avec le pignon B, et par suite avec la tige longitudinale qui porte la crémaillère T, et c'est cette tige qui, au moyen des mentonnets D et D′ qui glissent sur elle, est destinée à agir sur le levier de la valve O d'introduction.

Dans le modèle de cet appareil, donné au Conservatoire par le constructeur, et qui a été fidèlement reproduit par notre dessin, P est la poulie motrice qui transmet à l'arbre extérieur le mouvement de rotation auquel l'anneau participe. Tout l'appareil est fixé sur deux supports, dont la position est facile à trouver sur la paroi d'une chaudière cylindrique de machine locomobile. Cette disposition sera fréquemment employée.

Telles sont les questions de détail qui se rattachent aux machines à vapeur qui ont figuré au concours agricole au nombre de 40 ; la plupart d'entre elles ont été essayées au frein, et ce n'était pas un spectacle sans intérêt que celui d'une vingtaine de machines fonctionnant à la fois, et avec le même combustible, alors que leur puissance était constamment maintenue par des freins bien établis.

Les exposants étaient libres de contrôler les résultats enregistrés ; on les avait même engagés à le faire, et ils en ont été plus particulièrement priés lorsqu'une nouvelle expérience a été demandée à M. Farcot sur sa machine. Le 22 juin, cette machine n'avait consommé que $2^k,04$ de charbon de Charleroy, par force de cheval par heure ; ce chiffre a paru tellement avantageux que le jury a voulu qu'il fût constaté d'une manière irrécusable. Alors que certains constructeurs avouaient n'avoir jamais fait d'expériences de consommation, il pouvait être utile de leur en faire voir l'importance, et M. Farcot dut, sous les yeux de ses collègues, recommencer à la demande du jury les expériences de la veille. Cette fois la consommation s'éleva jusqu'à $2^k,30$, mais on doit considérer ce nouveau chiffre comme une complète confirmation du premier. La différence s'explique surabondamment par la gêne imposée au tirage par des rafales fréquentes et par le refroidissement déterminé par une pluie d'une longue durée.

Nous croyons rendre service à nos lecteurs en leur indiquant les chiffres mêmes des essais, que nous considérons comme contradictoires, puisqu'ils ont été constamment contrôlés par les constructeurs eux-mêmes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Noms des constructeurs.	Nombre de tours par minute.	Longueur du frein.	Charge du frein.	Travail en chevaux vapeur.	Combustible par heure et par cheval.
Farcot.	150	2.00	14.50	6.07	2.04
Farcot.	150	2.00	14.50	6.07	2.29
Barbier et Daubrée . . .	100	3.20	13.50	6.27	2.90
Rouffet	106	1.11	40.00	6.60	3.30
Breval.	121	1.50	20.00	5.06	3.36
Renaud et Lotz	81	1.65	31.90	5.96	3.41
Frey.	93	2.00	24.00	6.36	3.59
Barrett, Exall et Andrews	175	1.64	7.50	3.01	3.61
Cumming	100	3.00	16.50	6.93	3.74
Falguière	100	2.50	17.30	6.20	3.64
Cail et Ce	171	1.60	10.37	3.96	3.76
Calla	111	1.91	19.21	5.65	3.77
Gargan	91	2.30	17.00	5 41	4.00
Duvoir	125	3.00	7.50	3.94	4.11
Artige.	81	1.50	21.67	3.69	4.43
				Moyenne.	3.40

M. Gargan a fait, de son côté, le calcul des éléments de son expérience, et il arrive à un chiffre plus favorable, que nous ne croyons pas parfaitement exact. Quelques autres constructeurs ont interrompu leurs essais, soit par suite de certains dérangements dans les machines, soit parce que leur frein n'était pas établi dans de bonnes conditions. Toutes les machines exposées étaient bien faites; on remarque chez tous les constructeurs un progrès très-marqué, et l'on peut dire d'une manière générale que l'on se trouvera bientôt embarrassé pour faire un choix entre eux.

M. Lotz, M. Cumming, MM. Massonnet, Nassivet et Cie ont adopté de très-bonnes dispositions dans leurs batteuses à vapeur : le volume est réduit; la manœuvre est commode, et la machine à vapeur est très-simplement disposée par rapport aux organes du batteur; on remarquera particulièrement les précautions prises par MM. Renaud et Lotz, dans leur boîte à étincelles, pour éviter qu'aucune flammèche ne soit entraînée au dehors. Ces importants constructeurs ont déjà livré trois mille machines à battre de ce même modèle.

Quant aux machines fixes, MM. Rouffet, Flaud et Duvoir, les établissent maintenant dans d'excellentes conditions, et nous pouvons affirmer sans crainte que, même pour les machines de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

petites dimensions, destinées aux usages agricoles, nous sommes maintenant mieux pourvus que l'Angleterre de machines tout aussi bien exécutées, d'un entretien aussi facile, et dans lesquelles le combustible est au moins aussi bien utilisé que chez nos voisins.

Bien que l'emploi des machines à vapeur soit indispensable pour le service des grandes machines à battre complètes, les manéges peuvent suffire pour les batteuses répandues aujourd'hui dans la plupart de nos campagnes, et il n'est pas d'appareil qui ait subi plus de transformations dans ces quinze dernières années. En même temps que les machines à battre étaient conduites de ferme en ferme, il fallait qu'elles fussent accompagnées de leurs manéges; d'abord adhérents à la machine même, ils en ont été détachés, autant pour la facilité des transports, que pour profiter de cette indépendance en les appliquant successivement aux différents usages qui exigent l'emploi d'une force motrice.

L'idée des manéges locomobiles appartient à M. Damey, qui la revendique avec raison à la faveur de ses deux brevets des 28 septembre et 30 novembre 1848. Depuis cette époque, les manéges locomobiles ont été modifiés de mille façons, et constituent maintenant un certain nombre de types parfaitement distincts, parmi lesquels nous nous bornerons à décrire ceux qu'il nous paraît intéressant de faire connaître.

Ces manéges locomobiles peuvent être montés sur roues, et alors il suffit d'enterrer ces roues au moment de l'emploi pour les fixer à la place convenable; presque tous les types ont été présentés au concours avec cette disposition particulière.

La transmission se fait ou par terre, ou à une hauteur au-dessus du sol, suffisante pour que l'attelage puisse librement passer sous les organes qui constituent la transmission. Les manéges par terre agissent par l'intermédiaire d'une tige qui repose sur le sol et qui, au moyen de joints universels, transmet sous certaines inclinaisons le mouvement du dernier pignon du manége à l'arbre de la machine qu'il commande. Dans les manéges en l'air, la transmission se fait ordinairement par courroies; elle ne peut même se faire autrement pour les manéges locomobiles dont nous avons surtout à nous occuper ici : la courroie peut être placée sur poulie horizontale ou verticale.

Les manéges par terre sont nécessairement les plus simples :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ils se composent invariablement d'un certain nombre de roues d'angle et d'engrenages droits qui permettent de faire faire à l'arbre jusqu'à 100 tours par minute, le cheval marchant à une vitesse qui s'écarte peu de 80 centimètres à un mètre par seconde. Si nous supposons que le rayon de la voie du cheval soit seulement de 4 mètres, et on le réduit toujours outre mesure, il lui faudra 24 secondes, une demi-minute environ, pour faire un tour; il faudra donc que la vitesse de l'arbre principal soit augmentée par les engrenages dans le rapport de $\frac{1}{2}$ à 100, ce qui ne peut s'obtenir avec moins de trois roues et de trois pignons; encore faudra-t-il donner aux roues de grands diamètres et conserver aux pignons des rayons suffisants pour qu'il n'y ait pas entre les diverses parties d'une même transmission des disproportions trop grandes. Lorsque les roues seront très-grandes par rapport aux pignons, on pourra quelquefois arriver à la vitesse voulue avec deux paires de roues seulement.

Le manège de M. Lecointe de Saint-Quentin est certainement le mieux étudié de tous au point de vue de la construction : il est tout entier fixé sur une grande pièce de fondation en fonte, portée par quatre petites roues; au sommet de cette pièce est assemblée une colonne fixe, semblable à celle du manége Pinet, dans laquelle un arbre vertical est logé.

Au-dessous de l'embase de la colonne se trouve la roue principale qui porte les barres d'attelage et qui communique par un pignon d'angle son mouvement à un petit arbre latéral; celui-ci commande à son tour l'arbre principal du manége, qui règne dans une position horizontale sous toute la longueur de la plaque, et qui se prolonge à la manière ordinaire au moyen d'une articulation.

On voit, par cette description, que la colonne n'est pas nécessaire au fonctionnement de l'appareil, mais le manége est à double fin, et un pignon d'angle calé sur l'arbre horizontal sert au besoin à faire fonctionner l'arbre vertical de la colonne, qui peut ainsi être embrayé ou débrayé à volonté.

Le manége de M. Lecointe n'a qu'un seul inconvénient, c'est d'être un peu cher; mais il est d'une construction irréprochable et il est disposé de manière à servir dans toutes les circonstances qui peuvent se présenter dans l'emploi de ces sortes d'appareils.

Le manége locomobile par terre de M. Duvoir diffère du pré-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cèdent en ce que tout le bâti est en bois, et forme un train à quatre petites roues, terminé par une plate-forme ou cadre horizontal, sur lequel le mécanisme est fixé. Celui-ci se compose simplement :

1° D'une grande couronne en fonte dentée intérieurement, tournant autour d'un axe vertical, et portant à l'extérieur les attaches des bras du manége.

2° D'un arbre intermédiaire vertical, portant à la partie supérieure le pignon qui engrène avec la denture de la roue précédente, et à la partie inférieure une roue d'angle également horizontale.

3° Un petit arbre horizontal placé sous le train, recevant par un pignon d'angle le mouvement de l'arbre vertical, et le transmettant par son autre extrémité et par l'intermédiaire d'un joint de Cardan à l'arbre même de la machine.

Cette disposition permet d'employer de grandes roues, et, par conséquent, de simplifier le nombre des rouages. Le manége de M. Duvoir, qui est figuré sous le n° 16 dans son album, peut être employé avec confiance; ce modèle est excellent, mais nous n'en saurions dire autant de quelques autres manéges du même constructeur dans lesquels il a cru pouvoir supprimer l'arbre central, et ne guider le mouvement de la grande roue que par des galets, bien que cette combinaison, certainement vicieuse, se soit également rencontrée chez d'autres fabricants.

Plusieurs constructeurs de manéges, ne pouvant arriver sans un grand nombre d'engrenages à la vitesse voulue, interposent entre cette machine et la machine à battre un système d'arbres et de rouages qu'ils appellent *communicateur*, et qui, dans certains cas, peut être utile; mais il est évidemment plus simple de placer ces organes soit sur le manége en le complétant, soit sur la batteuse, au moyen d'un arbre supplémentaire disposé de manière à n'avoir besoin que d'une vitesse moindre.

Pour les manéges en l'air, on peut, par le rapport des poulies de la courroie, obtenir un rapport de vitesses qui permet de se contenter d'une vitesse moindre pour le dernier rouage.

Le manége à colonne de M. Pinet est certainement celui qui a eu le plus de succès; la colonne est creuse, et est traversée par un arbre vertical qui porte à son sommet la poulie motrice, armée d'un cliquet à ressort pour que le mouvement de rotation de cette

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

poulie puisse, en vertu de l'inertie des organes qu'elle commande, se continuer sans entraîner, au moment de l'arrêt des chevaux, les rouages et les bras du manége.

L'attelage agit sur une roue folle, placée au bas de la colonne; par sa denture, cette roue fait marcher un petit arbre vertical qui porte une seconde roue horizontale, transmettant le mouvement à un pignon monté sur la tige de la poulie. Cette disposition est éminemment simple. Le manége a une stabilité d'autant plus parfaite que le poids de tous les organes est près du sol, et cette stabilité est encore très-grande lorsque M. Pinet place son appareil sur deux petites roues, au moyen d'un essieu qui le traverse. Ici point d'engrenages d'angle; aussi le frottement est-il très-faible; il n'a d'autre inconvénient que de transmettre le mouvement au moyen d'une poulie horizontale sur laquelle la courroie ne peut être assise d'une façon aussi stable que si cette poulie était comme à l'ordinaire dans un plan vertical.

Pour satisfaire à cette dernière condition, une roue d'angle est nécessaire, et les modèles les plus intéressants rappellent le type original que M. Damey, le premier, a appliqué aux machines à battre. Un arbre vertical est solidement fixé sur un chariot; autour de cet arbre fixe tourne une couronne dentée, qui porte les bras et à laquelle les traits sont directement attelés. Cette couronne engrène avec un pignon horizontal, monté sur un arbre intermédiaire horizontal, à l'autre extrémité duquel une roue droite communique le mouvement à un dernier arbre parallèle qui porte la poulie motrice. Sous les noms de Gérard, d'Opter, etc., cette disposition a été déjà réalisée à un grand nombre d'exemplaires, surtout dans le centre de la France, et le modèle construit par M. Pihet est le seul qui, par sa bonne exécution et la forme bien étudiée des pièces principales, mérite d'être spécialement distingué.

Ce système, dont le principe n'appartient plus à personne, continuera à être employé à l'égal du manége Pinet.

Le jury a aussi remarqué, quant aux manéges fixes, l'habileté avec laquelle M. Loriot est parvenu à amarrer solidement une grande couronne dentée, de 8 mètres de diamètre, autour de l'arbre vertical de son manége. Cette couronne tourne avec l'arbre et transmet directement à un pignon horizontal de la machine à battre la vitesse nécessaire. Le système d'amarres qu'il a em-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ployé sert de support à une toiture qui tourne avec tout le système, et qui abrite sous elle les chevaux. Ce manége est très-employé dans le département de Seine-et-Marne, où il fonctionne d'une manière satisfaisante.

Considérées en elles-mêmes, les machines à battre ne présentaient pas de perfectionnement notable, si ce n'est peut-être dans les modèles anglais dont on cherche à réduire le volume et particulièrement chez MM. Ransomet et Jains dont la machine n'était pas moins remarquable sous le rapport de l'exécution que sous le rapport du groupement. M. Duvoir, M. Damey, M. Pinet, M. Gérard, et bien d'autres constructeurs ont pour la plupart reproduit leurs anciens types avec quelques améliorations de détail.

M. Fournier seul est sorti du système ordinaire, en abandonnant le battage et en opérant par froissement, entre des cylindres à cannelures en pointes de diamant; ces cylindres glissent longitudinalement l'un sur l'autre, pendant que leur mouvement de rotation s'effectue. Les premiers essais de M. Fournier sont satisfaisants, la paille est bien conservée, mais l'expérience seule peut dire si ce système est réellement pratique : il est au moins rationnel en ce que, dans l'opération du battage, une grande quantité de travail est consommée en efforts perdus. Avec la machine d'essai de M. Fournier, on peut facilement égrener une gerbe par minute.

Bien que nous n'ayons pas de progrès sérieux à enregistrer par rapport aux moulins à vent, nous devons cependant indiquer une sorte de turbine aérienne imaginée par M. Jassenne, bien étudiée au point de vue de la construction par M. Saulnier, et qui paraît fonctionner d'une manière satisfaisante dans le département de Seine-et-Oise. Les moulins à vent destinés à l'élévation des eaux acquièrent tous les jours plus d'intérêt, il faut seulement les réduire à une grande simplicité et, tout en les rendant capables de faire fonctionner une pompe par un vent moyen, s'arranger de manière que les rafales les plus violentes ne puissent les détériorer. M. Mulot, qui a fait le sondage de Grenelle, paraît avoir assez bien réussi dans la solution qu'il a donnée à ce problème, au moyen de ses moulins à ailes métalliques, s'orientant seuls; nous craignons que la construction de M. Jassenne ne soit un peu compliquée, mais nous donnerons volontiers les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

résultats qui nous ont été communiqués par lui et qui établissent dans une certaine mesure l'effet utile que cet appareil peut réaliser.

Dans une note très-bien faite par M. Saulnier, M. Jassenne calcule qu'une pareille turbine de 2 mètres 25 cent. de diamètre, coûtant 2,500 francs de premier établissement, et 350 francs d'entretien annuel, pourrait servir à irriguer d'une manière convenable 178 hectares, avec une hauteur d'eau totale de 10 centimètres, au moyen d'une dépense de 1 franc seulement pour 500 mètres cubes d'eau. Si la machine était appliquée au desséchement elle pourrait, dans les mêmes conditions, extraire cette même quantité de 178,000 mètres cubes par an.

Cette évaluation est basée sur un vent moyen de 5 mètres de vitesse, agissant seulement pendant 4,088 heures en une année.

Il est bien certain que les moulins à vent sont surtout propres à des travaux de cette nature, mais il ne faudrait pas compter d'une manière absolue sur des résultats aussi favorables.

Parmi les appareils d'un usage général nous avons encore à examiner les pompes applicables aux irrigations ou aux divers usages des exploitations agricoles. La simplicité dans ces machines est sans doute une condition importante, tout autant que le bon marché; mais nous ne voudrions pas cependant que le mot agricole entraînât nécessairement l'idée d'une construction par trop primitive et peu raisonnée. Sous le mérite de ces observations nous nous associons de grand cœur aux premières récompenses qui ont été accordées pour leurs pompes à messieurs Letestu et Faure qui n'ont cependant apporté aucune modification nouvelle dans leurs systèmes, et nous recommanderons, surtout à cause de son originalité, la disposition de M. Stoltz, qui permet d'obtenir une aspiration continue et un jet parfaitement régulier au moyen de deux corps de pompe en communication constante entre eux, et sans réservoir d'air; les deux pistons sont garnis de clapets : pendant que l'aspiration se fait dans le premier corps de pompe par l'élévation du piston, le refoulement que ce piston détermine s'opère au travers du clapet de celui du deuxième corps de pompe, et lorsque celui-ci à son tour se relève, il refoule pardessus, en même temps qu'il aspire par le clapet du premier piston une quantité d'eau nouvelle. Il suffit pour cela de faire communiquer la chambre supérieure du premier corps de pompe

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avec la chambre inférieure du deuxième, sans qu'il soit nécessaire d'employer pour aucun des deux corps de pompe aucune soupape de retenue. Nous regrettons que cette disposition ingénieuse n'ait pas reçu d'application plus importante.

Le fait capital de l'exposition des pompes était sans contredit la présence de la pompe à vapeur de M. Hubert. Cet habile ingénieur, qui a édifié dans un grand nombre de villes de très-beaux établissements hydrauliques pour l'alimentation des eaux, s'est adonné depuis quelque temps à la construction de machines locomobiles spécialement destinées à faire marcher des pompes placées à poste fixe sur la machine. Les résultats qu'il a obtenus sont très-remarquables, et nous avons vu fonctionner ses pistons de pompe à 110 tours par minute, et avec une vitesse de $0^m,80$ par seconde, sans choc sensible. Il peut ainsi fournir avec un de ses appareils 28 mètres cubes d'eau par heure, sous une pression de 5 atmosphères. On voit par ces chiffres combien ces appareils sont puissants, et quels services ils peuvent rendre, soit pour élever l'eau à une grande hauteur, soit pour obtenir un jet énergique en cas d'incendie.

Les deux machines exposées par M. Hubert ont été achetées, l'une par l'Observatoire impérial, l'autre par M. Halphand, pour le service municipal des promenades et des plantations de la ville de Paris. M. Hubert a bien voulu nous offrir de mettre à notre disposition une de ses pompes, que nous nous proposons d'expérimenter d'une manière suivie.

M. Pinet, d'Abilly, avait pour la seconde fois apporté au Concours agricole une pompe spirale d'un mètre de diamètre; le tuyau, contourné en hélice, étant à section carrée, il a pu employer deux spires contiguës qui rendent l'appareil à double effet, et qui permettent de lui donner à l'extérieur une forme absolument cylindrique. Ce tambour en zinc, monté sur chariot, peut au besoin être immergé jusqu'à l'axe, et il suffit alors de l'action d'une locomobile pour lui faire débiter des quantités d'eau considérables. Dans des expériences que nous poursuivons en ce moment, nous obtenons de cette machine un effet utile raisonnable et nous élevons à $2^m,50$ plus de deux cents litres d'eau par minute.

Au delà de trois mètres, la machine telle qu'elle est établie ne fonctionne plus, et il faudrait augmenter ou le diamètre, ou le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nombre des spires de l'hélice, pour élever l'eau à une plus grande hauteur.

La transmission est d'ailleurs établie dans des conditions très-simples : la poulie motrice fait saillie sur le côté d'un des brancards, et son arbre porte un pignon qui engrène directement avec une couronne dentée enveloppant, au milieu de sa longueur, le cylindre formé par les parois extérieures des tubes.

Nous mentionnerons encore une pompe à trois corps de M. Dubray, de Pont-Sainte-Maxence, disposée avec son manége de manière à rendre l'effort autant que possible constant et à donner un débit régulier.

Nous ne suivrons pas dans tous leurs détails les différents appareils qui ont été présentés au concours; mais en ne nous occupant que de ceux qui présentent une nouveauté bien réelle, il est nécessaire de dire quelques mots du grenier que M. Pavy a fait construire dans l'esprit des greniers Huart, mais qui est extrêmement remarquable sous le rapport des dispositions de détail.

Ce grenier, de dimensions convenables pour contenir 600 hectolitres de blé, se compose de 16 cylindres en terre cuite terminés, haut et bas, par des cônes également en terre cuite, d'une chaîne à godets, d'une machine à battre, d'un tarare, d'un peseur ensacheur, d'un mesureur, d'une machine à vapeur portative, d'une série de tuyaux servant à l'entrée et à la sortie du blé, et de sondes pour connaître la contenance en grain dans chacun des compartiments.

Chaque cylindre en terre cuite, d'un mètre de diamètre sur 4m,30 de hauteur, se trouve formé d'une série de tronçons creux reliés au moyen de cercles en fer. Ces tronçons eux-mêmes sont composés de segments à languettes et rainures. Les cônes qui ferment le haut et le bas des cylindres sont aussi en plusieurs parties. Les joints, soit des cônes, soit des cylindres, sont remplis avec du plâtre et faits avec assez de soin pour s'opposer à l'introduction de l'air. Afin d'occuper le moins de place possible, M. Pavy utilise les espaces compris entre les divers cylindres, qui sont juxtaposés, il les munit de couvercles de forme convenable qui sont, comme ceux des cylindres, percés d'ouvertures de 6 à 7 centimètres, destinées à recevoir le tuyautage. L'ensemble des cylindres est monté sur une charpente située à la hauteur d'un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

premier étage. Le tout est entouré de murs d'une construction très-légère et recouverts d'une toiture ordinaire, de façon à mettre le grenier à l'abri de la pluie.

Le compartiment central de l'appareil n'est pas employé pour la conservation du blé et sert au passage de la chaîne à godets et de la tringle qui supporte le distributeur du blé dans les divers réservoirs. Ce distributeur monté à l'extrémité d'un arbre vertical est une simple cuvette en forme de tronc de cône portant latéralement un conduit incliné. Au moyen d'une transmission de mouvement située au rez-de-chaussée, l'on peut imprimer à l'arbre vertical un mouvement de rotation et faire correspondre le bec distributeur avec l'un quelconque des conduits d'introduction du grain, dont les ouvertures en entonnoir sont rangées circulairement autour de l'arbre central. Un cadran numéroté, placé à la vue de l'opérateur, indique avec sécurité le compartiment que l'on veut remplir.

Pour connaître la hauteur du blé dans les divers compartiments, chaque réservoir renferme un flotteur sphérique en bois auquel on fixe une ficelle passant sur des poulies de renvoi et portant une autre petite sphère en bois. Quand la petite sphère est à son maximum de hauteur au-dessus du sol, c'est que le compartiment est vide ; au contraire il est plein quand la même sphère ne peut plus descendre. Quand on néglige de suivre les indications données par le flotteur, le blé déborde, vient tomber dans le tarare et met en mouvement une petite sonnette qui indique au surveillant qu'il est temps de changer de compartiment.

Chaque fois que l'on fait passer le blé d'un compartiment dans un autre, opération qui a lieu environ une fois par mois, on se sert du tarare, qui a pour but de remuer le grain, de le ventiler, et de le séparer des matières étangères. Au delà de deux à trois ans de conservation, le nombre des nettoyages peut être diminué, et l'on se contente de trois à quatre façons par année.

M. Pavy adjoint le plus ordinairement une batteuse à son appareil, de manière à pouvoir emmagasiner le blé immédiatement après le battage et par conséquent à peu de frais. Si l'on recevait le blé en sacs, la batteuse deviendrait inutile. Lorsque l'on fait usage de la machine à battre, le blé de la batteuse arrive au bas d'une chaîne à godets, en cuir, qui le porte au tarare, d'où il sort dans un grand état de propreté ; il se rend ensuite à la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

partie inférieure de la grande chaîne à godets, qui le monte à la partie supérieure de l'appareil avant d'être déposé dans le compartiment qui doit le conserver.

Quand on veut retirer le blé du grenier, on le pèse ou on le mesure à volonté dans le peseur ensacheur. Le mouvement de bascule du levier de la balance fait agir un ressort qui ferme la valve d'arrivée du grain au moment précis où le poids que l'on veut atteindre est équilibré; le ressort fait en même temps marcher une sonnette et apparaître un numéro qui indique le nombre des sacs que l'on a pesés. Le mesureur est formé d'une boîte rectangulaire légèrement inclinée et fermée par deux vannes mobiles; quand on veut mesurer un certain volume déterminé à l'avance, on le renferme entre les deux vannes que l'on maintient baissées; à chaque opération un timbre est mis en mouvement ainsi qu'un numéro indiquant le nombre des mesurages. Le blé peut arriver au tarare, au peseur ou au mesureur au moyen de tuyaux convenablement dirigés et de soupapes sphériques ou de valves.

Une machine à vapeur portative de cinq à six chevaux est nécessaire pour mettre en mouvement la machine à battre, le tarare et la chaîne à godets. Quand la machine à battre est supprimée, l'on peut se contenter d'une force motrice d'une très-faible puissance.

M. Pavy s'est proposé, au moyen de son appareil, d'emmagasiner le blé en vidant successivement et complétement chacun des compartiments, de le ventiler et de le nettoyer pour la conservation, de le prendre à sa sortie de la batteuse ou à son arrivée en sacs, de le garder en prenant peu de place, de le conserver en le préservant des insectes, de le peser, de le mesurer et de le compter.

L'auteur de ce système a parfaitement résolu les diverses conditions qu'il s'est imposées et qu'il est indispensable de remplir dans une opération de ce genre, et il est arrivé à les obtenir à des prix très-acceptables en pratique. C'est l'emploi de la poterie creuse qui a permis d'atteindre ce résultat. Cette matière étant peu conductrice de la chaleur, le blé ne se trouve pas soumis aux influences de la température, qui sont toujours préjudiciables à sa bonne conservation.

L'appareil qui a figuré à l'Exposition va très-prochainement être monté à la ferme impériale de Fouilleuse près de Saint-Cloud.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quant à la meunerie, les appareils les plus appréciés ont été les moulins portatifs de M. Bouchon et de M. Falguière, la machine à nettoyer les blés et l'étuve à farines de M. Touaillon.

Les moulins de M. Bouchon sont bien connus, et pourvu que leurs meules soient de très-bonne qualité, ils fonctionnent dans d'excellentes conditions. M. Falguière qui compte au nombre des mécaniciens les plus habiles, et qui s'est surtout adonné à l'installation des magnifiques usines à huile de Marseille et de Bordeaux, a plus particulièrement construit un genre de moulins qui peut être employé, soit à la mouture des céréales, soit à la trituration des graines oléagineuses au moyen de meule de rechange. Ces meules en silex sont verticales et produisent de 20 à 30 kilog. de mouture par cheval et par heure; la meule tournante peut faire jusqu'à 800 tours par minute, et le modèle exposé convenait au travail de 100 kilogrammes de blé par heure. La position verticale des meules a cela de remarquable que la mouture se ferait aussi bien sur bateau, mais nous avons peine à croire que cette disposition puisse être appliquée avec avantage à des moulins fixes.

Le jury a voulu profiter de la circonstance pour décerner une grande récompense à M. Hennecart auquel on doit les principaux progrès de la fabrication des gazes de soie pour le blutage des farines.

Parmi les machines à tuyaux de drainage, une seule mérite d'être mentionnée, non pas tant pour le produit en lui même que pour l'ingénieux procédé par lequel le résultat est obtenu. Dans la machine dont il s'agit, et qui a été construite par M. Fauconnier, M. Salomon Cohen qui en est l'inventeur s'est proposé de confectionner à la filière des tuyaux à manchons, au lieu des tuyaux cylindriques ordinaires. On aurait pu croire *à priori* à l'impossibilité de cette fabrication, pour laquelle cependant il a suffi de disposer devant une filière fixe, de la dimension convenable pour le manchon, une autre filière plus petite et s'ouvrant parallèlement suivant un diamètre. Cette deuxième filière fait le fût cylindrique à la manière ordinaire, au moyen de ses deux mâchoires et d'un noyau conique terminé par un diamètre égal au diamètre intérieur du fût. La filière mobile se compose de deux glissières, portant chacune un trou semi circulaire fraisé en cone, depuis la face extérieure jusqu'à la face intérieure, qui est celle

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du plus grand diamètre. On voit facilement par cette disposition que le fût cylindrique, en se moulant sur la filière et sur le noyau, se termine par un appendice conique qui se continuera tout à l'heure par la surface cylindrique du manchon, si l'on vient à démasquer complétement l'orifice de la filière principale.

Ce procédé, que l'on ne saurait considérer encore comme absolument pratique, est certainement une des plus jolies combinaisons mécaniques que l'on puisse imaginer.

Puisque nous nous occupons des machines à tuyaux de drainage, disons un mot des appareils à préparer la terre de M. Schosser et de M. Brethon.

Nous avons trouvé chez ce dernier constructeur des dispositions ingénieuses: l'une dans son malaxeur pour rejeter près d'une porte que l'on peut ouvrir à volonté toutes les pierres et racines que la terre renferme; l'autre dans sa machine à rebattre les briques et les carreaux, au point de vue de la manœuvre facile et prompte, à bras d'homme.

M. Vendeuvre a, pour ainsi dire, inauguré à l'Exposition tout un système de cuisson pour les briques, les tuiles et les tuyaux de drainage, système qui doit lui permettre d'opérer mieux et plus vite, ainsi qu'on en pourra juger par une description succincte. Les produits sont placés dans des chariots disposés sur une voie de fer; chacun de ces chariots forme une boîte en tôle dans laquelle des carneaux convenables sont menagés, et qui peut venir se placer sur un foyer unique, placé à un niveau inférieur à celui de la voie; la cheminée est également fixe, mais placée à une certaine distance, et elle peut indistinctement recevoir, au-dessous de sa naissance, l'un quelconque des wagons ou chariots. Lorsque l'appareil est en fonction, tous les wagons placés entre le foyer unique et l'unique cheminée sont parcourus par la fumée et sont en cuisson d'autant plus active qu'ils sont plus près du foyer: ils se chauffent ainsi graduellement et dans d'excellentes conditions; lorsque la cuisson est terminée pour le wagon placé au-dessus du foyer on déplace d'un rang tous les wagons, on place un wagon nouvellement chargé sous la cheminée et l'on continue le feu; la cheminée aspire alors l'air qui traverse les produits encore chauds qui viennent d'être cuits, et la chaleur même de ces produits sert à activer la fabrication des autres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce système est très-rationnel, et il s'appliquerait avec plus de facilité encore à une grande fabrication de tuyaux de drainage.

Les wagons déchargés après complet refroidissement reviennent, sur une voie parallèle à celle du foyer, reprendre après nouveau chargement, la place du wagon de cheminée; le travail est ainsi continu avec un matériel et sur un emplacement restreint.

La construction des pressoirs a grandement participé au progrès général : partout les dispositions se sont simplifiées, et des précautions ont été prises pour ralentir la marche à mesure que la pression augmente, de manière à utiliser toujours la force motrice dont on dispose de la manière la plus utile pour la rapidité de l'opération.

Le pressoir à vis de M. Lemonnier Jully de Chatillon a été pour le jury le plus remarquable : c'est également celui qui a reçu de la pratique la consécration la plus complète, car il est généralement employé dans les principaux vignobles de la Champagne et de la Bourgogne.

La vis est solidement établie sur une plate-forme en charpente sur laquelle se trouve le cuvelage qui doit renfermer le marc à presser; on empile sur le marc les charpentes qui doivent transmettre la pression, puis un écrou articulé dont la face inférieure peut s'incliner suivant les variations de niveau des pièces de bois sur lesquelles il repose. La transmission est placée au-dessous de la plate-forme ; elle se compose d'une grande roue dentée collée sur l'arbre même de la vis, et commandée par des pignons horizontaux auxquels le mouvement est transmis par deux pignons placés sur les arbres même des manivelles et sur les arbres verticaux des premiers pignons; les dentures sont graduées de manière à manœuvrer rapidement ou avec lenteur, et l'expérience prouve qu'en une seule serre les pressoirs de M. Lemonnier Jully rendent le marc de vin rouge parfaitement pressé, et que deux hommes seulement satisfont complétement à cette opération.

La presse de M. Samain, qui a été très-remarquée à l'Exposition, ne présente dans ses organes principaux rien de nouveau; elle reproduit le type bien connu des presses à losange, dans lesquelles le rapprochement plus ou moins grand de deux sommets opposés se traduit nécessairement par l'écartement des deux autres; les deux sommets qui sont placés sur une même horizontale sont articulés chacun sur un écrou en bronze, et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une vis à deux filets en sens contraires traverse à la fois ces deux écrous; il suffit de tourner la vis au moyen d'une roue extérieure à manette pour obtenir rapidement le rapprochement de ces deux sommets.

Quant aux deux sommets du losange qui sont placés sur une même verticale, l'un d'eux, le sommet supérieur, est solidement fixé à un bâti, et lorsque le sommet inférieur qui porte le plateau s'abaisse, il est guidé dans son mouvement par la tige même du plateau.

Afin d'obtenir une pression plus considérable, la vis porte au centre même du losange une roue à rochet que l'on manœuvre avec un levier; on arrive ainsi à des pressions de 100,000 kilogrammes dans les modèles les plus puissants. Mais si le principe même de l'appareil n'est pas nouveau, il est nécessaire d'indiquer le fonctionnement d'un organe accessoire très-important, et que nous trouvons pour la première fois dans l'appareil de M. Samain. Nous avons dit que le sommet supérieur était solidement fixé au support général de la machine; la liaison se fait au moyen de quatre tiges de fer légèrement cintrées; ces tiges supportent toute la pression, puisqu'elles remplissent le même objet que les tirants d'une presse hydraulique; à mesure que la pression augmente, elles tendent à se redresser dans leurs parties courbes, qui se rapprochent ainsi l'une de l'autre, et l'on comprend que ce rapprochement puisse être utilisé pour faire mouvoir une aiguille dont le déplacement indiquera, avec une approximation grossière, l'effort de traction exercé; cette aiguille guidera utilement dans l'énergie des pressions à donner, et elle permet aussi de ne pas dépasser une limite d'effort fixée à l'avance. L'aiguille est, à cet effet, munie d'un mentonnet qui, pour la pression *maxima*, vient empiéter sur l'espace que parcourt le levier qui sert à produire la pression; ce mentonnet arrête le levier dans sa marche, et l'on ne pourra presser à nouveau que quand, par suite de l'affaissement de la matière, le mentonnet se sera retiré.

Il ne faudrait certainement pas chercher dans ce petit mécanisme accessoire une grande précision, mais il est disposé de manière à donner des indications intéressantes, et nous devons le signaler avec éloge comme organe essentiellement nouveau.

Lorsque ce système est employé comme pressoir, les tiges cintrées sont directement liées au plateau inférieur, et le plateau

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

supérieur est directement assemblé avec le bras inférieur du losange, au moyen d'articulations solidement établies.

Ces appareils sont remarquables par leur prix peu élevé; pour n'en citer qu'un exemple, nous dirons qu'un pressoir de 100,000 kilogrammes, convenable pour opérer sur des marcs qui doivent fournir 60 hectolitres de vin, ne coûte que 1,500 francs avec ses accessoires. Ces appareils sont portatifs et d'une bonne exécution.

L'Exposition présentait aussi quelques spécimens de pressoirs fonctionnant à la manière des presses hydrauliques; cette disposition est surtout favorable pour les appareils de grande dimension.

Une disposition analogue à celle de la presse de M. Samain, se remarquait dans une grue exposée par M. Haranger, mais elle n'avait pas à y jouer le même rôle; cette grue était disposée de telle façon que le contre-poids se déplaçait nécessairement de manière à équilibrer toujours le poids soulevé. De cette manière la stabilité de l'instrument restait constamment la même; mais ce n'est là, suivant nous, qu'une condition à laquelle d'autres dispositions peuvent également conduire. Ce qu'il y avait de plus intéressant dans cette combinaison, c'est que par le déplacement même du contre-poids on jugeait du poids soulevé avec une approximation suffisante pour une première évaluation. La grue employée au chargement, servant de balance grossière pour des charges importantes, voilà, ce nous semble, le côté le plus intéressant de la question.

Voici, d'ailleurs, comment ce résultat est atteint:

La chaîne qui soulève le fardeau passe sur une poulie mobile avant de s'enrouler sur l'arbre moteur de la grue: l'arbre de cette poulie mobile est armé d'une denture qui engrène avec celle d'une crémaillère disposée sur la volée elle-même. Cet arbre serait donc soulevé par la charge, et tournerait sur lui-même proportionnellement à ce soulèvement, si aucune résistance ne s'opposait à cette action, et c'est le contre-poids qui est ici chargé de faire varier la résistance. L'arbre même de la poulie mobile porte à son autre extrémité une poulie dont la jante est disposée en spirale, et qui sert par son plus petit rayon de point d'attache à une chaîne attelée au contre-poids par l'intermédiaire d'un galet placé à l'arrière de la grue. Lorsque la poulie mobile tourne, cette pou-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lie en spirale ou en escargot tourne aussi, et elle entraîne avec elle la chaîne et le contre-poids : il s'établit donc une sorte d'équilibre entre le fardeau, de poids variable, qui agit à l'extrémité de la poulie mobile et le contre-poids constant qui agit sur la jante de la poulie en escargot, avec le rayon variable de la spirale. On comprend d'après cette description comment le déplacement du contre-poids peut donner la mesure approximative du poids du fardeau, et cette indication sera fort utile dans plus d'une circonstance.

Comme exemple de bonne construction, nous citerons encore un appareil de M. Vernay qui est destiné à gerber les tonneaux, ou plus exactement à peser, soulever et charger toute sorte de marchandises : c'est une véritable grue roulante armée d'appendices convenablement disposées pour ces différentes opérations ; le support principal de l'une de ces machines est construit avec les fers à nervures dits fers Zorès, qui donnent à la fois une grande résistance et une grande légèreté à l'appareil.

Nous aurions à citer encore grand nombre de machines intéressantes, mais nous avons pensé qu'on lirait avec plus de plaisir les comptes rendus des autres parties plus exclusivement agricoles de l'Exposition.

H. Tresca.

PRODUITS AGRICOLES.

La plus grande partie de l'étage du Palais de l'Industrie a été réservée à l'exposition des produits de la France et des colonies.

La nature des objets exposés, le peu de durée de l'Exposition n'avait pas permis l'adoption de montres de mêmes dimensions, dont l'uniformité présente toujours un aspect agréable à l'œil. Les collections des comices ou des grandes exploitations rurales ne manquaient pas cependant d'une certaine élégance ; les racines, les beurres et fromages, les flacons d'alcool et de fécule, placés sur des tablettes, se détachaient sur les gerbes vertes et jaunes dispo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sées en éventail, tandis qu'en avant, à la portée de la main, des sacs grands ouverts permettaient au visiteur d'apprécier par un examen minutieux la nature et la qualité des nombreuses variétés de froment, d'orge, d'avoine et des cent autres graines exposées.

Une exposition de produits agricoles ne peut jamais avoir l'éclat d'un magasin de soieries, d'une collection d'objets d'art, mais le visiteur sentait cependant qu'on s'était efforcé d'être agréable en même temps qu'instructif, et qu'il était bien dans ce Paris, sans rival dans l'art de l'étalage.

Le catalogue a rangé les produits exposés par catégories correspondant aux grandes régions de notre pays; cette division, qui avait ses avantages pour le classement, nous a semblé devoir être abandonnée dans le compte rendu que nous devons faire, et nous avons préféré réunir les objets de même nature, même de provenances éloignées, afin de nous éclairer par leur comparaison, et aussi pour ne pas nous exposer à des redites perpétuelles en rencontrant les mêmes objets dans un grand nombre des collections que nous voulons explorer.

§ I^er^. *Étude des sols.* — La nature, l'exposition des terres sur lesquelles une exploitation rurale est basée ont une immense influence sur la facilité de cette exploitation, sur ses succès, sa réussite, sur la direction qu'il faudra donner aux travaux. On comprend donc que dès que les sciences eurent fait quelques progrès, et qu'elles commencèrent à appliquer à l'industrie leurs découvertes, elles s'essayèrent à déterminer par une étude consciencieuse des sols à quelles conditions était due leur fertilité, à quelles causes leur stérilité.

Du premier pas on dépassa le but; on trouve, en effet, dans les traités d'agriculture qui datent d'une cinquantaine d'années des analyses très-nombreuses de terres arables, dans lesquelles on a déterminé avec grand soin la silice, l'alumine, la chaux, la potasse, l'acide carbonique, les matières végétales, etc. Il s'est trouvé que ces analyses très-compliquées, auxquelles on avait dépensé beaucoup de temps et de peine, ne pouvaient guère servir, et qu'après les avoir lues on n'aurait pas pu dire s'il fallait dans le sol analysé essayer la culture du colza ou du froment, ou se résigner à y planter des pins.

C'est que la connaissance complète de la composition chimique

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'une terre est bien moins importante que celle de sa constitution physique, et qu'on se figure mieux ce qu'on pourra faire d'un sol dit argileux et fort, ou au contraire sablonneux et léger, que d'un autre dont l'on connaît exactement la quantité de silice ou d'alumine. Il faut, dans cette application de la chimie, comme dans bien d'autres, préférer l'analyse immédiate, fine, délicate, qui sépare et trie sans détruire et briser, à l'analyse élémentaire, toujours un peu brutale qui fond, brûle et calcine.

Le lavage d'une terre à l'aide duquel on peut connaître la quantité d'argile et celle du sable est, malgré sa simplicité, une opération très-intéressante, et construire un appareil qui rende ce lavage facile et régulier est rendre à coup sûr un service à l'agriculture.

M. Mazure, professeur agrégé des sciences à Orléans, a exposé un petit appareil très-simple qui remplit très-convenablement cet office. Une des allonges de verre que les chimistes emploient dans leurs appareils distillatoires est disposée verticalement, et reçoit la quantité de terre arable à analyser; un tube de caoutchouc met cette allonge en communication avec un tube de verre muni d'un entonnoir dans lequel s'écoule l'eau d'un vase à robinet. L'eau arrivant par le bas de l'allonge soulève constamment la terre arable, le gravier plus lourd retombe bientôt, mais l'argile, le calcaire restant suspendus, montent jusqu'à la partie supérieure de l'allonge et arrivent bientôt au niveau d'un siphon qui les entraîne et les fait tomber dans un vase voisin. Le gravier reste donc dans l'allonge, le calcaire et l'argile s'échappent au contraire dans un autre vase. Quand l'eau passe claire, on arrête; on filtre les deux matières séparées, on les dessèche et on les pèse; on a ainsi une analyse grossière mais presque toujours suffisante, et qui donne d'une façon approchée la constitution physique de la terre arable.

On a fait et on fera encore bien des analyses sans l'appareil de M. Mazure; mais il est cependant commode, peu coûteux, et il nous semble que le jury a été sévère en ne lui accordant aucune récompense.

Ce n'est pas pour avoir perfectionné les méthodes d'analyse des terres arables que le frère Ogérien, à Lons-le-Saulnier (Jura), a obtenu une médaille d'or, mais bien pour avoir appliqué avec la plus grande persévérance les méthodes habituelles d'investi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gation à l'étude des terres du département du Jura. Une carte teinte de différentes couleurs indique, sur la surface de cette contrée, la répartition des six espèces de terre que le frère Ogérien y a distinguées. L'auteur a de plus présenté au public une collection très-complète de ces six variétés de sol, toutes disposées dans des flacons dont les couleurs se rapportent aux indications de la carte : les terres argileuses, calcaires, siliceuses, ferro-siliceuses, alcalines et humiques ont leur représentant, et chaque échantillon porte l'indication de son poids spécifique, de la facilité d'absorption pour l'eau et de la plasticité.

Une collection intéressante de géologie agricole, présentée par M. Nérée-Boubée, lui a valu une médaille de bronze.

§ II. *Sylviculture.* — La question du reboisement des montagnes est depuis plusieurs années à l'ordre du jour, et le fléau des inondations semble revenir périodiquement la rappeler, si on était tenté de l'oublier.

Les exigences d'une population toujours croissante chasse cependant les forêts des plaines, de telle façon que peu à peu notre culture forestière est appelée à se déplacer.

On ne saurait donc, au moment où l'on se préoccupe de ce déplacement, apporter trop de soin aux études qui ont pour but d'établir les conditions dans lesquelles telles essences doivent réussir et acquérir toutes les qualités dont elles sont susceptibles. Nous avons en France un grand établissement destiné à éclairer ces questions par des études spéciales, et à répandre les idées saines que l'observation et l'expérience lui auront dévoilées, en dispersant chaque année sur toute la surface du territoire des jeunes gens d'élite qui n'entrent et ne sortent de l'école qu'après des examen sérieux. Ce n'est même point une des moins grandes anomalies de notre enseignement agricole actuel, que l'existence d'une école de premier ordre pour une des branches de l'agriculture, tandis qu'il n'y a que des établissements secondaires pour l'ensemble de la science.

L'École impériale forestière de Nancy a montré par son exposition qu'elle a compris toute la gravité de sa tâche. La collection de billes de bois qu'elle a présentée est non-seulement très-complète, en ce sens que toutes les espèces forestières françaises y sont exposées, mais elle est rendue extrêmement instructive par la comparaison qu'elle établit entre des échantillons de bois de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

même espèce provenant d'individus développés dans des circonstances différentes et présentant les qualités les plus diverses.

Bois de marine, bois de construction, bois de travail et écorces, bois de feu et de charbonnage se trouvent là représentés, et de leur étude découlent plusieurs conséquences graves. Notre marine, par exemple, va constamment demander à l'Italie un chêne qui porte le nom du pays d'où on le tire, et qui est très-estimé pour les membrures des bâtiments. Or, on trouve dans le département du Doubs un chêne chevelu qui porte le nom de chêne lombard, et qui est très-certainement identique avec le chêne d'Italie. « Malheureusement, dans la Comté, le chêne chevelu se trouve à la limite septentrionale de son aire d'habitation, et y est atteint de gélivures qui le déprécient; mais cet inconvénient ne se présenterait sans doute pas dans le midi de la France, et la culture de cet arbre pourrait y présenter d'autant plus d'avantages qu'il croît sur des sols où d'autres variétés ne sauraient prospérer. »

Parmi les bois qu'il serait peut-être encore bon d'introduire dans nos cultures, on compte le sapin de Cilicie, dont le bois est supérieur aux autres variétés, et que le Muséum d'histoire naturelle s'efforce de répandre par les distributions qu'il en fait annuellement.

Le noyer noir, dont le bois est excellent et fort beau, pourrait peut-être conquérir également une place plus importante que celle qu'il a obtenue jusqu'à présent, surtout si on greffait sur lui le noyer ordinaire, ainsi que l'avait proposé la Société d'agriculture, qui avait même offert un prix pour encourager cette opération.

L'exposition de l'École de Nancy renferme encore une carte forestière dont l'étude importante est facilitée par la publication d'une intéressante brochure mise au-dessous, à la disposition du public, et à laquelle nous nous permettons de faire quelques emprunts.

Du premier coup d'œil on voit que la teinte verte qui annonce les forêts domine dans l'est de la France et comprend les Ardennes, au sol schisteux, au rude climat, et les montagnes des Vosges. Si l'abondance des forêts dans une contrée n'était déterminée que par la nature du sol, on devrait pouvoir conclure de ces deux exemples que la Bretagne et la Vendée, formées, comme les deux contrées précédentes, de granites et de schistes, de-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vraient être boisées; mais la faible altitude de ces pays, leur climat doux, humide, marin, a donné une vaste extension aux cultures pastorales, en diminuant d'autant les terrains boisés.

Il n'en est pas de même du vaste plateau qui occupe le centre de la France. « Avec un climat rigoureux, un sol maigre, graveleux, il semble qu'aux forêts seules il serait donné de prospérer sur tous les terrains vagues et improductifs qui s'y trouvent répandus.

« Il n'en est rien cependant : au lieu de contraster avec les bassins qui l'entourent, par l'importance et le nombre de ses forêts, le plateau central s'en distingue nettement par sa nudité. »

Une des causes qui ont contribué à son déboisement est sans doute le peu de valeur du bois et la difficulté d'en tirer parti dans un pays où les voies de communication sont difficiles, rares, imparfaitement établies; mais il est certain d'autre part qu'avec la disparition de ces mauvaises conditions, pourraient renaître les forêts, qui ont tant de raison d'être dans cette contrée peu favorisée.

Si le boisement des montagnes est souvent encore, malheureusement, à l'état de projet, la culture forestière des Landes marche avec la plus heureuse rapidité.

La première des grandes médailles d'or a été donnée à M. Léopold Javal, pour sa belle exploitation d'Arès, sur les bords du bassin d'Arcachon, dans la Gironde.

Arcachon est maintenant le Dieppe du Midi; c'est un riant pays : les grands pins maritimes descendent en étages baigner leurs pieds dans cette petite mer intérieure, dont la transparence laisse apercevoir le fond de sable blanc; l'Océan y prend déjà ces teintes d'un bleu d'azur, dont la franchise, la pureté, la violence étonnent toujours les habitants du Nord, habitués aux tons rompus, doux, gris de la Manche. La prospérité d'Arcachon, qui s'accroît chaque année, est récente. Il y a quelque soixante ans, tout le pays était couvert de dunes d'un sable fin jaune doré qu'on retrouve encore formant une bande d'un kilomètre de large au bord de l'Océan. Poussées par le vent, ces dunes avançaient toujours, couvrant le pays, engloutissant sans pitié villages, cultures, pâturages. L'ingénieur Brémontier les fixa par des semis d'ajoncs et de genêts, puis une fois arrêtées il les couvrit de pins maritimes. M. Javal, MM. Péreire et bien d'autres continuent son œuvre, et dans quelques années, la lande sera convertie en une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

forêt, dont les produits compenseront largement la peine qu'on se sera donnée pour la créer : le proverbe aura menti :

Lande tu es, lande tu resteras,

disait-il; la lande sera couverte et le nom seul restera.

La terre d'Arès qu'exploite M. Javal est d'une contenance de 2,843 hectares ; à l'exception de 190 hectares en voie de dessèchement, le domaine est actuellement entièrement en valeur.

Le terrain d'une pièce de 1,800 hectares, d'un seul tenant, sur laquelle ont porté surtout les travaux, n'avait en moyenne qu'une pente de 2 millimètres par mètre; il était presque complétement submergé pendant six mois de l'année, improductif par conséquent; avec une dépense totale de 30,600 fr., soit 17 fr. par hectare, M. Javal en a opéré le dessèchement au moyen de 165 kilomètres de fossés, et l'ensemencement en pins maritimes. Dans dix ans, cette portion du domaine sera en plein rapport comme les 200 hectares de vieille forêt actuellement en exploitation, et dont chaque arbre rapporte annuellement de 50 à 60 c. On compte environ 200 arbres par hectare; quand les 2,500 hectares plantés seront en exploitation, on voit que, indépendamment de la valeur des arbres, les plantations rapporteront au moins annuellement 250,000 fr.

Le système employé par M. Javal pour recueillir la résine est une des causes qui élève le revenu à ce taux considérable. Il arrivait généralement autrefois que l'arbre étant gemmé, on continuait la blessure par laquelle devait s'écouler la résine jusqu'au sol, où un trou, disposé au pied de l'arbre, devait recueillir le produit qui suintait lentement en s'évaporant en partie. M. Javal emploie le système Hugues, qui consiste à placer à l'extrémité de chaque entaille, qui n'a guère plus de 70 à 80 centimètres de long, une plaque de zinc inclinée qui fait couler la résine dans un pot disposé pour la recevoir. Il y a avec ce système économie dans la main-d'œuvre et plus-value de 20 p. 100.

L'exposition de la terre d'Arès renferme non-seulement des exemples de pins gemmés, de résine brute, mais encore les produits nombreux qu'on obtient par le travail de cette résine. Essence de térébenthine, résine cuite, colophane, brai sec, brai gras, etc.

C'est là évidemment la partie importante de l'exploitation; toutefois, la terre d'Arès renferme encore 27 hectares de landes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

défrichées, qui donnent du froment, du seigle, etc., voire même du tabac; 71 hectares sont en prés; des moutons pâturent dans la forêt, et quand le semis sera assez grand pour n'avoir plus rien à craindre de leur voracité, leur nombre sera augmenté; des réservoirs enfin sont établis au bord de la mer et une réserve de poisson y est enfermée.

Montrant la mise en valeur d'une façon très-profitable, peu coûteuse d'un pays improductif jusqu'alors, l'exposition de M. Javal présente déjà un immense intérêt; elle a de plus le charme de peindre complétement la culture des landes. Tout est disposé avec ordre, avec soin, avec art, pour faire comprendre les difficultés qu'on avait à vaincre et dont on a triomphé; ici est la caisse renfermant les échantillons du terrain des landes, ce sable fin qui fait la surface, l'alios imperméable qui est dessous, puis encore le sable; à côté sont les fougères, les bruyères, les ajoncs, tristes plantes qui couvrent les landes à perte de vue; horizon monotone sur lequel de temps à autre, le berger solitaire, monté sur ses échasses, apparaît au voyageur qui penche la tête hors du wagon pour le suivre un instant et le voir disparaître au loin dans la brume du soir.

La lande alors apparaît de nouveau triste, solitaire, couverte de sa végétation rabougrie d'un vert noirâtre, émaillée de fleurs jaunes, et cela pendant soixante lieues de Bordeaux à Bayonne. Grâce au ciel, nous sommes à l'œuvre et nous en triompherons.

MM. Péreire ont assaini et ensemencé près de 10,000 hectares, et nous montrent des pins et des chênes qui promettent pour l'avenir de beaux résultats; n'oublions pas enfin que S. M. l'Empereur a acquis en pleines landes de nombreux domaines, sur lesquels l'expérience de leur mise en culture se fait sur une grande échelle.

La Sologne aussi est en bon chemin, *la Sologne produit du bois, la Sologne produit du blé*, écrit M. Jullien (à Selles-Saint-Denis, Loir-et-Cher) sur son exposition. Il nous montre, en effet, des pins maritimes, des chênes, il nous cite ses frais de plantation, faibles il est vrai, et donnant de magnifiques produits. Le jury a décerné à M. Jullien une grande médaille d'or, et c'est justice, on ne saurait trop louer, trop applaudir, ceux qui négligeant une tâche facile vont se fixer au milieu d'un pays déshérité, y plantent leur drapeau et jurent d'y mourir ou d'y rem-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

porter la victoire. Elle vient toujours, car elle est aux courageux et aux persévérants; ils triomphent, et non pour eux seuls, ils ont donné l'exemple, plus éloquent pour persuader que le meilleur discours.

Nous ne pouvons enfin quitter la sylviculture sans rappeler la belle collection d'arbres verts de M. Rémond, pépiniériste à Versailles, qui renferme aussi bien les arbres vulgaires destinés au peuplement des forêts, que les arbres rares, ornements des parcs et des habitations de plaisance.

§ III. *Les engrais.* — Malgré l'opposition qu'a faite l'école allemande aux doctrines admises en France depuis les travaux de MM. Dumas, Boussingault et Payen, la teneur des engrais en matières azotées et en phosphates est toujours prise pour base de leur valeur agricole et aussi du prix auquel le cultivateur doit les payer.

La théorie minérale du baron de Liébig, qui n'apprécie les engrais qu'en raison des matières minérales qu'ils renferment, a été réduite au néant par M. Boussingault.

Dans ces derniers temps, ce savant chimiste a fait plusieurs expériences qui laissent l'esprit parfaitement convaincu.

Dans un sol complétement stérile, formé de sable pur, on a mis des phosphates, des cendres de la plante qu'on devait cultiver, de façon que toutes les substances minérales nécessaires au développement du végétal fussent réunies dans le sol où il devait se développer. L'expérience portait sur des hélianthus; le poids de la récolte desséchée a été de 0,307, tandis qu'elle est devenue 3,390, c'est-à-dire six à sept fois plus forte, quand à ces substances minérales on ajouta une quantité convenable de nitrate, comme matière azotée assimilable.

M. Boussingault, au reste, ne s'est pas contenté de cette expérience faite sur une petite échelle, il en a essayé une autre dans la grande culture. Si les engrais agissent seulement par les matières minérales qu'ils renferment, à quoi bon transporter à grands frais sur le sol nos fumiers lourds et encombrants : mettons-y le feu, réduisons-les en cendres et engraissons notre champ avec ces cendres, l'effet produit devra être semblable à celui qu'on aurait obtenu avec le fumier d'étable, et si nous faisons un essai comparatif, nos deux récoltes devront avoir même apparence.

Il n'est pas besoin de dire qu'il n'en fut pas ainsi, et que le sol

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui avait reçu l'engrais de ferme produisit une récolte bien supérieure à celle que donna la terre amendée, seulement avec les cendres.

Le baron de Liébig avait été induit en erreur par la quantité d'azote que l'analyse lui avait montrée dans le sol; quantité tellement considérable qu'elle peut suffire à un grand nombre de récoltes, même des plus exigeantes. Cet azote existe en effet, mais il est dans un état tel qu'il ne peut actuellement servir à la végétation, ne se trouvant pas engagé dans une combinaison où il puisse être assimilé par les plantes.

C'est encore M. Boussingault qui nous a montré qu'un haricot nain ou un lupin, planté dans un creuset renfermant 180 gr. de terre, où se trouvaient 0g,339 d'azote, y a végété de la façon la plus chétive, comme dans un sol absolument stérile: l'azote qui se trouvait dans cette terre, très-fertile cependant, n'y était à l'état assimilable qu'en très-faible proportion; il en était naturellement de même de l'azote que renfermait une plate-bande voisine, dans laquelle cependant le lupin ou le haricot nain végétait vigoureusement; c'est que la végétation, pour se faire normalement, exige que la plante, étendant ses racines dans un espace moins restreint que celui qu'elle avait à sa disposition dans le creuset, aille glaner de tous côtés les faibles portions de l'azote enfoui, actuellement assimilable.

Employer des engrais d'une facile décomposition, renfermant des sels ammoniacaux ou des nitrates, est donc une opération des plus utiles : la saine théorie est d'accord avec la longue pratique, ainsi que cela arrive presque toujours.

Quant à la nécessité des phosphates dans le sol, nous rappellerons que M. Boussingault, que nous aimons à citer, parce que ses expériences ont une telle netteté et une telle précision qu'elles entraînent la conviction, nous rappellerons que M. Boussingault a fait développer des plantes dans des sols pourvus de matières azotées et manquant de phosphates, en même temps que dans des sols voisins, où se rencontrent ces phosphates et ces matières azotées, il a obtenu dans le premier cas le rapport de $\frac{1}{4.3}$ de la graine à la plante, tandis qu'il est devenu de $\frac{1}{14.5}$ avec l'engrais complet.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Un engrais doit donc renfermer azote et phosphate. On peut cependant se procurer séparément ces deux agents de fertilité, quitte à les réunir.

Nous vivons au milieu de l'azote, l'air que nous respirons en renferme les quatre cinquièmes de son volume, les plantes en sont entourées, elles y baignent leurs longues branches : pourquoi donc se donner tant de peine pour aller le recueillir, et chercher à l'introduire dans le sol avec des engrais? C'est que l'azote de l'air ne peut concourir à la nourriture des plantes pas plus qu'à celle de l'homme, mais qu'il faut qu'il soit engagé en combinaison pour pouvoir être absorbé. Les deux combinaisons sous lesquelles l'azote est assimilable par les plantes sont : ammoniaque et acide azotique, et on comprend que s'il était possible de faire économiquement un de ces deux corps composés avec l'azote de l'air et l'hydrogène d'une part, l'oxygène de l'autre, on aurait rendu un immense service à l'agriculture.

Cet essai a été tenté, et nous avons eu à l'Exposition des échantillons de sels ammoniacaux dans lesquels était concrété l'azote de l'air. MM. Margueritte et de Sourdeval ont remarqué qu'une base, sœur de la chaux, la baryte, calcinée en présence du charbon et de l'air atmosphérique, peut se combiner avec le charbon et l'azote pour donner du cyanure de baryum. Celui-ci, chauffé à 300 degrés, dégage, sous l'influence d'un courant de vapeur d'eau, tout son azote à l'état d'ammoniaque. C'est cette ammoniaque, combinée aux acides minéraux, que les auteurs veulent employer à la confection des engrais; ils peuvent probablement la livrer à bon compte, en faisant servir indéfiniment la même baryte jouant le rôle d'agent de transformation, mais n'entrant nullement dans le produit vendu, dont les éléments sont fournis par l'air et l'eau.

Le jury a confiance dans le succès de cette industrie naissante, puisqu'il a accordé aux auteurs une grande médaille d'or.

L'utilisation, pour la production de la chaleur, du carbone fixé par les végétaux qui se sont développés sur notre globe à des époques reculées, est réalisée depuis qu'on exploite la houille; c'est plus récemment qu'on a songé à utiliser, aussi au profit de la végétation actuelle, l'azote fixé par les végétaux fossiles. Ce n'est même pas dans ce but spécial qu'on a distillé la houille ou la tourbe, mais pour en faire des combustibles supérieurs à ce

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qu'ils sont à l'état naturel, et pour en extraire du gaz de l'éclairage.

Il serait bien à désirer que, dans les pays riches en charbon de terre, où l'on calcine celui-ci pour en faire du coke, on recueillît l'ammoniaque qui se dégage constamment, au lieu de la laisser perdre comme on fait encore.

C'est à quoi n'a pas manqué M. Challeton, à Lisses (Seine-et-Oise), qui tout en produisant avec la tourbe un bon combustible, en tire plusieurs produits de distillation, des huiles légères, de la benzine, et enfin de l'ammoniaque qu'il peut livrer à 30 fr. les 100 kilog.

Utiliser l'engrais humain est toujours un problème de la plus haute importance, mais en même temps d'une grande difficulté, à cause surtout de la masse de liquide qu'il faut évaporer pour mettre cet engrais sous une forme transportable. Dans l'impossibilité où l'on a été jusqu'à présent de faire cette évaporation, on s'est résigné à employer cet engrais liquide, et M. Moll, professeur au Conservatoire, continue à la ferme de Vaujours des expériences entreprises depuis plusieurs années avec ces engrais liquides qui circulent en bateau, du dépotoir de Paris jusqu'aux propriétés placées sur le canal de l'Ourcq.

M. Stanislas Chodzko a essayé d'obtenir la dessiccation de ces engrais d'une façon économique, en transformant le carbonate d'ammoniaque qu'ils renferment en sulfate pour les désinfecter, puis en évaporant les dissolutions sur des bâtiments de graduation analogues à ceux qu'on emploie pour commencer la concentration des eaux des sources salées.

Les eaux en tombant sur des fagots y abandonnent les matières qu'elles tiennent en dissolution, de façon qu'après trois ou quatre mois les fagots sont assez chargés pour qu'on puisse les battre et en extraire un engrais peu odorant, renfermant 4.20 p. 100 d'azote, 4.48 d'acide phosphorique, et dont on peut livrer un hectolitre, pesant 27 kilog., au prix de 3 francs. Cet engrais a reçu, à cause de sa préparation, le nom singulier d'*engrais atmosphérique*. Le jury lui a accordé une médaille d'argent.

Depuis 1850 ou 1851, on exploite en Angleterre des gisements considérables de phosphate de chaux fossile. Cette matière se trouve disséminée sous forme de rognons à la surface du sol, aux points où apparaît le terrain crétacé supérieur qui recouvre le terrain jurassique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. Nesbitt s'occupa, dès 1854, de rechercher en France des gisements analogues; il les découvrit aux points où les inductions géologiques conduisaient à les chercher. M. Delanoue avait au grand concours de 1855 exposé un certain nombre d'échantillons provenant du département du Nord; enfin, à la fin de l'année 1856, MM. de Molon et Thurneyssen présentèrent à l'Académie des sciences un Mémoire important, où ils indiquaient un grand nombre de gisements de ces phosphates de chaux fossiles.

Une usine fut montée pour la pulvérisation de ces nodules, et on les mit à la disposition des cultivateurs; l'expérience devait prononcer et apprendre si dans ces nodules l'acide phosphorique se trouvait dans un état convenable à l'assimilation.

Comme il arrive souvent, on voulut prédire les résultats: au lieu d'accueillir cette tentative utile, on cria à la fraude, à la tromperie. Si les phosphates fossiles cependant furent ainsi attaqués, on les défendit aussi hardiment. M. Élie de Beaumont à l'Académie des sciences, M. Baudement à la Société centrale d'agriculture, d'autre part M. Bobierre et l'auteur de cet article arrivèrent à des résultats opposés à ceux qu'on avait cru entrevoir d'abord, et prouvèrent que toutes les probabilités étaient pour l'assimilation de cette poudre de phosphates dans certains terrains déterminés.

L'expérience est venue donner raison à ces prédictions; la poudre des nodules est souvent employée isolément, elle est aussi la base d'une foule d'engrais divers où elle est associée à des matières azotées.

M. de Molon, qui est à la tête de la principale société d'exploitation, a obtenu du jury une grande médaille d'or, récompense de la persévérance qu'il a mise à faire adopter cet utile engrais.

La place dont nous disposons ne nous permet pas de parler en détail de nombreux engrais qui nous ont paru préparés dans de bonnes conditions, mais qui en définitive ne présentent que les applications des principes déjà connus; mélange des phosphates fossiles avec des matières azotées, sang, poudrette, etc., mais nous ne pouvons assez nous réjouir de l'habitude où sont les négociants d'engrais d'indiquer la composition des marchandises qu'ils livrent aux cultivateurs, en même temps que nous ne saurions trop engager les cultivateurs à exiger ces analyses. Le com-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

merce des engrais devenu loyal acquerra chaque jour une nouvelle importance.

Parmi les produits les mieux préparés, nous rappellerons ceux de M. Derrien (Loire-Inférieure), qui a obtenu une médaille d'or, ceux de MM. Kraft et Rohart, tous deux récompensés de médaille d'argent.

Avant de quitter ce chapitre des engrais, nous ne pouvons nous dispenser de citer les grands avantages que tirent les départements de la basse Normandie des fours à chaux de M. Mosselmann qui livrent annuellement 37 millions de kilogrammes, au prix de 4 fr. les 100 kilog. C'est là une belle fabrication, et dont l'immensité montre bien l'utilité; on ne sera donc pas étonné que le jury ait décerné à M. Mosselmann une médaille d'or.

§ IV. Produits végétaux. — *Céréales.* — Presque toutes les expositions de produits agricoles qui se succèdent sur les côtés nord et est du Palais renferment des collections de grains remarquables. Si la France est le pays du vin, c'est aussi le pays du blé.

Les gerbes des nombreuses variétés de froment, d'avoine, d'orge, de seigle, les épis de maïs cachent les murs auxquels sont adossées les expositions, montrant la qualité et la longueur des pailles, tandis que des sacs ouverts offrent les grains à la vue et à l'appréciation des connaisseurs.

Entre toutes, se fait remarquer la belle exposition de la maison Vilmorin, Andrieux et C^ie^, qui a si malheureusement perdu son chef cet hiver. Sa collection de froments est extrêmement riche, et comme M. Vilmorin a laissé la réputation méritée de connaître parfaitement les blés, on peut se fier sans crainte à la détermination des nombreuses espèces qu'il a réunies. La maison Vilmorin ne se contente pas au reste de vendre des graines, elle a organisé à Verrières, près Paris, un établissement horticole très-important, où sont cultivées les plantes rares, où elles se multiplient pour de là passer dans le commerce. Cet établissement a ainsi rendu de véritables services à l'agriculture, et tout le monde applaudira à la décision du jury qui a décerné à la maison Vilmorin une grande médaille d'or.

Plusieurs instituts agricoles des départements nous ont paru entrer dans une voie féconde en ne se contentant pas de bien produire, mais en s'efforçant encore de se rendre compte de cette production.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Savoir combien on a confié au sol de semence, combien on y a mis d'engrais, puis compter ensuite ce que la récolte donne en grain et en paille, être à même de pouvoir comparer ainsi la valeur des engrais pour certaines cultures, les qualités des espèces cultivées, c'est à coup sûr rendre un grand service à la science agricole, c'est enregistrer un certain nombre de faits dont la discussion pourra faire surgir les règles générales propres à guider les cultivateurs.

Nous avons remarqué dans ce genre de recherches les tableaux qu'a placés devant son exposition M. Démond, le directeur de la ferme-école municipale d'Orléans.

Les tableaux de M. Démond ont surtout pour but de comparer entre eux les valeurs de différents engrais; il les a analysés et donne leur teneur en azote; il les distribue sur des sols identiques en quantités telles que la fumure en revient au même prix, il sème la même espèce de blé, et récolte; le poids de grain et de paille récoltés indique la valeur de ces engrais.

La teneur en azote de chaque engrais est indiquée de façon qu'on ne va pas à l'aveugle. Les rendements obtenus sont en général considérables, mais M. Démond fait une petite culture très-soignée qui a surtout pour but de faire pénétrer dans le pays les bonnes semences et les bons principes. M. Démond a obtenu une médaille d'or.

L'exposition de l'Institut normal agricole de Beauvais, dont le frère Ménée est le directeur, a fourni également des renseignements très-précieux. On y cultive un certain nombre de variétés de froments, d'avoines, de maïs, de betteraves, de pommes de terre, dans des circonstances identiques, puis on récolte et pèse cette récolte. On sait déjà combien un certain poids de semence aura rendu. M. Ménée va plus loin encore quand il agit sur des blés : il fait moudre les grains et trier les diverses espèces de farine; il dose la fécule dans les pommes de terre, les parties solubles dans les betteraves, de façon qu'il soit permis d'apprécier les qualités d'une espèce, non-seulement par le poids brut de matière qu'elle aura donné, mais aussi par la quantité de matière utile qu'elle fournit. Nous le répétons, c'est à l'aide de documents semblables qu'on fera la science agricole, et nous applaudissons à la grande médaille d'or qu'a obtenue M. Ménée.

Fourrages. — Parmi les chimistes agronomes, M. Isidore Pierre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

se place à coup sûr au premier rang; occupant depuis plusieurs années la chaire de chimie de la Faculté des sciences de Caen, entouré de cultivateurs, vivant au milieu d'une des plaines les plus fertiles de la France, il a complétement tourné ses études vers l'application de la chimie à l'agriculture, et il a déjà rendu de très-importants services. Il a étudié entre autres, d'une façon très-complète, la valeur des fourrages, et il nous a apporté à l'Exposition la collection de toutes les substances qu'il a analysées, avec leur valeur nutritive déterminée d'après leur richesse en azote.

Ce sont là encore de ces renseignements précieux qui servent mille fois plus que les discussions à fonder une agriculture rationnelle.

Le jury a décerné une grande médaille d'or à M. le baron de Veauce, directeur de la ferme-école de Belleau (Allier), pour la collection de plantes fourragères obtenue sur des terrains récemment défrichés.

Parmi les fourrages verts nouveaux, on remarquera l'acacia sans épines de M. Rémond, de Versailles, dont nous avons déjà eu occasion de parler. Le public s'est préoccupé également d'un trèfle incarnat tardif, récemment cultivé en grand et qui tend à prendre rapidement une place importante dans les rotations.

Racines et tubercules. — Une plante nouvelle aussi, et qui prend également une belle place dans la grande culture, c'est l'*igname de Chine* dont on a pu remarquer les longs rhizomes dans un grand nombre de collections. Envoyé de Chine en 1850, par M. de Montigny, consul de France à Chang-Haï, au Muséum d'histoire naturelle, le *dioscorea-batatas* y fut l'objet des études et des soins de M. Decaisne, professeur de culture. Bientôt cette nouvelle racine alimentaire fut assez multipliée au jardin des Plantes, pour qu'on pût la comprendre dans les nombreuses distributions de plantes, de graines, d'arbustes, que fait tous les ans cet établissement. Elle passa donc du Muséum dans les grandes exploitations, où elle tient aujourd'hui une place importante, bien que secondaire. La saveur de l'igname de Chine est parfaite, un peu plus marquée que celle de la pomme de terre; sa richesse en fécule est considérable; elle varie de 16 p. 100, nombres trouvés par MM. Fremy et Payen dans deux essais différents, à 13, qu'a trouvé M. Boussingault. Le *dioscorea-batatas*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

peut être cultivé comme plante industrielle aussi bien que comme plante alimentaire, et M. Decaisne s'est acquis des titres à la reconnaissance du pays pour l'avoir doté d'une nouvelle plante précieuse à ces deux points de vue.

Les pommes de terre, les betteraves sont nombreuses à l'Exposition et se montrent sous leurs formes les plus variées. Les collections de la Société centrale d'agriculture de la Seine-Inférieure, celle de l'Institut normal agricole de Beauvais, dont nous avons déjà parlé, nous ont montré de magnifiques échantillons de ces tubercules.

Plantes industrielles. — Les lins et les chanvres sont bien représentés. M. Porquet-Douvies, à Bourbourg (Nord), a donné entre autres une très-belle collection de lins; celle de M. Vilmorin était aussi remarquable. Tonneins a présenté de beaux échantillons des tabacs de France, qu'on nous permettra cependant d'admirer davantage en larges feuilles que roulés sous forme de piteux cigares d'un sou.

Le Lot-et-Garonne est un des jardins fruitiers de la France; il produit, entre autres fruits, des pruneaux pour 10 à 12 millions de francs chaque année; on remarque surtout les beaux échantillons de M. Fabre, dont 32 suffisent pour faire une livre.

§ IV. *Produits manufacturés provenant des végétaux.* — Dans cette catégorie se placent en première ligne les essais qui ont pour but soit de conserver les grains, soit de produire en plus grande quantité, plus facilement, plus économiquement le pain, c'est-à-dire la nourriture quotidienne, fondamentale, souvent unique, hélas! de la majorité de la population française.

M. Mège-Mouriès va nous présenter dans ces deux voies des résultats des plus remarquables. Il sait d'abord mettre le blé à l'abri des insectes qui si souvent viennent déjouer tous les soins préventifs et les dépenses considérables de ventilation, de vannage, auxquelles on se livre pour conserver la récolte intacte quand elle est en magasin.

En faisant séjourner les grains de froment dans l'eau salée pendant quelque temps, M. Mège-Mouriès les préserve complétement et les conserve pendant plusieurs années, sans même que le mélange avec des blés avariés puisse être préjudiciable en rien à ceux qui ont subi cette préparation. Un sac de froment, conservé depuis le 1er janvier 1859, est resté parfaitement intact,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bien qu'on y ait mélangé, au mois de juin de la même année, une poignée de blé attaqué; il offre à tous les visiteurs ses grains lourds, durs, en excellent état. L'action de l'eau salée est basée, c'est l'étiquette qui nous le dit : 1° sur la propriété qu'elle a de ne pénétrer que l'enveloppe extérieure, et 2° sur l'obstacle qu'oppose aux insectes une enveloppe salée.

Il y a déjà plusieurs années que M. Mège-Mouriès a fait connaître au monde savant ses procédés de mouture et de panification qui lui ont valu une grande médaille d'or à cette dernière Exposition; c'est au commencement de l'année 1857 que M. Chevreul fit à l'Académie des sciences un rapport détaillé sur les procédés nouveaux. Dès cette époque, M. Mège-Mouriès, passant de la théorie à la pratique, avait établi une boulangerie rue Descartes, qui livre du pain d'excellente qualité aux consommateurs du quartier Saint-Marcel et notamment à l'École polytechnique et au lycée impérial Louis-le-Grand.

Par ses procédés de mouture, M. Mège-Mouriès obtient, sur 100 kilog. de blé nettoyé du premier coup et par un seul blutage :

Fleur de farine pour levain.	40 kilog.	86
Gruaux blancs mêlés de farine et d'un peu de son. .	38 —	
Gruaux mêlés de beaucoup de son (rougeurs)	8 —	
Sons divers non employés et perte.		14
		100

Ordinairement on n'obtient que 72 à 75 p. 100 de farines susceptibles de donner du pain blanc, tant on se préoccupe d'éliminer le son. Il faut, en effet, avec les procédés de panification actuellement en usage, écarter avec le plus grand soin cette dernière partie du blé, sous peine d'obtenir du pain bis; mais, en étudiant de près la panification, M. Mège-Mouriès est arrivé à voir qu'il était très-possible d'obtenir du pain blanc en n'éliminant pas le son aussi complétement qu'on le fait habituellement.

Le grain de blé renferme dans son enveloppe extérieure, dans le son, une matière spéciale azotée, la *céréaline*, douée de la propriété de déterminer une fermentation particulière : sous l'influence d'une température de 50 degrés, elle change l'amidon en dextrine et en glucose; par son contact prolongé, elle trans-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

forme de plus la levûre en ferment lactique et butyrique, cause de l'acidité du pain bis; enfin elle décompose en l'*humifiant*, c'est-à-dire en le transformant en matière humique, le gluten que les acides ont déjà désagrégé.

Ainsi le pain bis doit sa coloration noire, sa consistance un peu plastique à des altérations de gluten produites sous l'influence de la céréaline contenue dans le son.

Pour faire du pain blanc malgré la céréaline, il faut hâter les opérations, ne pas laisser à ce ferment le temps d'exercer sa funeste influence; on fait donc vite d'abord les levains avec la farine exempte de céréaline, puis on y délaye rapidement les gruaux mêlés de son, et on cuit. On obtient par ce moyen, de 100 kilog. de blé, 136 kilog. de pâte et 113 kilog. de pain. Le procédé de M. Mège-Mouriès est donc incontestablement supérieur à l'ancien; il devrait être adopté partout, mais.... mais il faut compter avec la routine et les habitudes, et il n'est encore en usage qu'à la boulangerie de la rue Descartes.

L'industrie se fond peu à peu avec l'agriculture, et le haut prix des alcools a impatronisé dans la ferme l'alambic du distillateur; un grand nombre d'expositions renferment de l'alcool de betteraves, de grains; les sacs de fécule, d'amidon se rencontrent aussi fréquemment; M. de Behague a entre autres montré des fécules de pommes de terre qui lui ont valu une médaille d'or.

A coup sûr l'annexion (le mot est à la mode) de ces industries à la ferme est importante par les beaux bénéfices qu'elle procure, et qui excitent les capitaux à se porter vers cette branche du travail national; mais un plus grand degré d'utilité qu'a encore la manufacture de ces produits, sucre, fécules, alcools, huiles, c'est qu'en somme, sous toutes ces formes, il ne sort du domaine que du charbon, de l'oxygène et de l'hydrogène, c'est-à-dire des éléments que les plantes puisent dans l'eau et dans l'acide carbonique de l'atmosphère. L'azote, la plus grande partie des sels qui se trouvaient dans la betterave, le colza, la pomme de terre, le grain, rentrant à la ferme sous forme de pulpe et de tourteaux, peuvent servir à nourrir un bétail nombreux qui donnera des engrais, dans lesquels se retrouveront en partie les principes constitutifs des plantes industrielles, principes qui retourneront enfin aux terres qui les avaient donnés d'abord.

Tous les progrès s'enchaînent, et parce qu'on a fait de belles

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

betteraves ou de magnifiques colzas, c'est une raison pour avoir l'année prochaine du blé droit et vigoureux, portant sans verser sa grosse tête chargée de grains.

Quelques-unes des industries ainsi réunies à l'agriculture ont fait dans ces derniers temps de grands progrès; on a remarqué entre autres les sucres bruts cristallisés en chaudière, immédiatement turbinés, claircés et marchands, qu'a exposés M. P. Lellouelle à Tracy-le-Val (Orne).

Vins. — Arrivons enfin au produit essentiellement national de notre agriculture, à nos vins, sans rivaux au monde.

Il faut avoir passé le Rhin, ou les Pyrénées, ou la Manche, pour sentir combien sont privilégiés, au point de vue de la vie matérielle, les habitants de notre beau pays. Les petits vins blancs d'Allemagne agacent les nerfs, les gros vins rouges du Midi écœurent bien vite, les fruits manquent, les légumes sont durs, la viande filandreuse. Le premier dîner qu'on fait en France après un séjour de quelque temps à l'étranger a un charme auquel on n'aurait jamais cru avant de l'avoir éprouvé, d'autant mieux qu'on a pour dessert le sentiment qu'on se retrouve chez soi, *at home*, comme disent les Anglais, qu'on foule le sol natal.

La vigne y pousse sur bien des points différents, et nous donne, en même temps que la qualité, cette variété de produits qui rend le monde entier notre tributaire. La France est un pays béni du soleil; il l'échauffe de ses rayons et y fait mûrir du même coup le raisin et la gaieté.

La Bourgogne a maintenu haut et droit son drapeau; elle a fait feu sur toute la ligne : le comité d'agriculture de l'arrondissement de Beaune a envoyé les grands vins de la Côte-d'Or, Romanée, Clos-Vougeot, Chambertin, auquel le jury a décerné sa seconde grande médaille d'or. M. Jules Ouvrard, à Gilly, a envoyé aussi une collection de bouteilles de ces grands crus, et a obtenu un rappel de grande médaille d'or.

Bien d'autres exposants de Beaune et des environs ont été médaillés; mais où sont donc nos vins de Bordeaux? Si le bourgogne est chaud, franc d'allure, le bordeaux est bien fin; quelques personnes même le préfèrent, bien qu'en ces bonnes choses l'éclectisme soit à coup sûr préférable. Les vins de Bordeaux sont absents, de façon que la gloire du département de la Gironde à cette exposition a été pour les tristes terres des Landes, et non

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour les riches coteaux qui descendent se mirer dans la Garonne et la Gironde. M. le baron Sarget de Lafontaine a eu la seule médaille d'or des vins du Bordelais. C'est là une abstention fâcheuse, et quand la France fait appel à ses citoyens pour qu'ils viennent lui montrer les résultats de leurs travaux, une des plus grandes cultures ne doit pas s'abstenir.

Les vins de Champagne n'ont pas mieux répondu à l'appel : M. Tiercelin, d'Épernay, a eu une médaille d'or; mais comment n'avons-nous pas vu les casques d'argent d'Aï et de Sillery? comment les bouchons enduits de cire verte du Moët n'ont-ils pas paru?

Nous comptons en France trois grandes classes de vin : Bordeaux, Bourgogne, Champagne. Sur les trois, deux ont manqué à l'appel; peu de cultures auront montré autant de négligence.

Les crus de moindre importance, du Midi et de l'Est, de l'Hérault et du Haut-Rhin, ont été en revanche plusieurs fois médaillés.

§ V. *Produits animaux.* — Le lait et la laine sont les deux produits les plus importants que fournissent les grands animaux annexés à la ferme.

La fabrication du beurre est toujours une des industries les plus importantes de notre Normandie, dont les riches prairies humides, où l'herbe pousse sous la dent qui la tond, sont toujours couvertes de ces belles vaches bigarrées qu'on a décrites dans l'Exposition des animaux; deux exposants du Calvados, M. Pierre Lepetit, à Deux-Jumeaux, et M. Mallet, à Cœnchy, ont obtenu des médailles d'or pour les beurres qu'ils avaient exposés: on a en outre distribué un certain nombre de médailles d'argent et de bronze.

Plusieurs exposants nous ont envoyé des fromages dont la réputation n'est pas encore établie, mais qui paraissent cependant appelés a tenir une place importante dans la consommation quand ils seront mieux connus.

Tels sont les fromages double crème, dits de Bouville, qu'a envoyés M. le marquis d'Argent.

Ici encore nous sommes étonnés de n'avoir pas rencontré un plus grand nombre de représentants de nos fromages célèbres. Le fromage de Brie, que le congrès de Vienne avait, chez le prince

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de Talleyrand, proclamé le roi des fromages, ne paraît représenté que par M. Trutel, à Ozouer-le-Repos (Seine-et-Marne), qui a eu une médaille d'argent. Mais où est le fromage de Roquefort, celui du mont Dore, près de Lyon? Tous ces produits auraient dû répondre à l'appel qui leur était fait, car leur commerce se monte à plusieurs millions chaque année, et compte par conséquent pour une certaine fraction dans la richesse totale du pays.

Quelques essais de conservation du lait en nature ont reçu des récompenses; une médaille d'argent a été décernée à MM. Depierre et Cie, à Paris.

La conservation des œufs, la fabrication du mucilage de jaune d'œuf pour la ganterie, présentent aussi une certaine importance. L'exposition de M. Mosselmann, dont nous avons déjà parlé à propos des échantillons de chaux qu'elle renferme, montrait un certain nombre de flacons remplis de ces mucilages. Le domaine d'Agneau (Manche) en exporte tous les ans pour 50,000 francs en Angleterre. MM. Mosselmann et Cie envoient encore à nos voisins d'outre-Manche pour 1,800,000 fr. de beurre, pour une somme égale d'œufs en nature. Le total de leur exportation en Angleterre se monte à 4,300,000 fr. par an.

Les toisons n'étaient pas très-nombreuses au palais de l'Exposition; on sent qu'on s'occupe plus de faire des moutons de boucherie que des animaux à laine fine. Nous avons eu cependant encore quelques échantillons des plus remarquables, soit des mérinos Mauchamp à laine soyeuse, pour lesquels M. Graux a obtenu un rappel de médaille d'or, soit des mérinos ordinaires. MM. Baudoin, Bobée, le général baron Girod de l'Ain, Godin, Hutin, ont obtenu des médailles d'or.

Nous avons eu à l'Exposition quelques échantillons de cocons de vers à soie; on nous a montré aussi quelques échantillons de feuilles de mûrier tachées de noir, qui « à première vue, dit l'étiquette, pourraient bien paraître malades, mais cependant sont très-bien portantes, dit-on. » Cette petite phrase paraît aller à l'adresse de la commission de l'Académie des sciences, envoyée en 1858 dans le Midi pour y étudier les maladies des vers à soie, et qui déclara que les mûriers étaient en excellent état, qu'ils n'étaient pour rien dans les maladies qui désolaient les éducations, mais que celles-ci étaient dues à la malpropreté, la mauvaise aération des magnaneries, ainsi qu'à la fâcheuse habitude de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ne pas élever spécialement des vers pour faire de la graine.

Les feuilles qu'on a exposées sont évidemment malades, mais d'après tous les renseignements ces maladies sont très-rares; si les éleveurs choisissent ces feuilles pour les donner à leurs animaux, ils sont à coup sûr peu intelligents, et d'autre part s'ils ne les donnent pas, ces feuilles ne peuvent avoir aucune influence sur la santé des vers, de façon qu'en définitive il n'y a pas lieu de tenir compte de ces cas très-exceptionnels, et que l'exposant qui s'est donné la peine d'encadrer ces feuilles de mûrier tachées aurait aussi bien fait de les jeter au pied de l'arbre sur lequel il les a trouvées.

Nous avons vu sur des branches de vernis du Japon le ver à soie rustique qu'on s'efforce d'acclimater; il paraît certain que cet animal est beaucoup plus facile à élever que le ver à soie du mûrier, et qu'on peut le laisser en plein air, exposé aux pluies, aux orages, sans qu'il en souffre; mais il est certain en même temps que la soie qu'il donne est bien loin de la soie ordinaire, dont elle n'a ni la souplesse ni le brillant; c'est ce que chacun a pu remarquer au reste, car des soies tissées et teintes se trouvaient à l'Exposition à côté des vers.

M. Nourrigat, à Lunel (Hérault), a obtenu une médaille d'argent pour avoir aussi essayé d'utiliser à la nourriture des vers le mûrier du Japon, qui peut pousser sur les plus mauvais terrains, là où ni la vigne ni les prairies ne sauraient prospérer.

§ VI. *Pisciculture*. — Le poisson est presque toujours chez nous une nourriture de luxe, et il se maintient à un prix assez élevé pour ne paraître que rarement sur les tables de nos paysans. Quand on voit cependant le nombre d'œufs que porte une femelle, on est singulièrement étonné que nos rivières ne soient pas mieux peuplées, que nos étangs soient déserts. C'est que depuis la ponte des œufs jusqu'à un an ou deux, le poisson est exposé à tant de chances de destruction que c'est pour ainsi dire par hasard que quelques individus peuvent y échapper. Assurer la réussite de la ponte et de la fraie, protéger les poissons pendant leur jeune âge, et ne les abandonner à eux-mêmes qu'au moment où, arrivés à l'âge adulte, les chances de destruction ont diminué autour d'eux, tel est le problème que s'efforce de résoudre la pisciculture.

C'est un art encore dans l'enfance, mais qui paraît appelé à un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

grand avenir; on a déjà des réussites remarquables; et nous avons sous les yeux une brochure de M. le comte de Galbert sur le repeuplement du lac du Bourget, qui montre comment il faudrait s'y prendre pour arriver à y multiplier les truites et les ombres qui ont une grande valeur, et en même temps à y détruire les perches, poissons voraces de mauvaise qualité, dont la vente est bien loin de compenser les ravages.

Nous avons eu à l'Exposition plusieurs échantillons intéressants de ces essais de pisciculture. M. Millet nous a montré des saumons auxquels les bains de mer ont profité d'une merveilleuse façon, et M. Damourette des anguilles berrichonnes récompensées d'une médaille d'argent.

§ VII. *Animaux nuisibles.* — Parmi les animaux contre lesquels l'agriculture doit préserver ses produits, se place en première ligne le crossus, sorte de chenille rougeâtre assez grosse, qui vit dans le bois, y perce des galeries et finit par tuer complétement les arbres sur lesquels il a élu résidence.

C'est surtout au pied des jeunes arbres que s'attaque le crossus; ses galeries sont souvent commencées au-dessous du collet de l'arbre, de sorte qu'elles n'apparaissent pas d'abord et qu'on ne peut souvent chercher à porter remède que lorsqu'il est trop tard. M. Robert s'est efforcé de combattre surtout les scolytes de l'orme, en dégageant avec la hache le pied de l'arbre attaqué, et mettant à nu les galeries d'où il est facile d'enlever la chenille avec des fils de fer légèrement recourbés. M. Robert a déjà formé de bons ouvriers capables de le suppléer dans cette besogne à l'aide de laquelle on sauve des arbres qui eussent indubitablement péri sans cela, mais il continue lui-même la lutte, et, pour sa part, il a tué cette année 20,000 crossus. Une médaille d'or a été décernée au vainqueur de ces utiles combats.

Une plante qui a vivement excité l'attention du public à l'Exposition est le pyrèthre du Caucase, que cultive M. Willemot et qu'il emploie à la destruction des insectes d'appartement ou des puces et pucerons, des chenilles qui à certains moments viennent ravager les récoltes. L'efficacité de la poudre de cette plante, que M. Willemot a le premier introduite en Europe et considérablement multipliée, n'est pas douteuse, et M. Willemot montre à cet égard les certificats capables de convertir les plus incrédules; on a accordé à M. Willemot une médaille de bronze.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LES COLONIES.

§ I. *Aspect général.* — L'exposition de l'Algérie et des colonies s'est réservé une portion importante de la partie sud de l'étage du Palais, où elle paraît devoir se fixer à demeure.

Quand, après avoir gravi l'escalier du sud, on pénètre dans la grande salle qui y fait face, on est séduit d'abord. Au milieu s'étend un vaste tapis de Perse, aux tons riches et harmonieux; il porte tous les spécimens de l'industrie de luxe des Arabes, à la fois si élégante et si grossière. Les coussins, les lits de repos entourent le tapis sur lequel reposent les yatagans ouvragés, les longs fusils dont la crosse est brillante de nacre, les cafetières argentées avec leur bec qui s'allonge et se recourbe en col de cygne, les longues pipes au gros bout d'ambre, au fourneau rouge, pipes de rêveurs et d'oisifs, dédaignées des hommes du Nord, dont le cigare léger, la pipe courte fixés aux lèvres laissent les mains libres.

Ici nous sommes en pleine Algérie : voici l'homme de grande tente, au haïk blanc, au long burnous noir de poil de chameau, grave, digne, capable de porter des haillons ou du brocart sans avoir l'air d'un mendiant ou d'un histrion. Là c'est la Moresque couverte de ses étoffes transparentes lamées de soie, qui la voilent sans la cacher. Son visage est couvert, ses deux grands yeux seuls brillent et s'allongent sous leurs paupières noircies.

Plus loin nous avons traversé l'Océan, nous sommes au Gabon; un guerrier noir brandit son javelot et se protége de son bouclier de cuir; réunies dans un trophée, se trouvent les armes de notre Afrique équatoriale : sagaies, casse-têtes, arcs, flèches, casques bizarres de paille ornés de cornes, et ressemblant à s'y méprendre aux armoiries qui ornent les murs de la cathédrale de Francfort. On croit souvent que l'imagination est une folle, qui, courant au hasard, va franchir d'immenses espaces; c'est une boiteuse, au contraire, qui tourne toujours dans le même cercle; toutes les œuvres de pure fantaisie se ressemblent : les bonnets à poil de nos grenadiers ne sont pas moins ridicules que ceux des Persans, et nos étendards couverts de figures d'animaux ne le cèdent en rien aux monstres terribles que nous voyons en riant se pavaner sur les drapeaux chinois.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ici encore, c'est l'Amérique représentée par un chef Roucouyenn en grand costume de guerre.... mais nous faisons un compte rendu de produits agricoles, nous l'avions oublié, et peut-être ne sommes-nous pas seuls coupables? Quoi qu'il en soit, l'exposition des *industries* coloniales est très-brillante, très-jolie, et on ne peut lui en vouloir de distraire un moment l'attention.

Si on ne veut pas écouter un esprit chagrin qui prétend, non peut-être sans raison, que toutes les jolies choses de l'exposition du *sulton* auraient aussi bien fait de rester au boulevard des Italiens, on pourrait cependant trouver à critiquer le mode de classement adopté dans cette exposition des colonies et de l'Algérie.

Qu'on réunisse tous les produits de même nature, de quelque provenance qu'ils viennent, dans des bocaux de même grandeur; qu'on les dispose symétriquement dans une vitrine, on aura un spectacle agréable à l'œil et l'on pourra comparer la valeur des produits envoyés par nos différents établissements d'outre-mer. Mais comment se faire une idée des productions de tout un pays? comment puis-je savoir ce que produit la Guyane ou le Gabon, si je suis obligé de courir d'une armoire à l'autre, de chercher au milieu des étiquettes si tel produit vient ou non de la contrée qui m'intéresse?

A coup sûr cette Exposition n'est pas destinée seulement à flatter le regard; elle cherche à atteindre un but plus sérieux, elle veut encourager les entreprises aux colonies, elle veut montrer tout ce qu'elles produisent, faire deviner ce qu'elles produiront quand l'attention de la France se portera sur elles. Je veux fonder une maison de commerce à la Guyane, où trouverai-je à m'instruire sur ce pays? comment pourrai-je me faire une idée nette des marchandises sur lesquelles je puis spéculer? Évidemment, avec la classification actuelle, je ne le puis. Si j'avais à former un vœu, je voudrais que tout en conservant certaines salles pour le groupement des produits venant de tous pays, on réservât d'autres emplacements destinés à une seule de nos possessions d'outre-mer. Si sur la porte je vois écrit Guyane, j'entre, j'examine, je note, et je puis être fixé sur les productions de ce grand pays. Les commissaires du classement ont, au reste, bien compris les avantages de cette division par contrée; ils l'ont établi pour l'Algérie d'une façon très-complète, puisqu'ils ont distingué les envois de chacune des trois provinces. On ne peut que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

regretter qu'ils n'aient pas généralisé ce qu'ils avaient excellemment commencé.

§ II. *Étude des sols.* — Nous avons retrouvé dans l'exposition de l'Algérie les principales espèces minérales que des expositions précédentes nous ont appris déjà y être abondantes; la Guyane nous a envoyé des pépites d'or, des sables aurifères lavés et non lavés; si des recherches persévérantes faisaient découvrir des gisements aurifères riches et faciles à exploiter, nous reverrions probablement renaître cette fièvre de l'or qui fait tant de victimes, mais transforme en quelques années un pays pauvre et délaissé en une contrée riche et fertile.

En Algérie, ce qui est aussi précieux que l'or, c'est l'eau; elle change le désert en oasis; aussitôt qu'elle apparaît, la terre se couvre d'une luxuriante végétation, les jardins s'accumulent autour d'elle; vient-elle à manquer: les arbres meurent, les habitants émigrent, la solitude et le silence envahissent les lieux témoins naguère du mouvement et de la vie. Quelle admiration aussi n'a pas causé aux Arabes l'eau jaillissant des entrailles de la terre sous la sonde bien dirigée des ingénieurs. Les hommes se mettaient à genoux pour célébrer la gloire de Dieu, les femmes baignaient leurs enfants dans cette onde salutaire, et la conquête se trouvait affermie d'autant. Faire le bonheur des vaincus, puissamment contribuer à leur bien-être, est une idée propre à enflammer des cœurs généreux; or rien n'atteindra mieux ce but que la multiplication en Algérie des puits artésiens. Tout le monde applaudira à la médaille d'or qu'ont obtenue pour leurs travaux dans cette voie MM. Laurent et Dégousée.

§ III. *Sylviculture.*—Nos colonies lointaines ne peuvent guère nous donner que des bois d'ébénisterie, que des bois de luxe, les autres ne pourraient probablement pas supporter les frais de transport considérables dont ils seraient grevés avant d'avoir touché la France. Nos bois de la Guyane, dont nous avons une belle collection, ne remplissent malheureusement pas les conditions exigées; gris, blonds, ternes, aucun ne paraît avoir les qualités requises; le bois de lettre, moucheté et rubanné, pourrait peut-être cependant être utilement employé. On peut citer encore cependant l'ébène verte (*tecoma leucoxylon*), que les luthiers commencent à rechercher; et l'angélique de Cayenne (*duorenia guianensis*), renommée pour les constructions maritimes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Notre Algérie nous envoie toujours quelques magnifiques billes de thuya, ce beau bois rouge tigré de noir, qui prendra peut-être, s'il est abondant, une belle place dans l'ébénisterie. Elle nous montre encore les produits extrêmement importants du chêne-liége. M. Boulanger, à Constantine, M. Calderon, à Alger, en ont envoyé de fort remarquables qui leur ont valu à l'un et à l'autre des médailles d'argent. La plus grande partie de nos forêts algériennes est actuellement entre les mains de l'État, et il peut là exercer une influence des plus bienfaisantes, en comblant les vides des massifs de chêne-liége, en procédant à une exploitation rationnelle, à un aménagement régulier. Les 300,000 hectares de chênes-liége qu'il possède, qui produiront prochainement 45 millions de francs par an, pourront donner trois fois autant dans l'avenir.

§ IV. *Produits végétaux.* — « Dans un chapitre spécial de son Histoire naturelle, intitulé *De la fertilité en Afrique*, Pline a réuni de nombreux témoignages d'une fécondité exceptionnelle de notre Algérie. Un boisseau de blé, rapporte-t-il, en produisait jusqu'à 150. L'intendant de l'empereur Auguste lui envoya un pied de froment d'où sortaient près de 400 tiges, toutes provenant d'un seul grain... Il y a peu d'années, un colon de Misserghin a offert à la Société d'agriculture d'Oran un pied d'orge contenant 313 épis, provenant d'un seul grain; il a montré divers pieds de blé riches de 60 à 150 épis de beaux grains. La supériorité des conditions naturelles de production en Algérie se reconnait surtout à l'ensemencement. Pour obtenir le maximum de récolte, il suffit de semer de 1 à 1 hectolitre 1/2 de blé par hectare, tant il talle abondamment; même réduction proportionnelle pour les autres céréales. Au mérite de tallage s'ajoute le poids, mesure de la qualité. L'Exposition renferme des blés qui pèsent jusqu'à 83 kilogrammes l'hectolitre. Le poids de 79 kilogrammes est commun dans les bonnes années. »

Ce passage, que nous empruntons au rapport sur l'Exposition de 1855 que M. Jules Duval a adressé à la commission, suffit pour montrer l'importance de la culture des céréales en Algérie; c'est là évidemment sa véritable voie, et du jour où des voies de communication nombreuses et bien entretenues permettront le passage facile des produits de l'intérieur à la mer, il n'est pas douteux que l'Algérie pourra jeter sur le marché européen des céréales

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en quantité suffisante pour que sa prospérité et sa richesse soient assurées.

Le tabac occupe toujours une place remarquable dans les envois de l'Algérie; mélangé avec nos tabacs très-forts et très-chargés de nicotine de l'Alsace ou du Pas-de-Calais; il peut jouer un certain rôle dans la consommation. Employé seul, il ne donne, dit-on, que des produits de qualité secondaire.

Le jury a cependant décerné une grande médaille d'or à la Société des planteurs de tabac d'Alger.

La question de la réussite du coton en Algérie a été si souvent discutée qu'il paraît inutile d'y revenir; le nombre des exposants va en diminuant à chaque Concours, et il paraît certain que du jour où le gouvernement cessera de donner à cette culture une vie factice, elle s'éteindra rapidement, les conditions climatériques ne lui étant pas suffisamment favorables.

L'île de la Réunion s'est particulièrement distinguée par ses envois de café, de vanille, etc.; elle a obtenu plusieurs grandes médailles d'or.

§ V. *Produits agricoles manufacturés.* — Les huiles d'Algérie prennent dans les exportations une importance méritée. Notre colonie renferme une étendue de 35,000 hectares d'oliviers, qui, par la greffe et la culture, pourront être transformés en olivettes, et fournir alors pour 50 millions de francs d'huile chaque année. La culture de l'olivier établie en Algérie depuis des siècles, très en faveur du temps des Romains, prendra de jour en jour plus d'importance, et se substituera peu à peu à celle de nos départements méridionaux, où les oliviers sont souvent très-peu productifs. La culture de la vigne se répand de plus en plus chaque jour; M. Dumas, qui cultive à Médéah, a obtenu une grande médaille d'or pour ses vins muscats et autres des crus d'Aïn, de Chellalah et Ermalia.

Tous les blés algériens ne sont pas exportés en nature, et plusieurs échantillons de farines, de semoules, de fécules, de pâtes alimentaires annoncent une industrie qui sait mettre à profit les excellentes qualités des blés durs d'Afrique.

Les sucres des colonies ont étonné toutes les personnes qui n'ont pas suivi les immenses progrès qu'a faits cette fabrication depuis quelques années. Les colonies qui, disait-on, devaient être ruinées par le sucre de betterave, cultivent la canne plus que ja-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mais, importent les appareils perfectionnés et trouvent dans la qualité de leurs produits, dans les rendements plus considérables un encouragement pour continuer dans cette voie féconde. Les sucres à gros grains de M. Lecout de Kerveguen de l'île de la Réunion lui ont valu une grande médaille d'or. Plusieurs autres fabricants de cette colonie ont montré des produits également d'une cristallisation admirable; les usines de la Guadeloupe et de la Martinique ont adressé des sucres claircés, qui ne sont peut-être pas aussi remarquables comme pureté que ceux de la Réunion.

§ VI. *Produits animaux.* — Il y a longtemps que dans les leçons brillantes qu'il fait au Conservatoire depuis huit ans, M. Baudement, notre savant maître, a montré que l'Algérie pouvait trouver dans les laines de ses nombreux moutons un de ses plus grands éléments de prospérité. Suivons, disait-il, l'exemple général de toutes les grandes industries, spécialisons les productions, et puisqu'il est bien démontré qu'on ne peut obtenir à la fois des animaux précoces pour la boucherie et donnant de la laine fine, conservons à la France, pays peuplé, riche déjà, qui consomme beaucoup, les animaux de boucherie, amenons des southdown, des new-kent, croisons avec les dishley et faisons des produits précoces. Quant à nos mérinos, à nos moutons à laine fine, leur place n'est plus ici, elle est de l'autre côté de la Méditerranée. Là, de grands espaces permettent le parcours; une population encore clair-semée n'exige pas qu'on s'empresse de lui assurer son alimentation; c'est là qu'il faut faire de la laine.

Nous avons, au reste, un exemple sous les yeux : l'Angleterre engraisse chez elle ses races perfectionnées pour la boucherie; elle a su même employer de mille façons ingénieuses leur laine longue, mais elle n'a pas abandonné cependant la production de la laine fine, et tous les ans ses nombreux bâtiments apportent à ses manufactures infatigables la dépouille de ses moutons d'Australie. L'Algérie doit être l'Australie de la France. La tâche n'est pas aussi difficile qu'on pourrait le croire d'abord; les moutons indigènes présentent déjà une certaine finesse dans la province de Constantine et dans le Sud; peut-être est-il même permis de croire que les mérinos d'Espagne, s'ils ne tirent pas leur origine d'Afrique, y ont envoyé des tribus qui s'y sont plus ou moins abâtardies, en conservant les principaux caractères de leurs aïeux. Quelques toisons envoyées de l'Aghoûat ont paru assez belles pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mériter une médaille d'or; plusieurs médailles d'argent ont été distribuées à des chefs indigènes et à des colons pour des échantillons de laine provenant des races pures ou déjà améliorées par les béliers mérinos.

On ne saurait trop le répéter : l'Algérie doit être la productrice de laine fine de nos manufactures; c'est dans l'élève des moutons, dans la culture des céréales et des plantes méditerranéennes qu'est son avenir et pas du tout dans les cultures coloniales, comme on l'avait cru d'abord. La soie peut être encore une source de prospérité pour notre colonie; la réussite est assurée si, suivant l'exemple des Chinois, nos maîtres dans cette industrie, on se contente de faire de petites éducations. Avec le climat de l'Algérie on est moins conduit au reste à hâter le développement des vers par une chaleur artificielle, et on peut par conséquent ne pas construire ces grands foyers pestilentiels qui ont mis en quelques années notre sériciculture dans l'état déplorable où elle se trouve. Outre plusieurs médailles d'argent, les soies algériennes ont obtenu deux médailles d'or décernées à MM. Chageil et Reidon à Alger et à M. Costérisan.

L'industrie de la tannerie a montré, dans les produits algériens, un progrès remarquable. M. Coopmann, tanneur à Constantine, et président du tribunal de commerce de cette ville, a obtenu une médaille d'or pour les échantillons de cuirs tannés avec l'oignon de scille maritime. La scille maritime est indigène en Algérie; elle croît de tous côtés avec la plus grande abondance et on s'était jusqu'à présent beaucoup plus occupé de s'en débarrasser que de l'utiliser. M. Coopmann pensa que les squames de scille très-âcres, très-acides pourraient peut-être remplacer dans le tannage l'écorce de chêne peu abondante en Algérie : il s'est trouvé qu'il avait deviné juste et que les jus préparés avec les squames tannent plus vite et mieux que le tan de chêne. On sait combien sont lentes jusqu'à présent les opérations du tannage; arriver à produire en deux ou trois mois ce qu'on ne fait habituellement qu'en seize ou dix-huit est un progrès immense, *time is money*. On a souvent déjà essayé de hâter ces opérations du tannage; mais jusqu'à présent la rapidité dans l'exécution a toujours été accompagnée d'une diminution dans la qualité. Il n'en est pas ainsi des produits de M. Coopmann; ils ne laissent rien à désirer comme souplesse et solidité; ils ont fait la campagne d'Italie et,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

comme ceux qui les portaient, s'en sont vaillamment tirés. Il est donc très-possible que le tannage à la scille maritime, non-seulement prenne en Algérie une très-grande extension, mais passe la Méditerranée et vienne en France détrôner les anciens procédés.

RÉSUMÉ ET CONCLUSION.

Nous venons de parcourir rapidement les produits exposés au Palais. Peut-on de cette étude tirer quelques conclusions? est-il possible de dégager, de la nature des objets exposés, de la forme sous laquelle ils le sont, une formule propre à montrer clairement l'idée qui caractérise l'état actuel de notre agriculture?

Oui, cette idée, qui y pénètre de plus en plus, qui assure sa prospérité, c'est l'idée scientifique.

A chaque pas nous la rencontrons, à chaque pas elle marque un progrès.

Au lieu de ces notions vagues, incohérentes qu'on avait sur le sol arable, on a des résultats nets et positifs; on l'a étudié, on l'étudie encore; et cette recherche, passant du laboratoire aux champs, nous a donné la belle collection des terres arables du Jura du frère Ogirien.

Des expériences nombreuses établissent que la valeur des engrais est en raison de la quantité d'azote et d'acide phosphorique qu'ils renferment : sur chaque échantillon exposé, des chiffres montrent aujourd'hui que des analyses précises ont déterminé leur valeur.

Les géologues annoncent la présence de phosphate de chaux fossile dans quelques localités; les recherches commencées en Angleterre se continuent en France, et bientôt des millions d'hectolitres jetés sur notre vieux sol gaulois lui rendront un des éléments de sa fertilité première.

Une étude approfondie a permis de tirer de la betterave et de la canne plus de sucre et de meilleure qualité; la récolte du vin manque-t-elle; la chimie enseigne la transformation du sucre en alcool.

On étudie les fermentations, et du premier coup, comme application, on trouve le moyen de faire rendre au blé un cinquième de pain blanc de plus qu'autrefois, de beau pain blanc de fro-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment, la joie de nos paysans qui cependant en mangent si peu!

L'idée scientifique a fait plus que cela encore, plus que des perfectionnements spéciaux : elle a montré le chemin qui conduit au progrès, elle a donné la méthode. Elle a appris l'art de l'expérimentation à nos cultivateurs. Les tableaux du frère Ménée à l'institut de Beauvais, ceux de M. Demond, sont plus que des renseignements : c'est l'aurore d'une nouvelle période dans laquelle entre notre agriculture; elle ne marchera plus à l'aveugle, elle se *rendra compte;* on lui a appris à lire dans le grand livre de la nature qu'elle feuilletait naguère, sans savoir le déchiffrer.

Au monde savant tout entier, sans doute, appartient cette impulsion féconde qu'a reçue le premier des arts; mais si l'on songe cependant que la classification des engrais, d'après leur richesse en azote et en acide phosphorique, que les méthodes rapides, faciles, de doser ces substances, que de nombreux travaux de physiologie, de chimie agricole, que des analyses très-complètes d'un grand nombre d'espèces végétales habituellement cultivées sont sortis du Conservatoire impérial des Arts et Métiers, que, par la nature et la direction de son enseignement, il a dû préconiser et faire pénétrer dans l'esprit des masses l'excellence de la méthode expérimentale, on pourra à coup sûr être fier du rôle qu'il a joué dans cette application des sciences à l'agriculture et se sentir heureux de lui appartenir.

P.-P. DEHERAIN.

ANIMAUX REPRODUCTEURS.

Il existe en France deux sortes de Concours agricoles : les uns, au nombre de six, sont exclusivement destinés aux animaux de boucherie; institués en 1844, ils ont lieu annuellement dans les villes de Bordeaux, Lille, Lyon, Nantes, Nimes et à Poissy. Les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

autres comprennent trois expositions distinctes par la nature des objets appelés à y figurer : celle des animaux reproducteurs des espèces attachées à nos exploitations rurales; celle des instruments et machines employés dans les travaux des champs et de la ferme ; celle des produits divers que l'agriculture obtient, soit directement des animaux et du sol, soit par suite de transformations variées dans les usines annexées à l'industrie rurale. Les Concours de cette seconde catégorie sont de deux degrés : les uns *régionaux*, ouverts aux producteurs de circonscriptions déterminées, aujourd'hui au nombre de douze; les autres *généraux*, où sont appelés tous ceux qui, par des travaux quelconques, s'occupent en France de l'économie agricole.

C'est un Concours général qui vient d'avoir lieu à Paris, du 17 au 25 juin dernier.

L'institution des Concours généraux a subi, depuis son origine, de nombreuses vicissitudes dont l'histoire ne manque pas d'intérêt. Les trois grandes divisions des animaux reproducteurs, des instruments et des produits y ont toujours été maintenues; mais c'est à peu près le seul point qui soit resté invariable dans leur programme. Les dispositions relatives à l'époque de l'Exposition, au classement des objets dans chaque grand groupe, aux conditions d'admission, à l'importance et à la répartition des primes, aussi bien qu'à la formation du jury, ont éprouvé des modifications, principalement en ce qui concerne les animaux. Ces modifications ont été indiquées par l'expérience; elles témoignent de l'influence immense des Concours qui, en réunissant de tous les points de notre pays ses productions diverses, ont éclairé tout le monde par la comparaison, ont appris à mieux apprécier et à mieux classer les résultats acquis, en même temps qu'ils ont montré jusqu'à quel point on pouvait être exigeant pour les progrès à provoquer.

Le premier Concours général fut ouvert en 1850, à Versailles, sur les dépendances de l'Institut national agronomique. L'exposition des animaux reproducteurs comprenait les espèces *chevaline*, *bovine*, *ovine* et *porcine;* mais les mâles seuls étaient admis.

Le classement eut lieu par grandes circonscriptions régionales, au nombre de six pour toute la France, tracées de manière à réunir autant que possible les conditions et, par suite, les productions comparables. Les étalons devaient avoir deux ans au

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moins, les taureaux au moins un an, les béliers au moins huit mois, les verrats au moins six mois. Le Concours fut tenu au mois d'octobre.

On vit réunis à ce premier Concours de Versailles 15 étalons, 53 taureaux, autant de béliers et 10 verrats. Les prix et médailles proposés aux propriétaires d'animaux s'élevaient à la somme de 52,500 francs.

Au second Concours général de 1851, dont le siége était encore à l'Institut agronomique de Versailles, et qui fut porté de l'automne à la première quinzaine de mai, les mâles des espèces *chevaline*, *bovine*, *ovine* et *porcine* furent seuls reçus, aux mêmes conditions d'âge que précédemment; mais la France fut divisée en huit circonscriptions, au lieu de l'être en six, afin d'essayer de tenir plus rigoureusement compte des rapports qu'établissent entre les productions diverses les conditions de milieu.

En 1852, le troisième Concours général fut ouvert à Versailles dans les premiers jours de mai. Les mâles des mêmes espèces domestiques furent appelés; mais on exigea que les étalons eussent au moins trois ans, et l'on renonça à la répartition des animaux par circonscriptions régionales.

Cette nouvelle condition d'âge s'explique par la difficulté, pour ne pas dire l'impossibilité, de bien juger un reproducteur à deux ans, à un âge de transition, où il va cesser d'être poulain, où il n'est pas encore étalon, où il subit, sous les influences les plus critiques, toutes les modifications physiologiques d'un être en voie de développement.

Quant au groupement par circonscription, on y renonça pour adopter la division par races, et échapper ainsi aux embarras d'une délimitation rigoureuse des grandes régions culturales et zootechniques. Le nombre de races ou groupes de races fut de onze pour l'espèce *bovine*, de six pour l'espèce *ovine*, et de deux pour l'espèce *porcine*. L'espèce *chevaline* restait, comme précédemment, divisée en deux catégories : races de gros trait et races de trait léger. Nous apprécierons la valeur de ce nouveau mode de classement, qui a toujours été suivie depuis, en parlant de l'Exposition de cette année.

En 1853, le quatrième Concours général eut lieu à Orléans : l'Institut agronomique de Versailles n'existait plus. L'époque en fut reculée et placée au commencement du mois de juin. Le clas-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sement et les autres dispositions générales ne subirent pas de changement important.

On se proposait alors de déplacer, chaque année, le siége du Concours national, peut-être à l'imitation de ce qui se passe en Angleterre. Mais l'analogie ne saurait être invoquée. Le Concours annuel de la Société royale d'agriculture d'Angleterre n'est, en réalité, qu'un Concours régional, qui, par cela même qu'il est unique chaque année, doit changer de place pour visiter successivement tous les comtés. Nos Concours régionaux sont nombreux, affectés à des circonscriptions déterminées, et couronnés par un Concours général. Ce Concours, pour conserver son caractère, doit se mettre en harmonie avec nos habitudes de centralisation, et ne pas paraître être relégué loin de la capitale. Aussi la nouvelle combinaison ne trouva pas de sympathie dans le monde agricole. Rapporteur du jury à Orléans, nous fûmes chargé d'exprimer, au nom des exposants et des jurés, le vœu de voir fixer à Paris, au sein même du mouvement principal des idées et des intérêts, le siége du grand Concours central, dont la signification s'effacerait autrement, jusqu'à n'être plus que celle d'un Concours de région. Nous demandions pourquoi l'agriculture, que tout le monde se plaît, par courtoisie au moins, à proclamer la première des industries du pays, ne jouirait pas de ce droit de cité si généreusement accordé aux autres industries et au commerce. Nous n'osions croire que l'on craignît d'exposer au jour de la grande ville sa noble simplicité, ses dehors un peu sévères. Dans l'intérêt même de ses progrès, pour le placement avantageux de ses produits, nous montrions qu'elle trouverait à Paris plus d'intelligences à séduire, plus de richesses à solliciter, peut-être des vocations à éveiller avec des sympathies. Nous promettions, en son nom, que l'émulation et le sentiment de l'utilité de son rôle grandiraient sa puissance sans accroître son ambition.

Ce vœu fut écouté : le cinquième Concours général eut lieu à Paris en 1854. M. le ministre, dans le discours qu'il prononça le jour de la distribution solennelle des récompenses, remercia le jury de lui avoir inspiré cette bonne pensée. Le succès des grandes expositions agricoles au sein de la capitale a justifié la mesure : il a toujours été croissant, et nous venons d'être témoins d'un empressement presque incroyable de la foule à se porter au Palais de l'Industrie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Deux modifications importantes furent introduites dans le programme de 1854 : l'espèce *chevaline* ne fut point appelée au Concours, et, pour les autres espèces, les femelles furent, comme les mâles, primées dans des catégories spéciales. De ces deux raisons, la première avait probablement des motifs; mais ils ne furent point connus, et ceux qu'on soupçonna ne furent pas approuvés. La seconde, au contraire, fut bien accueillie : on trouva rationnel et juste que les encouragements fussent partagés par tous les animaux qui ont un rôle dans la perpétuation et l'amélioration de nos espèces domestiques.

Les Concours généraux de Paris, en 1855 et en 1856, ne furent pas seulement nationaux, ils devinrent universels. L'espèce *chevaline* continua d'être exclue; les autres espèces, classées par races, furent réparties entre un plus grand nombre de groupes.

On se rappelle le succès éclatant du Concours universel agricole de 1856 : cette affluence d'étrangers, cette animation de Paris, cet élan imprimé à notre production agricole, et surtout à l'amélioration de nos races. Dans l'espèce *bovine*, on compta 1,273 animaux, parmi lesquels les animaux nés en France entraient pour 446 têtes; dans l'espèce *ovine*, les animaux étaient au nombre de 1,115, dont 449 français; dans l'espèce *porcine*, sur 171 têtes, 82 provenaient de notre élevage.

Depuis 1856, le Concours général n'avait plus eu lieu; les agriculteurs en regrettaient la suppression; ils ont accueilli comme une résurrection celui de 1860 qui a surpassé en importance et en popularité celui même de 1856.

Dans la pensée primitive de l'administration ce huitième grand Concours national devait, comme les trois précédents, ne comprendre que les animaux reproducteurs des espèces *bovine*, *ovine* et *porcine*. Le crédit demandé au Corps Législatif s'élevait à la somme de 546,000 francs. La Commission chargée de faire le rapport sur cette question accepta, à l'unanimité, le projet de dépenses; mais elle s'associa, en outre, aux regrets qu'exprimaient les éleveurs de voir l'espèce *chevaline* exclue de cette grande exhibition des richesses agricoles, et au désir unanimement manifesté par les sept bureaux de la Chambre de voir cette omission réparée. L'amendement proposé dans ce sens fut accepté par le Conseil d'État et une somme de 300,000 francs fut consacrée au Concours hippique. En même temps fut adoptée une autre propo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sition qui mit une somme de 40,000 francs à la disposition du jury pour être répartie, s'il y avait lieu, entre les inventeurs ou introducteurs de machines ou instruments qui pourraient suppléer utilement au manque de bras dont la pénurie se fait chaque jour sentir davantage dans nos campagnes. Le crédit extraordinaire affecté aux dépenses du Concours était donc de 1,086,000 fr. Nous verrons quelle part a été faite aux primes, sur cette somme, pour chaque catégorie d'animaux domestiques.

D'après les chiffres consignés dans les catalogues, le nombre d'animaux qui devaient figurer au Concours s'élevait à :

765 pour l'espèce *chevaline* et 28 pour l'espèce *asine;*
1,443 pour l'espèce *bovine;*
1,125 pour l'espèce *ovine;*
235 pour l'espèce *porcine.*

Quelques animaux manquèrent dans les rangs; mais le nombre de ceux qui furent présentés dépassa non-seulement le total que nous rappelions plus haut du premier Concours national en 1850; il fut même beaucoup plus élevé que les nombres atteints dans toutes les catégories au Concours universel de 1856 par l'ensemble des animaux étrangers et français réunis. La quantité ne s'est pas seule accrue, la qualité s'est améliorée. Les progrès accomplis ne sont pas seulement sensibles quand on compare le dernier Concours au premier, ils le sont même quand on le compare au Concours de 1856; après quatre années d'intervalle, on trouve les bons résultats plus généralisés, les vrais principes de l'amélioration du bétail plus communément observés, la voie mieux tracée et plus suivie. La part d'influence utile qui revient aux Concours eux-mêmes est grande et incontestable : ils sont un des plus puissants moyens d'enseignement dont l'agriculture puisse profiter en rapprochant les objets demeurés trop longtemps éloignés les uns des autres pour que la comparaison en fût possible, et en réunissant aussi les hommes trop habitués jusqu'ici à vivre isolés.

L'empressement du public à visiter le Concours prouve aussi que les questions agricoles préoccupent les consommateurs comme les producteurs. Pendant chacun des huit jours où le Palais de l'Industrie fut ouvert moyennant un prix d'entrée de un franc, plus de 52,000 personnes furent admises, indépendamment des 40,000 personnes qui avaient reçu des billets à divers titres. Le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dimanche où l'entrée fut gratuite, plus de 100,000 visiteurs furent successivement introduits. Cette affluence est une véritable manifestation; c'est aussi un hommage rendu à l'agriculture; nous espérons même que c'est le signe d'un changement qui s'opère dans notre esprit, d'un commencement d'éducation plus en harmonie avec les conditions naturelles de la production de notre pays. Les résultats du présent présagent d'heureux fruits dans l'avenir, si nous savons être persévérants.

Espèce chevaline. — La question de la production chevaline se mêle si intimement à l'étude des races de chevaux telles qu'elles se présentaient sous nos yeux au Concours, qu'il faudrait, pour pouvoir juger convenablement ces races, rappeler d'abord les principes et les exigences pratiques qui dominent le problème de la production. Nous ne pouvons traiter ici complétement une question aussi complexe; nous nous contenterons de résumer quelques-uns des faits capitaux les plus significatifs, à mesure que nous en aurons besoin pour apprécier la valeur des chevaux dont nous parlerons.

C'est en 1853, comme nous l'avons dit plus haut, que l'espèce *chevaline* fut pour la dernière fois appelée au Concours général. En 1860, elle ne fut admise que fort tard, et c'est seulement à la fin d'avril que les éleveurs ont su qu'ils auraient une place au Concours qui s'ouvrait vers le milieu du mois de juin. Ils ont cependant répondu en grand nombre à l'appel qui leur était fait, et si les reproducteurs qu'ils ont présentés ne forment pas un ensemble aussi irréprochable qu'on aurait pu le désirer, il faut tenir compte de l'avis tardif qu'ils ont reçu, du moment où leur arrivait cet avis, des exigences de la monte et des précautions qu'exigent les juments suitées. Le mois de septembre paraîtrait, plutôt que le mois de juin, l'époque favorable à une exposition hippique; alors, en effet, la monte est passée, les étalons sont libres et reposés, les poulains sont sevrés et ont grandi; mais c'est l'époque de la villégiature, des vacances et des excursions; on courrait risque de ne pas trouver de public. De deux écueils, on a choisi le moins redoutable.

Dans la classification des races chevalines, le programme a pris assez uniformément pour base la nature des services; mais nous regrettons qu'il n'ait pas adopté plus systématiquement cette idée juste et qu'il l'ait parfois abandonnée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quatre grands groupes ont été d'abord dessinés: celui des chevaux de *pur sang*, celui des chevaux de *demi-sang*, celui des chevaux de *trait*, et celui des chevaux *mulassiers*.

Le nom de *pur sang* s'applique, dans la langue hippique, à la race anglaise de course et à la race arabe; quelquefois même il est uniquement réservé à la race anglaise. Le programme le donne cependant encore aux chevaux anglo-arabes, se fondant sans doute sur l'unité d'origine, sur l'identité de sang des deux races anglaise et arabe.

De ce point de vue abstrait on peut admettre l'assimilation; mais quand il s'agit de juger des reproducteurs, de présumer leur influence dans la création des produits, il importe de ne pas confondre dans une même catégorie, comme étant également puissants et sûrs, les anglais, les arabes et les anglo-arabes. La race anglaise et la race arabe, bien qu'elles se tiennent par un lien intime de parenté, ont des caractères et des aptitudes particuliers qu'elles transmettent avec une certitude dont la pratique nous rend depuis longtemps témoins. Il n'en est pas de même de la prétendue race anglo-arabe; elle attend encore la combinaison tant souhaitée des aptitudes des deux races qu'on associe pour l'obtenir, et elle n'a pas plus trouvé son équilibre au haras de Pompadour, qu'elle ne l'avait trouvé dans l'expérience tentée déjà à Deux-Ponts. On ne saurait donc la placer sur la même ligne que les races anglaise et arabe, les seules auxquelles devraient au moins être réservées toutes les prérogatives, toutes les idées de supériorité et d'influence qu'on veut renfermer dans le mot de pur sang.

Les dénominations de chevaux de *trait* et de chevaux *mulassiers* présentent aussi un sens parfaitement clair; elles résument un ensemble défini de qualités spéciales en vue d'un résultat précis à obtenir. Mais pourquoi avoir introduit dans cette nomenclature rationnelle la classe des chevaux *demi-sang* comme groupe fondamental? Pourquoi n'avoir pas pris, comme titres principaux, les épithètes de chevaux *carrossiers* et de chevaux *légers* dont on a fait des subdivisions secondaires? Qu'importe que le cheval soit demi-sang ou de race pure s'il présente la somme de qualités et de caractères que vous exigez du cheval carrossier et du cheval léger? Le Concours est appelé à signaler et à récompenser les meilleurs représentants dans chaque

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

type; dès que vous jugez du degré de supériorité des chevaux d'après la conformation et que votre exigence sur l'origine ne va pas au delà de cette seule condition, qu'ils aient un degré de sang quelconque, le meilleur animal doit battre ses concurrents de quelque manière qu'il ait été formé et d'où qu'il vienne. Ce sera l'affaire de l'éleveur et du consommateur de choisir entre les animaux indiqués pour réaliser le mieux la perfection comme carrossiers ou comme chevaux légers, et de voir quelle provenance ils doivent préférer.

En imposant aux chevaux *carrossiers* et *légers* l'obligation d'être avant tout des chevaux de demi-sang, c'est-à-dire d'avoir reçu une certaine dose de sang anglais, arabe, ou anglo-arabe, le programme formule un système en dehors duquel il ne voit pas de salut, et qui soulève pourtant des objections assez graves; il assume une grande responsabilité en poussant la production dans une voie dont l'issue peut n'être pas favorable; il offre aussi aux errements suivis par les haras, au système préconisé, à l'impulsion donnée une justification dont on pourrait contester la légitimité. Sans doute, quand on cherche en France par quels animaux le type des chevaux carrossiers et celui des chevaux légers sont représentés, on ne trouve guère que des bêtes de demi-sang; mais cet état résulte de l'action même des haras et n'est pas l'expression de la vérité absolue en matière hippique. Sans doute aussi, on peut admettre que l'étalon anglais ou l'étalon arabe peut être choisi, suivant les cas, pour être accouplé à la jument, et donner des chevaux carrossiers ou légers; mais il ne s'ensuit pas que ce procédé de croisement soit le seul qui convienne à la production de cette sorte de chevaux et qu'il faille absorber toutes les races locales dans ce croisement; en tout cas, il conviendrait de laisser la comparaison se produire, l'opinion se faire, et de ne pas considérer comme une impossibilité l'existence d'un cheval carrossier ou léger qui ne serait point issu d'un croisement avec l'étalon anglais ou arabe.

A un autre point de vue, les demi-sang ne nous paraissent pas appelés à prendre part à un Concours d'animaux destinés à la reproduction; ils peuvent constituer et ils constituent souvent de bons *produits;* c'est là leur valeur propre; ils n'en ont aucune fixe et certaine comme *reproducteurs*. Les chevaux de demi-sang doivent rester des chevaux de service, et ne pas être

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

employés comme pères. Cette opinion s'appuie sur l'étude du rôle des reproducteurs dans toutes les espèces, sur toutes les races, dans tous les pays; elle n'est pas infirmée par les faits que le dernier Concours a fait passer sous nos yeux. Dans la catégorie des demi-sang carrossiers, spécialement dans celle des demi-sang normands, la plus importante et la plus nombreuse, il n'y avait peut-être pas trois chevaux du même modèle; et si nous prenions le degré de sang comme mesure de l'influence probable de l'étalon, nous n'arriverions pas à une autre conclusion, car il n'existe aucune uniformité dans le mode de création de ces animaux. Tous sont parents du cheval anglais, voilà ce qui est hors de doute, et forme une sorte d'unité superficielle; mais il s'en faut qu'ils constituent, nous ne dirons pas une race, mais une famille, un groupe homogène. Les chevaux normands ont pris certaines qualités incontestables dans leur alliance avec l'étalon anglais; mais l'erreur a consisté, suivant nous, à ne pas s'arrêter au produit, à jeter toute la race, mâles et femelles, dans ce croisement; à ne pas avoir conservé parallèlement la race normande, en l'améliorant par sélection, de façon à garder sous la main le moyen de ne pas dépasser le but. Aujourd'hui la population chevaline de la Normandie manque absolument de gros, s'amincit, perd du dessous, et il n'existe plus de juments pour remédier à ces défauts. Elle a reçu une dose trop forte de sang anglais, et elle s'imprègne de plus en plus de ce sang, comme l'atteste le nombre toujours croissant des saillies par les étalons de pur sang en Normandie.

Nous ne songeons pas à nier la valeur d'un grand nombre de chevaux livrés par la Normandie au luxe, au commerce, aux remontes; nous attribuons à la race anglaise la part légitime qui lui appartient dans cette production; mais nous croyons qu'on a été trop loin dans le croisement, qu'on s'est engagé, sans moyen de retour, dans une voie à l'extrémité de laquelle on arrivera fatalement à se rapprocher de plus en plus du cheval anglais, sans pouvoir obtenir à nouveau les bons résultats du passé. C'est la conséquence à laquelle ont toujours conduit les tentatives faites pour obtenir des races de demi-sang; l'histoire ne nous offre pas une seule exception. Est-ce là le résultat qu'on poursuit aussi en Normandie? Alors, il ne faut plus parler de la création d'une *race* demi-sang.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

S'il est impossible d'admettre l'existence d'une race demi-sang normande comme étant constituée et constante, il est bien plus illogique encore de conseiller l'emploi des demi-sang normands comme étalons améliorateurs dans les diverses parties de la France; nous ne saurions adopter cette partie dela doctrine plus que l'autre.

En examinant la catégorie des demi-sang *légers*, on est conduit aux mêmes réflexions que suggère l'étude des demi-sang carrossiers. L'étalon anglais, l'étalon arabe, l'anglo-arabe surtout, ont été employés pour obtenir les chevaux qui figuraient sous les noms de tarbéens, bigourdans, navarrins, limousins, auvergnats, etc. Si l'on s'en était tenu aux indications tirées de la nature même des races chevalines qui peuplaient autrefois le centre et le sud de la France, on aurait employé, avec mesure, l'étalon arabe pour obtenir des produits améliorés. Mais on a voulu grandir ces chevaux dont la taille reste naturellement celle des races qui se rattachent au type oriental, et, pour obtenir ce résultat, on a employé le sang anglais, à doses variables, suivant une foule de combinaisons. En somme, la taille n'a été un peu augmentée qu'aux dépens de l'étoffe; les chevaux sont communément montés sur des membres grêles, disproportionnés, et il leur passe beaucoup trop de vent sous le ventre. On a obtenu quelques jolis chevaux d'attelage, quelques chevaux de selle élégants; mais on n'est pas parvenu à forcer assez la nature pour obtenir des carrossiers; or, comme le luxe demande des chevaux plus corsés, plus grands et plus forts, comme on monte aujourd'hui fort peu à cheval, et comme les chevaux de remonte ne peuvent se produire qu'à la condition d'être soutenus par les bénéfices résultant de la production des chevaux de luxe, notre cavalerie légère ne trouve pas, dans ces races, tous les animaux dont elle a besoin.

Il nous semble qu'on a commis une faute en demandant à l'étalon anglais de grandir ces races; le véritable moyen d'approcher autant que possible du résultat cherché consistait à mieux nourrir les animaux, à former ainsi des juments plus étoffées, avec lesquelles on aurait pu ensuite obtenir des produits plus grands et plus forts. L'emploi d'un étalon plus grand dans le but d'élever la taille des produits est un procédé incertain, qui amène presque toujours du décousu dans les formes,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du défaut dans les proportions. Il ne faut point demander à une race ce qu'elle est tout à fait incapable de produire; il faut savoir se résigner à la voir disparaître quand elle ne répond plus à aucun besoin, et ne peut plus être élevée avec profit. La remonte de notre cavalerie légère doit compter beaucoup sur l'Algérie; les pays où le cheval de selle propre à cette arme s'est produit et se produit encore trouveront souvent avantage à se livrer à l'industrie mulassière.

L'opinion du jury sur la valeur de ces demi-sang légers donne un appui à la nôtre; car c'est dans cette catégorie qu'un plus grand nombre des prix inscrits au programme n'a point été décerné.

C'est dans les catégories des chevaux de *gros trait* et de *trait légers* qu'on a trouvé les reproducteurs les mieux caractérisés; ce sont ces chevaux qui ont eu surtout les honneurs du Concours; c'est parmi eux aussi que se trouvent les ressources de l'avenir. Qu'on ne s'y trompe pas : nos races percheronne et bretonne, boulonnaise, bourbourienne et analogues, n'ont pas seulement une valeur actuelle très-grande comme fournissant des chevaux d'agriculture élevés dans des conditions au milieu desquelles ils prennent un excellent tempérament et donnent des profits; elles ne répondent pas seulement à des destinations nombreuses dans diverses industries; elles peuvent aussi devenir notre pépinière la plus précieuse pour la remonte de notre cavalerie de ligne et de notre cavalerie de réserve.

Ces deux armes trouvent de bons chevaux dans les produits demi-sang de la Normandie, du Poitou, de l'Anjou, de la Bretagne et d'autres contrées; mais le système suivi pour la production chevaline dans tous ces pays, affinant de plus en plus la race, et la poussant de plus en plus vers le pur sang, un moment arrivera, nous le craignons, où l'on n'y trouvera plus les chevaux doués de toutes les qualités que réclame le service particulier des dragons, des cuirassiers, des carabiniers, de la gendarmerie. Alors les pays qui produisent aujourd'hui des carrossiers pourront bien voir les achats du luxe leur échapper pour passer à l'étranger; alors aussi on sera conduit à chercher des produits demi-sang avec les juments percheronnes, boulonnaises et analogues, bien ramassées, bien membrées, près de terre. Nous ne doutons pas qu'on obtienne de la sorte d'excellents chevaux,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'un modèle distingué; mais nous faisons des vœux pour qu'on s'arrête aux croisements de première génération et qu'on ne précipite pas la chute de ces races, comme on l'a fait pour la race normande, sous prétexte de les améliorer en masse.

C'est surtout dans les catégories de *gros trait* que les races percheronne et boulonnaise ont présenté de beaux animaux. Si nous ne considérions que le cheval de service, nous aurions préféré voir ces races se distinguer principalement dans le type des chevaux de *trait légers*, celui des anciens chevaux de diligence et de poste; mais les raisons tirées de l'état de notre production chevaline, telles que nous les indiquons sommairement, nous font préférer les résultats tels que le Concours les accuse.

En suivant l'ordre d'idées auquel nous touchions tout à l'heure à propos du classement admis par le programme, il nous a été difficile de comprendre pourquoi, après avoir tracé les divisions générales de carrossiers, de chevaux légers, de chevaux de trait, on avait établi des subdivisions d'après les départements éleveurs; pourquoi, par exemple, on avait distingué les carrossiers élevés dans les départements de la Manche, du Calvados, de l'Orne, de l'Eure et de la Sarthe, des carrossiers élevés dans les départements de la Mayenne, de Maine-et-Loire, de la Vendée, etc., pour faire encore une autre section des carrossiers élevés dans les départements autres que ceux qui sont nominalement désignés. Il y a ici une double inconséquence. D'abord, puisque les carrossiers doivent être de demi-sang, d'après le programme, et puisque les étalons anglais et anglo-normands sont les pères naturels de ces carrossiers demi-sang, selon les haras, pourquoi séparer, quand il s'agit de les juger, les animaux qu'on confond quand il s'agit de les obtenir? Et puis, la nature du service auquel le cheval est propre est, en définitive, la seule base à admettre pour l'appréciation comparative, comme pour une répartition rationnelle, qui veut rester assez large pour ne repousser aucun produit; la comparaison met en relief les meilleurs pays d'élevage comme les meilleurs individus, et c'est là le but des Concours généraux. Les étalons exposés par l'administration des omnibus de Paris, et primés dans la section des races diverses de trait, ne sont-ils pas aussi bons, aussi percherons, que ceux qui ont été présentés comme élevés dans l'Eure-et-Loir, dans l'arrondissement de Mortagne ou dans celui de Vendôme?

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'industrie mulassière, une des plus importantes de notre production animale, était représentée par des baudets et des ânesses du Poitou et de la Gascogne, et par la race chevaline qui fournit les juments propres à donner le mulet. Un petit nombre d'animaux avaient été envoyés. La race chevaline mulassière, répandue principalement dans les départements de la Vendée et des Deux-Sèvres, est une race excellente par sa destination; elle est commune, lymphatique, molle, mais elle est douée d'une fécondité plus grande que toute autre dans son accouplement avec une espèce voisine, mais différente de la sienne. Les baudets envoyés à Paris étaient loin de valoir le baudet qui figurait dans les collections zootechniques de l'Institut agronomique, et à propos duquel un honorable député s'était égayé en séance publique. Aujourd'hui, après le Concours qui vient d'avoir lieu, quand chacun a voulu se rendre compte de ce qu'il voyait, et a compris l'importance des richesses créées par l'industrie mulassière, on demanderait, dans une discussion sérieuse, autre chose que des plaisanteries.

Les prix destinés par le programme à l'espèce *chevaline* étaient au nombre de 299, représentés par 84 médailles d'or, 78 médailles d'argent, 137 médailles de bronze et une somme de 178,250 fr. Ceux qui étaient proposés à l'espèce *asine* étaient au nombre de 12, consistant en 4 médailles d'or, autant d'argent et de bronze, et en une somme de 6,800 fr. Sur ce total de 311 prix, 272 ont été décernés.

L'ensemble de l'Exposition hippique n'accusait pas des progrès aussi sensibles que ceux dont les expositions des autres espèces animales nous rendaient témoins. Il faut tenir compte, dans cette appréciation, de l'époque où a eu lieu l'exhibition, de l'annonce tardive qui en a été faite aux éleveurs. Il faut aussi remarquer que l'industrie chevaline n'a pas pu s'éclairer, comme l'ont fait les autres branches de la production animale, par l'enseignement continu des Concours.

Dans ces grandes réunions d'hommes et de produits, l'esprit se débarrasse des préjugés de localité, le sentiment des tendances de la consommation et l'intelligence des moyens propres à y répondre se développent, l'œil se façonne; à mesure qu'on les fréquente, on devient plus exigeant pour soi-même, on se rend justice avant de la demander au jury, et la collection d'animaux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

exhibés s'épure et s'améliore progressivement. L'industrie chevaline recueillera avec le temps le bénéfice de cet enseignement, si cet enseignement ne lui est pas refusé.

Espèce bovine. — A aucun autre Concours précédent, nos races bovines n'ont été aussi complétement ni aussi bien représentées, et jamais l'heureuse influence de ces luttes publiques n'a été mieux mise en évidence. Pour tous ceux qui ont suivi attentivement les concours et qui se rappellent le début, le progrès est incontestable et il ne faut que de la persévérance pour arriver à la perfection.

Ce résultat est le signe le plus sûr et aussi le plus rassurant des tendances progressistes de notre agriculture; car il traduit l'action heureuse et réciproque du sol sur le bétail et du bétail sur le sol. C'est à l'espèce bovine, en effet, qu'appartient le premier rang dans la série des produits agricoles; c'est elle qui nous rend les services les plus nombreux et les plus divers; c'est elle qui fait le fonds de notre cheptel national; c'est elle qui est la principale condition de la vie et de la marche de l'agriculture. Au point de vue de la production, son rôle est donc capital; il n'est pas moindre au point de vue de la consommation alimentaire et des besoins de l'industrie.

Cependant ce n'était pas aux bêtes à cornes que s'adressaient les préférences de la foule; le plus grand nombre des visiteurs s'arrêtaient surtout devant les stalles et les boxes où les races chevalines étaient classées. Nous sommes à la fois gens d'imagination et de routine; nous cédons à de vagues instincts d'artistes, à de certaines petites prétentions de vanité et à des préjugés d'éducation. Ce qui nous séduit surtout dans le cheval, c'est le côté brillant, c'est l'idée de supériorité sociale, de richesse et d'aristocratie qui s'y rattache. On accepte presque comme un titre la qualification d'homme de cheval, mais la réputation de connaisseur en bétail provoque peu de prétentions. En fait de zootechnie, nous en sommes toujours à la description apprêtée et incomplète de ce fier et fougueux animal que nous ne nous représentons guère que monté par Murat ou une amazone. La page de Buffon forme à peu près tout notre fonds littéraire en matière hippique, et c'est à peine si nous savons qu'à côté du cheval de guerre et de carrousel il y a un cheval de charrue. Quelques-uns ont entendu parler des chevaux de Phidias; mais com-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bien peu connaissent les magnifiques chevaux de Géricault.

Les peuples anciens, les Égyptiens en particulier, même quand ils eurent connu le cheval, accordaient le premier rang au bœuf et lui rendaient les honneurs divins. S'il est un peuple chez lequel l'amour et le culte du cheval soient répandus, c'est, sans contredit, le peuple anglais; chez lui pourtant, dans tous ses Concours, dans toutes ses préoccupations agricoles, l'espèce bovine prend le pas sur l'espèce chevaline. C'est là encore un point sur lequel nous avons à prendre des idées plus justes, plus en harmonie avec la valeur des choses; les Concours contribueront à nous les donner.

Comme nous l'avons indiqué déjà, les animaux de l'espèce *bovine* étaient classés par races, chacune d'elles formant une catégorie particulière dans laquelle des sections distinctes recevaient les mâles et les femelles, en distinguant les divers âges de développement. Cette division par races a été substituée au groupement par grandes régions qui avait été d'abord adopté. Certainement, il est plus simple dans son expression et plus facile à établir; mais peut-être n'est-il pas aussi logique, surtout quand il s'agit d'un Concours national.

Le but d'un tel Concours est de comparer, non-seulement les divers animaux d'une même race entre eux, mais aussi les diverses races entre elles. L'espèce bovine est appelée à nous fournir, de son vivant, trois sortes de produits : la viande, le lait et le travail; les aptitudes qu'exigent ces trois sortes de services sont incompatibles, quand on les veut obtenir à leur plus haut degré de perfection, comme nous avons tenté de le démontrer quand nous avons posé les principes de la *spécialisation* des animaux; l'important est donc de savoir quelle est la race chez laquelle se trouvent réunies les conditions qui déterminent cette perfection pour chaque nature d'emploi. On peut admettre comme point de départ la distinction par races, qui correspond souvent à la différence des milieux; mais nous comprendrions aussi qu'après avoir primé les meilleurs animaux dans chaque race, on comparât ces têtes d'élite entre elles, afin de déterminer le type le plus parfait pour chacun des buts que peut se proposer l'éleveur dans la production des bêtes bovines.

Comme conséquence de cette comparaison, on serait rarement conduit à remplacer une race locale par une race étrangère, mais

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

on serait toujours guidé dans le choix des caractères qui distinguent les bons animaux reproducteurs. D'ailleurs, cette classification par nature de services aurait un double avantage : elle permettrait au Jury d'asseoir ses jugements sur des principes fixes et communs à tous; elle forcerait chaque éleveur à se poser un but, à s'engager avec confiance dans l'avenir, après avoir mesuré ses ressources et consulté sa situation.

Dans le programme du Concours de 1860, les animaux de l'espèce bovine étaient répartis en vingt-cinq catégories : dix-huit comprenaient les races françaises; cinq étaient destinées aux races étrangères élevées en France; deux étaient ouvertes aux croisements.

Les prix proposés pour ces vingt-cinq catégories étaient au nombre de 398; une somme de 136,000 francs leur était affectée, sans compter les médailles d'or des premiers prix, les médailles d'argent des seconds, et les médailles de bronze des prix d'un ordre inférieur et des mentions. Un grand nombre de mentions *très-honorables* et *honorables* ont été attribuées, de sorte que le total des récompenses décernées atteint le chiffre de 461.

Les catégories d'animaux français d'origine admettaient dix-neuf races distinguées par les dénominations de : normande, flamande, charolaise, gasconne, garonnaise, bazadaise, maraichine, fémeline, bressanne, mancelle, lourdaise, béarnaise, ariégeoise, limousine, de Salers, d'Aubrac, du Mézenc, parthenaise et bretonne. Une catégorie recevait les races qui ne trouvaient pas leur place indiquée dans une des catégories spéciales.

Les bêtes à cornes d'origine étrangère, mais élevées en France, étaient réparties en cinq catégories, dont les quatre premières étaient ouvertes aux races de Durham, d'Ayr, hollandaises, suisses, et la cinquième aux races étrangères qui ne pouvaient se caser dans aucune des catégories précédentes.

Les deux catégories de croisements étaient formées, l'une par les croisements durham, l'autre par les croisements divers.

On voit que le programme s'était efforcé de ne rien laisser en dehors de son cadre, et qu'il avait même poussé le scrupule un peu loin. Les catégories de races diverses, sans affectation déterminée, deviennent le refuge des animaux les plus disparates, qu'il est extrêmement difficile de comparer entre eux, et, par conséquent, de juger, en même temps qu'elles ouvrent une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

porte à de prétendues races qui n'ont aucun titre à ce nom.

Ainsi, dans la catégorie des *races françaises diverses*, nous avons vu un taureau sans désignation qui n'était autre qu'un mauvais normand; des animaux appelés marchois, et qui résultaient de mélanges confus entre des limousins et des parthenais; une vache picarde qui n'était qu'un mauvais spécimen du type flamand et qui avait espéré trouver, dans la foule où elle se cachait, des chances de succès qui lui auraient fait défaut si elle se fût produite avec sa véritable étiquette; des vaches berrichonnes, plus ou moins rapprochées de la race du Morvan ou de la race parthenaise et marchoise; des lorraines, qui étaient plus ou moins fribourgeoises, bernoises ou schwitz. Nous y avons trouvé aussi des représentants d'une race qui mériterait une place à part, la race *landaise*, dont nous avons vu souvent de meilleurs échantillons. La race camargue s'était aussi réfugiée dans cette catégorie, où elle restait perdue et sans espoir même d'être tirée de son obscurité, car elle n'offrait aucun point commun par lequel on pût la comparer à ses voisines, qui n'étaient pas ses analogues.

Une catégorie distincte pour la race mancelle nous paraît être un contre-sens, quand on remarque que cette race, défectueuse sous tous les rapports, ne répond par aucune aptitude spéciale aux besoins du pays où elle s'est formée, et qui s'est tellement transformé depuis une vingtaine d'années qu'il réclame d'autres animaux. Cette catégorie est surtout déplacée dans un grand Concours national, et les animaux qui la composaient en 1860 n'étaient guère propres à relever la race mancelle. C'est une des races qui doivent disparaître par suite de leur insuffisance et de leur incapacité notoire à suivre assez vite les progrès de la culture; il semble que le croisement durham soit appelé à absorber ce qui reste de la race mancelle.

Les animaux qui étaient présentés comme appartenant à la race de la Bresse feraient douter de l'existence même de cette race, tant ils étaient disparates. Les uns étaient de mauvais bernois ou franc-comtois, les autres résultaient d'alliances avec les schwitz ou de très-médiocres charolais; on trouvait dans la plupart des traces de mélange avec les animaux suisses et les mauvais traits de ces animaux. Le Jury n'a pas jugé cette catégorie digne de recevoir les prix qui lui étaient destinés, et cette sévérité forcée portera ses fruits dans le pays même sur lequel elle frappe.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les races de la région pyrénéenne, désignées sous les noms de lourdaise, ariégeoise, béarnaise, basquaise, etc., avaient envoyé un petit nombre de représentants, sans doute à cause de l'éloignement; mais les races de l'Ariége offraient de bons spécimens.

A côté des ariégeois, nous parlerons immédiatement des animaux envoyés par l'Algérie, parce qu'il nous paraît exister des liens de ressemblance, peut-être même de parenté et d'origine, entre les uns et les autres. Les spécimens de bêtes à cornes venues de notre colonie africaine étaient de la province de Constantine, du cercle de Tebessa, c'est-à-dire des confins de Tunis. C'étaient des petits animaux, quelques-uns assez bien roulés et possédant des éléments d'amélioration dont on pourra certainement tirer bon parti. Si nous remarquons que l'Afrique a entretenu, dans les temps anciens et modernes, des rapports très-étroits et très-suivis avec l'Espagne: que l'Espagne doit à l'Afrique une grande partie de ses animaux, ses moutons et ses chevaux spécialement, et que l'on trouve, de l'autre côté des Pyrénées, des bêtes à cornes analogues à nos races ariégeoises, on comprendra l'analogie que présentent les animaux que nous envoie l'Algérie avec le groupe de races qui, de l'Ariége, s'étendent dans la Gascogne.

Il se pourrait que la race bazadaise, dont le centre de production est dans la Gironde, dans l'arrondissement de Bazas, et qui s'étend à l'entour sur une surface assez restreinte, dérivât aussi de certaines familles ariégeoises, notamment des animaux de Massat et des localités voisines. Cette race bazadaise prend de l'importance et se concilie de plus en plus la faveur dans le Midi, à de grandes distances de son foyer principal; elle mérite son succès par ses qualités et par son amélioration progressive entre les mains de ses zélés producteurs. Les vaches bazadaises que nous présentait l'Exposition étaient extrêmement remarquables.

Nous ferons le même éloge des vaches de la race d'Aubrac, élevée principalement dans le nord du département de l'Aveyron, et qui fournit un grand nombre d'animaux de travail aux pays placés au sud, jusqu'à la Méditerranée, jusqu'au voisinage des Pyrénées et des Alpes. Forte et rustique, la race d'Aubrac s'engraisse bien quand elle a fourni sa carrière, et elle peut, comme le prouvent surabondamment les améliorations dont elle vient de nous rendre témoins, atteindre une belle conformation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Auprès de la race d'Aubrac, pour le lieu de production plus que pour les caractères, se place la race dite du Mézenc, du nom d'une petite région dans les montagnes du Vivarais. Cette race, qui a peut-être quelques affinités avec les souches de l'Est, occupe le Vivarais et le Velay; elle passe même le Rhône, pour se répandre dans une partie du Dauphiné où descendent aussi les vaches franc-comtoises. Elle avait envoyé quelques représentants seulement; ils étaient loin d'être d'une qualité comparable à celle des animaux de la race d'Aubrac.

On comptait aussi quelques têtes de la race maraichine, race des marais comme l'indique son nom, dont le centre d'élevage se trouve le long de la mer dans la Vendée et la Charente-Inférieure. Produite dans les conditions les moins favorables, cette race s'améliore à mesure que s'améliore le pays où elle se forme; elle possède des qualités laitières qui peuvent être développées, et elle est susceptible de devenir ensuite une bonne bête d'engraissement. Elle a beaucoup gagné déjà sous ce double rapport.

Nos grandes races de travail, gasconne, garonnaise, limousine, parthenaise et de Salers étaient parfaitement représentées. Aucun taureau n'égalait pourtant le taureau parthenais qui avait obtenu une récompense exceptionnelle en 1856; mais la race de Salers offrait une génisse d'une conformation et d'une finesse remarquables, telles qu'on les rencontre même rarement dans les bonnes races anglaises. En voyant les résultats acquis dans ce groupe de races, depuis que l'impulsion est donnée à l'amélioration de notre bétail, on ne peut plus être admis à douter du succès qui attend les éleveurs persévérants.

La collection des charolais était magnifique, nous dirions volontiers splendide. Cette race, la première que les éleveurs aient poussée dans la voie des améliorations au point de vue de la boucherie, s'est réellement transformée depuis vingt ans. C'est dans le Cher et la Nièvre spécialement qu'elle a trouvé ses améliorateurs; les premiers possesseurs de Saône-et-Loire n'ont pas aussi bien réussi en général; sans doute ils ont apporté moins de soin à son élevage. Encore un peu, et cette belle race touche à la perfection. Elle n'est pas l'égale de la race de Durham, comme l'ont prétendu des admirateurs enthousiastes; elle ne réalise pas aussi complétement que la race anglaise l'idéal du type de boucherie; mais, pour le pays où elle a atteint ce degré d'amélio-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ration et où elle peut s'améliorer encore, elle vaut mieux que la race de Durham elle-même. Elle prend cette race pour type et elle fait bien; elle s'améliore sans elle tout en cherchant à l'imiter; elle fait mieux encore, car elle est sage en même temps qu'intelligente, et se conserve en se perfectionnant.

Nous savons que parmi certains partisans exclusifs du Durham circule une opinion suivant laquelle les meilleurs animaux charolais, comme les meilleurs animaux de quelque race que ce soit, devaient toutes leurs qualités au sang anglais; c'est un parti pris: on dénigre tout ce qui est indigène, on veut que le croisement durham soit l'unique source d'amélioration pour nos bêtes à cornes et l'on ne recule devant aucune accusation, même des plus sévères, contre l'honnêteté des exposants. On n'hésite pas non plus à nier l'expérience; on oublie volontairement que les races anglaises de Devon, de Hereford, d'Angus, dont la conformation est celle des animaux de boucherie les plus perfectionnés, ne doivent rien au sang durham et n'en ont pas reçu une goutte pour se façonner.

Il est bien vrai que l'on est tenté, dans quelques cas, de soupçonner une infusion de sang durham chez des animaux charolais, normands ou autres; mais les procédés qui ont créé la race de Durham ont des effets physiologiques constants et toujours identiques à eux-mêmes sur tous les animaux, et, de plus, on retrouve le plus ordinairement, même sous les lignes générales du type de boucherie, les traits encore saillants de la race indigène, ses défauts eux-mêmes. Ce qui s'est passé en Angleterre et en Écosse, pour les races que nous citions tout à l'heure, les devon, les hereford, les angus, peut se produire chez nous sous l'influence des mêmes moyens d'amélioration: il n'en est pas de la physiologie comme des opinions, ce qui est vérité en deçà n'est pas erreur au delà.

La race normande présentait une assez belle collection d'animaux; les premiers prix dans les deux catégories de taureaux étaient surtout remarquables. Cependant on s'étonnait de ne pas trouver de meilleurs types dans une race qui jouit des conditions naturelles les plus favorables. La Normandie se repose avec trop de confiance sur sa richesse et sur la réputation que lui ont méritée les qualités laitières de sa race bovine; elle n'obtient pas tous les avantages qu'elle pourrait tirer de son sol et de ses animaux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A aucune autre exposition la race flamande n'a été aussi bien représentée. On trouvait dans un grand nombre de vaches ce type puissant et fin à la fois, qui indique l'aptitude à la production du lait. La race flamande partage avec la race normande l'approvisionnement en lait de tous nos départements de la zone septentrionale ; avec les facilités croissantes des communications, elle pourrait bien évincer sa rivale de plus d'une ferme si ses éleveurs en poursuivaient l'amélioration dans la voie où ils sont entrés.

Depuis quelques années déjà, des éleveurs francs-comtois se sont appliqués à relever la race fémeline, dont le nom veut rappeler la délicatesse d'une race fine, par opposition à une souche plus masculine de bétail occupant les montagnes du Jura et désignée par l'épithète de *tourache*. Le siége principal de la race fémeline se trouve dans les arrondissements de Lure, de Vesoul, de Gray, de Besançon et de Dôle, dans les vallées supérieures de la Saône et de l'Oignon et sur la rive droite du Doubs. Cette race présente de nombreuses analogies avec les types suisses ; elle progresse entre les mains de ses améliorateurs.

Notre race bretonne avait envoyé de nombreux et charmants spécimens, qui se concilient les sympathies du public plutôt pour leur petite taille et leur gentillesse que pour la perfection de leurs formes. Quelques taureaux étaient remarquables, et des femelles montraient qu'avec des soins et de la persévérance, on obtiendrait de la race bretonne ce que nos voisins ont obtenu de leurs races d'Ayr et d'Alderney.

Les races de Hollande, de Suisse et d'Ayr étaient bien représentées ; formées originairement à l'étranger, ces races se conservent fort bien et s'améliorent chez nous. Mais la collection la plus riche était celle des animaux de Durham ; le jury a regretté d'avoir un aussi petit nombre de prix à distribuer dans les sections où venaient se ranger tant d'animaux remarquables, surtout dans la seconde section des taureaux, à l'ensemble de laquelle a été décernée une mention très-honorable. Cette réunion d'animaux de Durham n'était pas aussi brillante que celle que l'Angleterre nous a montrée à Paris en 1856 ; mais elle était en elle-même d'une grande valeur, et surpassait toutes celles des Concours précédents.

Nous ne redirons pas les qualités qui distinguent la première

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

race de boucherie d'Angleterre et du monde; nous n'examinerons pas ici qu'elle est au juste la valeur des Durham pour notre pays, quel doit être leur rôle chez nous; mais nous devons reconnaître, en toute justice, que c'est à leur introduction que se rattachent nos premiers pas dans la carrière des améliorations; ils nous ont moins rendu service par eux-mêmes, en nous fournissant des reproducteurs, qu'ils ne nous ont été utiles par leur présence en nous offrant des modèles.

Les prix que nous aurions voulu voir reporter dans la catégorie des durham, nous les aurions volontiers enlevés aux deux catégories d'animaux croisés. Les croisements, dans les Concours d'animaux reproducteurs, représentent le hasard; l'amélioration obtenue est tout individuelle; c'est un accident dont on ne saurait tirer aucune promesse pour l'avenir. Nous ne cesserons de le répéter : le croisement peut donner de bons *produits;* il ne fait que des *reproducteurs* incertains. Les animaux croisés ont leur place légitime dans les Concours où sont appelés les animaux destinés à un emploi immédiat, à une consommation qui les utilise en raison de leur valeur individuelle; ils ne devraient pas paraître dans les Concours d'animaux appelés à perpétuer la race en l'améliorant.

Que peut-on attendre, par exemple, de la vache durham-normande à laquelle a été décerné un premier prix dans la catégorie des croisements durham? Sa conformation était un peu moins normande, un peu plus durham que celle des animaux purs du pays; elle paraissait être excellente laitière; mais que transmettra-elle comme mère à ses produits? La dose des deux sangs associés en elle passera-t-elle sans variations à ses descendants? Dès qu'on l'emploiera comme bête de reproduction, n'entrera-t-on pas dans une voie d'incertitudes, d'oscillations, de mécomptes, et peut-on espérer qu'elle échappera, par une exception singulière, aux lois d'hérédité que tous les faits connus ont mises en évidence? Rien ne serait plus dangereux pour les contrées d'élevage de Normandie, où les facultés laitières de la race sont la source principale de richesse, que de se laisser entraîner à une imitation trompeuse. Tous les faits d'expérience ont démontré que la production du lait diminue proportionnellement à la quantité de sang durham que les bêtes croisées ont reçue; la Manche fera sagement de ne pas risquer la valeur spé-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ciale de sa race dans des tentatives dont l'issue n'est pas douteuse. Que le Calvados, où l'industrie de l'engraissement domine, demande au croisement des *produits* plus aptes à profiter de bonne heure des herbages, nous applaudissons à cette idée; mais il faut que cette distinction soit toujours respectée, et que les deux industries restent chacune dans sa ligne. Ces réflexions s'appliquent à tous les autres croisements, quels qu'ils soient.

La supériorité du dernier Concours des races bovines, le caractère principal d'où il tire sa valeur, consiste, à nos yeux, en ce qu'il a mis en évidence cet enseignement pratique capital : la possibilité d'améliorer notre bétail par une sélection habile, si elle est en même temps persévérante.

Espèce ovine. — L'exposition des animaux de l'espèce *ovine* était moins complète que celle des races bovines; mais les races qui y figuraient étaient généralement bien représentées et donnaient une idée assez exacte de la richesse de nos troupeaux.

La répartition adoptée par le programme n'était pas basée sur un système unique : elle suivait alternativement la division par races et le groupement par nature de produits. Ainsi huit catégories étaient établies : quatre d'entre elles étaient destinées à des races désignées chacune par son nom distinctif, les mérinos et métis-mérinos, les mauchamp, les charmoise et les barbarins; deux étaient ouvertes aux races étrangères, distinguées en races à laine longue et races à laine courte; une réunissait les races françaises qui n'avaient point de catégories spéciales; une enfin recevait les croisements divers, quels qu'ils fussent. Dans chacune de ces catégories, les métis et les femelles étant classés par âge, les brebis étaient présentées par lots de cinq têtes. Indépendamment des médailles d'or, d'argent ou de bronze, qui accompagnaient les primes selon leur importance, 124 prix, montant à la somme totale de 27,500 francs, étaient répartis entre les divers groupes; 129 récompenses, y compris les mentions, ont été décernées.

Pour les races ovines, comme pour toutes les autres, nous pensons que la division par nature de service serait à la fois plus exacte et plus équitable. Il est vrai que le nom de certaines races équivaut à une désignation d'aptitudes spéciales. Ainsi, la catégorie des mérinos et de leurs métis ne comprend, en réalité, que des moutons à laine intermédiaire, destinée en plus grande

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

partie à être peignée, et chez lesquels on cherche à allier le tassé de la toison à des formes suffisamment amples. Les mérinos à laine très-fine, d'un développement faible, analogues aux races électorales, à nos races d'Arles et du Roussillon, au type de Naz, sont par le fait exclus de cette catégorie, malgré leur origine, car ils ne peuvent entrer en compétition avec les mérinos du Châtillonnais, de Seine-et-Oise, de Seine-et-Marne, et des départements à riche culture; pour les juger, il faut les mettre à part, et c'est ce que le jury a été forcé de faire.

Nous ne blâmons pas, tant s'en faut, la tendance du programme à encourager de préférence la production des laines moyennes et à rapprocher, autant que possible, les races ovines du type de boucherie; nous voulons dire seulement que s'il s'est proposé d'embrasser toutes les variétés dans ses prévisions, il nous paraît s'être trompé; et que, s'il a voulu, au contraire, indiquer une voie à l'élevage, il aurait dû le faire plus nettement.

Puisqu'il ouvrait une catégorie pour la race barbarine, si importante incontestablement pour le Midi, pourquoi n'a-t-il laissé que la ressource d'aller se cacher, sans chance de succès, dans un coin de la division banale des races diverses, à des races dont la valeur est aussi reconnue que peut l'être celle de la race barbarine : par exemple, à la race de Larzac, si remarquable par ses facultés laitières et qui est la condition première de la riche fabrication des fromages de Roquefort; à la race berrichonne, la première de nos races ovines, peut-être, pour ses qualités acquises et pour les éléments excellents d'amélioration qu'elle possède; à la race du Lauraguais et aux races voisines, si prolifiques et si laitières, pouvant d'ailleurs être améliorées, comme le prouvent les résultats déjà acquis?

Viande, laine et lait, voilà les produits que nous pouvons attendre des races ovines; la production de la viande est le but principal vers lequel doit tendre l'amélioration des moutons en général; les encouragements doivent donc être particulièrement donnés aux efforts tentés dans ce sens; mais, dans une classification logique et complète des races, il ne faut point oublier les autres produits, ou bien il faut adopter de parti pris un système net et bien indiqué.

Les animaux présentés dans la catégorie des mérinos étaient en grande majorité fort remarquables; tous les troupeaux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

depuis longtemps célèbres avaient envoyé des spécimens.

Une catégorie spéciale avait été établie pour les moutons de la race de Mauchamp, race formée chez M. Graux, à la ferme de Mauchamp, dans l'Aisne, et issue de type mérinos sans aucune espèce de mélange; le brin de laine, au lieu d'être frisé en spirale, est resté droit en devenant soyeux. Cette race a été suivie avec soin par M. Yvart, à qui revient l'honneur de l'avoir améliorée dans ses formes en lui conservant les caractères distinctifs de sa laine.

C'est la première fois qu'une catégorie particulière est formée par la race dite de la Charmoise, du nom du domaine où elle a été créée par M. Malingié, dans le département de Loir-et-Cher. Les animaux de cette race se montrent depuis longtemps dans les Concours et y obtiennent des succès; mais ils n'avaient pas de plan à part. On sait quelle a été l'origine de ces moutons et quels procédés ont été suivis pour les obtenir; M. Malingié a tracé lui-même l'histoire de son élevage dans un ouvrage plein de faits et d'aperçus justes sur les conditions de la production ovine. Les animaux qui représentaient cette race au dernier concours n'étaient pas, en général, aussi beaux que ceux qui ont paru dans plusieurs expositions précédentes.

Dans la catégorie des races françaises diverses, nous avons remarqué surtout les animaux de la race berrichonne que nous voyons avec plaisir s'améliorer entre les mains d'éleveurs habiles et dévoués.

Sous la qualification de races étrangères à laine longue, il n'y avait guère que des dishley exposés; sous le nom de races étrangères à laine courte, se présentaient exclusivement des southdown. Ces dénominations, tirées de la longueur du brin de laine, justes en elles-mêmes quand on oppose la race dishley à la race southdown, ne représentent pas du tout ce que l'industrie manufacturière entend quand elle oppose la laine courte, c'est-à-dire la laine de carde, à la laine longue propre au peigne; elles font confusion, elles devraient donc disparaître et être remplacées par la désignation des races elles-mêmes : races dishley et analogues, races southdown et analogues.

En général, la race dishley est adoptée de préférence par les départements de la région septentrionale maritime les plus riches, et où les races locales offrent le plus de rapport avec la race an-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

glaise, en même temps que les conditions de milieu ressemblent le plus à celles de la Grande-Bretagne. La race southdown se répand à peu près partout, gagne chaque année du terrain et donne des résultats excellents, comme l'attestent les Concours généraux et les Concours de boucherie. Les *produits* obtenus de l'alliance du bélier southdown avec des brebis barbarines, du Larzac, pyrénéennes, poitevines, et bien d'autres, s'améliorent dans leur conformation, gagnent en précocité et en aptitude à bien profiter des aliments; les facultés laitières, dans les races qui les possèdent, ne sont pas sensiblement diminuées quand on s'arrête au premier croisement; l'agneau, qui est si recherché dans certaines contrées du Midi, acquiert de bonne heure et avec moins de frais un poids et une maturité supérieurs. Les faits viennent donc partout donner raison à ceux qui avaient, malgré quelques allégations contraires, conseillé l'emploi du bélier southdown dans la moitié méridionale de la France, et même dans une grande partie de la moitié septentrionale, à la condition qu'on procédât avec intelligence et mesure à la création de *produits*. Ce conseil s'appuyait à la fois sur les données de la science et les observations de la pratique; les Concours le corroborent par la forme d'enseignement qui leur est propre.

La race southdown formait incontestablement la partie la plus belle et la plus complète de l'exposition ovine, et c'est par ce fait que se caractérisait le Concours des races de moutons.

C'est entre les deux races dishley et southdown que se partageaient à peu près tous les croisements qui avaient été tentés sur nos races indigènes. Un grand nombre de ces croisements étaient réussis; mais auraient-ils dû figurer à un concours de *reproducteurs*? Nous ne le pensons pas, et nous avons dit déjà nos motifs.

Pour les races ovines, la question des croisements ne se présente pas, toutefois, sous le même aspect que pour les races bovines. Les principes restent les mêmes, mais leur application diffère parce que l'état des races n'est pas le même. Plusieurs de nos races ovines sont absolument mauvaises et ne possèdent aucune qualité dont on puisse faire le point de départ d'une amélioration progressive; beaucoup sont déjà diversement mélangées et métissées; les unes et les autres peuvent donc disparaître dans les croisements par l'emploi continu du bélier d'une race supérieure bien choisie. Les races à caractères définis et douées d'ap-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

titudes utiles peuvent aussi donner, par le croisement, des *produits* d'une valeur nouvelle ; mais, dans aucun cas, il ne faut espérer trouver dans les animaux issus de ces croisements des reproducteurs constants.

L'espèce porcine. — Le programme distinguait trois grandes catégories dans les animaux de l'espèce *porcine :* celle des races indigènes, celle des races étrangères, et celle des croisements entre les races étrangères et les races françaises. Trente-huit prix, d'une valeur totale de 6,700 fr. sans compter les médailles, étaient destinés à récompenser les meilleurs individus ; quarante récompenses ont été décernées, y compris les mentions honorables.

Toute réserve faite à propos des animaux croisés, le groupement suivi par le programme est le seul qui soit logique. Les races porcines n'ont qu'une destination ; elles ne doivent donc se recommander que par une seule combinaison de caractères ; toute distinction entre elles, notamment d'après la taille, serait sans fondement.

Les races françaises étaient très-incomplétement et imparfaitement représentées dans leur catégorie ; nos bonnes races du Limousin n'avaient pas envoyé de spécimens ; la belle race craonnaise n'avait pas présenté ses meilleurs reproducteurs. La catégorie des races étrangères, ou, pour parler plus exactement, des races anglaises, était très-nombreuse et très-belle. Les produits de croisements étaient généralement bien réussis et accusaient les caractères des races anglaises dont la plupart avaient reçu le sang. Le progrès dans l'amélioration de cette espèce si utile, et souvent si dédaignée, est incontestable et marche de pair avec celui que l'on constate pour les autres espèces domestiques.

Paris. — Imprimerie P.-A. BOURDIER et Cie, rue Mazarine, 30.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DES PLANCHERS EN FER

PAR M. LE GÉNÉRAL MORIN.

L'emploi du fer dans les constructions, et en particulier pour l'établissement des planchers, a pris, depuis une quinzaine d'années, un très-grand développement, et l'étude des proportions qu'il convient d'adopter a acquis une importance assez grande pour qu'il ait paru nécessaire d'en faire l'objet d'une étude spéciale et d'expériences directes. Mais avant de faire connaître les résultats qui ont été observés au Conservatoire, dans les expériences que j'y ai organisées, il ne sera pas inutile de rappeler d'autres essais faits, il y a déjà une dizaine d'années, sur des planchers en fer d'une construction fort simple.

Disposition des planchers en fer rectangulaires.

1. Ces planchers sont composés de barres de fer méplat, posées de champ, qui, engagées d'environ $0^m,30$ dans les murs, forment les solives principales que l'on écarte habituellement de $0^m,75$. Sur ces solives on pose, en les accrochant, des pièces appelées *entretoises*, en fer carré de 16 millimètres ordinairement, que l'on place les unes à côté des autres, et dont le dessous affleure à peu près celui des solives. Ces entretoises sont à $0^m,75$ l'une de l'autre environ.

Sur ces entretoises on place de petits fers carrés de $0^m,014$, parallèlement aux solives, et engagés dans le mur, où ils se terminent par des crochets : ces petits fers sont écartés de $0^m,25$.

Cette charpente en fer supporte un hourdis en plâtras et plâtre,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ou mieux en pots et en plâtre ou mortier, qui relie tout le système, et au-dessus duquel on pose le plancher ordinaire. Le dessous pouvant immédiatement recevoir le plâtre des plafonds, on est dispensé du lattis.

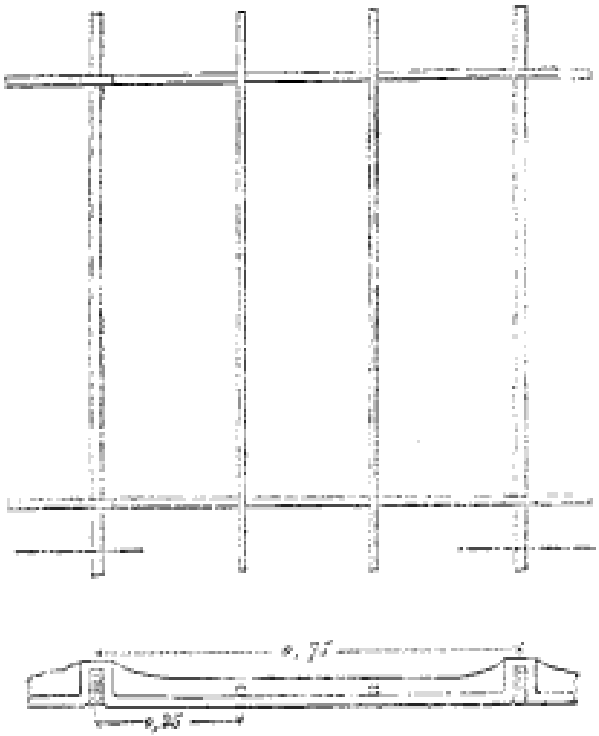


Fig. 6.

Les dimensions d'usage sont les suivantes, pour :

PORTÉES des planchers. 2 C	ÉCARTEMENT des solives.	DIMENSIONS DES FERS.				POIDS DU FER par mètre carré dans œuvre.	PRIX DU FER par mètre carré de plancher.
		SOLIVES.		ENTRETOISES.	PETITS FERS.		
		Longueur.	Équarrissage.				
m.	m.	m.	mill.	mill.	mill.	kil.	fr.
7	0,75	7,60	190 sur 9	16 sur 16	11 sur 11	21,00	13,25
6	0,75	6,60	165 sur 9	16 sur 16	11 sur 11	19,95	12,25
5	0,75	5,60	135 sur 9	16 sur 16	11 sur 11	18,08	11,00

Si, d'après ces dimensions, on applique la formule de la *Résistance des matériaux*,

$$ab^2 = \frac{p\ C^2}{2000000}\ (1)$$

[1] Toutes les formules qui sont employées dans cette note et les nota-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

relative aux barres de fer soumises à l'action d'une charge uniformément répartie, on trouve que la charge p par mètre courant, que l'on peut faire supporter d'une manière permanente à de semblables planchers, sera pour les barres de :

7 mètres de portée.	$p =$	$53^k,04$
6 idem	$p =$	$54\ ,40$
5 idem	$p =$	$52\ ,41$
Moyenne.	$p =$	$53^k,28$

Or, ces solives étant espacées de $0^m,75$, cela revient à une charge de $\frac{53,28}{0,75} = 71$ kilogr., ou environ une personne par mètre carré, ce qui dépasse déjà les charges produites dans les petites réunions, et montre que ces dimensions sont bien suffisantes pour des charges habituelles, dans les lieux ordinaires d'habitation

Si l'on calcule, par la même formule, la charge par mètre courant, que les entretoises peuvent porter d'une manière permanente, en se rappelant que pour ces pièces on a

$$2\,C = 0^m,75, \qquad a = b = 0^m,016,$$

on trouve

$$p = \frac{b^3 \times 2000000}{C^2} = 58^k,10\ ;$$

ce qui correspond encore à une personne par mètre carré.

De même pour les petits fers de remplissage, pour lesquels

$$2\,C = 0^m,75, \qquad a = b = 0^m,011,$$

tions qui y sont admises sont celles dont on trouvera l'explication dans les leçons sur la *Résistance des matériaux*, 2e édit. Nous rappellerons seulement que l'on y désigne par :

$2\,P$ la charge qui agit au milieu de la longueur des solides posés sur deux points d'appui ;

p la charge par mètre courant quand il s'agit d'une charge uniformément répartie.

$2\,C$ la portée.

a la largeur, b la hauteur } du solide à section rectangulaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

on trouve

$$p = \frac{b^2 \times 2000000}{C^2} = 18^k,88;$$

et comme il y a deux de ces fers de remplissage entre chaque solive, ce qui, avec la solive elle-même, forme trois intervalles de $0^m,25$, on voit que la charge trouvée pour chacun de ces fers est environ le tiers de celle qui se répartit sur un intervalle de $0^m,75$ de large et qui est de 53 kilog.

Toutes les pièces de ces planchers sont donc bien proportionnées pour une charge normale et permanente de 70 kilog., ou d'une personne par mètre carré, non compris le poids propre du hourdis et du plancher.

Expériences sur les planchers précédents.

2. Des expériences dans lesquelles les charges ont été très-exagérées ont montré que ces planchers pouvaient supporter sans danger des pressions beaucoup plus considérables. Un plancher de 7^m de portée, proportionné comme il est dit plus haut, a été chargé, après le hourdissage, de 500 kilog. par mètre carré. Sa flèche au-dessus de l'horizontale était, après la pose, de $0^m,070$; après le hourdissage, elle a été réduite à $0^m,040$. Sous la charge de 500 kilog. par mètre carré, ce plancher a fléchi de $0^m,030$ au-dessous de l'horizontale, ou de $0^m,070$ en tout, et après quarante-huit heures d'action de cette charge, il est encore descendu de $0^m,05$. La flexion totale a donc été de $0^m,12$. En enlevant la charge, le plancher s'est relevé de $0^m,05$; mais en enlevant le hourdis, les barres ont repris $0^m,06$ de flèche au-dessus de l'horizontale, ce qui montre que l'élasticité du fer avait été peu altérée, et qu'une grande partie de la flexion permanente était produite et maintenue par le hourdis lui-même.

La charge correspondante à cette épreuve, par mètre courant de solide, était 500 kilog. $\times$ 0,75 = 375 kilog., ou environ sept fois la valeur normale trouvée plus haut.

On remarquera qu'un plancher d'appartement n'est presque jamais exposé à porter accidentellement plus de quatre personnes ou de 280 kilog. par mètre carré, ce qui, à cause de l'écartement des solives, égal à $0^m,75$, revient à 210 kilog. par mètre courant ou environ quatre fois la charge normale trouvée ci-dessus, d'après la formule.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2e *Épreuve.* Un plancher de 6m,00 de portée a été soumis à l'épreuve suivante :

Les solives étant en place, on a bâti, sur deux d'entre elles, un mur en moellons soutenu par des bouts de madriers, de façon que son poids se répartit également entre elles et produisit sur chacune une pression de 2076 kilog. ou 346 kilog. par mètre courant.

Sous cette charge, les solives, qui avaient à l'origine 0m,070 de courbure au-dessus de l'horizontale, n'en ont plus conservé qu'une de 0m,025; mais quand elles ont été déchargées, la courbure est revenue à 0m,065. Les solives n'avaient donc perdu que 5 millimètres de leur courbure sous une charge qui était à peu près sept fois la charge normale déterminée par la formule pratique.

3e *Épreuve.* Un plancher de 5m,00 de portée a été construit dans les mêmes proportions d'écartement entre les supports. Les solives avaient les dimensions suivantes : $b = 0^m,135$, $a = 0^m,009$. Il a été chargé de 500 kilog. par mètre carré, ou de 375 kilog. par mètre courant de solive, ou sept fois environ la charge normale.

La courbure des solives, qui était à l'origine de 0m,050, et qui avait été réduite par le hourdissage à 0m,045, s'est d'abord abaissée à 0m,030; puis, après quarante-huit heures, à 0m,025 au-dessus de l'horizontale. Le plancher étant déchargé, il a repris la courbure 0m,040 au-dessus de l'horizontale, n'ayant ainsi perdu que 5 millimètres par cette grande surcharge.

Ces expériences, où les charges ont dépassé le double des plus grandes charges qui puissent accidentellement être distribuées sur des planchers ordinaires, montrent donc que ce mode de construction offre toute la solidité et toute la rigidité nécessaires.

Observation sur le mode de pose et de liaison des solives.

3. D'autre part, on peut augmenter beaucoup la rigidité des solives en les posant sur les murs, de manière qu'elles y soient réellement encastrées, au lieu d'être, comme il est arrivé dans les expériences précédentes, engagées dans une simple maçonnerie de moellons, mal ou imparfaitement liés entre eux. il faudrait pratiquer dans une pierre de taille la plus grande partie du logement nécessaire pour embrasser exactement la barre et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la recouvrir par une autre pierre tellement ajustée, que par la pression du mur elle comprimât la barre qui serait ainsi trouvée réellement encastrée. Il serait encore mieux de placer deux plaques de fer formant cales au-dessus et au-dessous de l'extrémité de la solive, surtout si les pierres employées étaient tendres.

Modifications dans la forme à donner aux barres.

4. La forme méplate adoptée pour les solives est, à la vérité, la plus simple et la plus économique de fabrication. Elle a, de plus, l'avantage d'être celle des fers dits marchands et de pouvoir être trouvée partout. Mais elle n'est pas, comme on le sait, celle qui, pour une même quantité de métal employé, présente la plus grande résistance, et depuis l'époque où les essais précédents ont été exécutés, l'art des forges a fait de grands progrès que celui des constructions a mis à profit.

Emploi des fers à double T *pour les planchers.*

5. On se sert, en effet, beaucoup actuellement de solives en fonte ou en fer forgé à double T pour les planchers des maisons d'habitation, surtout pour les magasins que l'on veut mettre à l'abri du feu.

Quoique les formules ordinaires de la résistance des matériaux puissent être directement appliquées au calcul des dimensions qu'il convient de donner à ces solives, la question m'a semblé assez importante pour en faire l'objet d'une étude particulière dont je vais faire connaître les résultats.

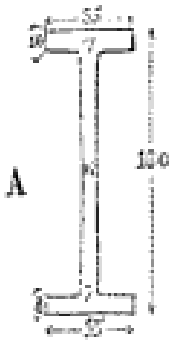
Expériences sur des planchers en fer à double T.

6. Une occasion favorable s'étant présentée en 1837 pour étudier expérimentalement la construction des planchers en fer à double T, j'en ai profité pour faire exécuter les expériences dont il va être rendu compte et qui sont de nature à jeter du jour sur la question, en même temps qu'elles montreront une fois de plus le degré de confiance que l'on peut accorder à la théorie généralement adoptée de la résistance des matériaux que j'ai exposée dans mes leçons sur cette matière et qui est admise par les ingénieurs les plus distingués. Un propriétaire de Paris qui fai-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sait exécuter d'importantes constructions, dont quelques-unes sont destinées à recevoir des magasins considérables de librairie, hésitait dans le choix du dispositif et des formes des fers qu'il devait employer pour les planchers. Deux modèles lui étaient proposés, exigeant à très-peu près le même poids de fer par mètre carré de plancher et conduisant par conséquent à la même dépense, mais très-différents par la forme du profil des fers employés.

L'un que nous désignerons par la lettre A avait le profil d'un double T à semelles à peu près égales, ainsi qu'on peut le voir dans la figure ci-contre, qui montre cependant que la semelle supérieure était un peu plus épaisse que la semelle inférieure. Cette poutre pesait 16k,28 par mètre courant et avait 6m,435 de longueur, pour une portée de plancher de 6m,00. Sa hauteur était de 0m,160.

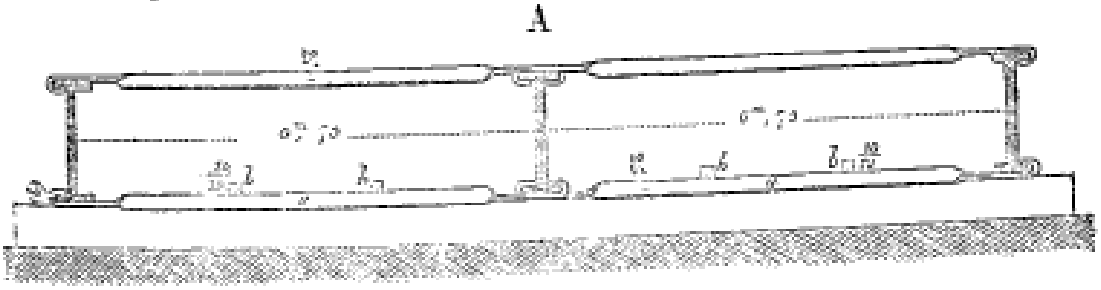


L'autre, que nous désignerons par la lettre B, avait le profil d'un double T, à semelles inégales; celle du bas plus épaisse et plus large que celle du dessus, était, de plus, renforcée par une sur-épaisseur près de la partie inférieure du corps, comme le montre la figure ci-contre. Cette poutre pesait 17 kil. 25 le mètre courant, et avait une longueur de 6m,400 pour une portée de plancher de 6m,00. Sa hauteur n'était que de 0m,120.

Ces deux poutres étaient cintrées, suivant l'usage assez peu rationnel adopté par les constructeurs, d'environ 0m,027 de flèche pour les poutres A, et de 0m,033 pour les poutres B.

Pièces accessoires de ces planchers.

7. Les poutres A devaient être réunies par des pièces *a a*,



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

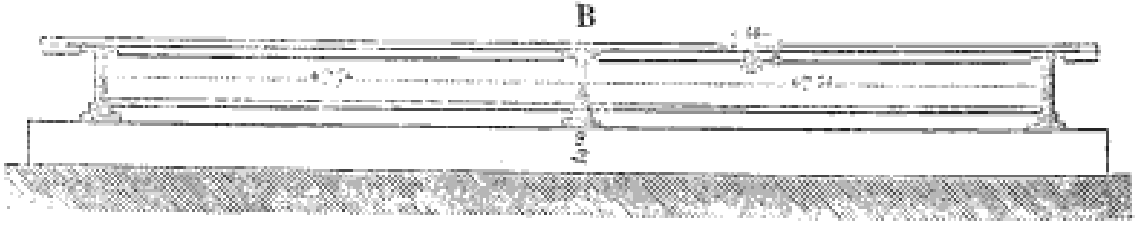
nommées entretoises, en fer plat, recourbées en crochet vers leur extrémité, qui s'agrafaient aux semelles inférieures pour s'opposer à leur écartement, et dont le fer plat était retourné de champ entre les poutres, afin d'offrir plus de résistance à la charge des tringles *b b*, au nombre de deux par intervalle de poutres, destinées à soutenir le hourdis en plâtre. A chaque extrémité des poutres A, deux entretoises semblables à celles du bas étaient placées au-dessus des poutres pour s'opposer à leur déversement et les rendre toutes solidaires dans le sens horizontal.

Le poids total du fer contenu dans le plancher, dont les poutres devaient être écartées de $0^m,70$ d'axe en axe, se composait donc par travée de :

1 poutre du poids de	$104^k,00$
8 entretoises	11 ,25
2 tringles.	10 ,00
	$125^k,25$

La surface couverte par une travée devant être de $6^m \times 0^m,7 = 4^{mq},20$, le poids de fer employé par mètre carré de surface couverte s'élevait donc à $\frac{125^k,25}{4^{mq},20} = 29^k,82$.

Les poutres B devaient être maintenues contre la tendance au



déversement par trois entretoises (fig. B), posées par-dessus et formées avec du fer de cornière, dont la nervure était supprimée aux endroits où elles croisaient les poutres. A ces mêmes endroits, les entretoises étaient fixées sur les poutres par des vis. Sur la saillie ménagée au bas du corps des poutres on devait poser des traverses en fer carré, de 14 millim. sur 14 millim., destinées à soutenir le hourdis. Il n'y avait pas de tringles longitudinales.

La longueur moyenne des poutres B était de $6^m,48$, et leur poids $113^k,17$ ou $17^k,46$ par mètre courant.

D'après ces données, le poids total du fer contenu dans ce

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plancher, dont les poutres devaient aussi être écartées de $0^m,70$ d'axe en axe, se composait par travée de :

1 poutre du poids de.	$113^k,17$
2 entretoises ou moises	$15^k,875$
9 traverses de 14 millim. sur 14 millim.	
	$129^k,045$

La surface couverte par une travée devant être aussi de $6^m \times 0^m,7 = 4^{mq},20$, le poids de fer employé par mètre carré devait donc s'élever à $\frac{129^k,045}{4^{mq},20} = 30^k,72$.

Pour les deux systèmes de poutres, un hourdis en plâtre devait remplir les intervalles et rendre tout le système solidaire.

8. *Expériences exécutées.* Telles étaient les dispositions des deux systèmes de planchers à comparer, et l'on prévoit d'avance que les armatures employées à relier les poutres et à soutenir le hourdis devant avoir peu d'influence sur la rigidité du plancher, il importait surtout de bien constater, au contraire, l'influence propre des poutres avant de comparer entre eux les planchers complétement armés et hourdés.

En conséquence on a exécuté les trois séries d'expériences suivantes :

1° Observation directe des flexions éprouvées par chacun des deux modèles de poutres, isolé, posé sur deux appuis, et chargé au milieu de la longueur.

2° Observation comparative des flexions éprouvées par deux travées de plancher formées de trois poutres garnies de leurs armatures, mais non hourdées, sous l'action de poids uniformément répartis sur leur longueur.

3° Observation comparative des flexions éprouvées par deux parties de plancher formées de trois poutres garnies de leurs armatures, et hourdées en plâtre de la même manière, sous l'action de poids uniformément répartis sur leur longueur.

Ces trois séries d'expériences ont été successivement exécutées en présence des constructeurs de chacun de ces systèmes de planchers, dans les caves du Conservatoire, dont la température à peu près constante mettait à l'abri des influences, assez faibles d'ailleurs, des variations de celle de l'air.

Les charges qui devaient agir au milieu de la longueur des pièces étaient suspendues à une chape qui embrassait l'axe d'un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rouleau et qui supportait un plateau, sur lequel on posait des caisses qu'on remplissait de boulets de 16, pesant chacun 8 kilog.

Quant aux charges uniformément réparties sur la longueur, elles étaient formées par des caisses de $0^m,18$ de largeur, sur $1^m,62$ de longueur, qu'on posait transversalement les unes à côté des autres et dans lesquelles on mettait aussi des boulets de 16 pesant chacun 8 kilog. On avait ainsi exactement le poids de chaque charge, et l'on était assuré de son égale répartition.

Il n'y a eu d'exception à cette manière de charger que pour les expériences faites sur les poutres non hourdées, et malgré le soin que l'on a eu dans ce cas de ramener par le calcul ces charges aux charges équivalentes qui auraient agi au milieu, l'on a reconnu que le mode graduel de chargement, à partir du milieu suivi dans ce cas, avait donné lieu à quelques irrégularités dans les flexions.

9. *Résultats des expériences faites sur deux poutres à double* T *des modèles* A *et* B *librement posées sur deux appuis et chargées au milieu de leur longueur.*

CHARGES agissant au milieu de la longueur.	FLEXIONS TOTALES des poutres du modèle		FLEXIONS PAR 100 K. de charge des poutres du modèle		OBSERVATIONS.
	A	B	A	B	
kil.	mill.	mill.	mill.	mill.	
120	3,96	7,18	3,30	5,98	
220	7,08	12.16	3,21	5,94	
320	10,28	19,14	3,21	5,98	
420	13,42	25,22	3,19	6,00	
520	16,68	31,20	3,21	6,00	
620	20,34	»	3,28	»	
720	23,18	»	3,22	»	
		Moyenne. . .	3,23	5,98	

Il résulte de ces chiffres :

1° Que pour les deux poutres les flexions sont restées proportionnelles aux charges, jusqu'à des flèches qui, pour la première A, ont atteint $23^{mill},18$ ou $\frac{23,12}{6000} = \frac{1}{259}$ de la portée, et pour la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

seconde B, $31^{mm},20$ ou $\frac{31,2}{6000} = \frac{1}{192}$ de la portée, sans que l'élasticité des pièces ait été altérée.

2° Que la poutre du modèle B, à semelles inégales, a pris, sous des charges égales, des flexions absolues et des flexions proportionnelles à peu près doubles de celles de la poutre du modèle A, à semelles égales.

En calculant, d'après le profil de grandeur naturelle de ces poutres, et par la méthode graphique donnée au n° 169, des leçons sur la *Résistance des matériaux*, le moment d'inertie des sections transversales de ces poutres, l'on a trouvé les valeurs suivantes :

Poutre A. . . . $I = 0,00000747$
Poutre B. . . . $I = 0,00000482$

Puis à l'aide de la formule du n° 201 du même ouvrage

$$E = \frac{1}{3} \frac{PC^3}{fI}$$

et des valeurs de la flexion moyenne, f correspondant à $2P =$ 100 kilog. et à $2C = 6^m$, l'on a pu déterminer les valeurs des coefficients d'élasticité du fer dont ces deux poutres étaient formées. L'on a eu ainsi pour le fer de la

Poutre A, à semelles égales. . . . $E = 20\,660\,000\,000$ kilog.

(La cassure est celle d'un fer à nerf avec grain fin, offrant une légère solution de soudure à la naissance des nervures qui forment les semelles.)

Poutre B, à semelles inégales. . . $E = 17\,231\,409\,000$ kilog.

(La cassure présente un grain fin remplacé par du nerf très-marqué vers la face extérieure des semelles.)

L'on voit que le fer employé à la fabrication de ces deux poutres était de bonne qualité, et que le fer de la poutre du modèle B a fourni un coefficient d'élasticité plus faible que celui de la poutre A. La différence ne suffit pas pour expliquer celle des flexions qui doit être, sans aucun doute, attribuée aux proportions du profil de la poutre B, beaucoup moins favorables à la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

résistance que celles du profil de la poutre A, ainsi que le montrent les valeurs des moments d'inertie des sections transversales de ces poutres dont le premier, celui de la poutre A, est au deuxième, celui de B, dans le rapport de 747 à 482 ou de 1. 55 à 1. 00.

Nous ajouterons qu'après le déchargement, les deux poutres ont repris exactement leur forme primitive, ce qui prouvait, comme la proportionnalité des flexions aux charges, que l'élasticité n'avait pas été altérée.

Observation relative à la courbure donnée aux poutres en fer par les constructeurs.

10. Avant de passer aux autres expériences du programme que nous nous étions tracé, j'ai voulu faire constater par une expérience directe si la courbure permanente que les constructeurs ont pris l'habitude de donner aux poutres en fer avait réellement sur leur résistance à la flexion une influence appréciable. A cet effet, j'ai fait répéter sur la poutre A, retournée de manière à présenter sa concavité à la partie supérieure, les mêmes expériences sous des charges égales. L'on a obtenu les résultats consignés dans le tableau suivant :

11. *Expériences sur la poutre à double* T, *du modèle* A, *posée librement sur deux appuis, présentant sa concavité à la partie supérieure et chargée au milieu de sa longueur.*

CHARGES agissant au milieu de la longueur 2 P.	FLEXIONS TOTALES observées F.	FLEXIONS PROPORTIONNELLES pour 100 kil. de charge.
kil.	mill.	mill.
120	3,72	3,100
220	6,68	3,036
320	9,78	3,056
420	13.00	3,095
520	16,36	3,146
	Moyenne.	3,086

La première expérience faite, quand la concavité de la pièce

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

était en-dessous, ayant donné pour la flexion proportionnelle à 100 kil. la valeur $3^{mm},23$, chiffre qui ne diffère du précédent que de $0^{mm},14$, l'on voit que la courbure à chaud donnée aux poutres en fer n'ajoute rien à leur rigidité et qu'elles résistent aussi bien dans les deux sens.

Nous pensons que cette courbure, qui n'accroît en rien la rigidité des pièces, devrait au moins être limitée à la flexion que le plancher prend sous le poids du hourdis, et ne jamais dépasser notablement cette limite.

Résultats des observations comparatives des flexions éprouvées par deux travées de planchers formées chacune de trois poutres garnies de leurs armatures, mais non hourdées.

12. Deux travées composées de trois poutres ont été établies avec chacun des deux modèles en expérience, sous la portée de 6 mètres. Les charges ont été réparties en plaçant transversalement sur le système des trois poutres des caisses de $0^{m},18$ de largeur, remplies de boulets de 16 kilog., pesant chacune exactement 200 kilog. La première caisse a été exactement placée au milieu de la portée, les autres successivement et symétriquement à droite et à gauche de la première.

Il est résulté de cette disposition que les premières charges n'étaient pas uniformément réparties sur la longueur, et qu'elles occupaient une certaine longueur à droite et à gauche du milieu. Ce n'est que pour la dernière charge de 6200 kilog. que, la charge occupant à très-peu près toute la longueur du solide, il a été permis de la regarder comme uniformément répartie.

Pour faciliter la comparaison des résultats de ces expériences avec ceux des essais préliminaires faits sur des poutres isolées, l'on a, par le calcul, et suivant la méthode employée au n° 215 des leçons sur la *Résistance des matériaux*, déterminé la charge qui, placée au milieu des travées, aurait produit le même effet. Mais il ne faut pas s'étonner que ce mode de chargement ait contribué pour beaucoup à introduire quelques irrégularités dans les résultats ; aussi y a-t-on renoncé dans les autres expériences dont il sera parlé plus tard.

Les flexions ont été mesurées avec des cathétomètres très-sensibles par l'observation de lignes de repère tracées sur le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

milieu des poutres extérieures, les seules qu'il fût possible d'observer, et en prenant la moyenne des deux flexions :

CHARGES			FLEXIONS MOYENNES. Poutre du modèle		FLEXIONS PAR 100 K. de charge agissant au milieu de chaque poutre du modèle	
Réparties sur une partie de la longueur.	Equivalentes agissant au milieu de la longueur pour les trois poutres.	Equivalentes agissant au milieu par poutre.	A	B	A	B
kil.	kil.	kil.	mill.	mill.	mill.	mill.
1000	882,70	294	9,45	6,36	3,21	6,36
2200	1664,61	555	19,87	6,99	3,58	6,99
3800	2365,50	788	30,80	7,76	3,91	7,75
6200	3821,10	1277	39,28	5,86	3,08	5,86
				Moyenne.	3,44	6,74

On remarquera que les flexions par 100 kilog. de charge au milieu de chaque poutre présentent dans ces expériences moins de régularité que dans les précédentes, ce qui peut être attribué d'une part au mode de chargement, dans lequel la charge n'était pas assez uniformément répartie, et était dès l'origine placée au milieu en assez grande proportion et en l'augmentant vers les extrémités, et de l'autre à l'emploi simultané de plusieurs poutres, qui, n'ayant peut-être pas exactement la même courbure, pouvaient porter la charge dans des proportions inégales.

Quoi qu'il en soit, la flexion moyenne par 100 kilog. de charge, placée au milieu, trouvée à des portées de 6 mètres :

	A	B
pour la poutre respectivement égales à.	$3^{mill.}44$	$6^{mill.}74$

diffère assez peu de celles qui ont été trouvées pour une seule poutre du même modèle.

Après trois heures de chargement sous la charge totale de 6200 kilog., l'on a observé un accroissement de flexion qui a été trouvé :

	A	B
pour les poutres égal à.	$0^{mill.},725$	$0^{mill.},510$

et après l'enlèvement de la charge le système entier est revenu, à 1 millimètre près, à la hauteur primitive, ce qui indique que l'élasticité n'avait pas été altérée d'une manière notable.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Recherche des allongements ou raccourcissements éprouvés dans les expériences précédentes par les fibres les plus éloignées de la couche des fibres invariables.

13. En introduisant dans la formule du n° 233 des leçons sur la *Résistance des matériaux* :

$$i' = \frac{P c V'}{EI}$$

les valeurs fournies par la charge la plus forte supportée par les poutres dans l'expérience précédente, pour laquelle on a :

$2P = 1277$ kilog., $2C = 6^m,20$, pour la poutre A : $V' = 0^m,089$;

pour la poutre B : $V' = 0^m,0909$;

et se rappelant les valeurs de E et de I, trouvées au n° 9 pour les poutres employées, l'on trouve que la variation proportionnelle, maximum de longueur éprouvée par les fibres les plus éloignées de la couche des fibres invariables, s'est élevée :

pour les poutres	A	B
à la valeur.	$i' = 0,00114$	$i' = 0,002166$

quantités qui surpassent celles que, d'après les expériences connues, l'on assigne aux meilleurs fers, et qui est $i = 0^m,00080$.

Comparaison des résultats des expériences avec le poids du fer employé.

14. Si l'on se reporte à la description et aux détails que nous avons donnés précédemment sur la construction de ces planchers, l'on voit par ces expériences que le plancher fait :

avec les poutres	A	B
qui exigent un poids total de fer de. . .	$334^{kil},50$	$371^{kil},25$
pour une surface couverte de	$12^{mq},60$	$12^{mq},60$
ou par mètre carré	$26^{kil},50$	$29^{kil},46$
a porté sans hourdis et sans que son élasticité fût altérée une charge équivalente à celle de	1277^{kil}	1277^{kil}
agissant au milieu en prenant une flexion de.	$39^{mil},28$	$74^{mil},60$
ou par 100 kil. de charge placée au milieu une flexion de.	$3^{mil},08$	$5^{mil},86$

Ainsi les flexions prises par le plancher formé par les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

poutres B sans hourdis ont été doubles de celles du plancher formé par les poutres A, comme celles qui avaient été observées sur des poutres isolées.

Résultats des observations comparatives des flexions éprouvées par deux travées de planchers formées chacune de trois poutres garnies de leurs armatures, avec hourdis en plâtre.

15. Passons maintenant à la troisième série d'expériences, qui avait pour but de comparer la résistance des planchers hourdés, faits respectivement avec les deux modèles de poutres présentés.

L'on a enlevé les charges des précédentes expériences et l'on a hourdé à la manière ordinaire avec du plâtre et des plâtras l'intervalle des poutres, en prenant la précaution d'étrésillonner horizontalement les poutres extérieures, pendant le travail et pendant les 48 heures qui l'ont suivi, afin de s'opposer à l'effet de dilatation du plâtre lors de sa prise; après quoi l'on a enlevé les étrésillons.

Influence et poids du hourdis.

16. Dans ces expériences, le hourdis remplissait l'intervalle compris entre les poutres et reposait sur les saillies des semelles et sur les armatures que nous avons décrites au n° 7. Il a été détaché après les observations et pesé encore humide; son poids a été trouvé :

pour les poutres	A	B
égal, par mètre courant, à.	161^{kil}	127^{kil},13
ce qui, pour la partie comprise entre les appuis, équivalait à	1932	1526
que l'on peut décomposer ainsi :		
fer.	20	20
plâtre et plâtras.	1912	1506
	1932^{kil}	1526^{kil}

Le hourdis affleurait les semelles inférieures des poutres et était légèrement concave à la partie supérieure.

La flèche au milieu était :

pour les poutres	A	B
égale à	0^{m},025	0^{m},020

L'on doit observer que le poids de ce hourdis est assez consi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dérable pour qu'il soit nécessaire d'en tenir compte dans le calcul des dimensions des poutres des planchers. Mais dans les expériences qui nous occupent, les flexions observées n'étant que l'excès de celles dues aux charges totales sur celles qui avaient été produites par le hourdis, le tableau suivant ne mentionne que les excédants de flexion dus aux charges déposées sur les poutres.

On remarquera que, dans les planchers que l'on aurait exécutés avec ces poutres, la portion qui aurait été placée en dehors des poutres extrêmes eût été pour moitié supportée par ces poutres ; par conséquent, le poids du hourdis dans le plancher complet aurait été pour chacune des poutres contiguës :

Poutres	A	B
	161 kilog.	127k.13

et comme la longueur de portée de chaque poutre est de 6 mètres, la charge uniformément répartie sur la longueur et provenant du hourdis serait :

pour les poutres	A	B
égale à.	$6 \times 161^{kil} = 966^{kil}$	$6 \times 127,13 = 762^{kil},90$
ou par mètre carré.	235	182

Répartition des charges et observation des flexions.

17. Pour la répartition du chargement, l'on a eu soin de placer toutes les caisses vides l'une à côté de l'autre, avec un intervalle de $0^m,01$ environ, et de mettre d'abord dans chacune d'elles et au milieu quatre boulets de 16, et successivement un boulet à droite et à gauche, et ainsi de suite jusqu'au remplissage complet du premier rang de caisses. L'on a procédé avec les mêmes précautions pour le second rang de caisses. De la sorte, la charge était non-seulement répartie uniformément sur la longueur, mais elle y était déposée par portions aussi uniformes que possible.

Les résultats des observations sont consignés dans le tableau suivant :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHARGES			FLEXIONS MOYENNES. Poutres du modèle		FLEXIONS PAR 100 KIL. de charge agissant au milieu de chaque poutre du modèle		TEMPS DE L'OBSERVATION.
Uniformément réparties sur la longueur du plancher.	Equivalentes agissant au milieu pour les trois poutres.	Equivalentes agissant au milieu par poutre.	A	B	A	B	
kil.	kil.	kil.	mill.	mill.	mill.	mill.	
1536	960	320	5,86	13,62	1,83	4,26	»
2560	1600	533,3	11,05	24,31	2,07	4,56	»
3584	2240	746,6	16,32	35,43	2,18	4,75	»
4608	2880	960	21,79	46,43	2,26	4,84	»
5632	3520	1173,3	27,77	57,75	2,37	4,93	»
6400	4000	1333,3	33,88	66,43	2,54	4,93	»
6656	4160	1386,6	39,24	69,63	2,82	5,02	»
7424	4640	1546,6	47,57	80,86	3,07	5,23	»
8448	5280	1760,0	56,05	84,48	3,18	5,41	»
9472	5920	1973,3	79,21	94,72	4,01	6,11	»
9472	5920	1973,3	81,75	94,72	»	»	15′
10000	6250	2083,3	95,65	140,72	4,63	6,75	»
10000	6250	2083,3	102,63	»	»	»	19′
10000	6250	2083,3	107,09	»	»	»	20′
10000	6250	2083,3	109,81	»	»	»	30′
10000	6250	2083,3	111,54	»	»	»	40′
10000	6250	2083,3	149,45	»	»	»	6h
10000	6250	2083,3	151,78	»	»	»	18h

Conséquences des résultats consignés dans le tableau précédent.

18. Pour faciliter la comparaison des résultats consignés dans ce tableau avec ceux des expériences directes, faites sur des poutres isolées et rapportés au n°9, l'on a calculé, d'après les règles connues (n° 215 et suivants de la *Résistance des matériaux*), les charges qui, placées au milieu du plancher et réparties suivant une ligne perpendiculaire à la longueur des poutres, auraient produit les mêmes flexions, et on les a inscrites dans la 2e colonne du tableau précédent, ainsi que la charge correspondante à chaque poutre. L'on a aussi inséré dans les deux dernières colonnes les accroissements des flexions correspondant à un accroissement de charge de 100 kil. agissant au milieu de chaque poutre.

L'on remarquera dans ce tableau que, pour les deux poutres et surtout pour le modèle A, les flexions par 100 kil. de charge ont toujours été en augmentant, et il est assez difficile d'assigner

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la cause à laquelle cet accroissement progressif peut être attribué. Cependant il est bon de dire que la poutre du milieu du système A était plus bombée que les poutres extérieures, et que c'est précisément la flexion de cette poutre qui n'a pas été mesurée. Or, dans les premières charges, elle portait une plus grande proportion du poids total que les autres, ce qui tendait aussi à faire estimer trop bas les flexions observées.

D'une autre part, le plâtre qui scellait les extrémités des poutres sur les dés en pierres servant d'appui avait contracté avec ces pierres une adhérence qui n'a été vaincue qu'à la 2e charge, et qui équivalait en quelque sorte, tant qu'elle durait, à une sorte d'encastrement. C'est ce qui explique la petitesse relative des premières flexions observées qui ont été :

	A	B
pour les poutres trouvées égales à.	$1^{mill},83$	$4^{mill},56$

Enfin le hourdis lui-même, tout en chargeant les poutres avec lesquelles il faisait corps, a pu avoir dans les premières charges, sous lesquelles il ne s'est pas fendu, une influence qui, à la charge totale de 6400 kilog. équivalente à 1333 kilog. 3 agissant au milieu de chaque poutre, a réduit :

	A	B
la flexion des poutres par charge de 100 kil. à.	$2^{mill},54$	$4^{mill},93$

tandis qu'il résulte des expériences précédentes nos 9 et suivants que ces flexions par 100 kilog. auraient dû être d'environ 3 millim. pour la poutre A et de 6 millim. pour la poutre B.

A partir de la charge totale de 9472 kilog. l'élasticité des deux poutres a été notablement altérée; les flexions se sont accrues :

	A	B
pour les poutres de	$2^{mill},54$	$6^{mill},54$

La charge totale de 10,000 kil. a rendu cette altération plus manifeste encore, et après 18 heures la flexion moyenne avait acquis :

	A	B
pour les poutres la valeur de.	$151^{mill},78$	$170^{mill},30$

sans s'être sensiblement modifiée pendant la dernière heure.

Les résultats qui précèdent montrent qu'aucun de ces deux systèmes de plancher ne pourrait être, sans danger, chargé de 8443^{kil}, en tout, ou 671 kil. par mètre carré, cette charge étant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

celle à partir de laquelle l'élasticité des deux systèmes de poutres a commencé à s'altérer d'une manière notable.

Après le déchargement complet, les travées en expérience sont remontées :

pour les poutres	A	B
de.	61^{mill},25	101^{mill},50
et ont conservé une flexion permanente de	90 ,53	68 ,80

Mais ce résultat est particulièrement dû aux dernières charges qui avaient beaucoup dépassé les limites de l'élasticité.

Charges limites que la prudence peut permettre de faire supporter à ce plancher.

19. L'on remarquera que l'élasticité des deux systèmes de poutres s'étant altérée d'une manière notable à partir de la charge de 8448 ^{kil}, si l'on s'impose la condition que la charge ne puisse jamais atteindre la moitié de celle qui altérerait l'élasticité, cela conduirait à admettre qu'ils pourraient, d'une manière permanente, être chargés de 4224 kilog. sur 12^{mq},60 ou de 335^{kil} par mètre carré. Mais cette charge même n'est pas admissible, puisque les flexions qu'elle produirait seraient :

pour les poutres	A	B
respectivement d'environ	28^{mill}	42^{mill}

Il importe, en effet, dans les bâtiments, que les flexions des planchers ne dépassent pas certaines limites, qui dépendent de la nature même des constructions : ainsi dans les maisons d'habitation, une flexion des poutres au milieu égale à $\frac{1}{300}$ de leur portée ou de 0^{m},02 pour 6^{m},00, par exemple, devient déjà assez sensible pour qu'il ne convienne pas de la dépasser, ni même de l'atteindre sous les plus fortes charges.

Le tableau précédent, montrant que le plancher formé avec les poutres A a pris sous la charge de 4608 ^{kil} un accroissement de flexion de 21^{mill},79, il est facile d'en déduire que l'accroissement de flexion de 20 millim. aurait été produit par la charge de 4373 ^{kil}, uniformément répartie sur les trois poutres de 6^{m},00 de portée et destinées à couvrir une largeur de 2^{m},10, soit en tout 12^{mq},60 de surface.

Par conséquent, la surcharge par mètre carré, qui, en sus du poids du hourdis et du parquet, pourrait être supportée par un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

semblable plancher, et par mètre carré ne devrait être que de $\frac{437,3}{12,6}$=347 kilog. soit 350 kilog., et comme le plancher formé par les poutres B a toujours pris des flexions sensiblement doubles de celles du plancher fait avec les poutres A, l'on voit que le plancher B ne pourrait être chargé de plus de 175 kilog. par mètre carré, sans prendre de flexions supérieures à $0^m,02$ au milieu.

Si aux charges ci-dessus l'on ajoute le poids du hourdis, l'on voit que les limites indiquées conduisent à faire supporter

aux planchers avec les poutres	A	B
une charge par mètre carré composée de		
hourdis.	235kil	182kil
charge additionnelle	350	175
	585	357

Or, ces charges qui, à raison de $4^{mq},2$ de surface couverte par poutre, reviennent respectivement à des charges uniformément réparties de 2457 kilog. pour les poutres A et de 1499 kilog. pour les poutres B, ou à des charges 2 P, agissant au milieu de la longueur, égales

pour les poutres	A	B
à	1535kil	937kil

conduiraient, par la formule

$$i' = \frac{P\,C\,V'}{E\,I}$$

à des variations proportionnelles de longueur des fibres,

pour les poutres	A	B
égales à	$i' = 0^m,00136$	$0^m,00171$

ce qui dépasse les limites généralement admises.

Si, au lieu d'un hourdis aussi lourd que celui employé pour la poutre A, l'on avait fait le hourdis en poterie, dont le poids n'aurait été que de 140 à 150 kilog. au plus, comme nous le montrerons tout à l'heure, et qu'on eût limité la charge maximum à supporter temporairement à 400 kilog. par mètre carré, ce qui, à raison de $4^{mq},2$ de surface couverte par poutre, aurait donné une charge totale uniformément répartie de 1680 kilog., équivalente à une charge placée au milieu,

$$2P = \frac{5}{8}\,1680 = 1050 \text{ kilog.}$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si enfin les deux semelles de cette poutre avaient été absolument égales, de sorte que la couche des fibres invariables eût été au milieu de la hauteur de la poutre et par conséquent à une distance $V' = 0^m,080$ des fibres les plus exposées à l'allongement ou au raccourcissement, on aurait trouvé pour la variation proportionnelle maximum de longueur des fibres la valeur,

$$\varepsilon' = \frac{325^{kil} \times 3^m,10 \times 0,080}{EI} = 0^m,000844$$

valeur qui coïncide presque avec celle de 0,00080 que les expériences connues, et dont les résultats sont rapportés au tableau du n° 747 de la *Résistance des matériaux*, indiquent comme la limite de l'allongement proportionnel que les fibres du fer doux peuvent supporter sans altération de leur élasticité.

Il résulte donc de cette discussion que, pour que l'élasticité des poutres en fer A ne soit pas altérée, il importe de limiter la charge maximum qu'elles peuvent être exposées à porter temporairement à 400 kilog. par mètre carré de surface de plancher, hourdis compris ; mais que s'il s'agit de charges permanentes, il convient de réduire cette charge à 200 ou 300 kilog. au plus. Ce que l'on peut d'ailleurs faire souvent dans ce cas, en supprimant le hourdis.

Il faut de plus remarquer que l'on ne doit pas adopter pour tous les planchers une même base de chargement, parce qu'ils ne sont pas tous de même importance dans les constructions, ni également exposés à des surcharges accidentelles plus ou moins considérables. Il est donc convenable dans la fixation de cette base de tenir compte de la destination des édifices et des pièces qui les composent. C'est ce qui m'a engagé à adopter, selon les cas, des charges différentes, telles qu'elles seront indiquées dans le tableau qui sera donné au n° 21.

Poids des divers hourdis employés dans les planchers de Paris.

20. L'on a vu plus haut que le hourdis employé et qui était fait en plâtre et en plâtras pesait :

pour les poutres par mètre carré de plancher.	A	B
	233^{kil}	182^{kil}

Les hourdis en poteries et en briques creuses dont on se sert

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

souvent ont l'avantage d'être beaucoup plus légers et peut-être même moins sonores. Il ne sera pas inutile de donner le détail de leur poids.

Les matériaux qui entrent dans la composition de ces hourdis ont les poids élémentaires suivants :

Plâtre, le mètre cube.	1000kil
un globe de poterie de 0m,13 de diamètre sur 0m,17 de hauteur.	1,30
un globe de poterie de 0m,12 de diamètre sur 0m,13 de hauteur.	1,09
un globe de poterie de 0m,11 de diamètre sur 0m,12 de hauteur.	0,83
une brique creuse.	1,30

D'après ces éléments, le détail d'un hourdis de plancher se décompose ainsi que l'indique le tableau suivant :

Détail d'un hourdis de plancher en fer de 4 *mètres sur* 5 *mètres ou* 20 *mètres carrés de surface, hourdé en poteries posées en bain de plâtre avec aire de* 0m,02 *au-dessus et crépi enduit au-dessous.*

MATÉRIAUX EMPLOYÉS.		NOMBRE ou volume.	POIDS DU HOURDIS		
			TOTAL.		Par mètre carré.
				kil.	kil.
Globes de 0m,13 sur 0m,13 et 0m,17 de hauteur.		1140	1482	3032,00	151,60
Plâtre.	Pose des globes. . 0mc,45				
	Aire. . . . . 0 ,40	1mc,55	1550		
	Crépis et enduit du plafond. . . . . 0 ,70				
Globes de 0m,12 sur 0m,12 et 0m,13 de hauteur.		1230	1340	2790,70	139,50
Plâtre.	Pose des globes. . 0mc,35				
	Aire. . . . . 0 ,40	1mc,45	1450		
	Crépis et enduit du plafond. . . . . 0 ,70				
Globes de 0m,11 sur 0m,11 et 0m,12 de hauteur.		1620	1360	2710,80	135,50
Plâtre.	Pose des globes. . 0mc,25				
	Aire. . . . . 0 ,40	1mc,35	1350		
	Crépis et enduit du plafond. . . . . 0 ,70				

Les briques creuses pesant le même poids que les globes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de $0^m,13$ sur $0^m,17$, le poids du hourdis doit être à peu près le même que pour le premier cas indiqué ci-dessus.

L'on voit donc que l'on peut admettre qu'un hourdis bien fait en poterie ne pèsera pas plus de 150 kilog. par mètre carré ; l'on remarquera de plus que les hourdis en poterie employés avec les fers à double T se faisant en forme de voûtes, l'on est dispensé de l'emploi des petits fers dont le poids s'élève toujours à 4 ou 5 kilog. par mètre carré de surface de plancher.

Conclusions générales de ces expériences.

21. Il résulte de l'ensemble des expériences précédentes que : 1° les formes indiquées par la théorie pour les fers à double T, et qui sont celles d'un double T à semelles égales, sont, sous le rapport de la résistance et du bon emploi de la matière, bien préférables à celles des doubles T à semelles inégales, et qu'il importe pour l'économie et la solidité des constructions de ne pas s'écarter des indications de la théorie, confirmées par tant d'expériences.

2° Le hourdis en plâtre plein occasionne aux planchers une surcharge énorme, supérieure ou égale à la charge additionnelle qu'ils sont destinés à supporter, ce qui n'ajoute rien à leur solidité, parce que l'on ne peut pas compter, même aux faibles charges, sur le surcroît de résistance que l'on pourrait attribuer aux hourdis les mieux faits ; le seul effet réellement utile de ce hourdis étant de produire la liaison et la solidarité des poutres, l'on doit et l'on peut parvenir à ce résultat en employant des hourdis plus légers, tels que ceux en poterie.

3° La limite qu'il convient d'imposer aux flexions des planchers, ainsi que celle qu'il ne faut pas laisser dépasser aux allongements ou aux raccourcissements des fibres, indiquent que les charges à faire supporter par les planchers ne doivent pas produire des variations proportionnelles de longueur qui atteignent temporairement une valeur supérieure à $i' = 0^m,00080$, comme le montre le tableau du n° 47 de la *Résistance des matériaux*, et qu'en général les charges, les dimensions, la portée et l'écartement des poutres doivent être calculées de façon que cette variation de longueur n'excède pas $i' = 0^m,00060$ pour les charges temporaires, et $i' = 0^m,00040$ pour les charges permanentes, ce

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui revient à dire que pour les charges temporaires le fer ne doit pas être soumis à un effort de plus de 10 à 11 kilog. par millimètre carré, et pour les charges permanentes, à plus de 6 à 7 kilog., comme on l'a établi précédemment pour les autres constructions.

4° Les charges permanentes pour lesquelles il convient de proportionner les planchers, d'après les bases indiquées ci-dessus, peuvent être fixées ainsi qu'il suit, en y comprenant le hourdis, s'il est nécessaire d'en employer un, et en supposant que son poids soit réduit à 150 kilog. par mètre carré pour les planchers ordinaires, et à 180 kilog. pour les planchers des salles des édifices publics consacrées à des réunions. Pour les magasins sans hourdis, on comptera 50 kilog. par mètre carré pour le poids du plancher et du plafond; et pour les magasins destinés aux marchandises lourdes, on estimera le poids du plancher à 100 kil. par mètre carré.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLE DES CHARGES POUR LESQUELLES IL CONVIENT DE CALCULER LES DIMENSIONS DES PLANCHERS.

DÉSIGNATION DES LOCAUX.	POIDS PAR MÈTRE CARRÉ		CHARGE totale par mètre carré de plancher, p'.	NOMBRE de personnes correspondant à la charge additionnelle	ÉCARTEMENT des poutres e.	CHARGE par mètre courant de poutre $p = p'e$.	OBSERVATIONS.
	du hourdis.	de la charge additionnelle supposée permanente.					
Maisons d'habitation.	kil.	kil.	kil.		m.	kil.	
Chambres d'habitation et cabinets. .	150	100	250	1,3	0,70	175	
Pièces de réception, salons ordinaires.	150	200	350	3,0	0,70 0,60 0,50	245 210 175	
Grands salons	150	300	450	4,0	0,60 0,50 0,40	270 225 180	
Édifices publics.							
Bureaux, salles ordinaires.	150	200	350	3,0	0,70	245	
Salles de réunions, d'assemblées . .	180	320	500	4,6	0,70 0,60 0,55	350 300 275	Hourdis et plafond plus épais.
Salons pour les grandes réunions. . .	180	420	600	6,0	0,70 0,60 0,50 0,40 0,35	420 360 300 240 210	Hourdis et plafond plus épais.
Magasins de marchandises encombrantes et de peu de poids. . . .	50	450	500	»	0,70 0,55 0,45	350 275 225	Sans hourdis, mais avec plafond.
Magasins de marchandises lourdes, entrepôts, docks, etc.	100	900	1000	»	0,70 0,60 0,50	700 600 500	Sans hourdis, mais avec plancher double.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Bases du calcul d'une table des dimensions des fers et du bois à employer pour les planchers.

22. A l'aide des données contenues dans le tableau précédent, l'on peut calculer les dimensions de fers à double T, des fers rectangulaires et des bois à employer.

La base de ces calculs est la charge p par mètre courant que doit supporter chaque poutre d'une manière permanente. Elle est égale au produit $p'e$ de la charge p' que le plancher doit supporter par mètre carré, et de l'écartement e des poutres.

L'on en conclut ensuite la somme des moments de cette charge $\frac{1}{2}\, p\, C^2$, et en divisant cette quantité par la valeur convenable de R, selon la nature et la qualité des matériaux employés, l'on déduit de la formule connue $\frac{R\, I}{V'} = \frac{1}{2}\, pC^2$ la valeur de la quantité $\frac{I}{V'}$ qui sert à déterminer les dimensions.

Pour les fers à double T, cette valeur de $\frac{I}{V'}$ est exprimée en fonction des diverses dimensions du fer, entre lesquelles on peut établir à l'avance certaines relations, comme il est indiqué au n° 155 de la *Résistance des matériaux* et l'on obtient ensuite celle que l'on a laissée indéterminée. Mais quand on veut employer des fers de modèles déterminés à l'avance, tels que les fers à double T fabriqués aujourd'hui par les forges de la Providence, de Montataire, d'Ars-sur-Moselle et autres, il faut rechercher parmi ces fers celui qui fournit la valeur de $\frac{I}{V'}$ la plus voisine de celle qui satisfait à la relation.

$$\frac{I}{V'} = \frac{\frac{1}{2}\, p\, C^2}{R}$$

C'est ce qui nous a conduit à indiquer dans une colonne spéciale le modèle du fer à double T correspondant à la valeur ainsi trouvée pour $\frac{I}{V'}$; l'on peut d'ailleurs déterminer facilement l'épaisseur qu'il convient de donner au corps d'un fer à double T d'un modèle donné par la règle suivante :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Règle pour fixer l'épaisseur qu'il convient d'adopter pour les fers à double T *d'un même modèle.*

25. Nous avons indiqué au n° 155 de *la Résistance des matériaux* une formule à l'aide de laquelle on peut calculer l'épaisseur qu'il convient de donner au corps d'un fer à double T d'un modèle déterminé, mais les tableaux suivants fournissent une méthode encore plus simple.

En effet, lorsque la hauteur extérieure b, la hauteur intérieure b' et la saillie a' des nervures d'un fer à double T sont données, la valeur de la quantité $\frac{I}{V'}$ ne varie, en passant d'une épaisseur e_1 du corps à une autre épaisseur e_1', que de la quantité $\frac{1}{6}(e_1' - e_1)\,b^2$ qui exprime la partie de $\frac{I}{V'}$ correspondante à un rectangle d'épaisseur $e_1' - e_1$ et de hauteur b.

Si l'on suppose que $e_1' - e_1 = 0^m,001$, la quantité à ajouter à la valeur de $\frac{I}{V'}$ qui, pour chaque modèle, correspond à l'épaisseur minimum e_1 du corps, à raison de chaque millimètre d'accroissement de cette épaisseur, sera

$$\frac{0,001}{6}\,b^2$$

Lors donc qu'après avoir calculé la valeur du moment

$$\frac{PC}{R} = \frac{I}{V'} \text{ ou } \frac{1}{2}\,\frac{pC^2}{R} = \frac{I}{V'}$$

correspondante à la charge et à la portée du solide, on aura trouvé qu'elle est comprise entre celles qui correspondent au plus mince et au plus épais des fers d'une même hauteur, il suffira de calculer l'excès de cette valeur de $\frac{I}{V'}$ sur celle qui appartient au fer le plus mince du modèle donné et de diviser cette différence par l'augmentation de la valeur de $\frac{I}{V'}$ par millimètre d'épaisseur du corps relative à ce fer et donnée dans la huitième colonne du tableau.

Le quotient sera le nombre de millimètres qu'il convient d'ajouter à l'épaisseur la plus mince du fer à employer pour qu'il ait la résistance convenable.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU RELATIF AUX FERS A DOUBLE T LAMINÉS

Désignation du numéro.	Hauteur du profil h.	Hauteur du corps entre les nervures h'.	Saillie des nervures sur le corps s'.	Plus petite et plus grande largeur des nervures m.	Epaisseur du corps e.	Valeur de I	Augmentation de I nombre γ' par mill. d'augmentation de l'épaisseur du corps.	Valeur du moment pour $\frac{1}{3}$ p. C. convenable pour la stabilité.	Poids approximatif de l'échantillon par mètre courant.
	m.	m.							
A	0,080	0,066	0,0195	0,043	0,0055	0,00002437	0,00000106	146,22	8,00
				0,055	0,016	0,00003334		213,36	15,00
A	0,100	0,084	0,0245	0,055	0,006	0,00004380		262,8	11,00
				0,065	0,016	0,00005990		359,4	18,00
M	0,100	0,085	0,0160	0,042	0,018	0,00003725	0,00000167	223,5	8,06
				0,047	0,010	0,00004560		273,6	11,36
P		0,083	0,0190	0,043	0,005	0,00002850		171,0	9,00
				0,043	0,007	0,00003184		191,0	12,00
A		0,102	0,0292	0,065	0,0065	0,00006980		358,8	14,00
				0,075	0,0170	0,00009710		582,6	24,00
M	0,120	0,104	0,020	0,043	0,005	0,00004551	0,00000240	273,1	10,00
				0,050	0,010	0,00005731		343,1	14,28
P		0,106	0,0208	0,043	0,008	0,00004018		241,1	11,00
				0,050	0,009	0,00005218		313,1	15,00
A		0,120	0,0360	0,080	0,006	0,00011320		679,2	20,00
				0,090	0,016	0,00014580		875,4	31,00
M	0,140	0,123	0,013	0,050	0,007	0,00007803	0,00000327	468,2	13,00
				0,055	0,012	0,00009454		567,2	18,00
P		0,126	0,0205	0,047	0,006	0,00005590		335,4	14,00
				0,053	0,012	0,00007846		452,3	20,00
A		0,140	0,0350	0,080	0,008	0,00013350		813,0	22,00
				0,090	0,018	0,00017820		1069,2	35,00
M	0,160	0,142	0,0240	0,053	0,007	0,00009151	0,00000427	549,1	16,50
				0,062	0,014	0,00012140		728,4	25,00
P		0,144	0,0205	0,048	0,008	0,00007727		463,6	18,00
				0,053	0,012	0,00009860		591,5	25,00
A		0,154	0,0435	0,096	0,009	0,00022420		1345,2	32,00
				0,105	0,019	0,00027460		1647,6	45,00
M	0,180	0,162	0,0260	0,060	0,008	0,00011925	0,00000540	715,5	20,00
				0,067	0,015	0,00015709		942,5	30,00
P		0,162	0,0235	0,053	0,008	0,00011198		671,9	20,00
				0,062	0,015	0,00014978		898,7	30,00
A		0,174	0,0500	0,110	0,010	0,00029400		1764,0	34,00
	0,200			0,120	0,020	0,00036060	0,00000666	2164,0	49,00
M		0,181	0,0285	0,065	0,007	0,00015167		910,0	22,00
				0,073	0,016	0,00020300	0,00000666	1230,0	34,40
M		0,201	0,0285	0,065	0,008	0,00017366		1042,6	24,30
	0,220			0,073	0,016	0,00023820	0,00000807	1429,2	37,40
P		0,200	0,0275	0,064	0,009	0,00018224		1093,4	26,00
				0,071	0,016	0,00023871	0,00000807	1432,3	40,00
A	0,260	0,220	0,050	0,130	0,012	0,00061220		3673,2	52,00
				0,138	0,020	0,00070100	0,00001127	4206,0	68,00
M		0,228	0,042	0,1020	»	0,00062258		3735,5	52,40
	0,260			0,067	0,013	0,00029974		1798,4	40,00
F		0,236	0,0270	0,074	0,020	0,00037860	0,00001127	2271,6	58,00
M	0,297	0,267	0,053	0,120	0,014	0,00063220		3793,2	55,76

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Règle pratique plus simple.

24. La règle ci-dessus peut être utile pour les cas où l'on aurait directement calculé la quantité $\frac{I}{V'}$ relative à un fer donné ; mais pour les praticiens, il est un moyen plus simple qui revient exactement au même. Il consiste à calculer l'accroissement du moment PC ou $\frac{1}{2} pC^2$, qui, pour chaque modèle de fer, correspond à une augmentation d'un millimètre de l'épaisseur e_1 du corps. C'est ce qu'il est facile de faire en remarquant que la quantité à ajouter doit être égale à :

$$\frac{1}{6} (e_1' - e_1) b^2 R$$

et qu'en posant : $e_1' - e_1 = 0^m,001$

$$R = 6000000 \text{ kilog.};$$

elle revient à :

$$1000 b^2.$$

Donc, en calculant pour chaque hauteur de fer le produit $1000 b^2$, l'on pourra former le tableau suivant, qui permet de choisir facilement le modèle de fer convenable pour une valeur donnée du moment PC ou $\frac{1}{2} pC^2$ de la charge à faire supporter et de fixer l'épaisseur e_1 du corps.

L'on trouvera aussi dans ce tableau le poids par mètre courant du fer du plus faible échantillon de chaque modèle, et l'accroissement de ce poids par millimètre d'augmentation d'épaisseur du corps ajouté à l'épaisseur de l'échantillon le plus mince.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU PRATIQUE POUR LES FERS A DOUBLE T LAMINÉS.

Désignation des modèles.	Hauteur du profil b.	Hauteur du corps entre les nervures b'	Saillie des nervures sur le corps a'	Largeur minimum des nervures a	Épaisseur minimum du corps e_1	Valeur du moment N ou $\frac{1}{2}pC^2$ correspondante pour cette épaisseur.	Accroissement de ce moment correspondant à une augmentation de 1 mill. de l'épaisseur e.	Poids approximatif de l'échantillon minimum par mètre courant.	Accroissement de ce poids pour 1 mill. d'augmentation de l'épaisseur e_1.
	m.	m.	m.	m.	m.			kil.	kil.
A	0,080	0,066	0,0195	0,045	0,0055	146,21	6,4	8,00	0,66
A		0,084	0,0245	0,055	0,0060	262,8		11,00	0,78
M	0,100	0,085	0,0160	0,042	0,0100	223,5	10,0	8,06	0,78
P		0,088	0,0190	0,043	0,0050	171,0		9,00	
A		0,102	0,0292	0,065	0,0065	358,8		14,00	
M	0,120	0,104	0,0200	0,045	0,0050	273,1	14,4	10,00	0,93
P		0,106	0,0205	0,045	0,0040	241,1		11,00	
A		0,120	0,0360	0,080	0,0060	670,2		20,00	
M	0,140	0,123	0,0150	0,050	0,0070	408,2	19,6	13,00	1,09
P		0,126	0,0205	0,047	0,0060	335,4		14,00	
A		0,140	0,0360	0,080	0,0080	813,0		22,00	
M	0,160	0,142	0,0240	0,055	0,0070	691,1	25,6	16,50	1,25
P		0,144	0,0205	0,048	0,0070	463,6		15,00	
A		0,154	0,0435	0,096	0,0090	1345,2		32,00	
M	0,180	0,162	0,0260	0,060	0,0080	715,5	32,4	20,00	1,40
P		0,162	0,0235	0,055	0,0080	671,9		20,00	
A		0,174	0,0500	0,110	0,0100	1764,0		34,00	
M	0,200	0,181	0,0285	0,065	0,0080	910,0	40,0	22,00	1,56
P									
M	0,220	0,201	0,0285	0,065	0,0080	1042,0	48,4	24,30	1,71
P		0,200	0,0275	0,064	0,0090	1093,4		26,00	
A		0,229	0,0590	0,130	0,0120	3673,2		52,00	
M	0,260	0,228	0,0420	0,1020	0,0080	3735,5	67,6	45,00	2,03
P		0,236	0,0270	0,067	0,0130	1798,4		40,00	
M	0,297	0,267	0,053	0,120	0,0140	3793,2	88,2	55,76	2,31

Exemples.

25. Comme application de la règle qui précède, prenons pour exemple le premier cas indiqué dans le tableau du n° 21.

La charge par mètre carré de plancher est supposée $p' = 250$ kil.

L'écartement des poutres $e = 0^m,70$.

La charge par mètre courant de longueur des poutres est donc $p = p'e = 250^k \times 0,7 = 175$ kilog.

La portée : $2C = 3^m$.

$$\frac{1}{2}C^2 = 1,125.$$

$$\frac{1}{2}pC^2 = \frac{1}{2} \times 175 \times 1,125 = 197.$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si l'on veut employer un fer d'Ars-sur-Moselle d'une hauteur de $b = 0^m,08$, le tableau précédent nous montre que pour l'échantillon le plus mince de modèle, l'on a $e_1 = 0^m,0055$, et que la valeur de $\frac{1}{2} p C^2$ qu'il conviendrait d'adopter pour cette épaisseur minimum du corps serait : $\frac{1}{2} p C^2 = 146,21$; celle qui correspond aux données ci-dessus étant : $\frac{1}{2} p C^2 = 197$, elle surpasse la précédente de : $197 - 146,21 = 50,79$.

L'accroissement du moment $\frac{1}{2} p C^2$ par millimètre d'augmentation d'épaisseur du corps devant être pour ce fer égal à :
$1000\, b^2 = 1000 \times 0^m,08^2 = 6.4$ (8me col. du tableau précédent), il s'ensuit que pour que la force de cette poutre de $0^m,08$ de hauteur corresponde au moment $\frac{1}{2} p C^2 = 197$, il faut augmenter l'épaisseur minimum $e_1 = 0^m,0055$ du corps de :

$$\frac{50.79}{6.4} = 7^{millim},93,$$

ce qui donne pour l'épaisseur e_1 convenable à adopter pour les corps : $e_1 = 0^m,0055 + 0^m,0079 = 0^m,0134$.
L'on a indiqué au tableau du n° 29 $e_1 = 0^m,0135$.

Quant au poids, le modèle de hauteur $b = 0^m,08$ et d'épaisseur minimum des forges d'Ars pesant 8 kilog. par mètre courant et l'accroissement de poids par augmentation d'un millimètre dans l'épaisseur du corps étant pour ce fer de $0^k,66$ (dixième col. du tableau précédent), la poutre convenable devra peser en plus que le modèle le plus mince :

$$7.93 \times 0^k,66 = 5^k,23.$$

Le poids du mètre courant de fer à employer sera donc :

$$8^k + 5^k,23 = 13^k,23.$$

L'on a inscrit au tableau : $13^k,25$.

Prenons pour second exemple le cas du plancher d'une salle de réunion, pour laquelle on aurait les données suivantes :

$$p' = 500 \text{ kilog. } e = 0^m,55.$$

La charge par mètre courant de longueur des poutres sera : $p = p' e = 500$ kilog. $\times 0.55 = 275$ kilog.

La portée $2C = 8$ mètres.

$$\frac{1}{2} C^2 = 8 \quad \frac{1}{2} p C^2 = 2200.$$

L'on trouve dans le tableau précédent que le fer d'Ars de hauteur $b = 0^m,20$, à son épaisseur minimum $e_1 = 0^m,010$, donne pour le moment $\frac{1}{2} p C^2$, correspondant à ses dimensions la valeur :

$$\frac{1}{2} p C^2 = 1764,$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par conséquent, le moment de la charge que le fer cherché doit pouvoir supporter excède celui du fer d'Ars ci-dessus, de :

$$2200 - 1764 = 436.$$

L'accroissement du moment $\frac{1}{2}pC^2$ du fer d'Ars de cette hauteur étant de 40.0 par millimètre d'augmentation d'épaisseur du corps, il conviendra donc d'augmenter l'épaisseur $e_1 = 0^m,010$ de l'échantillon le plus mince de $\frac{436}{40} = 10^{millim.},9$.

L'épaisseur convenable à donner au fer d'Ars de cette hauteur sera donc :

$$e_1 = 0^m,010 + 0^m,0109 = 0^{millim.},0209.$$

Quant au poids, puisque l'échantillon le plus mince d'épaisseur $e_1 = 0^m,010$ pèse 34 kilog. par mètre courant, et que l'excédant d'épaisseur à admettre est de $10^{millim.},9$; le tableau nous indiquant qu'à chaque millimètre de son épaisseur correspond pour cette hauteur un accroissement de poids de $1^k,36$, l'augmentation de poids du fer à adopter sera égale à :

$$10.9 \times 1^k,36 = 17 \text{ kilog.}$$

Le fer cherché pèsera donc :

$$34 \text{ kilog.} + 17 \text{ kilog.} = 51 \text{ kilog.}$$

Emploi de fers d'une résistance supérieure à celle que la règle précédente indique.

26. Les proportions des fers des trois usines que nous avons citées étant assez différentes, il arrive quelquefois qu'un fer plus léger ou à peu près du même poids que celui qu'indique la règle précédente serait cependant capable de supporter avec sécurité une charge dont le moment $\frac{1}{2}pC^2$, serait supérieur à celui de la charge donnée. Dans ce cas, ce fer pourrait aussi être adopté. C'est parce que ce cas se présente fréquemment dans les calculs que, dans les tableaux suivants, nous avons introduit les fers qui le fournissent. Ils sont indiqués par un (*).

Valeurs à adopter pour le nombre R.

Les fers à double T ne peuvent se fabriquer, sans donner lieu à des déchets considérables, qu'avec des fers bien soudants et de bonne qualité; mais, malgré cela, je ne pense pas que la prudence permette d'admettre pour des constructions permanentes, qui

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

doivent présenter de grandes garanties de solidité et de durée, une valeur du nombre R supérieure à :

$$R = 6000000 \text{ kilog.}$$

Ce qui conduit à la formule pratique :

$$\tfrac{1}{2} p C^2 = 6000000 \frac{I}{V}$$

à l'aide de laquelle on a déterminé les échantillons des fers à double T et les dimensions des fers rectangulaires désignés dans le tableau suivant.

Observation sur la différence de qualité des fers.

27. Il est vrai que les fers des diverses fabrications présentent des différences parfois assez notables dans les valeurs du coefficient d'élasticité, selon la nature des minéraux, et selon les procédés et les soins apportés dans le travail. Mais il est à peu près impossible, et il ne serait pas prudent, quand il s'agit de règles générales, et surtout pour un objet d'une si grande importance que les planchers des édifices, de compter sur une qualité supérieure des matériaux employés, alors que l'on n'a dans les constructions ni le temps, ni le moyen de la constater avec exactitude. Il faut donc admettre une qualité moyenne des matériaux, et c'est ce qui m'a engagé à ne pas supposer la valeur de R supérieure à 6000000 kilog.

Je dois m'attendre que quelques architectes, et surtuot quelques entrepreneurs, jaloux de présenter une économie apparente dans l'emploi du fer, tendront à faire adopter des valeurs supérieures de R, et à la faire porter à 8000000 kilog. et même à 10000000 kilog., ainsi que pour d'autres cas moi-même j'ai pu l'indiquer, et notamment pour les charpentes; mais je répète que, dans le cas ci-dessus, la prudence me paraît prescrire de s'en tenir à R = 6000000 kilog.

Il me semble d'autant plus convenable de s'arrêter à cette limite, qui correspond à un allongement des fibres de $0^m,00066$ par mètre courant et à des flexions qu'il ne convient pas de dépasser, que, malgré les différences de qualité et de fabrication, la plupart des fers employés dans la construction des planchers fournissent des valeurs peu différentes entre elles pour le coefficient d'élasticité E et généralement comprises entre 17000000000 et 18000000000 kilog., tandis qu'au contraire, la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

détermination des coefficients de rupture présente des irrégularités et des différences très-grandes.

Emploi des fers rectangulaires pour les planchers.

Les fers à double T ne se fabriquent que dans certaines forges, spécialement pourvues de l'outillage nécessaire, et dans beaucoup de cas l'on peut être conduit par la nécessité ou par la différence des prix à employer des fers rectangulaires. C'est pourquoi l'on a joint au tableau les dimensions des fers rectangulaires équivalents aux fers à double T, et dont l'épaisseur a serait $\frac{1}{3}$ de la hauteur b, ce qui revient à calculer cette dernière dimension par la formule :

$$\frac{RI}{V} = 6000000 \frac{1}{6} a b^3 = \frac{1}{2} p C^2$$

ou à cause de : $a = \frac{1}{3} b$

$$200000\, b^3 = \frac{1}{2} p C^2, \text{ d'où :}$$

$$b^3 = \frac{\frac{1}{2} p C^2}{200000}.$$

28. *Planchers en bois.* Enfin, pour mettre les constructeurs à même de comparer l'emploi du fer à celui du bois au point de vue de l'économie, en obtenant dans tous les cas les mêmes degrés de solidité et de résistance à la flexion, j'ai aussi calculé les dimensions qu'il conviendrait d'adopter pour des planchers dont les solives seraient en bois.

Dans ce calcul l'on a supposé pour le bois, $R = 600000$ kilog. et la largeur $a = \frac{1}{3} b$, ce qui conduit à la formule pratique,

$$b^3 = \frac{\frac{1}{2} p C^2}{33333}.$$

Observation relative aux grosses poutres.

29. Le tableau suivant (page 244), sous le nom de poutres, ne comprend pas ce qui est relatif aux grosses poutres, sur lesquelles viennent s'assembler parfois les solives des grands planchers, parce que la charge par mètre courant de longueur de ces poutres ne peut être fixée à l'avance. Pour le calcul de ces pièces principales, on se servira d'ailleurs des mêmes formules que celles employées pour le tableau, et l'on adoptera des proportions analogues.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Table des dimensions à donner aux

DÉSIGNATION des LOCAUX.	Charge par mètre carré de plancher p'.	Ecartement des poutres e.	Charge par mètre courant de poutre $p = p'e$.	Portée pC^2.	VALEUR de $\frac{1}{8} C^2$.	VALEUR de $\frac{1}{8} pC^2$.	Hauteur du fer b.	FERS RECTANGULAIRES. Hauteur b.	Epaisseur $a = \frac{1}{3} b$	Poids du mètre courant
	kil.	m.	kil.	m.			m.	m.	m.	kil.
Chambres d'habitation, cabinets.	250	0,70	175	3,00	1,125	197	0,08	»	»	»
							0,10	0,099	0,020	15,40
							0,12	»	»	»
				4,00	2,000	350	0,10	»	»	»
							0,12	0,120	0,024	22,40
							0,14	»	»	»
							0 12	»	»	»
				5,00	3,125	547	0,14	0,140	0,028	30,50
							0,16			
							0,18	»	»	»
Bureaux, pièces de réception, salons ordinaires.	350	0,70	245	3,00	1,125	276	0,10	0,111	0,022	19,00
							0,12			
							0,12	»	»	»
				4,00	2,000	490	0,14	0,134	0,027	28,20
							0,16	»	»	»
							0,14	»	»	»
				5,00	3,125	776	0,16	0,156	0,031	37,60
							0,18	»	»	»
							0,18	»	»	»
				6,00	3,500	1102	0,20	0,177	0,036	49,60
							0,22	»	»	»
				7,00	6,125	1500	0,18	0,196	0,039	50,50
							0,20			

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

poutres et aux solives des planchers.

FERS A DOUBLE T DES FORGES						BOIS.		
D'ARS-SUR-MOSELLE.		DE LA PROVIDENCE.		DE MONTATAIRE.				
Epaisseur du corps e_1	Poids du mètre courant.	Epaisseur du corps e_1	Poids du mètre courant.	Epaisseur du corps e_1	Poids du mètre courant.	Hauteur b.	Epaisseur $a = \frac{1}{2}b$.	Volume du mètre courant.
m.	kil.	m.	kil.	m.	kil.	m.	m.	mcb.
0,0135	13,25	»	»	»	»			
0,006	11,00	0,0076	10,09	»	»	0,181	0,060	0,0109
»	»	0,0040*	11,00*	0,005*	10,00			
0,0147	17,80	»	»	»	»			
0,0065	14,00	»	»	0,0103	14,97	0,219	0,073	0,0160
»	»	0,0067	14,81	0,007*	13,00			
0,0195	26,15	»	»	»	»			
0,006*	20,00	»	»	8,014	20,63	0,254	0,085	0,0216
»	»	0,0102	19,10	0,007*	16,50			
»	»	0,008*	20,00	0,008*	20,00			
0,0075	12,15	»	»	0,0153	12,19	0,202	0,067	0,0135
»	»	0,0065	13,32	0,0052	10,20			
0,0150	22,46	»	»	»	»			
0,0060*	20,00	»	»	0,0112	17,52	0,245	0,082	0,0201
»	»	0,008	16,25	0,007*	16,50			
0,0104	24,83	»	»	»	»			
0,008*	22,00	»	»	0,0109*	20,00	0,284	0,095	0,027
»	»	0,0109*	24,25	0,00956*	22,25			
0,009*	32,00	»	»	»	»			
»	»	»	»	0,0128	29,49	0,322	0,107	0,0345
»	»	0,0092	26,34	0,0092	26,30			
0,0138	38,72	»	»	»	»	0,356	0,119	0,0424
0,0100*	34,00	»	»	»	»			

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Table des dimensions à donner aux

DÉSIGNATION des LOCAUX.	Charge par mètre carré de plancher p'.	Écartement des poutres e.	Charge par mètre courant de poutre $p = p'e$.	Portée $2C$.	VALEURS de $\frac{1}{8}C^2$.	VALEURS de $\frac{1}{2}pC^2$.	Hauteur du fer h.	FERS RECTANGULAIRES. Hauteur h.	Épaisseur $a = \frac{1}{9}h$.	Poids du mètre courant.
	kil.	m.	kil.	m.			m.	m.	m.	kil.
							0,16	»	»	»
		0,60	270	5,00	3,125	844	0,18	0,162	0,032	40,30
							0,20	»	»	»
							0,18	»	»	»
		0,60	270	6,00	4,50	1215	0,20	0,183	0,037	52,70
							0,22	»	»	»
Grands salons.	450						0,18	»	»	»
		0,60	270	7,00	6,125	1654	0,20	0,202	0,040	62,90
							0,26	»	»	»
							0,20			
		0,60	270	8,00	8,00	2160	0,26	0,221	0,044	75,70
		0,50	225	9,00	10,125	2278	0,26	0,225	0,045	78,80
							0,14	»	»	»
		0,70	350	4,00	2,000	700	0,16	0,152	0,030	35,50
							0,18	»	»	»
							0,18	»	»	»
Salles de réunions et d'assemblées, magasins de marchandises encombrantes, mais de peu de poids.		0,70	250	5,00	3,125	1094	0,20	0,176	0,035	47,90
							0,22	»	»	»
							0,18	»	»	»
	500	0,70	350	6,00	4,500	1575	0,20	0,199	0,398	62,00
							0,26	»	»	»
		0,70	350	7,00	6,125	2144	0,20	0,220	0,044	75,70
							0,26			
							0,20			
		0,55	275	8,00	8,000	2200	0,26	0,222	0,0446	76,00
		0,45	225	9,00	10,125	2278	0,26	0,225	0,045	78,8

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

poutres et aux solives des planchers.

FERS A DOUBLE T DES FORGES D'ARS-SUR-MOSELLE.		FERS A DOUBLE T DES FORGES DE LA PROVIDENCE.		FERS A DOUBLE T DES FORGES DE MONTATAIRE.		BOIS.		
Epaisseur du corps e_1	Poids du mètre courant.	Epaisseur du corps e_1	Poids du mètre courant.	Epaisseur du corps e_1	Poids du mètre courant.	Hauteur b.	Epaisseur $a = \frac{1}{3} b$.	Volume du mètre courant.
m.	kil.	m.	kil.	m.	kil.	m.	m.	mcb.
0,0092	23,50	»	»	0,0130	24,00			
»	»	0,0133	27,43	0,012	25,60	0,294	0,098	0,0288
»	»	»	»	»	»			
0,009	32,00	»	»	»	»			
»	»	»	»	0,0156	33,85	0,332	0,111	0,0369
»	»	0,0115	30,27	0,0116	30,40			
0,175	45,30	»	»	»	»			
0,010	34,00	»	»	»	»	0,367	0,122	0,0447
»	»	0,0130	40,00	»	»			
0,0199	49,44	»	»	»	»	0,402	0,134	0,0539
»	»	0,0183	50,86	»	»			
0,0120	52,00	0,0201	54,41	0,0080	»	0,409	0,136	0,0556
0,007	21,20	»	»	»	»			
»	»	»	»	0,0074	17,00	0,276	0,092	0,0254
»	»	0,0088	21,20	0,0080	20,00			
0,009	32,00	»	»	»	»			
»	»	»	»	0,0126	29,18	0,32	0,107	0,0342
»	»	0,0090	26,00	0,0091	26,16			
0,0161	41,94	»	»	»	»			
0,0100	34,00	»	»	»	»	0,362	0,121	0,0438
»	»	0,013	40,00	»	»			
0,0195	48,80	»	»	»	»	0,401	0,134	0,0537
0,012	52,00	0,0181	50,35	»	»			
0,0209	50,00	»	»	»	»	0,386	1,129	0,0498
0,0120	52,00	0,0189	53,72	»	»			
0,0120	52,00	0,020	54,41	»	»	0,409	0,136	0,0556

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Table des dimensions à donner aux

DÉSIGNATION des locaux.	Charge par mètre carré de plancher p'.	Écartement des poutres e.	Charge par mètre courant de poutre $p = p'e$.	Portée $2G$.	VALEURS de $\frac{1}{2}C^2$.	VALEURS de $\frac{1}{2}pG^2$.	Hauteur du fer b.	FERS RECTANGULAIRES. Hauteur b.	Épaisseur $a = \frac{1}{2}b$.	Poids du mètre courant.
	kil.	m.	kil.	m.			m.	m.	m.	kil.
Salons pour les grandes réunions.	600	0,70	420	5,00	3,125	1312	0,18	»	»	»
							0,20	0,182	0,036	52,40
							0,22	»	»	»
		0,70	420	6,00	4,500	1890	0,20	0,211	0,042	69,00
		0,60	360	7,00	6,125	2205	0,26	0,223	0,045	78,10
		0,80	240	8,00	8,000	1920	0,20	0,213	0,043	71,30
							0,26			
		0,35	210	9,00	10,125	2126	0,20	0,220	0,044	75,30
							0,26			
		0,30	180	10,00	12,500	2250	0,26	0,224	0,045	78,50
Magasins de marchandises lourdes, entrepôts, docks.	1000	0,70	700	4,00	2,000	1400	0,18	»	»	»
							0,20	0,191	0,038	56,50
							0,22	»	»	»
		0,70	700	5,00	3,125	2187	0,20	0,222	0,044	76,00
							0,26			
		0,50	500	6,00	4,500	2250	0,26	0,224	0,045	78,50
		0,35	350	7,00	6,125	2144	0,20	0,221	0,044	75,70
							0,26			

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

poutres et aux solives des planchers.

FERS A DOUBLE T DES FORGES						BOIS.		
D'ARS-SUR-MOSELLE.		DE LA PROVIDENCE		DE MONTATAIRE.				
Epaisseur du corps. e_1	Poids du mètre courant.	Epaisseur du corps e_1	Poids du mètre courant.	Epaisseur du corps e_1	Poids du mètre courant.	Hauteur h.	Epaisseur $a = \frac{1}{2} h$.	Volume du mètre courant.
m.	kil.	m.	kil.	m.	kil.	m.	m.	mcb.
0,0090*	32,00	»	»	»	»			
0,001*	34,00	»	»	»	»	0,340	0,113	0,0384
»	»	0,0135	33,70	0,0136	33,80			
0,0131	38,90	»	»	»	»	0,384	0,128	0,0490
0,012*	52,00	0,0190	52,22	»	»	0,404	0,135	0,0545
0,0139	40,80	»	»	»	»	0,386	0,129	0,0498
»	»	0,0148	43,67	»	»			
0,0190	47,50	»	»	»	»	0,40	0,133	0,0532
0,0120	52,00	0,0178	52,50	0,0080*	45,00			
0,0120*	52,00	0,0197	33,72	»	»	0,407	0,136	0,0554
0,0107	34,38	»	»	»	»			
0,010*	34,00	»	»	»	»	0,348	0,116	0,0404
»	»	0,0153	36,77	0,0154	36,95			
0,020	49,60	»	»	»	»	0,403	0,134	0,0540
0,0120*	52,00	0,0186	51,37	0,0080*	45,00			
0,0120*	52,00	0,0190	53,40	0,0080*	45,00	0,407	0,136	0,0554
0,0195	44,80	»	»	»	»	0,401	0,134	0,0537
0,0120	52,00	0,0181	50,35	0,0080*	45,00			

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Comparaison des flexions des planchers proportionnés selon les règles données aux nos 22 et suivants.

50. Si à l'aide de la formule (*du n° 213 de la Résistance des matériaux*)

$$f = \frac{5}{24}\frac{pC^4}{EI}$$

nous calculons la flexion que, sous la charge normale admise, prendraient des planchers de grands salons de $7^m,00$ de portée chargés d'un poids $p' = 450$ kilog. par mètre carré de superficie, dont les poutres seraient écartées d'une distance $e = 0^m,60$, ce qui donne

$$p = p'e = 270 \text{ kilog.} \quad 2C = 7^m,00,$$

nous trouverons les résultats suivants,

en prenant pour le fer. $E = 20\,000\,000\,000$ kilog.
et pour le bois, $E = 1\,500\,000\,000$

La poutre P_8 de la Providence ayant $b = 0^m,260$ et $a = 0^m,067$ donne

$$\frac{I}{V'} = 0,00029974 \qquad V' = 0^m,13 ;$$

L'on a donc $I = 0,000\,038\,966$

$$f = \frac{5}{24} \times \frac{270 \times 3,5^4}{20\,000\,000\,000 \times 0,000\,038\,966} = 0^m,0108$$

ou $\frac{0,0108}{7,00} = \frac{1}{648}$ de la portée $2C = 7^m$.

La poutre en fer méplat qui, dans le tableau, correspond à la précédente, donne

$$b = 0^m,202 \qquad a = 0^m,040$$

$$I = \frac{1}{12} ab^3 = 0,000\,027\,475$$

L'on a donc

$$f = \frac{5}{24} \frac{270 \times 3,5^4}{20\,000\,000\,000 \times 0,000\,027\,475} = 0^m,0153$$

et $$\frac{f}{2C} = \frac{0,0153}{7,00} = \frac{1}{458}$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour la poutre en bois qui, dans le tableau, correspond aux deux précédentes, l'on a

$$b = 0^m,367 \qquad a = 0^m,122$$

et par suite

$$I = \frac{1}{12} ab^3 = 0^m,000\,502\,35.$$

L'on en déduit

$$f = \frac{5}{24} \frac{270 \times \overline{3,5}^4}{1500\,000\,000 \times 0,000\,502\,35} = 0^m,041\,2$$

$$\frac{f}{2C} = \frac{0^m,0412}{7,00} = \frac{1}{625}$$

Ce qui se rapproche beaucoup du résultat de l'ancienne règle des charpentiers, rapportée au n° 236 des leçons sur la *Résistance des matériaux*.

L'on voit par cette comparaison que les poutres en fer méplat prendraient un peu plus de flexion sous les mêmes charges que les fers à double T. Quant aux poutres en bois, elles fléchiraient moins que les poutres en fer à double T, et elles semblent dès lors proportionnées d'une manière convenable eu égard à l'altérabilité du bois.

Enfin, il faut aussi se rappeler que beaucoup de fers de très-bonne qualité ne fournissent pas toujours, pour le coefficient d'élasticité, une valeur égale à 20 000 000 000 kilog., et subiraient des flexions un peu plus fortes que celle que l'on vient de trouver.

Il résulte de cette comparaison que les trois systèmes de poutres, dont on a donné les dimensions dans le tableau précédent, paraissent proportionnés pour donner des flexions admissibles dans la pratique, mais qu'il ne conviendrait guère de dépasser.

Comparaison des prix des planchers proportionnés d'après les règles précédentes.

31. Pour donner une idée du prix comparatif des différentes poutres employées pour les planchers, nous choisirons pour exemple celles qui conviendraient pour un grand salon de $7^m,00$, de portée.

Le tableau du n° 29 nous donnera les poids suivants :

Poutres à double T écartées de $0^m,60$ P_s.

Poids du mètre courant, 40 kilos.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le prix moyen de ces fers étant de 31 fr. 60 les 100 kilos, rendus dans Paris, celui du mètre courant de poutre sera

$$40 \times 0^{f},316 = 12^{f},64$$

et par mètre carré de surface de plancher,

$$\frac{12,64}{0,60} = 21 \text{ fr. } 66.$$

Poutres en fer rectangulaire,

$$a = 0^{m},040 \quad b = 0^{m},202.$$

Poids du mètre courant, $62^{k},9$.

Le prix étant de 28 fr. les 100 kilos, celui du mètre courant serait de

$$63^{k},02 \times 0,28 = 17^{f},70$$

et par mètre carré de superficie

$$\frac{17^{f},70}{0,60} = 29^{f},5.$$

Poutres en bois de sapin.

Cube par mètre courant, $0^{mc},0447$.

Le prix du mètre cube de sapin carré est d'environ 75 fr. Il en coûterait donc par mètre courant de poutre

$$0^{mc},0447 \times 75 = 3^{f},35$$

ou par mètre carré de superficie

$$\frac{3^{f},35}{0,60} = 5,59.$$

Mais il faut remarquer que les planchers en bois exigent des ferrures et des dispositions particulières, pour les passages des tuyaux de cheminée, etc., ce qui en augmente notablement le prix.

Des proportions convenables pour les fers à double T.

32. Malgré tout le soin apporté à la fabrication des fers à double T, il est difficile d'éviter qu'ils ne soient un peu gauchis dans le refroidissement, et il en résulte que souvent ils reposent sur leurs appuis par le bord de l'une des semelles inférieures, tandis que la charge peut porter sur le bord du côté opposé de la semelle supérieure. Le fer est ainsi exposé à un effort de déversement, dont le bras de levier est d'autant plus grand que la largeur a des semelles est plus considérable par rapport à la hauteur b. D'une autre part, ce fer oppose une résistance d'autant moindre à cet

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

effort que l'épaisseur e_1 du corps est plus faible par rapport à cette même hauteur.

Il importe donc de limiter les valeurs des rapports $\frac{a}{b}$ et $\frac{e_1}{b}$, et il me semble prudent de leur assigner des limites qui ne soient pas pour le premier au-dessus de :

$$\frac{a}{b} = 0.450 \text{ à } 0.500,$$

et pour le second, au-dessous de :

$$\frac{e_1}{b} = 0.045 \text{ à } 0.050.$$

Tous les tableaux précédents ont d'ailleurs été calculés sur les fers à double T des usines d'Ars-sur-Moselle, de Montataire et de la Providence, qui fabriquent des fers à semelles égales, ce qui, d'après toutes les expériences que nous avons relatées, semble la disposition la plus convenable pour l'uniformité de résistance.

Des poutres accouplées.

33. L'on emploie souvent pour soutenir des planchers d'une grande étendue ou des parties de façades de maison, de grosses poutres en fer réunies en nombre suffisant. Dans le premier cas, ces poutres, placées du mur de face au mur de fond, reçoivent par assemblage ou par superposition les petites poutres sur lesquelles repose le plancher; dans le second, elles supportent la maçonnerie élevée au-dessus. Dans l'un comme dans l'autre cas, la charge est uniformément répartie sur leur longueur, et bien qu'elles soient engagées dans la maçonnerie, la prudence ne permet guère de les considérer comme encastrées par leurs extrémités, parce qu'une économie mal entendue engage les constructeurs à ne pas leur donner assez de longueur pour que la charge supportée par leurs extrémités les maintienne horizontales au-dessus des points d'appui.

Afin de constater la charge qu'il convient de faire supporter à de semblables poutres, j'ai fait faire au Conservatoire quelques expériences spéciales que je crois utile de faire connaître.

Expériences sur des fers à double T accouplés.

34. La première poutre de ce genre qui ait été essayée était destinée à être employée dans la construction du bâtiment des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bureaux d'administration du Conservatoire des arts et métiers. Les fers qui la composent sont des fers à double T de l'usine de la Providence, de hauteur $b = 0^m,26$, et d'épaisseur $e_1 = 0^m,015$ au corps. Les semelles sont égales et ont une largeur $a = 0^m,063$; une nervure, qui existe au milieu de la hauteur, a $0^m,055$ de largeur totale.

Ces pièces ont 7 mètres de longueur; le poids de l'une est de 291 kilog.

Le poids de l'autre est de 282 kilog.

Le poids moyen est donc de $286^k,50$.

Ce qui porte le poids du mètre courant à $40^k,93$.

Elles sont réunies extérieurement par sept colliers en fer méplat de $0^m,008$ sur $0^m,050$, et maintenues écartées par autant de croisillons doubles en fer carré $0^m,025$ de côté, contenus par le serrage des colliers extérieurs.

Le poids des sept armatures est de 49 kilog.

La portée sous laquelle la poutre accouplée a été expérimentée était $2C = 6^m,80$. La charge a été uniformément répartie sur la longueur, excepté sur une longueur de $0^m,20$ du milieu, ce qui a peu d'influence sur les résultats.

Le tableau suivant contient les résultats des expériences.

EXPÉRIENCES SUR UNE POUTRE ACCOUPLÉE FORMÉE DE DEUX FERS A DOUBLE T DE LA PROVIDENCE.

Hauteur $b = 0^m,26$, portée $2C = 6^m,80$.

CHARGES uniformém. réparties 2 pC.	FLEXIONS totales.	FLEXIONS par 100 kil. de charge.	FLEXIONS moyennes par 100 kil. de charge.	OBSERVATIONS.
kil.	mill.	mill.	mill.	
900	2,38	0,264		
1444	3,82	0,264		
1988	5,36	0,269		
2532	7,08	0,279		
3076	8,68	0,282		
3620	10,22	0,282		
4164	11,82	0,283	0,283	
5252	14,94	0,284		
6340	17,98	0,283		
7428	21,10	0,284		
8516	24,36	0,286		
9604	27,62	0,298		
Après 11 h. de chargement.	28,90			

Le moment d'inertie de la section transversale est pour chaque poutre

$$I = 0,00004048.$$

Il a été déterminé par la méthode graphique des leçons sur la *Résistance des matériaux*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les chiffres contenus dans ce tableau montrent que les flexions sont restées proportionnelles aux charges jusque vers celle de 7428 kilog. environ. Au-dessous de cette charge, la flexion moyenne par 100 kilog. de charge uniformément répartis a été de $0^{mill},283$, en laissant en dehors les deux premières flexions observées, pour écarter les effets du contact imparfait des poutres sur leurs appuis.

La charge maximum employée a été de 9604 kilog., et son action prolongée pendant 17 heures a produit un accroissement de flexion de $1^{mill},28$, ce qui montre bien qu'au delà de 7,428 kilog., l'on ne pouvait plus compter sur la conservation de l'élasticité.

La valeur du coefficient d'élasticité de cette poutre accouplée peut se déduire de la formule :

$$E = \frac{5}{24} \quad \frac{PC^4}{fI}$$

en y faisant :

$$\rho C = 50 \text{ kil.} \quad f = 0^m,000283 \quad C = 3^m,40$$
$$I = 0.00004048 \times 2 = 0.00008096$$

pour les deux poutres.

L'on en déduit :

$$E = 17\,869\,000\,000 \text{ kilog.},$$

valeur qui s'éloigne peu de celles que l'on a trouvées dans plusieurs expériences précédentes pour de bons fers de ce genre, et qui prouve que, par suite de leur accouplement, les deux poutres ont résisté ensemble comme elles l'auraient fait séparément.

Le plancher que cette poutre double doit supporter a $6^m,40$ sur $6^m,30$, et par conséquent $40^{mq},32$ de surface : la poutre étant placée au milieu n'a à supporter que la moitié de la charge totale du plancher, ou celle qui correspond à $20^{mq},16$. La charge à partir de laquelle son élasticité a commencé à s'altérer ayant été de 7428 kilog., cela correspondrait à une charge par mètre carré de plancher égale à :

$$\frac{74.28}{20.16} = 368 \text{ kilog.}$$

Le local est destiné à de petits bureaux, où il y aura toujours très-peu de monde ; mais comme l'on ne devait jamais dépasser

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la charge égale à la moitié de celle sous laquelle l'élasticité commence à s'altérer, il s'ensuit que la charge normale et permanente de ce plancher ne devrait être que de 184 kilog. par mètre carré, ce qui excède à peine le poids du hourdis joint à celui des petites poutres et à celui du parquet. L'on voit donc que cette poutre est un peu faible pour sa destination.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

RECHERCHES

SUR LES

PILES VOLTAÏQUES

DÉTERMINATION

DES COEFFICIENTS RELATIFS AUX PILES EN USAGE DANS L'INDUSTRIE,

PAR M. EDMOND BECQUEREL.

J'ai l'intention dans ce travail de donner un résumé des déterminations expérimentales faites dans le laboratoire de physique du Conservatoire impérial des arts et métiers, et qui sont relatives aux éléments à prendre en considération lorsqu'on fait usage des piles voltaïques. Ces recherches ont été suivies depuis 1855, et, en outre, un certain nombre de résultats obtenus qui concernent les forces électro-motrices ont fait le sujet, en 1856, d'une publication dans les *Annales de Chimie et de Physique*[1]; toutes les questions qui se rapportent à la résistance, à la conductibilité des couples voltaïques, à la consommation de ces couples ainsi qu'à leur puissance chimique et physique ont été sommairement indiquées dans les leçons du cours de physique du Conservatoire en 1858 et en 1860 et n'ont été publiées dans aucun recueil. J'ai pensé qu'il serait utile de faire connaître dans les *Annales du Conservatoire* l'ensemble de mes recherches, ainsi que la détermination des coefficients relatifs aux piles actuellement en usage dans l'industrie; ces coefficients sont rapportés à des termes de comparaison bien déterminés.

[1] *Ann. de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XLVIII, p. 200.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PREMIÈRE PARTIE. FORCE ÉLECTROMOTRICE.

§ I. Procédés d'expérimentation.

D'après la théorie actuelle de la pile voltaïque, il y a deux genres d'éléments à prendre en considération dans l'étude des effets produits : 1° la force électromotrice, ou la force en vertu de laquelle la production de l'électricité a lieu dans chaque couple, abstraction faite de toute hypothèse sur la cause productrice du courant; 2° la résistance à la conductibilité.

La force électromotrice d'un couple est un élément complexe, qui résulte, en général, de plusieurs réactions donnant lieu, chacune séparément, à un dégagement d'électricité. La résistance à la conductibilité, au contraire, suit des lois régulières; elle dépend de la nature, de l'état physique, et des dimensions des conducteurs; d'après les nombreuses recherches faites jusqu'ici, elle paraît indépendante de l'intensité du courant électrique et des réactions qui peuvent s'exercer dans l'intérieur de la pile, tant que la composition des liquides et leur température ne varient pas.

Cependant, on a reconnu depuis longtemps qu'en général lorsqu'un liquide fait partie d'un circuit électrique et que le courant électrique circule dans sa masse, par l'intermédiaire de lames métalliques, l'intensité du courant diminue à l'instant où la polarisation des lames se produit, c'est-à-dire aussitôt que la décomposition électro-chimique amène sur leur surface des éléments gazeux ou autres. Mais, pour expliquer ce résultat, il est généralement admis aujourd'hui qu'il se manifeste un courant secondaire inverse du courant de la pile, lequel courant est dû à la polarisation, et diminue, par conséquent, l'intensité du courant primitif; dans ce cas, l'effet produit doit être attribué à une diminution dans la force électromotrice de la pile.

La formule fondamentale de la pile voltaïque a pour expression :

$$I = \frac{E}{R + x} \quad [1]$$

I étant l'intensité du courant électrique, E la force électromo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trice du couple, R sa résistance à la conductibilité (c'est-à-dire la longueur d'un fil métallique de section déterminée et dont le pouvoir conducteur est pris pour unité), et x les résistances variables que l'on introduit dans le circuit du couple; cette formule représente assez exactement les résultats des expériences [1]. Il suffit donc de connaître, dans chaque couple, les valeurs de E et de R et leurs variations suivant les conditions dans lesquelles ils peuvent se trouver pour avoir l'expression de l'intensité I, c'est-à-dire de la puissance du couple.

Si l'on considère un couple simple formé par deux métaux plongeant dans un liquide qui les attaque inégalement, le métal le plus attaqué prendra l'électricité négative et constituera l'électrode positive dans le liquide; l'autre lame sera l'électrode négative. Or, l'action électro-chimique du courant donnera lieu à un dégagement d'oxygène sur la lame positive et d'hydrogène sur la lame négative; l'oxygène oxydera le métal attaqué, et l'action chimique qui produit le courant se trouvera entretenue par le courant lui-même; il n'y aura donc aucune polarisation sur cette lame positive. Ainsi, sur le zinc ou sur le zinc amalgamé qui sert généralement aujourd'hui comme métal positif des couples, aucune polarisation par le gaz oxygène n'est produite, et il n'y a pas de cause appréciable à l'affaiblissement du courant si la surface métallique reste nette et si le liquide ne change pas de composition.

Sur l'autre lame métallique il n'en est pas ainsi: l'hydrogène se répand sur la surface et se dégage si l'intensité du courant est suffisante; mais l'effet de polarisation qui en résulte donne un contre-courant qui diminue l'intensité du couple. C'est donc à la polarisation de l'électrode négative des couples simples qu'il faut attribuer l'affaiblissement du courant donné par ces couples, en supposant au liquide la même composition et la même température.

Cette force électromotrice inverse, due à la polarisation et qui est fonction de l'intensité du courant, diminuant la valeur de E dans la formule [1] donne lieu à une expression de la forme

$$I = \frac{E - f(I)}{R + x}$$

[1] *Résumé de l'histoire de l'électricité et du magnétisme*, par MM. Becquerel et E. Becquerel, p. 208 et suivantes. Paris, 1838.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui n'a plus la simplicité de la formule précédente. Cette dernière ne s'applique donc que dans le cas où la polarisation sur la lame négative n'existe pas: tel est le cas des couples thermo-électriques et des couples dits à courant constant.

Des considérations de ce genre sur la cause de l'affaiblissement du courant dans les piles voltaïques ont conduit mon père, en 1829[1], à plonger l'électrode négative des couples dans un autre liquide que celui dans lequel plonge le zinc ou le métal altérable, et à employer pour seconde dissolution un liquide qui pût enlever l'hydrogène et détruire la polarisation. Il y est parvenu en employant d'abord une dissolution de sulfate de cuivre ou de nitrate de cuivre; dans ce cas, l'hydrogène réduisant la dissolution métallique, le métal négatif reste identique à lui-même et le couple ne diminue pas d'intensité. Ces couples à deux liquides, dits à courants constants, ont pris depuis 1829 une grande extension, et avec des modifications de forme qui les ont rendus usuels, ils ont été adoptés dans la plupart des applications industrielles de l'électricité; je ne conçois pas comment on les appelle couples de Daniell, car Daniell n'a fait que reproduire en 1836, sous une forme un peu différente et en rendant sa construction plus facile, la pile à sulfate de cuivre imaginée par mon père sept ans auparavant.

Les recherches précédentes ayant conduit mon père à étudier l'action des dissolutions les unes sur les autres, il construisit en 1833[2] la pile à gaz oxygène, qui porte son nom et qui est formée de deux liquides (acide azotique et dissolution de potasse caustique) séparés par une cloison perméable et dans lesquels plongent des lames de platine ou d'or. On sait tout le parti que l'on a tiré depuis cette époque de l'emploi de l'acide azotique dans les piles voltaïques, puisque M. Grove[3], en 1839, fit connaître la pile qui, modifiée par la substitution du charbon au platine, est généralement employée aujourd'hui quand on veut un courant électrique de quelque puissance.

Les liquides ou certaines dissolutions ne sont pas les seuls corps

[1] *Ann. de Chimie et de Physique*, 2e série, t. XLI, p. 21 et 29.

[2] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. I, p. 435. — Becquerel, *Traité d'électricité* en 7 vol., t. III, p. 292, et t. V, 2e partie, p. 215.

[3] *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. VIII, p. 567.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

capables de dépolariser l'électrode négative des couples; les corps solides, même insolubles, les composés métalliques réductibles, en s'emparant de l'hydrogène, peuvent conduire au même but : c'est ainsi qu'en 1837 [1] et en 1846 mon père a employé le sulfate et le chlorure d'argent, le phosphate et le sulfate de plomb, etc.; je reviendrai du reste plus loin sur les piles que l'on peut former avec ces substances et notamment avec le sulfate de plomb. On sait aussi, d'après les recherches précédentes ainsi que d'après celles de MM. Schœnbein, Delarive, etc., qu'on peut employer au même usage les peroxydes de manganèse et de plomb.

D'autres moyens que les actions chimiques peuvent être employés pour dépolariser l'électrode négative des couples et rendre le courant électrique constant : ainsi j'ai montré, il y a plusieurs années [2], qu'en mettant en mouvement l'électrode négative au milieu de certaines dissolutions et de matières pulvérulentes, on atteignait le même but. Mais, jusqu'ici, les actions chimiques ont été seules employées dans l'industrie.

Il faut étudier séparément comment varient, dans chaque couple, la force électromotrice et la résistance, c'est-à-dire les valeurs de E et de R, et quels sont les coefficients qui peuvent servir à les exprimer en fonction d'une unité connue. Dans cette première partie je m'occuperai spécialement de la force électromotrice E.

Cette force résulte évidemment de trois actions bien distinctes : 1° de l'action d'un des liquides sur le métal altérable; 2° de l'action des deux dissolutions l'une sur l'autre; 3° de l'action exercée sur l'électrode négative, action qui peut être dans le même sens ou en sens inverse de celle qui est exercée sur le zinc. Dans le cas des couples à un seul liquide, l'action exercée entre les deux dissolutions devient nulle.

Avant de chercher comment ces différents effets influent sur l'intensité du courant, il est nécessaire d'examiner quelles sont les méthodes expérimentales qui peuvent être employées et entre quelles limites elles peuvent servir.

Parmi les méthodes proposées pour comparer entre elles les forces électromotrices de différents couples on peut distinguer les trois suivantes. La première méthode repose sur la connais-

[1] *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. IV, p. 824, et t. XXII, p. 781.

[2] *Ann. de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XLIV, p. 401.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sance de la formule fondamentale de la pile et indiquée plus haut :

$$I = \frac{E}{R+x}.$$

Si l'on se sert d'un rhéostat pour faire varier les résistance additionnelles x introduites dans le circuit, et que l'on détermine les intensités du courant électrique dans les diverses circonstances à l'aide d'une boussole des sinus, d'une boussole des tangentes, ou bien avec un magnétomètre, il sera facile d'en déduire, non-seulement les rapports des forces électromotrices des différents couples, mais encore les rapports de leur résistance à la conductibilité. Cette méthode a été employée par la plupart des physiciens qui se sont occupés de recherches sur la pile; elle s'applique bien aux couples à courant constant; mais quand on s'en sert pour exprimer les effets d'autres couples, il se produit des forces électromotrices secondaires dont on a parlé plus haut, qui sont variables avec l'intensité du courant, et qui compliquent nécessairement son emploi. Cependant, même dans ces conditions, on ne peut compter d'une manière certaine sur les déterminations auxquelles elle conduit, et cela d'après les motifs suivants: le passage du courant électrique dans le fil du rhéostat modifie à chaque instant la température de ce fil, et dès lors, la résistance à la conductibilité du fil du rhéostat ne restant pas la même pendant la durée des expériences, les forces électromotrices qui sont fonctions de cette résistance ne sont pas exactement comparables; d'un autre côté, il y a des changements continuels dans les résistances des autres éléments du circuit, soit par suite des variations dans la température provenant du passage du courant électrique lui-même, soit par suite des changements dans la composition des dissolutions. Il est bien difficile de pouvoir tenir compte de ces changements pour avoir un nombre proportionnel à la force électromotrice du couple. Du reste, cette méthode, même pour donner des résultats approximatifs, demande un certain temps, plusieurs déterminations, et ne permet pas de faire les comparaisons des forces électromotrices dans toutes les circonstances qui peuvent se présenter quand on veut examiner les effets électriques produits entre les solides, les liquides et les gaz. Cependant, nous verrons dans la seconde partie du travail que cette méthode est encore la plus simple pour avoir approximativement la résistance R des couples.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Un second procédé, employé par M. Fechner [1], consiste à introduire dans les circuits des couples voltaïques à comparer une résistance très-grande par rapport à la résistance de ceux-ci; alors les intensités des courants, mesurés au moyen d'un galvanomètre, sont proportionnelles aux forces électromotrices des couples. En effet dans la formule

$$I = \frac{E}{R+x},$$

si la résistance additionnelle x est très-grande par rapport à R, le dénominateur de la fraction peut être considéré comme constant dans toutes les expériences, et l'intensité du courant I est proportionnelle à la force électromotrice du couple.

Depuis, différents physiciens en ont fait usage. Ce procédé est bon dans un très-grand nombre de circonstances: il est vrai qu'on ne mesure qu'un effet beaucoup plus faible que celui qui serait produit par les couples si l'on n'introduisait pas une très-grande résistance dans les circuits; mais, peu importe, pourvu que l'on évalue très-exactement les intensités des courants électriques, et que l'on ait des nombres proportionnels aux tensions électriques des couples. On doit faire observer que, relativement aux couples dans lesquels il se produit une polarisation, celle-ci se manifeste aussitôt que le circuit est fermé, et avant que l'action électro-magnétique sur l'aiguille du galvanomètre soit produite, car il faut un certain temps pour vaincre l'inertie de l'aiguille aimantée; la force électromotrice primitive que l'on veut connaître commence donc à diminuer aussitôt. Cette objection s'applique également à la première méthode; on ne peut l'éviter qu'en déterminant précisément dans chaque circonstance quel est l'effet de la polarisation. La seule difficulté que présente ce procédé consiste dans la mesure des effets produits entre des limites très-étendues, car les intensités des courants ne sont pas proportionnelles aux déviations de l'aiguille du galvanomètre.

Une troisième méthode a été employée par M. Poggendorff: c'est la méthode par compensation [2] ou par opposition. Elle est

[1] *Annales de Poggendorff*, t. XLV, p. 232.

[2] *Annales de Poggendorff*, t. LIV, p. 161. — *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. VII, p. 87. — *Archives de l'électricité*, Genève, 1842, t. II, p. 1.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

basée sur le principe fondamental de la pile voltaïque, savoir que, dans un circuit composé de plusieurs couples agissant dans le même sens ou en sens inverse, l'effet produit est égal à celui d'un couple qui aurait pour force électromotrice la somme ou la différence des forces électromotrices des couples séparés, et pour résistance la somme des résistances des couples. Si donc, à l'aide d'une force électromotrice variable on annule le courant d'un couple faisant partie du même circuit, on sera certain que la force électromotrice du couple sera égale à la force électromotrice variable employée.

M. Poggendorff, pour atteindre ce but, emploie un couple à courant constant, celui à acide nitrique, par exemple. Il oppose le courant de ce couple à celui d'un autre couple dont il veut connaître la force électromotrice; comme le couple à acide nitrique est généralement le plus énergique, on joint les deux pôles de celui-ci par le fil d'un rhéostat, de sorte qu'il ne passe dans le premier circuit qu'un courant dérivé; il est évident alors qu'en faisant varier la longueur du fil du rhéostat on fera varier l'intensité du courant dérivé passant par le circuit du couple soumis à l'expérience. Supposons donc que l'on place un galvanomètre dans le circuit des deux couples en opposition; lorsque, à l'aide du rhéostat, on aura amené son aiguille à zéro, on pourra calculer, d'après la longueur du fil et par la théorie des courants dérivés, la force électromotrice cherchée.

Cette méthode donnerait des résultats précis si la force électromotrice du couple normal et la résistance du fil du rhéostat restaient les mêmes; mais comme ces deux éléments ne restent pas constants, il en résulte que l'on ne peut compter sur une grande exactitude. Cependant, si l'on a soin de mesurer à différentes reprises, pendant les déterminations expérimentales, et la force électromotrice du couple normal et la résistance du fil du rhéostat par rapport à celle d'un fil étalon maintenu à zéro, on peut faire les corrections dues aux changements dont on vient de parler, et, dans certains cas, l'on peut employer utilement cette méthode.

M. J. Regnauld [1] a fait usage d'un procédé analogue au précédent, mais en faisant varier la force électromotrice qu'il oppose

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXXVIII, p. 5, et 8 *Annales de Chimie et de Physique*, t. XLIV. p. 553.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à celle qu'il veut mesurer, non pas à l'aide d'un courant dérivé d'un couple constant, mais au moyen d'une pile d'un nombre variable d'éléments; dans ce cas, si une pile d'un nombre n d'éléments annule le courant d'un couple, la force électromotrice de ce dernier peut être considérée comme proportionnelle à n. En principe, l'objection relative au changement de résistance du circuit est évitée, puisque la résistance n'entre plus comme élément dans la détermination de la force électromotrice; mais, pour que l'on ait toute l'exactitude désirable, il faudrait que les forces électromotrices normales fussent exactement constantes. Pour atteindre ce but, M. J. Regnauld a fait usage d'abord d'une pile thermo-électrique, dont le nombre des éléments a servi à comparer les forces électromotrices des couples soumis à l'expérience; cette pile serait sans doute une des plus constantes de celles que l'on pourrait employer; mais il serait nécessaire de faire usage d'un grand nombre d'éléments, puisque avec le bismuth et le cuivre, dont les soudures sont à 0° et à 100° de température, il faut près de 400 couples pour annuler l'effet d'un couple à acide nitrique. Il a eu recours alors à une pile hydro-électrique à force électromotrice faible, à deux liquides et à deux métaux. Mais alors on ne peut pas considérer celle-ci comme absolument constante, non-seulement d'un jour à l'autre, mais encore dans la même journée, car à mesure qu'un couple fonctionne, il présente une faible diminution dans sa force électromotrice; pour se retrouver dans les mêmes conditions, il faut nettoyer les électrodes et opérer avec des dissolutions également concentrées et à la même température. D'un autre côté, si ces conditions se trouvent remplies et que les températures soient différentes d'un jour à l'autre, l'action électromotrice exercée sur les métaux est bien à peu près la même, mais l'action exercée par les dissolutions en contact est différente. En outre de cela, à l'aide de ce moyen de compensation, comme avec celui indiqué plus haut, il est impossible de comparer les effets dus à la polarisation des lames dans les couples ou dans les voltamètres présentant un dégagement de gaz.

Les objections que l'on peut adresser aux méthodes que je viens de décrire m'ont engagé à faire usage d'un procédé qui permit de distinguer et d'étudier séparément les différentes causes productrices du courant électrique dans les couples que l'on com-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pare. Ce procédé est analogue au second qui a été décrit plus haut, lequel consiste à introduire une résistance très-considérable dans le circuit des couples voltaïques; mais il en diffère en ce que l'on peut mesurer l'intensité des courants électriques entre des limites très-étendues. Ayant renoncé à employer le galvanomètre, dont les déviations ne sont proportionnelles aux intensités que jusqu'à 20°, j'avais d'abord essayé de mesurer, à l'aide de la torsion d'un fil d'argent, la force nécessaire pour ramener à une même position une aiguille aimantée placée au milieu du cadre d'un galvanomètre, et ainsi qu'on l'avait déjà fait. Mais après plusieurs essais, j'ai abandonné ce moyen de mesure pour employer exclusivement la balance électro-magnétique imaginée par mon père[1] et dont l'usage m'a donné les résultats les plus exacts.

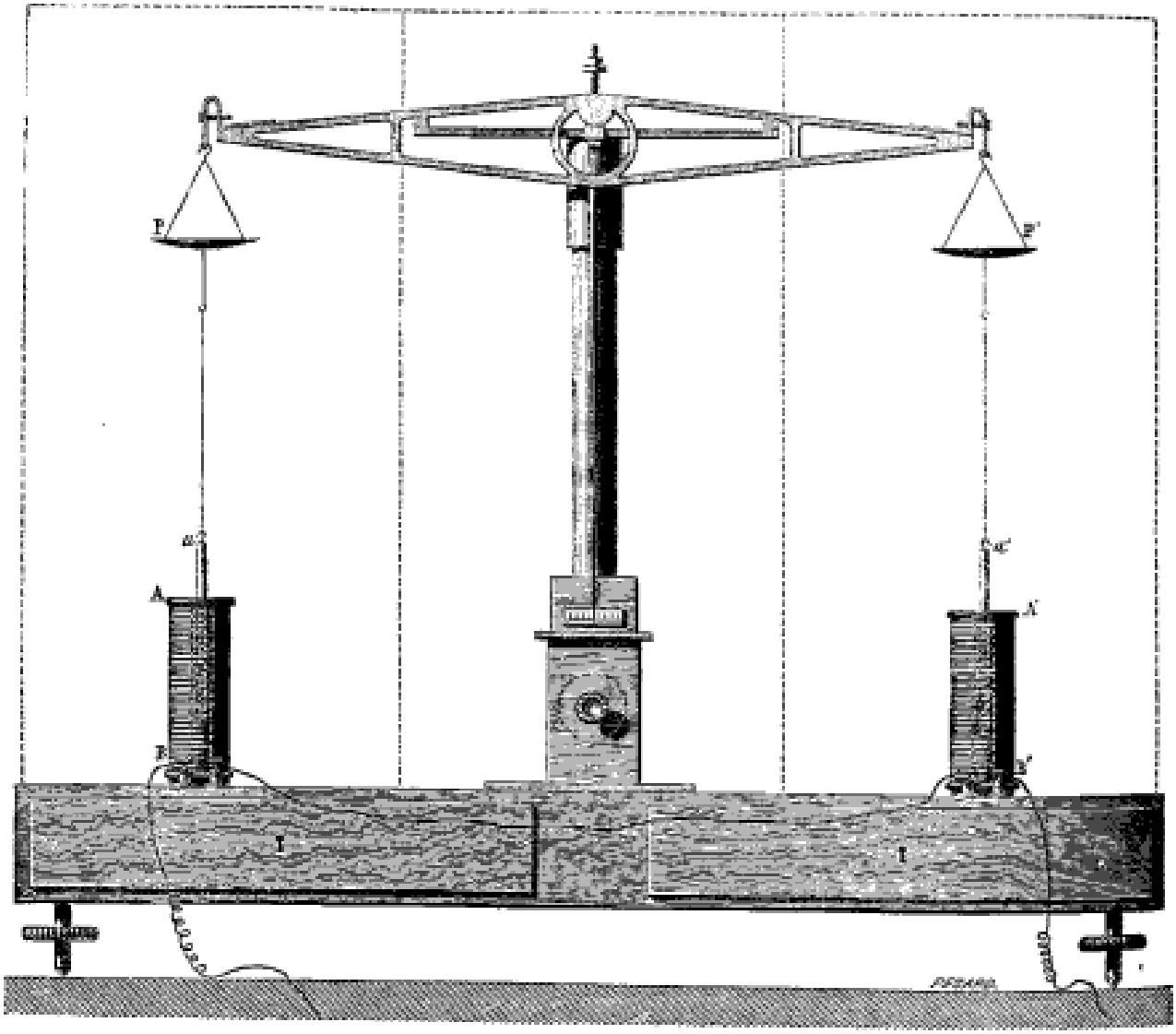


Fig. 1.

[1] *Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, t. LXVI, p. 84. — Becquerel, *Traité d'électricité* en 7 vol., t. III.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'appareil représenté fig. 1 se compose d'une balance d'essai à fléau en laiton, qui peut permettre de peser 200 grammes et qui trébuche à $\frac{1}{3}$ milligramme. Le poids de 1 milligramme fait pencher le fléau de façon que l'aiguille indicatrice parcourt tous les degrés de l'arc devant lequel elle se meut; la balance dont j'ai fait usage a été construite par M. B. Bianchi. On suspend aux extrémités du fléau deux petits plateaux P, P′ attachés très-haut, comme l'indique la figure, et au-dessous desquels on suspend, à l'aide de fils de soie, deux petits barreaux aimantés *ab*, *a′b′*; ces barreaux sont cylindriques, ils ont 10 centimètres de longueur, $3^{m},5$ de diamètre; ils pèsent chacun $9^{g},180$. On les a suspendus de façon à ce que les pôles semblables fussent situés à la partie supérieure; du reste, cette précaution n'est pas indispensable, puisque l'on part de la même position d'équilibre de la balance et que l'on ramène toujours les barreaux à la même place: l'influence terrestre est ainsi annulée.

Les aimants entrent en partie et librement au milieu de deux bobines creuses AB, A′ B′, de sorte que lorsqu'un courant électrique circule dans les fils conducteurs de ces bobines, si l'action de l'une tend à abaisser un des aimants, celle de l'autre tend à élever le second aimant. De cette manière les effets s'ajoutent, et l'on peut à l'aide de poids placés dans un des plateaux ramener l'aiguille indicatrice de la balance à la même position, et par conséquent comparer les effets magnétiques produits par les courants électriques en les rapportant aux effets de la pesanteur. Comme l'action de la pesanteur est proportionnelle aux poids employés, les intensités des courants électriques seront aussi proportionnelles à ces poids, et cela entre des limites très-étendues.

L'expérience a prouvé qu'il n'était pas indifférent que les aimants fussent placés plus ou moins haut; le maximum paraît être atteint quand les aimants sont plongés aux deux tiers de leur longueur au milieu des bobines. Le fil de cuivre entourant les bobines à $0^{mm},44$ de diamètre est recouvert de soie; on l'a enroulé de façon à donner 10 centimètres de hauteur à ces bobines. Dans chacune d'elles il est entré 1890 mètres de fil fin, ce qui fait en totalité un circuit de 3,780 mètres de longueur. Si l'on cherche quelle est la résistance de ce long circuit, comparée à celle d'un fil de cuivre rouge pur et recuit de 1 millimètre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de diamètre, on trouve par le calcul de la loi des résistances d'après les diamètres qu'elle équivaut à 312378 mètres de fil de 1 millimètre de diamètre. Si l'on compare cette résistance à celle de couples connus, par exemple à celle d'un couple ordinaire à acide nitrique dont le vase poreux cylindrique a 125 millimètres de hauteur, 30 millimètres de diamètre, laquelle équivant à près de 10 mètres de fil de cuivre de 1 millimètre de diamètre, on voit que le circuit des bobines a une résistance qui est plus de trente mille fois plus grande; or, comme les couples dont on a fait usage ont été pris à peu près de cette dimension, il en résulte que l'on peut négliger leur résistance par rapport à celle du circuit et avoir immédiatement, d'après le poids nécessaire pour maintenir la balance en équilibre, un nombre qui représente la force électromotrice d'un couple avec une erreur qui ne dépasserait pas $\frac{1}{30000}$; les erreurs d'observations sont toujours beaucoup plus grandes que cette dernière fraction.

On a dit plus haut que la balance était sensible à $\frac{1}{2}$ milligramme et pouvait peser jusqu'à 200 grammes; mais on n'a pas dépassé 4 à 5 grammes. A mesure que la balance est plus chargée, et que le courant électrique qui traverse le circuit est plus énergique, la sensibilité diminue, et un poids de $\frac{1}{2}$ milligramme, au lieu de faire parcourir à l'aiguille de la balance une partie du cercle divisé qui est devant elle, ne la dérange plus que d'une division; néanmoins, avec un peu d'attention, la pesée peut encore se faire exactement.

MM. Jacobi et Lenz, qui ont employé la balance électro-magnétique pour la comparaison des intensités électriques, ont fait observer avec raison qu'il était préférable de placer une des bobines au-dessus d'un des barreaux et l'autre au-dessous de l'autre barreau, afin d'agir des deux côtés par force répulsive et jamais par force attractive; en outre, on peut, à l'aide d'une correction, tenir compte de l'aimantation par influence que peut provoquer directement le courant dans les barreaux aimantés. Cela est vrai pour des intensités très-considérables, sans quoi la balance serait fautive; mais quand on opère, comme je l'ai fait, sans dépasser 2 à 3 grammes et en n'agissant que sur quelques couples, cette précaution n'est pas indispensable et l'intensité du courant électrique est proportionnelle aux poids nécessaires pour rétablir l'équilibre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour que les forces électromotrices des différents couples actifs puissent être comparées exactement par l'action électro-magnétique, laquelle est mesurée à l'aide de la balance, il faut que la résistance du circuit ne change pas et que l'état magnétique des barreaux reste le même; or la température seule, dans une série d'expériences, peut faire varier ces éléments. Si l'on a soin de n'opérer que pendant quelques instants, comme l'intensité du courant qui traverse le long circuit est très-faible, l'élévation de température n'est pas appréciable. Il n'y a donc plus à considérer que les variations de température du fil et des barreaux qui pourraient provenir des changements dans l'état de l'air ambiant. Afin d'éliminer cette cause d'erreur et de ramener les effets à la même intensité magnétique, dans chaque série d'expériences, et à différentes reprises dans une même journée, on a évalué l'action électro-magnétique d'un couple normal toujours chargé de la même manière et placé dans les mêmes conditions. On a reconnu alors, par expérience, que si cette correction est nécessaire pour comparer les observations d'un jour à l'autre, elle est complétement inutile dans une série de déterminations faites le même jour, et l'on a pris soin de rester dans les mêmes conditions ambiantes.

On a pris pour unité de force électromotrice celle qui résulte de l'action de l'eau acidulée par l'acide sulfurique monohydraté (9 eau, 1 acide) sur du zinc distillé, puis fondu. Cette unité a été adoptée par le motif que la force électromotrice normale doit avoir une certaine intensité; on n'a pas rapporté les actions à celle d'un couple thermo-électrique, car il eût été nécessaire d'employer une pile d'au moins 100 éléments, et encore n'aurait-on pas été certain de se placer exactement dans les mêmes conditions qu'en employant un même cylindre de métal, parfaitement décapé et plongé dans une dissolution faite de la même manière et dans les mêmes conditions de température et de concentration. Cependant, malgré cela, je rapporterai ici le résultat de la comparaison des effets thermo-électriques obtenus avec une pile de 24 éléments bismuth et cuivre, appartenant au Conservatoire des arts et métiers, et avec ceux que donnent l'action de l'eau acidulée sur le zinc distillé ainsi que les couples à acide nitrique et à sulfate de cuivre. Dans chaque couple de la pile thermo-électrique l'une des soudures était à 100°, l'autre à 0°. On a eu :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	Force électromotrice comparée.	Rapport.
Couple thermo-électrique cuivre-bismuth, d'après la pile thermo-électrique.....	0,39	1
Zinc pur dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$.....	100,00	256
Couple { Zinc amalgamé, eau acidulée; Platine, acide nitrique.....	127,40	326
Couple { Zinc amalgamé, eau acidulée; Cuivre, sulfate de cuivre.....	72,90	187

Les deux derniers nombres se rapprochent beaucoup de ceux qui ont été trouvés directement par M. J. Regnauld dans le mémoire cité plus haut, puisqu'il a eu les nombres 310 et 179. Peut-être le nombre 0,39 que j'ai obtenu est-il un peu trop faible; cela peut tenir à ce que les éléments de la pile thermo-électrique plongeaient directement dans l'eau et qu'une portion de cette eau pouvait servir de circuit de dérivation.

On a raisonné dans la supposition que la force électromotrice était une constante dans chaque couple lorsque celui-ci était monté de la même manière, et que cette force ne variait pas avec l'intensité du courant; les deux dernières méthodes, en effet, conduisent à des nombres qui viennent à l'appui de cette manière de voir. Mais, d'après ces méthodes, on ne mesure que la tendance à la production du courant, c'est-à-dire l'excès de tension en vertu de laquelle l'électricité tend à passer dans le circuit. La première méthode, au contraire, donne le moyen de calculer la force électromotrice à différentes intensités, et alors on reconnaît, d'après les faibles variations des nombres qui expriment la force électromotrice du couple, qu'il n'est pas possible de décider si ces variations ne sont pas dues aux causes d'erreurs du procédé d'expérimentation.

L'hypothèse d'où l'on est parti, savoir, la constance de la force électromotrice d'un même couple, paraît donc probable; du reste, comme on le verra, elle satisfait d'une manière suffisante aux diverses déterminations expérimentales.

§ II. POLARISATION DES ÉLECTRODES.

Le phénomène de polarisation dont on a parlé précédemment et qui se produit lorsqu'un courant électrique circule dans un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

appareil à décomposition, dans un voltamètre à eau acidulée par exemple, dépend de la nature des lames métalliques, de celle des gaz et des substances transportées sur les lames, ainsi que de l'intensité du courant électrique; ce phénomène se manifeste à un degré plus ou moins marqué, quelle que soit l'intensité de celui-ci, et cela au moment même où l'électricité commence à passer dans le circuit. Il est nécessaire seulement que les gaz ou les substances qui se déposent sur les lames ne se combinent pas avec elles ou n'éprouvent aucune action absorbante de la part du liqnide ambiant; car, dans ce cas, tout effet de polarisation pourrait être détruit.

La polarisation est rendue sensible non-seulement par la diminution dans l'intensité du courant qui traverse l'appareil décomposant à l'instant où la pile agit, mais encore par le courant électrique secondaire et inverse qui se manifeste lorsqu'on supprime toute communication avec la pile, et qu'on se sert du voltamètre comme d'un couple voltaïque après la cessation du courant primitif. Ce fait observé pour la première fois par Ritter, dans la construction des piles secondaires, et étudié ensuite par plusieurs physiciens et particulièrement par mon père[1] et par M. Matteucci[2], a permis à M. Grove[3] d'arriver à la construction des piles à gaz agissant d'une manière continue; il suffit pour cela de renouveler les gaz placés autour des électrodes, lesquels sont absorbés au fur et à mesure que les appareils fonctionnent.

Lorsqu'on veut déterminer la force électromotrice des couples simples ou des couples dans lesquels l'électrode négative peut se polariser, il faut ou s'opposer à cette polarisation, ou bien l'évaluer afin d'en tenir compte. Sans entrer dans les détails nécessaires pour montrer comment varie la polarisation et quelles sont les recherches faites antérieurement sur ce point, détails pour lesquels je renvoie au mémoire cité au commencement de ce travail[4], je me bornerai à dire que l'emploi de la balance électromagnétique est très-commode pour faire cette détermination;

[1] Becquerel, *Traité d'électricité* en 7 vol., t. V, 2e partie, p. 12 et suiv.

[2] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. VII, p. 741, et t. XVI, p. 846.

[3] *Philosophical Magazine*, 3e série, t. XIV, p. 129, et t. XXI, p. 417.

[4] *Ann. de Chimie et de Physique*, t. XLVIII, p. 215.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

car il suffit de chercher, d'après l'effet sur la balance, quelle est la force électromotrice de la pile employée, puis ensuite d'introduire dans le circuit le voltamètre à lames métalliques et de faire de nouveau la détermination de l'intensité du courant : on a un nombre moins fort dans le second cas que dans le premier, et la différence donne la force électromotrice inverse due à la polarisation pendant le passage de l'électricité.

En opérant ainsi, j'ai vu que les effets dus à la polarisation du platine et de l'or par l'hydrogène étaient plus constants que ceux qui sont relatifs à la polarisation par l'oxygène. Néanmoins, ils dépendent de l'intensité du courant lui-même et sont variables avec la grandeur des lames et la nature du liquide employé. Pour donner un exemple de la manière dont varie le courant secondaire, je citerai les résultats d'une expérience dans laquelle on a interposé successivement dans le circuit d'une pile de Bunsen, dont le nombre d'éléments a varié de 1 à 10, un voltamètre à fil de platine; on a eu :

NOMBRE des couples de la pile.	FORCE ÉLECTROMOTRICE		
	des couples seuls.	des couples, plus de l'appareil à eau acidulée.	de l'appareil à eau acidulée.
	milligr.		
1	98,00	à peine 1 milligr.	»
2	198,25	45,50	152,75
3	299,10	135,75	163,35
4	401,50	266,00	175,50
6	600,00	411,00	189,00
8	793,00	595,50	197,50
10	983,00	783,50	199,50

La deuxième colonne indique le poids mis sur le plateau de la balance pour faire équilibre à l'action du courant de la pile employée seule; la troisième colonne donne l'effet lors de l'interposition de l'appareil à eau acidulée, et la quatrième, qui exprime les différences entre les nombres précédents, représente l'effet du courant secondaire dû à la polarisation par l'hydrogène au pôle négatif et par l'oxygène au pôle positif dans l'appareil à eau acidulée, mais seulement pendant que le courant circule. On reconnaît que cette force électromotrice augmente graduellement avec la tension de l'électricité; mais à partir de 7 à 8 cou-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ples elle varie peu. On voit, en outre, que cette force a une intensité assez grande, puisqu'elle équivaut à peu près à celle à 2 éléments à acide azotique.

Dans les couples simples on n'a à considérer que la force électromotrice inverse due à la polarisation par l'hydrogène; aussi peut-on se borner à placer dans le circuit un appareil à eau acidulée ayant pour électrode positive une lame de zinc et pour électrode négative une lame de platine. L'appareil qui a servi aux déterminations suivantes représente un couple simple, zinc et platine, dans l'intérieur duquel on a fait passer un courant électrique provenant d'une plus ou moins grande quantité de couples, et dans le sens du courant électrique que donnerait ce couple lui-même; on a eu :

NOMBRE des couples de la pile.	FORCE ÉLECTROMOTRICE		
	de la pile.	de la pile, plus du couple simple.	du couple simple, zinc-platine.
	milligr.	milligr.	milligr.
1	97,75	138,0	40,25
2	198,00	237,0	39,00
4	391,50	430,0	38,50
6	588,00	627,0	39,00
8	785,50	825,0	39,50
10	982,50	1023,0	40,50

On voit que l'action du couple simple a été à peu près constante et égale en moyenne à 39,45. Or, comme on le verra plus loin, l'action exercée sur le zinc seul par l'eau acidulée au moyen de l'acide sulfurique est 78,75; il en résulte que l'effet dû à la polarisation du platine par l'hydrogène, dans le couple précédent (eau acidulée par l'acide sulfurique, eau 9, acide 1), est 78,75 — 39,45 = 39,30. Ainsi, quand un couple zinc et platine fonctionne avec l'eau acidulée, à la limite, l'action de la polarisation du platine par le gaz hydrogène tend à réduire l'intensité du courant à la moitié de sa valeur. Si on voulait chercher directement quelle est la force électromotrice du couple en mettant ce couple en communication immédiate avec la balance électro-magnétique, on trouverait un nombre un peu supérieur à 40, car l'intensité du courant d'un seul couple n'est pas suffisante pour donner au

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

platine une action électromotrice inverse d'une intensité aussi grande qu'en employant une pile additionnelle; l'expérience a donné 48 pour cette valeur.

En opérant avec d'autres lames métalliques de même grandeur plongées dans de l'eau acidulée par de l'acide sulfurique au $\frac{1}{20}$, on a eu pour l'intensité électrique correspondant à 10 couples de Bunsen :

MÉTAUX.	FORCES ÉLECTROMOTRICES.			
	Action des couples simples formés par les différents métaux associés au zinc amalgamé et après polarisation.	Force électromotrice des différents métaux plongés dans l'eau acidulée.	Force électromotrice de la lame négative des couples augmentée de l'effet dû à la polarisation de l'hydrogène.	Effet dû à la polarisation des lames métalliques par l'hydrogène.
	milligr.			
Or	29,87	»	48,88	48,88
Platine	35,37	»	43,38	43,38
Argent	28,50	10,50	50,25	39,75
Mercure	17,50	21,50	61,25	39,75
Cuivre	24,25	27,06	54,50	27,50
Zinc amalgamé	—2,00	78,75	80,75	2,00
Zinc pur non amalgamé	2,00	77,00	76,75	—1,75

Les nombres de la deuxième colonne ont été trouvés directement comme dans l'expérience précédente, et donnent l'action comparative des couples simples formés en plongeant le zinc amalgamé et l'un de ces métaux dans l'eau acidulée au $\frac{1}{20}$, quand la polarisation par l'hydrogène est complète. Ceux de la troisième colonne ont été obtenus au moyen du procédé qui sera décrit plus loin. Les nombres de la quatrième colonne sont la différence des nombres de la deuxième et du nombre 78,75 qui exprime la force électromotrice du zinc amalgamé qui a servi aux expériences, ou la puissance du couple zinc amalgamé-platine avant toute polarisation; enfin ceux de la cinquième ont été obtenus en retranchant les nombres de la troisième colonne de ceux de la quatrième : ils représentent les effets de la polarisation des métaux par l'hydrogène seul.

On voit, d'après ce tableau, que la polarisation de l'or par l'hydrogène est plus forte que celle du platine; mais le nombre 43,36 que cette lame de platine a donné est plus fort que le nombre 33,30 obtenu plus haut. Ce résultat montre combien le phé-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nomène de polarisation est variable, puisque diverses lames de ce métal donnent des résultats différents; du reste, le platine platiné donne un nombre encore plus fort que le précédent. L'argent et le mercure se comportent comme se polarisant à un degré plus faible que les deux métaux dont on vient de parler; le zinc amalgamé a une faible polarisation; mais le nombre négatif que l'on a trouvé pour le zinc montre que ce métal est moins attaqué quand il est placé au pôle négatif d'un couple, à moins que l'action chimique exercée par le liquide ambiant n'empêche que le gaz hydrogène ne s'attache à sa surface et ne s'oppose à la polarisation; s'il en était ainsi, le nombre — 1,75 indiqué dans le tableau précédent proviendrait des erreurs que l'on peut avoir en opérant au moyen de ce procédé.

Les déterminations précédentes s'appliquent à l'effet dû à la polarisation pendant le passage de l'électricité; elles donnent la mesure de la tension que possède le courant inverse pour une intensité déterminée du courant primitif, et sous l'influence de celui-ci. Si l'on voulait conclure l'effet de polarisation de l'intensité du courant secondaire qui suit l'action de la pile, on pourrait être conduit à des nombres différents; mais il faut remarquer que ce courant secondaire n'ayant qu'une durée très-courte et diminuant d'intensité depuis le moment où on l'observe jusqu'à l'instant où il cesse, on ne peut déterminer que l'action moyenne pendant un certain intervalle de temps, action qui ne donne pas la tension à l'instant où le courant secondaire prend naissance. D'un autre côté, la durée de ce courant secondaire est très-variable, car lorsqu'il est dû à l'action de corps, tels que les oxydes, qui peuvent s'accumuler autour des lames, son intensité diminue moins rapidement que lorsqu'il provient d'une couche gazeuse qui disparaît très-vite. Je pense donc que la méthode employée ci-dessus conduit à l'expression la plus simple de l'effet de la polarisation électrique.

M. G. Planté [1] a donné une heureuse disposition à la pile secondaire et qui fait que celle-ci, pendant quelques instants, agit comme ayant une force électromotrice assez puissante : il a pris pour électrodes des lames de plomb; la lame de plomb positive, pendant le passage du courant de la pile extérieure qui doit

[1] *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. L, p. 640, mars 1860.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

charger la pile secondaire, se couvre de peroxyde et donne ensuite un courant secondaire dont l'action sera mesurée plus loin.

Si la lame négative de plomb ne se polarisait pas par la présence de l'hydrogène, en supposant que les lames de plomb fussent plongées dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$, la force électromotrice de ce couple secondaire serait représentée à l'instant où il entrerait en fonction par le nombre 63,51, qui exprime l'effet du peroxyde de plomb, auquel on devrait ajouter 53,25, nombre qui exprime l'action de l'eau acidulée sur l'autre lame et ainsi qu'on le verra dans le paragraphe IV; on aurait alors 116,76. Mais l'hydrogène polarisant le plomb, le nombre précédent doit être un peu augmenté. Pour déterminer la valeur de l'effet de polarisation entre certaines limites d'intensité, j'ai plongé deux fils de plomb dans de l'eau acidulée par l'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$, et j'ai fait passer successivement le courant de plusieurs couples dans cet appareil, en mesurant, avec la balance électro-magnétique, l'effet produit par la pile seule, et par la pile dans le circuit de laquelle l'appareil à fils de plomb se trouve interposé; la différence des effets donne, dans chaque cas, la mesure de la force électromotrice inverse due à la polarisation des deux lames, l'une par l'hydrogène, l'autre par le peroxyde de plomb qui colore le fil de plomb en brun au bout de quelques instants; j'ai obtenu ainsi :

NOMBRES des couples de la pile.	FORCE ÉLECTROMOTRICE			OBSERVATIONS.
	de la pile seule.	de la pile, plus de l'appareil décomposant à fils de plomb.	de l'appareil décomposant, ou effet de la polarisation sur les deux fils de plomb positifs et négatifs.	
	millim.			
1.	95,75	77 ?	18,75	L'effet de polarisation se fait sentir lentement; on mesure l'action 1/4 d'heure après l'introduction de l'appareil dans le circuit.
2.	191,0	82 ?	109 ?	id.
4.	379,0	262	117	
8.	760,0	626	134	
10.	946,0	812	134	

Dans les deux premières déterminations, la polarisation ne s'est produite que très-lentement; on a mesuré l'action un quart

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'heure après l'introduction de l'appareil dans le circuit, et nul doute qu'en attendant plus longtemps, l'effet de polarisation n'eût donné un nombre supérieur à ceux qui sont indiqués dans le tableau. Avec quatre couples et au delà, l'action n'a pas changé pendant un quart d'heure, ce qui a indiqué que la polarisation était à peu près complète et n'augmentait plus avec le temps. Dans les deux dernières expériences, l'effet est resté le même et est représenté par 134, l'action d'un couple de Bunsen étant 95. En supposant que l'intensité du courant de la pile extérieure passant dans le circuit des fils de la balance soit variable de 4 à 10 couples, la force électromotrice inverse serait, au moment du passage du courant, 134, c'est-à-dire par rapport au couple à acide azotique $\frac{134}{95} = 1,41$, ou près de une fois $\frac{1}{2}$ celle d'un de ces derniers couples.

En donnant aux lames de plomb une grande surface, comme l'a fait M. Planté, on diminue la résistance à la conductibilité et la pile secondaire a une assez grande puissance, mais seulement pendant un temps très-court, c'est-à-dire jusqu'à ce que le peroxyde formé par le passage du courant primitif soit décomposé. Cette pile donne donc, pour ainsi dire, des décharges après avoir été chargée au moyen d'une pile additionnelle.

Les gaz autres que l'oxygène et l'hydrogène, et même des corps solides et des corps liquides transportés sur les électrodes, donnent des effets de polarisation du même genre; mais comme ces substances ne se présentent pas dans les couples dont il est question ici, je n'en parlerai pas dans ce travail.

§ III. ACTION DES DISSOLUTIONS LES UNES SUR LES AUTRES.

Dans les couples à deux liquides l'action des dissolutions entre elles a une grande influence sur l'intensité du courant, et l'effet qui en résulte forme une partie notable de l'effet total observé. Mon père, dans ses recherches, a toujours insisté sur l'action des dissolutions entre elles, et l'on a vu précédemment comment il avait été conduit à la construction des piles à deux liquides dites piles à courant constant.

Pour déterminer les forces électromotrices exercées par deux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dissolutions l'une sur l'autre à l'aide de la balance électro-magnétique, on place, dans un vase cylindrique de 25 centimètres de hauteur et de 15 centimètres de diamètre, un diaphragme poreux cylindrique de même hauteur et de 6 centimètres de diamètre; dans l'intérieur de ce diaphragme on verse un des liquides actifs, tels que de l'acide azotique, une dissolution de sulfate de cuivre, etc.; à l'extérieur on met l'autre liquide; et dans chacun d'eux on plonge une large lame de platine ou d'or ou d'un des métaux qui seront indiqués plus loin. Aussitôt que le couple commence à agir sur la balance électro-magnétique, comme le courant polarise en général l'une ou les deux lames, le courant électrique diminue d'intensité; le moyen le plus sûr pour obtenir un nombre indépendant de la polarisation consiste à employer pour électrodes des lames de platine de plusieurs décimètres carrés de surface, préalablement lavées à l'acide azotique et chauffées au rouge, puis, à l'aide d'un transmetteur, à fermer le circuit et à déterminer le poids nécessaire pour équilibrer la balance électro-magnétique, et cela dans les premières secondes du passage du courant.

Si l'on répète l'expérience un grand nombre de fois, en ayant soin d'élever au rouge la température des lames, et en plaçant à l'avance sur la balance les poids nécessaires pour équilibrer celle-ci, on arrive à des nombres qui ne diffèrent plus que de $\frac{1}{2}$ milligramme; d'un autre côté, comme, en raison même de l'énorme résistance du circuit, il ne passe dans les premiers instants que peu d'électricité, et que les lames de platine sont très-larges, on obtient un effet indépendant du transport des gaz.

J'ai employé également plusieurs dispositions pour atteindre le même but, et quoique les résultats obtenus aient été à peu près les mêmes, j'ai donné la préférence à ce procédé d'expérimentation. On a eu de cette manière. (*Voir* le tableau ci-contre.)

Ces expériences ont été faites à des températures variables de 14 à 16 degrés, à l'exception de celles dans lesquelles on a employé l'eau acidulée et l'acide azotique qui ont été très-souvent répétées entre 12 et 17 degrés, et qui ont présenté des nombres variant entre 19,25 et 21, et en général un nombre assez voisin de 20. On voit que dans toutes ces expériences, sauf la première, les liquides, tels que l'eau acidulée, la potasse, etc., prennent l'électricité négative; avec le sulfate de cuivre l'effet électrique

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

COUPLES.				
LIQUIDES DU COUPLE.	DISPOSITION DU COUPLE.	Lame métallique placée à l'extérieur du diaphragme.	Lame métallique placée à l'intérieur du diaphragme.	FORCE ÉLECTROMOTRICE
Eau acidulée.	A l'extérieur, du diaphragme, eau acidulée au $\frac{1}{10}$ par l'acide sulfurique.	Platine+	Platine—	—5ml,50
Sulfate de cuivre. . . .	A l'intérieur, eau saturée de sulfate de cuivre.			
Eau acidulée.	A l'extérieur, eau acidulée par l'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$.	Platine—	Platine+	+ 7,50
Eau oxygénée	A l'intérieur, eau oxygénée (à 12 volum.) avec léger excès d'acide sulfurique et peut-être chlorhydrique.			
Eau acidulée.	A l'extérieur, eau acidulée par l'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$.	Platine—	Platine+	+ 7,55
Chlorure de platine. . .	A l'intérieur, dissolution saturée de chlorure de platine neutre.			
Eau acidulée.	A l'extérieur, eau acidulée par l'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$.	Platine—	Platine+	Sensible depuis 19,25 jusqu'à 21, suivant la température ambiante.
Acide azotique.	A l'intérieur, acide azotique ordinaire à 36° de l'aréomètre de Baumé.			
Eau acidulée.	A l'extérieur, eau acidulée par l'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$.	Platine—	Platine+	+ 37,80
Acide chromique. . . .	A l'intérieur, dissolution d'acide chromique (eau 1, acide 1).			
Eau acidulée.	A l'extérieur, eau acidulée par l'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$.	Platine—	Platine+	+ 37,25
Eau chlorée	A l'intérieur, eau chlorée saturée à 14° de température.			
Protosulfate de fer . . .	A l'extérieur, dissolution de protosulfate de fer.	Platine—	Platine+	+ 47,00
Eau chlorée	A l'intérieur, eau chlorée saturée.			
Acide chlorhydrique . .	A l'extérieur, acide chlorhydrique par et concentré.	Platine—	Platine+	+ 52,50
Acide azotique	A l'intérieur, acide azotique par et concentré.			
Dissolution de potasse. .	A l'extérieur, dissolution de potasse caustique (eau 400, potasse 100).	Platine—	Platine+	+ 55,50
		Or —	Or +	+ 44,10
		Argent—	Argent+	+ 44,50
Acide azotique.	A l'intérieur, acide azotique ordinaire.	Charb.—	Charb.+	+ 60,00
Persulfure de potassium.	A l'extérieur, dissolution de persulfure de potassium (eau 5, soufre 1).	Platine—	Platine+	+ 72,50
Acide azotique	A l'intérieur, acide azotique ordinaire.			

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est inverse. Dans la pile à gaz oxygène (acide nitrique et potasse) l'action varie avec la nature de l'électrode plongée dans la potasse; en employant l'or et l'argent, que la potasse n'attaque pas, l'effet est représenté par 44,5, alors que le platine donne 55,5; ainsi le platine se comporte comme s'il était légèrement attaqué par la dissolution alcaline. Si l'on remarque que la force électromotrice d'un couple à acide azotique est à peu près 98, et que celle d'un couple à sulfate de cuivre est environ 58, comme on le verra plus loin, il en résulte que, dans ces couples, l'action des dissolutions entre pour une partie notable dans la production du courant électrique; en effet, avec la première pile, cette action est environ le $\frac{1}{5}$ de celle du couple, et s'ajoute à l'action du liquide sur le zinc. D'un autre côté, la pile avec le persulfure de potassium et l'acide azotique offre l'exemple d'une pile dans laquelle la nature de l'électrode positive influe peu sur l'intensité de l'électricité produite, et où, au contraire, l'action des dissolutions est prépondérante. En effet, ce couple donne une force électromotrice de 72,5, quand les deux électrodes sont en platine; tandis que, si l'on remplace le platine qui est dans le persulfure de potassium par une lame de zinc, l'effet n'augmente que de 13,5 et devient 86,0.

Il y a deux de ces couples avec lesquels il n'est pas nécessaire d'opérer rapidement et qui donnent une action constante : ce sont les couples formés par l'action de l'acide azotique sur le persulfure de potassium, et celui qui résulte de l'action de l'eau chlorée sur le protosulfate de fer; en effet, les électrodes plongées dans ces liquides se trouvent complétement dépolarisées.

Les actions exercées par deux liquides s'observent dans toutes les circonstances où deux dissolutions conductrices dissemblables sont en contact; avec l'eau et des dissolutions alcalines ou acides, avec des dissolutions de même sel et inégalement saturées on observe des effets du même genre, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, et plus ou moins énergiques. Il se produit même un dégagement continu d'électricité dans la terre entre les eaux qui s'infiltrent dans les différents terrains. Nous renvoyons au mémoire cité ci-après [1] pour l'évaluation de la force

[1] *Ann. de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XLII, p. 385; Becquerel

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

électromotrice de ces couples terrestres, ainsi que pour les effets observés en employant des dissolutions salines chaudes ou froides, concentrées ou non. Du reste, je dois faire remarquer que les forces électromotrices qui résultent des actions des dissolutions les unes sur les autres changent avec la concentration et la température des liquides, et constituent la partie éminemment variable de la force électromotrice des couples et surtout des couples à deux liquides.

§ IV. FORCES ÉLECTROMOTRICES DUES A L'ACTION DES LIQUIDES SUR LES MÉTAUX.

Si l'on plonge dans un liquide deux lames métalliques en communication avec les deux extrémités du fil de la balance électromagnétique, que l'une des lames soit faite d'un métal dont on cherche la force électromotrice, et que l'autre soit en platine, il se produit un courant électrique faisant dévier la balance. Le poids nécessaire pour ramener l'aiguille à sa position d'équilibre exprime la différence entre les deux forces électromotrices exercées de la part du liquide sur les deux lames métalliques; or, du côté positif, là où se trouve le métal altérable, le dégagement d'électricité résulte seulement de l'action chimique du liquide, et il n'y a aucune polarisation due à l'oxygène transporté électro-chimiquement, car ce gaz sert à l'oxydation du métal; du côté négatif, si l'on emploie une lame de platine comme lame négative, l'action électromotrice est en général nulle, car ce métal n'est pas attaqué; mais aussitôt que le couple fonctionne, l'hydrogène transporté électro-chimiquement polarise la lame, et l'intensité du couple diminue. En opérant rapidement et en se servant d'une lame de platine très-large, préalablement lavée à l'acide azotique bouillant et portée au rouge, on trouve dans les premiers instants un nombre qui est indépendant de la polarisation due à l'hydrogène. Aussi, en remplissant ces conditions, l'expérience donne-t-elle immédiatement la force électromotrice provenant de l'action du liquide sur le métal altérable.

et E. Becquerel, *Traité d'électricité* en 3 volumes, 1856, t. III, p. 394. — *Mémoires de l'Académie des sciences*, de l'Institut, t. XXVII, 1858.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce procédé est exact quand on opère avec soin; mais malgré cela j'ai cherché à le contrôler par différents moyens.

Si l'on remplace le platine par l'or, on trouve que dans l'eau acidulée, et dans les liquides qui ne renferment pas de chlore, ces deux métaux se comportent de même, et n'ont pas de force électromotrice bien sensible, surtout par rapport à celle des métaux oxydables que l'on étudie; si l'on se sert de dissolutions alcalines, il est nécessaire d'employer l'or, car le platine se comporte comme attaqué par ces liquides. En substituant à l'or et au platine du charbon, on a l'avantage d'avoir une électrode dont la matière agit comme absorbant du gaz hydrogène, et qui permet au courant de conserver la même intensité pendant assez longtemps. Cependant, les expériences ont montré que ce corps se comporte comme ayant dans l'eau acidulée une force électromotrice mesurée par 4,75, c'est-à-dire qu'il tend à prendre l'électricité négative par rapport à ce liquide. D'un autre côté, les expériences qui seront citées plus loin montrent que dans l'acide azotique le charbon, même pur, se comporte comme ayant une force électromotrice mesurée par 2,0. Comment expliquer la force électromotrice développée par le charbon dans les deux cas? On peut bien supposer que le charbon subit une légère altération dans l'acide azotique, mais dans l'eau acidulée il n'est guère possible d'admettre une action de ce genre. Si cela n'a pas lieu, ces effets pourraient peut-être provenir d'une certaine quantité de gaz oxygène absorbée primitivement par le charbon, ou de matières mélangées à sa masse, malgré les précautions prises lors de sa préparation. Pour résoudre cette question et savoir si le couple charbon-platine donne dans toutes les circonstances un courant électrique indiquant que le charbon se conduit comme substance altérable, il faudrait faire des expériences directes; quoi qu'il en soit, on ne peut se servir de ce corps comme d'électrode négative pour déterminer exactement la force électromotrice due à l'action exercée sur l'électrode positive d'un couple.

J'ai cherché à dépolariser l'électrode négative en mettant cette dernière en mouvement au milieu du charbon, comme dans les expériences dont j'ai parlé au commencement de ce mémoire, page 261; mais on observe une diminution dans l'intensité du courant qui s'oppose à l'emploi de ce moyen.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On a employé, pour déterminer la force électromotrice développée par l'action des liquides sur les métaux, en même temps que le premier procédé indiqué plus haut, le procédé suivant, qui permet de faire plus rapidement les expériences. Dans un vase en verre CD (fig. 2), on place deux diaphragmes poreux : l'un d'eux contient de l'acide azotique et est destiné à recevoir une lame de platine A; l'autre renferme la dissolution qui doit agir sur le métal altérable et une lame de ce métal B; le vase CD renferme la même dissolution que le dernier diaphragme. De cette manière on a un couple à deux liquides séparés par des cloisons perméables et qui fonctionne d'une manière constante, car la dépolarisation de la lame négative a constamment lieu par suite de la présence de l'acide azotique. Le second vase poreux permet, après quelques instants d'action, d'enlever le liquide qu'il contient et de le remplacer par un autre; on évite ainsi le changement de nature du liquide qui attaque le métal positif et le mélange de l'acide azotique avec lui lorsqu'on fait plusieurs expériences consécutives. On commence par déterminer l'effet électrique résultant de l'action des deux liquides l'un sur l'autre, ainsi qu'on l'a dit précédemment, puis on retranche le nombre obtenu dans cette circonstance de celui qui exprime l'effet du couple. La différence entre les deux nombres peut être considérée comme représentant la force électromotrice du métal positif plongé seul dans le liquide. Ce procédé a donné les mêmes résultats que le premier.

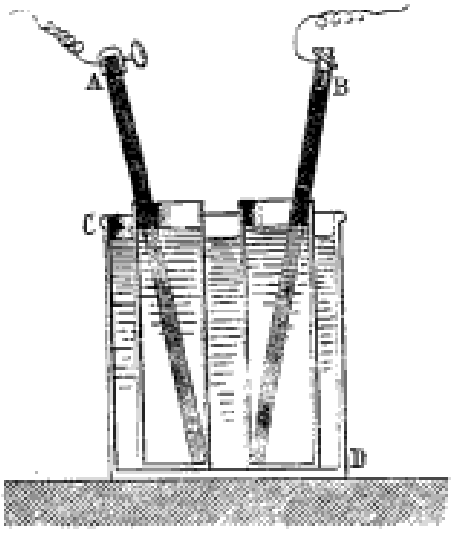


Fig. 2.

Les variations de température, en changeant la puissance magnétique des barreaux de la balance, peuvent s'opposer à ce que les nombres qui expriment les forces électromotrices soient comparables d'un jour à l'autre. Afin d'éviter cette cause d'erreur, on a rapporté tous les nombres à ceux que donne le zinc distillé, puis fondu, non-seulement dans le liquide que l'on examine, mais encore dans l'eau acidulée au $\frac{1}{10}$. On a employé également dans chaque cas le zinc amalgamé, quoique ce dernier donne

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des résultats qui présentent quelques variations, et ainsi qu'on le verra plus loin. On a obtenu ainsi :

MÉTAUX.	EAU ACIDULÉE par l'acide sulfurique. Eau 9 — Acide 1. Force électromotrice.		EAU ACIDULÉE par l'acide chlorhydrique. Eau 10 — Acide 1. Force électromotrice.		DISSOLUTION de potasse caustique. Eau 4 — Potasse 1. Force électromotrice.	
	par expérience.	par rapport au zinc.	par expérience.	par rapport au zinc.	par expérience.	par rapport au zinc.
Amalgame de potassium (mercure... 100 / potassium .. 1)	137,32	173,3	»	»	»	»
Zinc amalgamé sans excès de mercure..	81,75	103,2	82,75	102,1	81,0	103,8
Zinc pur.....	79,25	100,0	81,90	100,0	78,0	100,0
Cadmium	62,75	79,2	66,75	82,4	55,0	70,5
Plomb	52,75	66,6	53,25	65,7	50,0	64,1
Étain	52,25	65,9	53,75	66,4	67,25	86,2
Fer.....	48,75	61,5	49,75	61,4	50,0?	64,1?
Aluminium	40,75	51,4	66,75	82,4	85,0	109,0
Nickel	35,75	45,1	38,75	47,8	24,0	30,7
Cobalt.....	34,75	43,9	37,75	46,6	31,0	39,7
Bismuth	29,30	37,2	33,00	40,7	36,0	46,2
Antimoine	27,75	35,0	28,75	35,5	48,25	61,8
Cuivre	27,75	35,0	36,75	45,4	33,0	42,3
Argent.....	17,25	21,8	27,25	33,6	0	0
Mercure	25,00	31,6	»	»	»	»
Or.....	0	0	»	»	»	0
Platine.....	0	0	»	»	10,0?	12,8?

Dans ces diverses réactions, le métal attaqué prend toujours un excès d'électricité négative, et le liquide actif un excès d'électricité positive; les nombres indiqués dans chaque colonne, comme rapportés au zinc pur, le sont par rapport au liquide du couple lui-même.

Ce tableau permet d'examiner comment la nature du liquide actif influe sur la production de l'électricité; on voit que partout où l'action chimique est vive, le dégagement d'électricité est considérable.

En employant de l'eau acidulée par l'acide sulfurique, on a reconnu que le degré d'acidité a peu d'influence sur la force électro-motrice; c'est pour ce motif que l'on n'a rapporté que les résultats donnés par le liquide usité habituellement dans les couples.

Avec la potasse caustique, l'ordre des métaux, par rapport aux forces électromotrices, se trouve changé. Si l'on fait abstraction du potassium, le métal qui donne la force électromotrice la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plus considérable, parmi ceux qui sont cités dans ce tableau, est l'aluminium : son action est supérieure à celle du zinc; mais aussi l'action chimique que la dissolution alcaline exerce sur ce métal est très-vive, car on voit un dégagement d'hydrogène se produire comme cela arrive en plongeant une lame de zinc ordinaire dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique. L'antimoine, qui, de même que l'aluminium, peut former un composé acide s'unissant à la potasse, conduit également à une force électromotrice assez forte en présence de la dissolution de potasse.

Je dois signaler un fait assez curieux que l'on observe en opérant avec cette dernière dissolution : le fer, le nickel et le cobalt, dans les premiers instants, donnent une action bien marquée; mais, aussitôt que le courant électrique circule, celui-ci diminue d'intensité, et ces métaux agissent comme s'ils étaient moins attaqués qu'au commencement de l'opération. Dans cette circonstance, ils deviennent inactifs et présentent les mêmes particularités que le fer passif. Pour faire cesser cet effet, il suffit de plonger les lames métalliques dans de l'eau acidulée par l'acide sulfurique. Aussi, les nombres qui expriment le pouvoir électromoteur de ces métaux, relativement à la dissolution de potasse, sont-ils accompagnés dans le tableau d'un point d'interrogation.

Il y a deux métaux qui conservent avec presque tous les liquides employés les mêmes rapports de force électromotrice: ce sont le zinc et le plomb. L'action de ce dernier est à peu de chose près les $\frac{2}{3}$ de celle du zinc.

Il est facile de déterminer, d'après ce tableau, la force électromotrice d'un couple simple formé de deux métaux différents plongés dans un des liquides qui s'y trouvent cités : il suffit de prendre la différence des forces électromotrices relatives à ces métaux. Supposons qu'il s'agisse des forces électromotrices relatives des couples zinc-platine et zinc-cuivre dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$, les effets produits sur la balance seront exprimés par les nombres :

Zinc-platine. . . . $79{,}25 - 0{,}00 = 79{,}25$,

Zinc-cuivre. . . . $79{,}25 - 27{,}75 = 51{,}50$,

et le rapport des effets sera 100 : 65.

Il est bien entendu que ces actions représentent les forces électromotrices au premier instant de l'action électrique et avant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

toute polarisation; aussitôt que le gaz hydrogène arrive sur la lame négative, cette lame se polarise, et l'intensité du couple diminue, comme il a été établi au commencement de ce travail. En admettant le nombre 39,45 pour exprimer la force électromotrice du couple zinc amalgamé-platine dans l'eau acidulée, quand l'hydrogène a complétement polarisé la surface négative, on voit que ce couple n'aurait qu'une force électromotrice qui ne serait que la moitié de celle du même couple avant toute polarisation et un peu plus du $\frac{1}{9}$ de celle d'un élément à acide azotique. Telle est la force électromotrice du couple appelé couple de Smée; le seul avantage que peut présenter une pile de ce genre est de permettre de rapprocher beaucoup les surfaces et d'avoir une faible résistance à la conductibilité.

Si l'on compare de cette manière les effets dus à différents couples simples plongés dans divers liquides, on trouve qu'il peut y avoir des courants de différents sens avec le même couple, suivant la nature du liquide environnant : ainsi, le couple antimoine-cuivre, qui dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique donne une action à peine appréciable, dans l'eau acidulée par l'acide chlorhydique donne un courant dirigé dans un sens tel, que le cuivre prend l'électricité négative; dans une dissolution de potasse caustique, l'effet est inverse.

Les nombres compris dans le tableau précédent ont été rapportés au zinc distillé, car le zinc amalgamé ne donne pas des résultats aussi constants; si ce métal offre un excès de mercure à la surface, il conduit à des nombres un peu supérieurs à ceux qu'il donne sans excès de mercure.

On verra, dans le tableau ci-contre, quelques-uns des résultats obtenus avec plusieurs amalgames, et en faisant usage seulement de l'eau acidulée par l'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$. Pour agir avec les amalgames, on les a placés dans un diaphragme en porcelaine perméable, imbibé d'eau acidulée, mais essuyé à l'intérieur afin qu'il n'y ait pas excès de liquide; puis on a fait plonger dans la masse le bout d'un fil de platine, dont la plus grande longueur était soudée dans un tube de verre.

On a vu précédemment que le platine recouvert d'oxygène par polarisation agit par rapport aux liquides des couples comme prenant l'électricité positive, en donnant lieu à un courant inverse de celui qui prendrait naissance si l'on opérait avec un métal oxy-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SUBSTANCES.	FORCE ÉLECTROMOTRICE rapportée au zinc.
Zinc pur fondu	100,00
Mercure distillé	31,55
Zinc amalgamé (sans excès de mercure)	102,55
Id. (autre expérience)	103.84
Id. (avec excès de mercure)	104.85
Amalgame de zinc pâteux (1 zinc, 10 mercure)	101,25
Id. liquide (1 zinc, 20 mercure)	100,75
Id. liquide (1 zinc, 30 mercure)	100.75
Amalgame de manganèse pâteux	109,89
Id. liquide	110,21
Amalgame d'ammonium pâteux	150,35[1]
Amalgame de barium pâteux	154,95
Id. liquide (avec addition de mercure)	149,06
Amalgame de calcium pâteux	160,19
Amalgame de sodium pâteux (1 sodium, 50 mercure)	172,95
Id. liquide (1 sodium, 100 mercure)	171,96
Id. liquide (1 sodium, 200 mercure)	170,65
Amalgame de potassium (1 potassium, 100 mercure)	173,27
Id. (1 potassium, 200 mercure)	173.27
Id. (1 potassium, 400 mercure)	171,63

[1] L'action diminue rapidement (il faut opérer dans les premiers instants).

dable. Les peroxydes métalliques jouissent de la même propriété, ainsi que mon père l'a montré en faisant usage du peroxyde de manganèse, et comme l'ont vérifié MM. Schœnbein et Delarive avec le peroxyde de plomb. Il est possible qu'entre ces substances et le liquide actif il se produise une action analogue à celle qui a lieu entre l'acide azotique ou l'eau chlorée et l'eau acidulée; en tout cas, l'effet électrique produit est dirigé dans le même sens. En opérant avec des lames entourées de peroxydes, et en ajoutant aux résultats obtenus quelques-uns de ceux qui ont été indiqués plus haut à l'occasion de l'action des dissolutions les unes sur les autres, on peut former le tableau suivant, dans lequel les nombres sont rapportés à la force électromotrice du zinc pur, non amalgamé, prise égale à 100, et agissant en sens contraire:

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SUBSTANCES.		FORCE ÉLECTROMOTRICE Celle du zinc étant = 100.	TEMPÉRATURE.
Liquides en présence de l'eau acidulée par l'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$. (Eau 9, acide 1).....	Eau oxygénée (à 12 vol. oxygène).	+ 9,46	16°
	Dissolution saturée de chlorure de platine.....	+ 9,94	14°
	Acide azotique concentré.....	+25,60	14°
	Acide chromique.....	+35,13	16°
	Eau chlorée saturée.....	+47,75	14°
Peroxyde en présence de l'eau acidulée par l'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$.	Peroxyde de manganèse du commerce.....	+24,50	14°
	Peroxyde de manganèse en couche galvanique sur du platine.....	+43,71	14°
	Peroxyde de plomb pur en poudre.	+60,22	14°
	Peroxyde de plomb en couche galvanique sur du platine.....	+63,51	14°

Avec ces différentes substances employées au pôle négatif, l'acide chromique excepté, non-seulement la dépolarisation est complète, mais encore il y a une force électromotrice qui augmente l'intensité des couples; aussi, lorsque ces derniers ont une électrode positive altérable, ils sont à courants constants, si le liquide qui entoure cette électrode conserve la même composition.

L'acide chromique, placé au pôle négatif, a présenté une diminution rapide dans l'intensité du courant, preuve d'une polarisation du platine qui plonge dans le liquide; il faut donc opérer dans ce cas avec promptitude. Si l'on veut faire usage d'une dissolution de bichromate de potasse, on trouve que la polarisation se manifeste presque immédiatement, comme avec l'eau acidulée par l'acide sulfurique; ainsi, l'acide chromique agit comme corps oxydant doué d'une action assez énergique; mais, à cause de ces effets, cet acide ne doit pas être employé seul dans la construction des piles à courant constant. Toutefois, en agitant la lame ou bien en insufflant un gaz pour agiter le liquide, on renouvelle les couches d'acide chromique qui sont en contact avec la lame négative, et le couple devient constant.

Si l'on veut connaître la force électromotrice d'un couple constant formé par un métal oxydable, plongeant dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$ et par du platine entouré d'un des liquides dont on vient de parler, ou bien d'un peroxyde, il

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

faut ajouter aux nombres indiqués dans la colonne de l'eau acidulée du tableau cité au commencement de ce paragraphe, et rapportés à l'action du zinc prise égale à — 100, les nombres insérés dans le tableau précédent. On reconnaît alors que la force électromotrice la plus grande est celle qui résulte du couple formé par l'amalgame de potassium et par une couche galvanique du peroxyde de plomb, et qui donne 236,78, l'action sur le zinc étant 100. Ce couple a donc une force électromotrice qui est presque le double de celle d'un couple à acide azotique.

§ V. FORCES ÉLECTROMOTRICES DES DIFFÉRENTES PILES; COUPLES A ACIDE AZOTIQUE, A SULFATE DE CUIVRE ET A SULFATE DE PLOMB.

Il est facile de comparer entre elles les forces électromotrices de couples quelconques, pourvu que l'on prenne leurs dimensions suffisantes, afin que leur résistance à la conductibilité puisse être supposée nulle par rapport à celle des fils de bobines de la balance électro-magnétique.

J'ai opéré pour cela avec des couples dont les vases poreux cylindriques avaient au moins 12^{c},5 de hauteur et 5^{c} de diamètre.

Lorsque ces piles fonctionnent et que l'on a soin de maintenir les liquides au même degré de concentration à l'aide d'un système de siphons, elles conservent la même force électromotrice; si, au contraire, on ne change pas les liquides qu'elles renferment, alors l'action diminue sans cesse depuis l'instant où elles commencent à fonctionner.

Dans les déterminations il faut avoir égard : 1° à la force électromotrice exercée sur la lame positive; 2° à celle qui se produit sur la lame négative; 3° à l'action des deux liquides l'un sur l'autre, si la pile est à deux liquides.

Le signe + placé devant les nombres indique que l'effet électrique dû à l'action des deux dissolutions est de même sens que celui qui est produit sur l'électrode positive; le signe — signifie qu'il est en sens contraire. Ainsi, dans chaque cas, il faut, pour avoir la force électromotrice, ajouter les nombres avec leurs signes respectifs.

On voit, d'après ces résultats, que l'action des dissolutions entre pour une partie notable dans l'effet de chaque couple;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DISPOSITION des COUPLES	FORCE ÉLECTROMOTRICE — Due à l'action exercée sur l'électrode positive : Par expériences.	Par rapport au zinc dans l'eau acidulée au $\frac{1}{10}$.	Due à l'action exercée sur l'électrode négative : Par expériences.	Par rapport au zinc dans l'eau acidulée au $\frac{1}{10}$.	Due à l'action des dissolutions : Par expériences.	Par rapport au zinc dans l'eau acidulée au $\frac{1}{10}$.	DU COUPLE : Par expériences.	Par rapport au zinc dans l'eau acidulée au $\frac{1}{10}$.
Zinc pur, eau acidulée par l'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$. Platine, acide azotique ordinaire à 36° de l'aréomètre . . .	79,40	100,00	»	»	+21,00	+28,04	95,00	128,04
Zinc amalgamé, eau acidulée par l'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$. Platine, acide azotique.	78,00	104,14	»	»	+21,00	+28,04	99,00	132,18
Zinc pur, eau acidulée par l'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$. Cuivre, eau saturée de sulfate de cuivre.	74,90	100,00	—15,40	—20,56	— 5,50	— 7,34	54,00	72,10
Zinc amalgamé, eau acidulée au $\frac{1}{10}$. Cuivre, eau saturée de sulfate de cuivre.	78,00	104,14	— 15,40	—20,56	— 5,50	— 7,34	57,10	76,24
Zinc, eau acidulée au $\frac{1}{10}$. Platine, dissolution saturée de chlorure de platine.	79,50	100,00	»	»	+ 7,75	+ 9,76	87,25	109,76
Zinc amalgamé, eau acidulée au $\frac{1}{10}$. Platine, eau chlorée.	82,75	103,44	»	»	+37,25	+46,56	120,00	150,00
Zinc amalgamé, dissolution de potasse (eau 4, potasse 1). Platine, acide azotique	81,00	103,85	»	»	+45,00	+57,69	126,00	161,54
Zinc pur, persulfure de potassium (eau 5, persulfure 1). Platine, acide azotique.	13,50	17,31	»	»	+72,50	+92,95	86,00	110,26

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

car, dans les piles suivantes, zinc, eau acidulée, platine, acide azotique, l'effet des dissolutions entre pour les 0,22 de l'effet total et a lieu dans le même sens. Avec zinc, eau acidulée, platine, eau chlorée, il entre pour 0,31 de l'effet total; le couple zinc potasse, platine acide azotique, donne pour effet des dissolutions 0,35; celui zinc persulfure de potassium, platine acide azotique, donne 0,84 de l'effet total. Ainsi ce dernier couple offre un exemple dans lequel la nature de l'électrode positive a peu d'influence sur l'intensité du courant produit. Avec le couple zinc eau acidulée, cuivre sulfate de cuivre, l'action des dissolutions n'entre que pour $\frac{1}{10}$ dans l'effet total, mais elle a lieu en sens inverse de celle qui est exercée sur le zinc. Dans cette circonstance, il faut tenir compte de la force électromotrice exercée par le sulfate de cuivre sur le cuivre lui-même, et qui n'est pas nulle, comme on pourrait le supposer; seulement, au lieu d'être 27,75, comme avec l'eau acidulée, elle n'est que 15,40, comme on l'a trouvé directement par expérience.

Il résulte également de ce tableau que si l'on prend pour unité la force électromotrice du couple zinc amalgamé eau acidulée, platine acide azotique, c'est-à-dire celle du couple de Grove et qu'on la représente par 100, on aura, dans les mêmes conditions, avec le cuivre et le sulfate de cuivre au pôle négatif 57,67.

Du reste, d'autres expériences faites à diverses reprises ont donné pour les différents couples en usage actuellement dans l'industrie, les nombres suivants :

Couples à acide azotique.	Couples de Grove,	zinc amalgamé, eau acidulée par l'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$ ..... platine, acide azotique à 36° de l'aréomètre		100
	Couples de Bunsen,	zinc amalgamé, eau acidulée par l'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$ ...	charbon de coke	variable de 97,25 à 99,50
		charbon, acide azotique à 36°	charbon des cornues à gaz	variable de 98,50 à 99.
Couples à sulfate de cuivre.	.....	zinc amalgamé, eau saturée de chlorure de sodium ..... cuivre, dissolution saturée de sulfate de cuivre non acidulé		variable de 60 à 63.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Couples à sulfate de cuivre.	zinc amalgamé, eau acidulée par l'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$ ..... / cuivre, dissolution saturée de sulfate de cuivre non acidulé.....	variable de 57,8 à 58,50.
Couples à sulfate de plomb.	zinc amalgamé, eau contenant du chlorure de sodium..... / plomb, sulfate de plomb en masse compacte perméable.....	entre 29 et 30.
	zinc amalgamé, eau acidulée par l'acide sulfurique..... / plomb, sulfate de plomb.....	entre 26 et 28.

On a rapporté les nombres précédents à la force électromotrice d'un couple de Grove; mais il est facile, d'après les nombres indiqués dans le paragraphe 4, de faire cette détermination par rapport au zinc distillé attaqué par l'acide sulfurique.

On voit, d'après ce tableau, que dans les couples de Bunsen le charbon ne se comporte pas comme inactif, et que, suivant les matières étrangères qu'il renferme, il donne une force électromotrice inverse de celle du couple, mais qui ne dépasse pas $\frac{2,5}{100}$; aussi la force électromotrice peut-elle varier de 97,25 à 99,50 suivant la pureté des charbons. Il est bien entendu qu'on opère dans les premiers instants de l'effet des couples, car la force électromotrice qui est fonction de l'action des dissolutions entre elles va sans cesse en diminuant. Ainsi, un couple de Bunsen qui donne 98 dans les premiers instants, arrive à marquer 97,96, et même 95 comme force électromotrice après deux ou trois heures d'action; cette diminution dépend de la quantité de liquide que renferme le couple et par conséquent de ses dimensions; ce n'est qu'en changeant de nouveau les dissolutions qu'on retrouve les mêmes nombres qu'au commencement de l'opération.

Avec les couples à sulfate de cuivre, l'action a varié de 57,8 à 58,50 en se servant d'eau acidulée; cette variation provient de la nature de la dissolution de sulfate qui n'est pas la même et de l'action des dissolutions l'une sur l'autre. En substituant l'eau salée à l'eau acidulée, la force électromotrice augmente.

La force électromotrice est indépendante de la disposition des couples, que les diaphragmes soient en porcelaine, en plâtre, en toile à voiles, que les couples soient montés avec des vases à niveau constant renfermant du sulfate de cuivre comme on les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

emploie pour l'horlogerie électrique, peu importe; la nature des liquides seule et celle des métaux du couple, quelle que soit la disposition de celui-ci, influent sur la force électromotrice.

On n'a pas rapporté dans le tableau les forces électromotrices des piles simples à un liquide et sans diaphragmes comme celle de Wollaston, de Faraday, de Muncke, de Smée, lesquelles sont peu différentes l'une de l'autre. On a vu antérieurement que le courant qu'elles donnaient n'était pas constant, par suite de la polarisation des lames négatives; leur intensité primitive est environ 80, et si la polarisation était complète leur force électromotrice pourrait être réduite à moitié.

Le couple formé par le zinc, le charbon et le sulfate de mercure, n'est pas non plus à courant constant; le charbon se polarise, et sa force électromotrice qui est assez élevée, puisqu'elle peut aller jusqu'à 72 ou 74 au commencement de l'action de ce couple, baisse bien vite quand le circuit extérieur est bon conducteur.

Le couple proposé par M. Doat, et qui consiste à prendre pour métal altérable le mercure, pour liquide actif l'iodure de potassium, et pour seconde électrode une plaque de charbon de cornue, a une force électromotrice faible, 32,5, qui se rapproche beaucoup de celle que l'on pourrait calculer d'après l'action exercée par l'eau acidulée sur le mercure pur.

La pile à bichromate de potasse et à charbon sans diaphragme, dans laquelle on insuffle de l'air pour agiter la masse et dépolariser l'électrode négative par le renouvellement des couches d'acide chromique (car on a vu précédemment que cet acide sans cette précaution ne dépolarisait pas complétement la lame), a une force électromotrice qui est peu différente de celle d'un couple à acide azotique. Elle ne peut servir que pendant très-peu d'instants et quand on a besoin d'une pile de faible résistance à la conductibilité, principalement pour des effets calorifiques de courte durée.

La pile à sulfate de plomb mentionnée dans le tableau rapporté plus haut fonctionne très-régulièrement et donne un courant électrique qui est parfaitement constant. L'idée d'employer des substances insolubles, et notamment le sulfate de plomb pour dépolariser l'électrode négative des couples, appartient à mon père, et ainsi qu'on l'a dit au commencement de ce mémoire, en construisant des piles d'après ses recherches, j'ai été conduit à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'observation d'une propriété nouvelle du sulfate de plomb[1], qui a permis de rendre simple et facile son emploi dans les piles voltaïques.

Le sulfate de plomb jouit de la propriété, lorsqu'on l'a délayé à l'état de pâte avec une dissolution saturée de chlorure de sodium, d'acquérir de la compacité et de durcir. On peut alors mouler des cylindres avec cette pâte de sulfate de plomb, en ayant soin de placer au centre une tige de cuivre, de plomb, de fer étamé ou de charbon. Ces cylindres une fois desséchés sont perméables au liquide conducteur dans lequel on les plonge, et avec une lame en zinc et ce liquide ils constituent un couple à courant constant. On peut également mouler des plaques avec cette matière, et en faisant reposer ces plaques au fond d'un vase sur un support conducteur en plomb, si l'on suspend une lame de zinc au-dessus et que le vase renferme une dissolution de chlorure de sodium ou de l'eau acidulée, on forme également un couple à courant constant à un seul liquide et sans diaphragme.

Dans la seconde partie de ce travail, on décrira avec détail le mode de préparation de ces couples, leurs formes et leurs dimensions; je dois cependant dire ici que, pour éviter qu'ils ne se délitent quand on en fait usage, il est nécessaire d'enduire les masses perméables de sulfate de plomb d'une couche de plâtre qui non-seulement les maintient solides, mais encore sert de diaphragme, pour empêcher le contact du plomb réduit et du zinc.

L'action de cette pile donne lieu à une réduction du sulfate de plomb autour du pôle négatif, de sorte qu'il suffit de prendre une tige de plomb comme tige conductrice centrale. Du reste, il est facile de voir que la force électromotrice de ce couple est celle qui résulte du tableau indiqué précédemment paragraphe 4, page 284, en supposant qu'il n'y ait aucune polarisation : en effet, le nombre qui représente la force électromotrice du zinc dans l'eau acidulée est 79,25; celui qui représente celle du plomb est 52,75; la différence est 26,50. Cette force électromotrice, étant évaluée par rapport au couple de Grove pris égale à 100, devient 27,50; or l'expérience a donné pour le couple à sulfate de plomb dans l'eau acidulée un nombre variable entre 26 et 28. On voit donc que

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXX, p. 683.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le sulfate de plomb n'agit pas sensiblement d'une autre manière que comme dépolarisant la lame de plomb négative.

La forme d'une pile n'ayant aucune action sur la force électromotrice, je me borne ici à ces indications au sujet de ces nouveaux couples; dans la seconde partie du travail, lorsque je parlerai de leur résistance à la conductibilité, j'indiquerai quelles sont les dimensions et les formes nécessaires pour obtenir un effet déterminé.

Je citerai encore les nombres suivant comme exprimant la force électromotrice des couples que l'on peut former en substituant au sulfate de plomb d'autres composés insolubles capables de dépolariser la lame négative; ces composés peuvent être placés dans un diaphragme poreux, ou enveloppés de plâtre. Le métal attaqué est toujours le zinc, et le liquide actif l'eau salée marquant 6 degrés à l'aréomètre de Baumé :

Electrode négative.	Force électromotrice.
Platine et acide azotique	100
Antimoine et acide antimonique	58
Argent et chlorure d'argent	51
Cuivre et bioxyde de cuivre	25

Je me suis borné à signaler ici les forces électromotrices des couples habituellement en usage; si l'on voulait connaître celle des piles que l'on pourrait former à l'aide de métaux et des dissolutions mentionnées dans les tableaux cités précédemment, il suffirait d'additionner les nombres qui s'y trouvent rapportés avec leurs signes respectifs.

§ VI. FORCE ÉLECTROMOTRICE A DIFFÉRENTES TEMPÉRATURES.

Il était essentiel d'examiner comment les variations de température pouvaient modifier les forces électromotrices des couples. On sait très-bien que si on élève jusqu'à 100 degrés la température d'un couple à courant constant, à sulfate de cuivre ou à acide nitrique, son énergie augmente beaucoup; mais comme sa résistance à la conductibilité diminue, ainsi qu'on le verra plus loin, il est important d'examiner si l'augmentation d'intensité ne tient pas uniquement à la variation de résistance, et si la force électromotrice elle-même ne vient pas à changer.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On a placé alors un couple à acide azotique dans un vase rempli d'eau dont on a fait varier la température depuis 14 jusqu'à 90 degrés. La lame positive employée a été successivement en zinc amalgamé et en zinc pur; on a eu :

		Force électromotrice.
A 14° de température.	Couple à zinc ordinaire	94 mill. 00
	Couple à zinc amalgamé....	97 75
A 90° de température.	Couple à zinc ordinaire	98 00
	Couple à zinc amalgamé....	102 00

La force électromotrice a donc augmenté de près de 0,04 de sa valeur entre 14 et 90 degrés; mais, dans ce couple comme dans tous les couples à deux liquides et ainsi qu'on l'a vu dans le paragraphe 3, l'action des dissolutions l'une sur l'autre intervient dans la manifestation de l'effet électrique, et il est nécessaire d'examiner si l'augmentation d'intensité électrique tient au changement produit sur les lames métalliques, ou bien à celui qui peut s'opérer au contact des dissolutions.

Pour séparer les deux actions on a disposé un couple à acide azotique, de façon à ce que l'élévation de température portât seulement sur le zinc et sur une partie de l'eau acidulée par l'acide sulfurique. Pour cela, on a placé dans une capsule un peu profonde une lame de zinc et de l'eau acidulée au $\frac{1}{10}$; à côté on a mis un vase en verre également rempli d'eau acidulée et communiquant à la capsule à l'aide d'un siphon. Dans ce dernier vase plongeait un diaphragme poreux contenant de l'acide azotique et une lame de platine. Il est évident, d'après cette disposition, qu'on a pu élever la température du liquide de la capsule et celle de la lame de zinc sans faire varier la température des liquides et du platine qui se trouvaient à l'extérieur, car le siphon s'opposait au passage du liquide échauffé de l'autre côté.

En opérant à plusieurs reprises avec des lames de zinc ou de cuivre, comme métal oxydable, puis plongeant successivement la lame en zinc dans la capsule renfermant le liquide échauffé jusqu'à l'ébullition et dans le vase extérieur contenant le même liquide à 12° de température, on n'a trouvé que des différences à peine appréciables entre les effets, et indiquant que s'il y a un changement dans la force électromotrice quand la température varie entre 0 et 100°, elle est à peine représentée par une diminution d'effet exprimée par une fraction de milligramme et n'allant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pas au $\frac{1}{300}$ de la valeur de cette force électromotrice ; il résulte de là que l'augmentation trouvée précédemment tient en grande partie à l'effet produit au contact de l'acide azotique et de l'eau acidulée du couple employée. Cependant, cette constance dans l'indication de la force électromotrice ne permet pas d'assurer que la force électromotrice produite lors de la réaction de la dissolution sur le métal n'éprouve pas une faible diminution de 1 à 2 centièmes de sa valeur, quand la température varie de 12 à 90° ; car, d'après la disposition précédente et par l'intermédiaire du siphon, au contact de l'eau acidulée chaude et de l'eau acidulée froide il se produit un effet électrique d'après lequel le premier liquide est négatif. Si donc on observe le même effet dans l'expérience précédente à chaud et à froid, la seule conclusion rigoureuse qu'on en puisse déduire, est que l'action électrique résultant du contact de l'eau acidulée chaude compense la diminution de force électromotrice du métal échauffé. Mais, en tout cas, quel que soit l'effet produit, il reste évident que la force électromotrice d'un métal plongé dans un liquide peut être considérée comme constante, si l'on opère entre des limites de température très-peu éloignées.

Il est à remarquer que l'action chimique exercée par l'eau acidulée de ce couple sur le zinc varie avec la température : Ainsi à 100° le zinc ordinaire est attaqué avec violence, et le zinc amalgamé, qui, à la température ordinaire ne donne pas de gaz, produit un dégagement abondant d'hydrogène.

Il résulte de ces expériences qu'en tenant compte des différentes causes qui donnent lieu au dégagement de l'électricité dans un couple voltaïque, et en opérant à des températures qui ne diffèrent que de quelques degrés, les nombres exprimant les forces électromotrices sont les mêmes, et par conséquent sont toujours comparables entre eux dans les différents couples.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DEUXIÈME PARTIE.

Résistance à la conductibilité.

Dans la première partie de ce travail j'ai étudié les forces électromotrices, c'est-à-dire les causes en vertu desquelles le dégagement de l'électricité a lieu dans les couples voltaïques. Mais, ainsi qu'on l'a vu, dans chaque couple la résistance à la conductibilité a sur la quantité d'électricité transmise une influence aussi grande que la force électromotrice, puisque l'intensité I du courant électrique qui passe dans le circuit est donnée par l'expression $I = \frac{E}{R+x}$ (1), et si la résistance R change dans des limites assez étendues, la valeur de I subit des changements correspondants, en supposant que la force électromotrice E reste constante, et que la résistance x du circuit extérieur ne varie pas.

D'après cela, il semble facile de déterminer la résistance d'un couple, sans même connaître sa force électromotrice, en introduisant dans le circuit des résistances additionnelles x, x' x'', bien définies, et en mesurant, dans chaque circonstance, l'intensité du courant électrique, soit à l'aide d'une boussole des sinus, d'une boussole des tangentes, ou de tout autre appareil mesureur. C'est, en effet, le procédé qui a été suivi par M. Pouillet [1] dans ses recherches expérimentales sur les lois du dégagement de l'électricité dans les circuits voltaïques, et par les physiciens qui se sont occupés du même sujet. Mais, pour que la résistance soit donnée avec précision par ce moyen, il est nécessaire que la formule (1) représente rigoureusement la loi du dégagement de l'électricité; on a reconnu que l'on pouvait l'admettre sans s'écarter notablement des résultats des expériences; ce point établi, il faut en outre que E reste rigoureusement constant pendant la durée de

[1] Pouillet, *Traité de Physique*, 1re édit., t. Ier, 2e partie, p. 735. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. IV, p. 267, et t. XX, p. 204. Becquerel, *Traité d'Électricité* en 7 vol., t. V, 1re partie, p. 253. Becquerel et E. Becquerel, *Précis historique de l'électricité et du magnétisme*, 1858, p. 200 et suiv.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'expérience, ce qui n'a lieu, comme on l'a dit dans la première partie de ce travail, que si la température et la concentration des liquides des couples ne varient pas.

Ce procédé, du reste, ne saurait s'appliquer aux couples dans lesquels on observe des effets de polarisation, c'est-à-dire qui ne sont pas à courant constant. En effet, lorsque la polarisation a lieu, la force électromotrice inverse qui se produit est une certaine fonction de l'intensité du courant qui peut être représentée approximativement par une expression de la forme $A + B I + C I^2$, etc. En s'arrêtant aux 3 premiers termes de cette série on aurait dans la formule de la pile :

$$I = \frac{E - A - B I - C I^2}{R + x}, \text{ d'où en réduisant } I = \frac{E - A - C I^2}{R + x + B}$$

on introduit donc au dénominateur de la fraction un terme B, qui dans le calcul est donné en même temps que R, de sorte que l'on ne peut déterminer R isolément. Ainsi la méthode précédente ne peut être appliquée que si la force électromotrice E est sensiblement constante.

D'un autre côté, les expressions calculées de cette manière sont fonctions des résistances additionnelles variables x, x', x'' introduites dans le circuit, c'est-à-dire des longueurs des fils métalliques ayant une température déterminée et dont les pouvoirs conducteurs sont connus. Il est donc nécessaire, avant tout, d'indiquer quelles sont les substances dont les résistances ont servi de termes de comparaison.

Il serait certainement préférable d'avoir un procédé d'expérimentation qui permît de déterminer directement la résistance à la conductibilité des couples d'après une expression dans laquelle cette résistance entrerait comme seule variable, et indépendamment de la force électromotrice ; après avoir tenté plusieurs moyens, j'ai reconnu que la méthode précédente était encore celle qui, avec des précautions suffisantes, donnait les résultats les plus satisfaisants.

§ I. RÉSISTANCE A LA CONDUCTIBILITÉ DES CORPS SOLIDES. — UNITÉS DE COMPARAISON.

On prend en général pour mesure de la résistance à la conductibilité un nombre inverse de celui qui représente le pouvoir

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

conducteur ; cette résistance est regardée comme proportionnelle à la longueur des conducteurs en supposant que leur section reste constante, et comme étant en raison inverse de cette même section ; les expériences faites avec soin par les physiciens, et les résultats que donnent les longs circuits télégraphiques, montrent que cette loi peut être considérée comme s'appliquant entre des limites très-étendues et peut servir à calculer les intensités électriques des courants dont on fait usage dans les applications industrielles.

La loi relative à la longueur est facile à vérifier quand on opère avec un même fil dont toutes les parties ont été préparées dans les mêmes conditions ; celle qui concerne les sections demande plus de précautions, car on n'est pas certain que les fils métalliques qui ont passé dans des trous de filières de diamètres différents aient la même densité et soient également écrouis. L'écrouissage, en effet, peut modifier beaucoup la résistance à la conductibilité des métaux ; dans un mémoire cité plus bas [1], j'ai trouvé que si l'on fait recuire les métaux qui sortent de la filière, jusqu'au rouge naissant à 500 ou 600°, le rapport entre le pouvoir conducteur des mêmes fils change dans les limites suivantes :

Métaux	Rapport de la conductibilité du métal recuit à celle du métal écroui.
Argent pur	1,0701
Cuivre pur	1,0261
Or pur	1,0166
Platine	1,0130
Fer	1,0101

Ainsi, la résistance à la conductibilité de l'argent diminue de $\frac{7}{100}$ environ quand on recuit ce métal ; le cuivre ne présente que 2 centièmes $\frac{1}{2}$ de diminution, et le fer $\frac{1}{100}$.

D'un autre côté, les fils qui sortent des filières ne sont pas ronds ; en mesurant directement avec un miromètre les diamètres des fils dont j'ai fait usage, en différents points de ces fils et tout autour d'une même section, j'ai trouvé que les déterminations

[1] *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XVII, p. 242.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pouvaient varier de $\frac{2}{100}$ de millimètre pour des fils qui ne dépassaient pas 1 millimètre de diamètre. En outre, deux fils de métaux différents qui sortent par un même trou de filière, n'ont pas le même diamètre moyen, et ces divergences sont d'autant plus grandes, que les métaux diffèrent plus par leur ductilité. Dans les déterminations qui seront reportées ci-après, j'ai pris directement les diamètres moyens des fils, puis je les ai évalués également par le poids d'une certaine longueur des fils et par leur densité. Quoique les résultats obtenus par ces deux moyens soient peu différents, cependant le second me paraît exprimer mieux l'état moyen du fil que l'on étudie, et, dans la pratique, il est plus simple que le premier qui exige un plus grand nombre de déterminations. En ayant égard à ces causes perturbatrices, et en prenant les précautions qui vont être indiquées afin que la température reste la même, la loi des sections se vérifie également comme celle des longueurs.

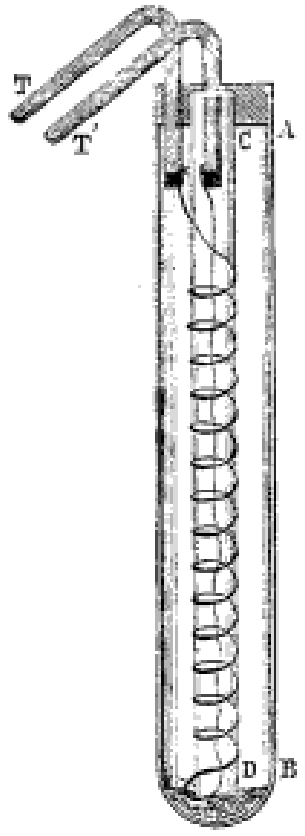


Fig. 3.

Chaque substance ayant un coefficient de conductibilité particulier, coefficient qui varie souvent beaucoup suivant la pureté des matières que l'on emploie, il était essentiel de préparer des substances d'une composition fixe, afin que les déterminations se trouvassent rapportées à des unités bien définies. Dans ce but, j'ai préparé des fils d'argent et de cuivre très-purs de divers diamètres par différents moyens; puis, j'ai élevé leur température jusqu'au rouge en les plaçant au milieu d'un atmosphère de gaz hydrogène, pour ne pas les oxyder et afin de les avoir parfaitement recuits.

Une fois les fils préparés, on opère comme il suit : on enroule le fil métallique sur lequel on opère autour d'un tube CD fig. 3, de 20 à 35 centimètres de longueur et de 1 centimètre de diamètre, de façon à former une hélice dont les circonvolutions ne se touchent pas. Cela fait, on attache solidement les deux extrémités de ce fil à deux tiges de cuivre rouge courbées, TT', de 4 à 5 millimètres de dia-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mètre, et de 4 ou 5 centimètres de longueur, dont on peut négliger la résistance par rapport à celle du fil enroulé. Afin que la communication électrique soit bien établie entre le fil et les tiges TT', on juxtapose 1 centimètre d'une des extrémités du fil et d'une de ces tiges, et l'on enroule sur leur ligne de jonction un fil de cuivre rouge, fin et recuit, dont les spires serrées ne laissent aucun interstice entre ces fils. L'une des tiges T' entre dans le tube C D par le haut; l'autre T est attachée à côté avec un fil de soie. Le système figuré par le tube C D et par les deux tiges pénètre dans un tube A B, fermé à la lampe par en bas, et à l'aide de mastic les 2 tiges T T' et l'extrémité supérieure du tube C D sont solidement fixées au tube A B. Par ce moyen, l'accès de l'air extérieur ne peut avoir lieu dans le tube et le fil ne s'altère pas. Il suffit, comme on le voit, de mettre en communication les deux tiges TT' avec une source d'électricité, soit à l'aide de pinces, soit en les plongeant dans deux godets pleins de mercure, pour introduire le fil intérieur dans le circuit voltaïque; la résistance des 2 grosses tiges TT', que l'on peut calculer d'ailleurs par rapport à celle du fil intérieur, est bien inférieure aux erreurs d'observations que l'on peut commettre. En effet, la longueur des 2 tiges TT' de cuivre introduites dans le circuit, ne dépasse pas 5 centimètres; en admettant que ces tiges aient un diamètre de 4 millim., elles représentent $\frac{5}{16} = 3$ millim. de fil de cuivre de 1 millim. de diamètre; or, les fils intérieurs, en admettant qu'ils aient pour diamètre 1 millim., dimension que nous avons prise en général comme limite maximum, avaient de 3 à 4 mètres de longueur et souvent plus; alors, la résistance des tiges ne représente au plus que les $\frac{3}{3000} = \frac{1}{1000}$ de celle du fil, et la méthode expérimentale permet à peine de répondre de la résistance du fil à $\frac{1}{1000}$ près.

Cette disposition des fils en hélice, lesquels sont placés au milieu d'une éprouvette en verre, permet de plonger cette dernière dans de la glace fondante ou dans un liquide dont la température soit fixe, afin de maintenir les fils à une température déterminée pendant la durée de l'expérience. Nous verrons plus loin que cette précaution est indispensable.

Les fils étant disposés, on les compare entre eux en cherchant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

quelle est la longueur d'un fil métallique qui peut représenter leur résistance à la conductibilité à des températures déterminées. La méthode expérimentale dont j'ai fait usage est la même que celle qui se trouve décrite dans le mémoire cité plus haut, page 300 ; elle consiste dans l'emploi d'un galvanomètre différentiel formé par 2 fils de cuivre enroulés de soie, de 1 millim. de diamètre et de 3 mètres de longueur. Ces fils sont bien isolés et sont enroulés autour l'un de l'autre dans toute leur longueur, de manière à former un cordon tressé. Ils entourent le cadre du galvanomètre de façon à présenter 12 tours, et leurs extrémités sont disposées à recevoir chacune un courant électrique, mais dirigé en sens contraire ; l'aiguille centrale est un petit barreau d'acier trempé de 5 centim. de longueur de 2 millimètres de diamètre et aimanté à saturation. Une aiguille formée par une paille longue de 2 décimètres porte un index qui se meut sur un cercle divisé, et donne les moindres changements de position de l'aiguille aimantée. Une lunette permet, en outre, de reconnaître la position exacte de l'aiguille en paille, de façon à la ramener toujours au zéro du cercle divisé.

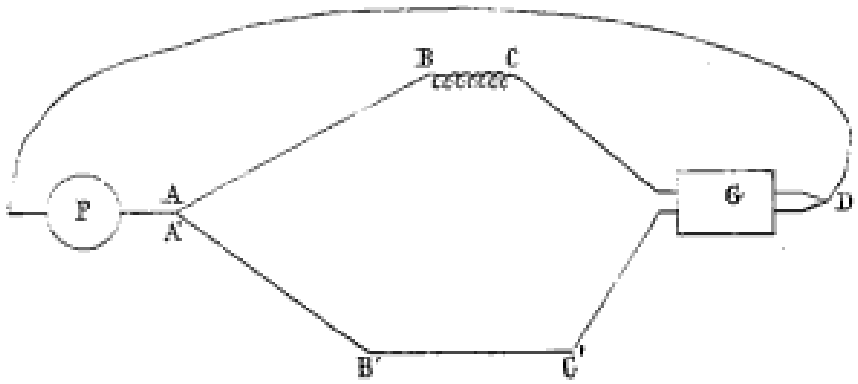


Fig. 4.

La figure 4 donne la disposition des diverses parties de l'appareil : on divise le courant électrique fourni par un couple à courant constant P de faible intensité (les couples de sulfate de plomb décrits plus haut sont très-propres à cet usage) en deux circuits, PABCD et P A'B'C'D. Le premier se compose du fil enroulé sur lequel on expérimente BC, et d'un des fils du galvanomètre différentiel CD ; le deuxième circuit se compose du fil d'un rhéostat B'C', c'est-à-dire du fil d'un appareil destiné à indiquer

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la longueur nécessaire pour avoir la même résistance à la conductibilité que le fil soumis à l'expérience, et du deuxième fil du galvanomètre différentiel C'D, mais de façon que les courants passent en sens inverse dans le galvanomètre G. Il est évident que si l'on allonge ou que si l'on raccourcit le fil de longueur variable B'C', c'est-à-dire le fil du rhéostat, on augmente on l'on diminue la résistance à la conductibilité d'un des circuits, et l'aiguille du galvanomètre G se déplace d'un côté ou de l'autre du zéro. Si l'on s'arrête quand l'aiguille est au zéro, on est certain que les deux circuits partiels dans lesquels se divise le courant électrique sont égaux en résistance.

Ce procédé, comme on le voit, est d'une application facile; mais il est nécessaire de prendre certaines précautions que je vais indiquer. D'abord, il faut commencer par mettre l'aiguille au zéro en faisant varier la longueur du fil du rhéostat et en ne mettant pas le fil placé dans l'éprouvette AB (fig. 3) dans le circuit; puis, on note la position de l'index du rhéostat dont on va parler ci-après. Cela fait, on interpose dans le circuit le fil sur lequel on expérimente, et comme il faut allonger le fil du rhéostat pour ramener l'aiguille au zéro, la quantité dont on l'allonge depuis la position précédente représente très-exactement la résistance à la conductibilité du fil. Toute la question se trouve donc ramenée à avoir un rhéostat d'une marche très-régulière, et dont la température ne varie pas pendant le cours d'une même série d'expériences.

Les trois appareils dont je me suis servi sont les suivants :

1° Un fil de cuivre ou d'argent bien homogène est tendu sur une longue poutre portant une règle divisée, et se trouve pincé par une de ses extrémités; près de son autre extrémité il passe sur une poulie, et sa tension se trouve réglée par un poids suffisant pour le maintenir droit sans l'étirer. Du côté où le fil est fixé, il communique à l'un des pôles de la pile; pour fermer le circuit, un conducteur est fixé à une petite masse de cuivre que l'on peut placer sur le fil et presser contre lui à l'aide d'un poids; il s'ensuit que lorsque le courant passe, il se trouve dans le circuit une longueur de fil égale à la distance comprise entre la pince et la masse de cuivre, longueur mesurée sur la règle divisée; si l'on déplace la masse de cuivre, son déplacement mesure l'augmentation ou la diminution de longueur du fil normal.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce procédé est le plus précis de ceux que l'on puisse employer; mais il faut que la température de l'air reste la même pendant la durée des expériences, et que le courant électrique employé ait une intensité assez faible pour ne pas élever lui-même la température du fil d'une manière sensible; c'est à quoi l'on parvient aisément.

2° Le second procédé dont j'ai fait usage est aussi précis que le précédent, et il a de plus l'avantage de rapporter les résistances à une unité fixe, le mercure distillé, ce corps étant à une température déterminée. M. Jacobi a déjà appelé l'attention des physiciens sur l'emploi du mercure pour comparer les résistances à la conductibilité et a construit un rhéostat à mercure qui lui a donné des résultats concordants; celui dont il est question ici est d'une construction très-simple et de forme différente. AB (fig. 5) est un tube choisi avec soin, bien calibré, et divisé sur

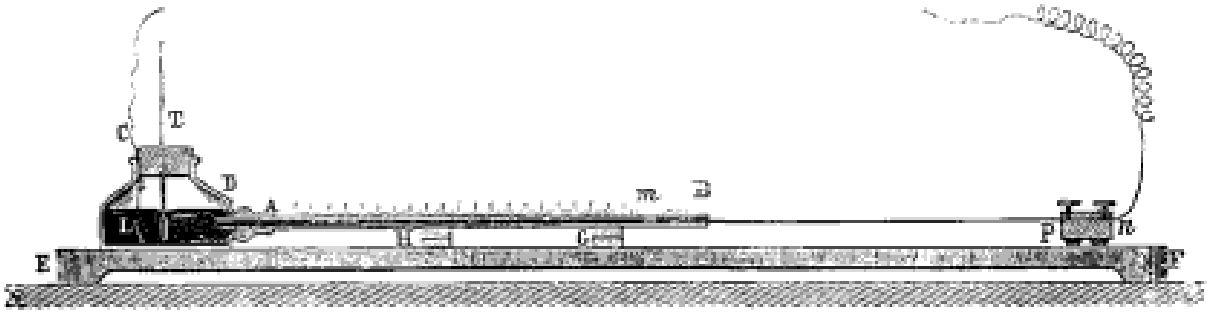


Fig. 5.

verre en parties d'égale longueur; celui dont j'ai fait usage avait un diamètre de $1^{millim},9025$. Ce tube est maintenu horizontalement sur un support EF; son extrémité B est libre; l'extrémité A pénètre dans un vase CD par une ouverture latérale A; un tube de caoutchouc et deux supports H et G, dont on peut faire varier la hauteur, permettent d'atteindre ce but. Le vase CD, qui a une capacité de 80 à 100 centim. cubes, peut recevoir du mercure distillé jusqu'à une hauteur telle que la pression exercée par le mercure force ce dernier à pénétrer dans le tube. Le mercure s'écoulerait en B, si cette extrémité restait libre; pour éviter cet écoulement, un fil de cuivre de 1 millimètre de diamètre, entouré de soie, écroui et tiré droit, peut pénétrer dans le tube; un petit chariot *p* maintient ce fil horizontal; à l'extrémité *m*, par laquelle le fil pénètre dans le tube, un petit fil de coton enroulé autour du fil de cuivre, qui a été corrodé légèrement afin

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de maintenir le coton lors du frottement, fait que B peut fonctionner comme piston dans l'intérieur du tube calibré et divisé, mais à frottement très-doux. Une longueur de 1/2 à 1/4 de millimètre du fil de cuivre à son extrémité *m* se trouve en dehors du coton et est amalgamée. Par ce moyen, en faisant pénétrer avec la main le fil dans le tube ou en le retirant, et cela en accompagnant le mouvement par un léger soulèvement des supports E et F dans un sens ou dans l'autre, on fait varier la longueur de la colonne de mercure engagée dans le tube ; comme le mercure ne mouille pas le verre ni le coton, l'action capillaire s'oppose au passage du mercure entre l'extrémité *m* du fil et le verre. Du reste, il faut éviter qu'il n'y ait excès de pression de la part du mercure dans le vase C D ; si une petite bulle de mercure passait du côté B, on retirerait tout le fil et l'on recommencerait l'expérience. En opérant avec précaution, ce petit rhéostat à mercure m'a permis de faire varier la longueur de la colonne de mercure A B dans des limites parfaitement déterminées, et j'ai pu me servir du mercure comme on se sert d'un fil métallique.

Quand on veut faire usage de cet appareil, une lame de platine ou de cuivre L plonge dans le mercure du vase et est mise en relation avec une des extrémités d'un des circuits ; l'autre extrémité de ce circuit est mise en relation avec le fil *n* recouvert de soie ; le passage de l'électricité se fait de ce fil dans le mercure par l'intermédiaire de la pointe *m* amalgamée, et, quand on opère, on a soin de faire plonger la pointe en totalité dans le mercure, et l'on fait en sorte que l'extrémité de la colonne mercurielle soit toujours en contact avec la dernière couche de coton. La division marquée sur le verre, qui est divisé en millimètres (les subdivisions étant évaluées par approximation), suffit pour donner la longueur de la colonne de mercure de l'appareil. Quant à sa température, elle est donnée par un thermomètre T qui plonge dans le vase C D, puisqu'à chaque expérience on fait pénétrer tout le mercure du tube dans le vase. On voit que cet appareil d'un emploi simple, non-seulement donne le rapport des résistances à la conductibilité des fils, mais encore permet de les rapporter à la résistance du mercure distillé à une température déterminée.

3° J'ai fait usage également d'un rhéostat[1] analogue à celui qui

[1] *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. X, p. 257.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

a été proposé par M. Wheatstone, et dans lequel le fil étalon se trouve enroulé en hélice autour d'un cylindre en verre ou en bois, portant sur sa surface un pas de vis creusé très-régulièrement ; un second cylindre en métal, placé parallèlement au premier, permet de dérouler le fil, et comme ce cylindre est conducteur, on diminue la longueur du fil enroulé, suivant le nombre de tours ou de fractions de tours faits dans le système des cylindres. Il faut que le fil soit très-homogène, et que sa tension reste la même pendant que le fil s'enroule ou se déroule ; avec cette précaution, l'appareil peut servir utilement, car il est d'un emploi facile, surtout pour de grandes longueurs de fils. J'ai donc employé ce rhéostat, mais en préférant les deux autres décrits précédemment, pour les résistances faibles ; du reste, je les ai souvent employés pour les mêmes déterminations, et j'ai pu vérifier qu'ils donnaient des résultats concordants.

J'ai d'abord comparé treize hélices préparées avec des échantillons de cuivre obtenus par différens moyens et avec de l'argent parfaitement pur ; ces hélices placées dans des éprouvettes, comme le représente la figure 3, ont été plongées dans la glace afin d'opérer à zéro. Le rhéostat dont on a fait usage avait un fil en laiton dont les variations de résistance avec la température ont été déterminées exactement à l'avance ; l'élévation de température augmentait sa résistance, de manière que si la résistance était R à 0°, elle était $R(1+0{,}000974\,t)$ à la température t. 0,000974 est donc ce que j'ai nommé le coefficient d'augmentation de résistance du fil. De même si l'on a déterminé la résistance d'un fil R′ à la température t, qui ne dépasse guère 15 à 20°, la résistance R. à 0° sera

$$\frac{R'}{(1+0{,}000974\,t)}.$$

On a fait subir cette correction aux nombres trouvés par expérience, de façon à rapporter la résistance à la conductibilité des fils des hélices à celle du fil normal ramené à 0° ; on a également divisé ces nombres par les longueurs des fils employés, afin de ramener toutes les déterminations à une même unité de longueur.

On a employé le système des observations croisées, c'est-à-dire que l'on a répété plusieurs fois de suite les mêmes déterminations en ramenant au zéro l'aiguille, chaque fois que l'on enlevait du circuit l'hélice sur laquelle on opérait. On a obtenu les résultats suivants :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Numéros d'ordre des hélices.	FIL SOUMIS A L'EXPÉRIENCE. Nature du métal recuit dans l'hydropisie.		Longueur totale du fil soumis à l'expérience.	POIDS ET DIAMÈTRE des fils. Poids de 1 mètre de longueur du fil.	Diamètre mesuré directement par expérience.	Diamètre calculé par le poids et la densité du métal.	Résistance à la conductibilité de 1 mètre du fil à 0° de température, par rapport aux divisions du rhéostat, le fil de ce dernier étant ramené à 0°.	Produit de la résistance de 1 mètre du fil par le carré du diamètre mesuré directement.	Produit de la résistance de 1 mètre du fil par le carré du diamètre calculé par le poids et la densité.
			m.	gr.	mil.		divisions.		
1	CUIVRE PUR.	Cuivre galvanique fondu, puis tiré à la filière. Même cuivre que celui qui a servi aux expériences de 1844.	2,160	0,4811	0,2615	0,2625	154,419	10,5592	10,6395
2			2,515	0,4811	0,2615	0,2625	151,582	10,3617	10,4405
3		Cuivre galvanique très-malléable et non fondu. (Il m'a été remis par M. Holot.)	3,000	2,4165	0,5865	0,5887	28,715	9,8774	9,9615
4			1,650	1,2871	0,4265	0,4296	54,398	9,8949	10,0413
5			2,480	0,4887	0,2615	0,2647	143,406	9,8061	10,0499
6			1,500	0,4013	0,2615	0,2647	141,539	9,6784	9,9728
7		Autre cuivre galvanique pur.	2,980	1,3030	0,4250	0,4327	53,475	9,6575	9,9944
9		Cuivre pur provenant de la précipitation de l'acétate de cuivre par le sucre, puis fondu et tiré à la filière.	2,117	2,4183	0,5865	0,5889	29,355	10,0981	10,1809
10			1,848	1,2907	0,4265	0,4329	55,135	10,0291	10,2082
11	ARGENT PUR.	Argent pur retiré du chlorure, puis fondu et tiré à la filière.	3,080	3,6349	0,6657	0,6664	21,418	9,6915	9,4568
12			3,080	2,8460	0,5885	0,5882	26,856	9,3010	9,2922
13			2,480	1,5444	0,4280	0,4323	50,496	9,2499	9,4796
14			1,960	0,5586	0,2582	0,2606	137,792	9,1860	9,3561

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On reconnaît à l'inspection du tableau que la loi des diamètres se vérifie assez bien pour chaque espèce de métal, puisque la résistance est en raison inverse de la section, c'est-à-dire du carré du diamètre. On voit, en outre, que le produit de la résistance par le carré du diamètre déduit du poids et de la densité satisfait mieux à la loi, surtout pour les fils fins, et représente mieux par conséquent l'état moyen de ces fils. C'est aussi de cette manière que l'on a déterminé les diamètres des fils qui ont servi aux expériences faites dans la suite de ce travail. On peut facilement comprendre que les nombres de la dernière colonne représentent les résistances des fils qui auraient un mètre de longueur et 1 millimètre de diamètre; quant aux pouvoirs conducteurs ils sont inverses des nombres précédents, de telle manière que leur produit par le nombre de la dernière colonne doit être un nombre constant.

Ce tableau conduit aux résultats suivants :

MÉTAUX PURS RECUITS.		Résistance à la conductibilité à 0° par rapport aux divisions du rhéostat à 0°.	Pouvoir conducteur à 0° par rapport à l'argent pur.
Argent.		9,3959	100
Cuivre. . .	Hélices n° 7, cuivre galvanisé très-malléable	9,9944	94,01
Id.	Hélices nos 3, 4, 5, 6, cuivre galvanique, id.	10,0034	93,92
Id.	Hélices nos 9 et 10, cuivre provenant de l'acétate.	10,1945	92,16
Id.	Hélices nos 1 et 2, autre cuivre galvanique fondu.	10,5400	89,14

On voit que le cuivre très-pur conduit un peu moins bien l'électricité que l'argent, mais que son pouvoir conducteur approche beaucoup de celui de ce dernier métal. En 1844 j'avais trouvé 91 comme rapport des conductibilités de ces métaux ; le nombre 94 qui résulte de ces expériences me semble le plus élevé de ceux que peut donner le cuivre.

Si l'on cherche par le même moyen quelle est la résistance des fils de cuivre du commerce, on trouve des nombres qui peuvent différer beaucoup des précédents, et cela en raison des métaux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

étrangers qu'ils renferment. Les moindres quantités de zinc diminuent beaucoup leur pouvoir conducteur; on suppose, bien entendu, que les fils métalliques sont toujours recuits, l'écrouissage, ainsi qu'on l'a vu précédemment, augmentant leur résistance à la conductibilité. Le fil de cuivre rouge, le meilleur conducteur de ceux que l'on trouve dans le commerce, est celui qui m'a été remis comme provenant de la fabrique de M. Mouchel de l'Aigle; avec des fils de dimensions différentes, j'ai obtenu :

SUBSTANCES.	Poids de 1 mètre de fil démêlé.	Diamètre d'après le poids et la densité.	Résistance à 0° par rapport au rhéostat à 0°.	Produit de la résistance par le carré du diamètre.	Pouvoir conducteur par rapport à l'argent à 0°.
	gr.	mill.			
Fil de cuivre recuit (remis par M. Rhumkorf). . .	15,644	1,498	4,5146	10,2180	91,95
Fil de cuivre (remis par M. Bréguet).	1,156	0,407	65,3958	10,8380	86,70

On voit que ces nombres se rapprochent de ceux donnés par le cuivre pur.

D'autres échantillons de fils de cuivre ont conduit à des pouvoirs conducteurs moins élevés. Certains cuivres impurs conduisent l'électricité près de moitié moins bien que les fils précédents, et les laitons se rapprochent du nombre 25 qui exprime la conductibilité du zinc ; entre 94 et 25 sont compris les pouvoirs conducteurs de tous les fils de cuivre rouge et jaune qui peuvent se trouver dans le commerce.

J'ai essayé plusieurs échantillons de fils de fer du commerce ; ils m'ont donné des résultats peu différents les uns des autres ; on a eu à zéro degré, après avoir recuit les fils de fer au rouge naissant :

	Produit de la résistance de 1 mètre du fil à 0° par le carré du diamètre.	Pouvoir conducteur rapporté à l'argent à 0°.
Fils de $0^{mill},30$ et de 0,737 de diamètre.	76,7244	12.25
Fil de fer de $0^{mill},936$ de diamètre. . .	72,5630	12,94

Comme les fils en usage dans les lignes télégraphiques sont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des fils de fer, il était intéressant de comparer leur résistance à celle des fils précédents; un échantillon de fil de fer zincé, employé dans la télégraphie sous le nom de fil de 4 millimètres de diamètre, avait un diamètre plus fort que ce dernier nombre, probablement en raison du zinçage; à + 21° de température la résistance de 1 mètre de longueur s'est trouvée de 5,851.

Une bobine construite par M. Mouilleron, et représentant 417 mètres de fil de fer télégraphique de 4 millimètres de diamètre, a donné, suivant les unités adoptées plus haut à + 20°, 2105. Ce qui donne, pour un mètre, 5,046. Enfin un rhéostat, appartenant à M. Bréguet et dont 1 tour valait 317 divisions, demandait 14 tours 1/2 pour représenter 1000 mètres de fil télégraphique; cela donnerait, pour la résistance de 1 mètre, 4,5965. Ces trois déterminations conduisent aux valeurs suivantes à la température de + 20°:

	Produit de la résistance de 1 mètre du fil par le carré du diamètre supposé de 4 millimètres.	Pouvoir conducteur rapporté à l'argent à 0°.
Fil de fer dit de 4 mill. et zincé (détermination directe).	93,616	10,04
D'après une bobine équivalente à 417 m. de fil télégraphique	80,736	11,63
D'après un rhéostat	73,544	12,77

Ces nombres diffèrent les uns des autres; cependant les différences ne doivent pas être considérés comme très-grandes, si l'on a égard aux changements que peuvent apporter les dimensions des fils, leur degré de pureté et leur écrouissage. Les résistances ne sont pas rapportées à 0°, et il faudrait faire la correction à l'aide du coefficient qui sera indiqué plus loin, pour avoir leur valeur à une température quelconque.

On admettra, par la suite, que le fil télégraphique a en moyenne 4 millim. de diamètre, et que sa résistance est approximativement 8 fois plus grande que celle du cuivre pur, c'est-à-dire que son pouvoir conducteur est compris entre 11,5 et 12, celui de l'argent étant 100.

Je rapporterai ci-après les pouvoirs conducteurs de métaux autres que les précédents et que l'on peut avoir besoin de consulter. On placera en regard les déterminations faites par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

quelques physiciens pendant ces dernières années. Quant aux nombres donnés antérieurement par les recherches de Davy, de MM. Becquerel, Pouillet, etc., on les trouvera dans les ouvrages cités plus bas [1].

SUBSTANCES.	M. E. BECQUEREL.		M. MASSON (Travail non publié.)		M. MATHIESSEN [2].		M. ARNDTSEN [3].	
	Température.	Pouvoir conducteur.	Température.	Pouvoir conducteur.	Température.	Pouvoir conducteur.	Température.	Pouvoir conducteur
Argent.	0°	100	de 12 à 20°	100	0°	100	0°	»
Or pur.	»	65,46 (métal recuit)	»	80	21,8	55,19	»	»
Or réduit par le sulfate de fer.	»	»	»	64	»	»	»	»
Aluminium. . .	»	44,69	»	52,60	19,6	33,76	»	36,4
Cadmium. . . .	»	24,36	»	22,98	18,8	22,10	»	»
Zinc.	»	24,16	»	25,59	17,6	27,39	»	»
Laiton.	»	»	»	25,34	»	»	»	25,41
Étain	»	13,66	»	14,58	21,0	11,45	»	»
Palladium . . .	»	11,73	»	12,24	17,2	12,64	»	»
Cobalt.	»	10,67	»	»	»	»	»	»
Nickel.	»	10,37	»	»	»	»	»	»
Platine.	»	10,16	»	11,79	20,7	10,53	»	14,3
Plomb.	»	8,25	»	8,17	17,3	7,77	»	9,1
Maillechort. . .	»	»	»	5,62	»	»	»	»
Antimoine. . .	»	»	»	»	18,7	4,29	»	»
Mercure. . . .	»	1,6121	»	»	22,8	1,63	»	»
Bismuth. . . .	»	»	»	»	13,8	1,19	»	»

Les faibles différences que l'on trouve entre ces résultats montrent quelle est l'influence exercée par le mode de préparation des métaux, et peut-être par leur pureté, car les métaux, tels que le zinc et le plomb, que l'on se procure communément à peu près dans les mêmes conditions, ont donné sensiblement les mêmes nombres.

On a supposé que les métaux dont on comparait les résistances à la conductibilité ou les pouvoirs conducteurs étaient à 0°; mais quand on élève leur température, leur résistance augmente,

[1] *Ann. de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XXXII, p. 420. Pouillet, *Traité de physique*, 3e édit., t. II, p. 315. *Philosophical transactions*, 1833, 1re partie, p. 93. Becquerel, *Traité d'électricité* en 7 vol., t. III, p. 71.

[2] *Ann. de Pogr.*, CIII, p. 428. *Ann. de Chimie et de Physique*, 3e série, t. LIV, p. 253.

[3] *Ibid.*, t. CIV. *Ann. de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XXXIV, p. 440.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

c'est-à-dire qu'ils conduisent moins bien l'électricité; cette variation est due à un changement moléculaire, et non pas à un effet de dilatation, car d'abord l'action devrait avoir lieu en sens inverse, et ensuite les effets dus aux variations de volume des métaux seraient trop petits pour être appréciés par les moyens d'expérimentation employés.

La disposition représentée figure 3 est très-commode pour pouvoir placer les différents fils dans des bains à température bien fixe, et pour pouvoir déterminer les changements de conductibilité correspondants. J'ai trouvé, par ce moyen, que les changements de résistance sont sensiblement proportionnels aux variations de température entre 0 et 100° et qu'en représentant par R la résistance d'un fil métallique, on avait $R(1 + at)$ à une température t, a étant un coefficient constant pour chaque métal. M. Arndtsen, dans le mémoire cité plus haut, a vérifié la loi que j'avais trouvée pour la plupart des métaux; mais il a dit que pour le fer et quelques alliages, comme le laiton, il fallait une formule de la forme $R(1 + at, + bt^2)$ pour représenter les expériences; il est facile de se convaincre que le fer est le seul métal sur lequel l'exception porte parmi ceux que j'avais étudiés; or, en reprenant mes déterminations avec le fer bien malléable, j'ai vu que jusqu'à 30° les changements étaient sensiblement représentés par la première expression, sans avoir besoin d'y introduire un autre terme.

Je rapporterai ici les coefficients d'augmentation de résistance que j'ai déterminés pour différents métaux :

	Coefficients d'augmentation de résistance pour 1° de température.
Mercure	0,001040
Platine	0,001861
Or	0,003397
Zinc	0,003675
Argent	0,004022
Cadmium	0,004040
Cuivre	0,004097
Plomb	0,004349
Fer	0,004726
Étain du commerce	0,005042
Étain assez pur	0,006188

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Leur emploi est facile; car si on peut connaître, par exemple, quelle est à 20°, la résistance d'un fil de fer de 1 millimètre de diamètre, et qui serait représenté par R à 0°, elle serait

$$R\,(1+20.\,0{,}004726).$$

Je terminerai ce paragraphe en rapportant trois coefficients que j'ai déterminés avec grand soin, et qui représentent les rapports des résistances de l'argent, du cuivre pur et du mercure parfaitement pur ; j'y ai joint la résistance du fer employé comme fil dans la télégraphie, mais en admettant, d'après ce qu'on a vu plus haut, que ce métal soit environ huit fois moins bon conducteur que le cuivre.

SUBSTANCES.	LONGUEUR DES CONDUCTEURS MÉTALLIQUES équivalents en conductibilité à 0°.	
	Par rapport à l'argent.	Par rapport au cuivre.
Argent (1 mill. de diamètre).	1	1,0637
Cuivre (1 mill. de diamètre).	0,94010	1
Mercure (1 mill. de diamètre).	0,01621	0,01724
Fer (des conducteurs télégraphiques, fil de 4 mill. de diamètre)	1,88	2

Ces nombres sont d'une application facile. Supposons, par exemple, que les résistances à la conductibilité des couples, comme on le verra plus loin, soient déterminées par rapport au cuivre, et qu'un couple soit équivalent à 10 mètres de fil de cuivre de 1 millimètre de diamètre à 0°; d'après la dernière colonne, ce couple serait représenté par $10^{m},637$ de fil d'argent à 0°, ou par $0^{m},1724$ de mercure de même diamètre, ou bien encore par 20 mètres de fil télégraphique en fer de 4 millimètres.

§ II. RÉSISTANCE A LA CONDUCTIBILITÉ DES LIQUIDES ET DES DIAPHRAGMES POREUX.

La résistance à la conductibilité des liquides, et en particulier des dissolutions salines, peut être déterminée facilement au moyen d'une méthode analogue à celle qui a été décrite plus haut; on peut rapporter en effet la résistance d'un liquide à celle que produirait un fil de métal d'une certaine longueur; mais, pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cette détermination, il est nécessaire de prendre les précautions qui vont être indiquées ci-après.

La disposition de l'ensemble des appareils est représentée (fig. 6); G est le galvanomètre différentiel; P, la pile composée

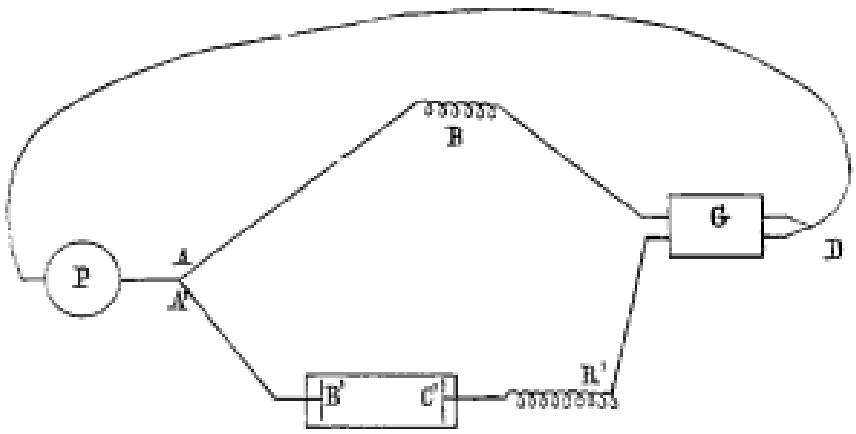


Fig. 6.

de 2 ou plusieurs couples, et dont le courant se divise en 2 circuits ARD, A'B'C'R'D, lesquels donnent lieu à deux effets inverses dans le galvanomètre G; il s'agit, dans chaque expérience, de ramener l'aiguille de ce galvanomètre à 0°, afin que les courants électriques soient toujours égaux dans ces deux circuits.

Dans le premier circuit R, on met un fil fin d'une longueur suffisante pour offrir une certaine résistance à la conductibilité, mais qui doit rester en place pendant tout le cours des expériences.

Dans le second circuit A'B'C'R'D, on interpose une petite cuve à section rectangulaire de 7 centimètres de largeur sur autant de hauteur, et de 30 centimètres de longueur. Sa construction est telle que sa section est exactement la même dans toute la longueur. Deux lames métalliques B', C' sont plongées dans cette cuve et ont à très-peu près la même section qu'elle; l'une est fixe, l'autre est mobile parallèlement à elle-même et dans le sens de la longueur de la cuve, de sorte qu'en versant dans cette cuve le liquide sur lequel on veut expérimenter, on interpose toujours dans le circuit un prisme liquide de même section et de longueur variable. Comme il est nécessaire de connaître exactement la longueur de cette colonne liquide prismatique, la lame mobile ne doit son déplacement qu'au mouvement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'une crémaillère qui peut permettre le contact des deux lames quand la longueur de la colonne liquide est 0, et qui l'éloigne à volonté, mais en donnant très-exactement, au moyen d'une règle divisée et d'un vernier, la longueur de cette colonne dans chaque circonstance.

Dans ce second circuit, on place également une hélice analogue à celle décrite page 301, et dont la résistance à la conductibilité est déterminée en fonction des fils étalons en argent et en cuivre.

Il est facile de comprendre actuellement qu'en faisant varier la longueur de la colonne liquide B' C' lorsque le courant électrique traverse le système, si l'on amène l'aiguille du galvanomètre au 0°, on est certain que les deux circuits A R D, A' B' C' R' D, sont égaux en résistance. Mais si, à un moment donné, on enlève la résistance R du second circuit, ce dernier devient meilleur conducteur et l'aiguille du galvanomètre se dévie ; mais, en allongeant alors la colonne liquide, on augmente la résistance de ce circuit, et quand on ramène de nouveau l'aiguille à 0°, on est certain que la quantité dont on a allongé la colonne liquide compense exactement la résistance R' de la bobine étalon ; dès lors, cette partie de la colonne liquide et la bobine étalon, ou du moins le fil qu'elle représente, sont égaux en conductibilité : on voit donc que l'on peut ainsi trouver quelle est la longueur d'une colonne liquide qui est nécessaire pour être équivalente en résistance à un fil déterminé.

En opérant ainsi, j'ai pu vérifier, comme d'autres physiciens l'avaient déjà fait antérieurement, qu'avec un liquide quelconque les lois relatives à la longueur et à la section des conducteurs sont les mêmes qu'avec les métaux ; c'est-à-dire que la résistance à la conductibilité est proportionnelle à la longueur et en raison inverse de la section de la colonne liquide ; il suffit d'interposer en R' des résistances qui sont comme 1, 2, 3, etc., et alors les allongements des colonnes liquides en B' C' sont proportionnelles aux mêmes nombres ; en faisant varier la section du liquide, on observe un changement qui est en raison inverse de cette section.

Quand on fait usage de ce procédé, il est nécessaire de prendre certaines précautions que je dois indiquer : si l'on se sert de dissolutions, comme le sulfate de cuivre, le sulfate de zinc, le ni-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trate d'argent, et que les électrodes métalliques B' C' soient, dans chaque cas, de même métal que celui qui forme la base du sel dissous, c'est-à-dire soient en cuivre pour le sulfate de cuivre, en zinc pour le sulfate de zinc, etc., lorsque le courant passe dans le circuit, les dissolutions métalliques sont décomposées, mais les lames ne se polarisent pas; en effet, lors du dépôt du cuivre ou du zinc au pôle négatif, les lames positives s'altèrent, et ces lames diminuent de poids en quantité égale à l'augmentation qui a lieu à l'autre pôle, de sorte que les dissolutions conservent le même degré de concentration. Il n'est donc pas nécessaire de placer le rhéostat liquide B' C' dans le même circuit que la résistance R' à laquelle on le compare, ce rhéostat liquide fonctionnant aussi régulièrement que le ferait un rhéostat à mercure ou à fil métallique.

Mais si les liquides à étudier sont tels que l'acide azotique, l'eau acidulée par l'acide sulfurique, etc., et qu'on emploie pour électrodes des lames de platine, ces lames se polarisent et une force électromotrice inverse se produit dans le système; il faut donc s'arranger pour opérer toujours dans les mêmes conditions d'intensité électrique. Si le liquide B' C' et la résistance R' faisaient partie de deux circuits différents, l'intensité du courant changerait dans le cours des expériences et les lois précédemment énoncées ne se vérifieraient plus. En opérant, au contraire, comme on l'a indiqué dans la figure 6, et plaçant la résistance R' dans le même circuit que le liquide B' C', comme dans chaque cas les deux circuits conservent la même résistance, les courants partiels ont toujours la même intensité; si donc les lames B' et C' sont polarisées, elles restent polarisées de la même manière pendant la durée des expériences, puisque l'intensité électrique ne change pas, et l'effet de polarisation disparaît dans la détermination de la résistance du liquide. En suivant cette méthode, j'ai pu vérifier que les résistances à la conductibilité suivaient les lois énoncées plus haut.

Dans le mémoire cité précédemment [1], j'avais employé un procédé analogue; mais, au lieu de me servir de cuves à liquide prismatiques, j'avais fait usage de tubes en verre verticaux, dans lesquels des lames de platine circulaires, se mouvant parallèle-

[1] *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XVII, p. 267.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment à elles-mêmes, faisaient varier les longueurs des colonnes liquides. J'ai vérifié également que la résistance est proportionnelle à la longueur des colonnes liquides, et en raison inverse de la section.

On voit donc que lorsqu'on interpose une colonne liquide d'une certaine longueur, et ayant une résistance r dans un circuit électrique d'une résistance R et d'une force électromotrice E, et que cette colonne est terminée par deux lames métalliques, l'intensité du courant I ne diminue, suivant la loi ordinaire,

$$I = \frac{E}{R + r}$$

que si les 2 lames métalliques ne se polarisent pas, comme cela a lieu en employant deux lames de cuivre dans une dissolution de sulfate de cuivre, deux lames de zinc dans le sulfate de zinc, etc.

Mais si les lames métalliques se polarisent, comme cela a lieu fréquemment (tel est le cas de l'eau acidulée dans laquelle on plonge des lames de platine), l'intensité I n'est donnée par la formule précédente que si la force électromotrice inverse, due à la polarisation et représentée par $f(I)$, se trouve portée au numérateur de la fraction comme agissant en sens contraire de celle de la pile, c'est-à-dire si l'on a $I = \frac{E - f(I)}{R + r}$.

Les résultats consignés page suivante ont été obtenus en rapportant les pouvoirs conducteurs à celui de l'argent, ce métal étant supposé 0°, mais les liquides se trouvant à une autre température. Les liquides qui ont servi à ces déterminations sont ceux dont on fera usage plus loin dans les couples.

On voit combien les liquides conduisent moins bien l'électricité que les métaux, puisque la dissolution qui conduit le mieux, l'acide azotique, a une résistance qui est plus d'un million de fois celle de l'argent, mais à égalité de section, bien entendu ; pour avoir une résistance comparable, il faut les prendre avec une section ayant un diamètre mille fois plus grand. Ainsi, par exemple, une colonne d'eau acidulée de 76m,34 de longueur et de 1 millim. de diamètre conduirait l'électricité comme un fil d'argent de même section et de 100,000 kilom. de longueur.

Si l'on voulait avoir le pouvoir conducteur de ces liquides par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SUBSTANCES	Température du liquide.	Résistance d'une colonne cylindrique de 1 mètre de longueur et de 1 mill de diamètre, par rapport à celle du fil du rhéostat supposé à 0°.	Résistance par rapport à l'argent, ce dernier étant à 0°, mais les liquides ayant les températures indiquées dans la 2e col.	Rapport des pouvoirs conducteurs, celui de l'argent à 0° étant 100,000,000.
Argent pur.	0°	9,3959	1	100,000,000
Eau acidulée par l'acide sulfurique SO^3Ho (eau 9 volumes, acide 1 volume). .	19	12,309,027	1,310,042	76,34
Acide azotique du commerce à 36°. .	19.5	8,913,453	948,653	105,41
Dissolution de sulfate de cuivre pur saturée à 19°.	19	129,556,748	13,788,657	7,25
Id. du commerce acidulée au $\frac{1}{100}$. . .	19	87,091,132	9,269,057	10,79
Dissolution saturée de chlorure de sodium.	20	22,244,176	2,367,424	42,24
Dissolution de sulfate de zinc saturée . .	19,8	120,587,432	12,834,048	7,79

rapport au cuivre, au mercure ou au fer, il suffirait d'avoir recours aux coefficients rapportés page 314.

On peut encore déduire des nombres précédents le pouvoir conducteur de quelques-unes des dissolutions quand elles sont moins concentrées ou étendues d'eau dans des limites déterminées ; en effet, les résultats des expériences ont montré que plusieurs liquides, comme le sulfate de cuivre et le chlorure de sodium, se comportaient de telle sorte, que si la résistance à la conductibilité est R à l'état de saturation, en prenant un volume V de la dissolution, et en l'étendant d'eau de manière à occuper le volume V', la résistance du liquide étendu sera telle que, à la même température, on aura approximativement :

$$R' = R\left(1 + B\ (V' - V)\right)$$

B étant un coefficient qui dépend de la nature du sel dis-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sous, on a trouvé pour la valeur de ce coefficient B :

pour la dissolution saturée du sulfate de cuivre	0,5486
pour la dissolution de chlorure de sodium	0,4390

Toutes les dissolutions ne présentent pas des effets semblables; il n'y a guère que celles dont le pouvoir conducteur augmente avec le degré de concentration jusqu'au point de saturation qui se comportent de cette manière; mais les dissolutions de sels tels que le sulfate de zinc, le mélange d'eau et d'acide sulfurique, ou les dissolutions de sels déliquescents donnent un pouvoir conducteur qui augmente d'abord avec le degré de concentration de la dissolution, atteint bientôt un maximum, puis diminue ensuite quand cette concentration augmente davantage.

Ainsi le sulfate de zinc concentré a donné :

	Résistance.
Dissolution saturée	1,
Id. étendue de manière à occuper un volume double.	0,809
Id. étendue de manière à occuper un volume 4 fois plus grand	1,063

Ce résultat est analogue à celui que l'on observe avec l'acide sulfurique; ce dernier, concentré à 66° et ne contenant qu'un atome d'eau, est très-peu conducteur de l'électricité; l'eau pure, de son côté, est dans le même cas. Le mélange des deux liquides étant bon conducteur doit, suivant les proportions employées, donner lieu à un maximum.

L'action de la chaleur a une grande influence sur la conductibilité des liquides, et au lieu de la diminuer, comme dans les métaux, elle l'augmente dans une proportion très-notable.

L'appareil décrit plus haut permet de déterminer de combien la résistance à la conductibilité diminue en augmentant la température, car il suffit de maintenir à une température déterminée la petite cuve à liquide qui renferme la dissolution sur laquelle on expérimente. Les résultats obtenus montrent qu'en passant de 0 à 40°, les résistances observées diminuent proportionnellement aux excès de température, et qu'en représentant la résistance à 0° par R, et par R′ celle à $t°$, on a sensiblement :

$$R' = \frac{R}{1 + \alpha t;}$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les coefficients α ont été trouvés :

Pour la solution saturée de sulfate de cuivre. . . .	0,0286
Id. id. de sulfate de zinc	0,223
Acide azotique du commerce.	0,263

Il suffit donc d'une différence de 40° de température environ pour que la résistance d'une de ces dissolutions soit réduite à moitié.

Les diaphragmes poreux dont on se sert dans les couples voltaïques offrent une résistance au passage de l'électricité qui est plus grande qu'on ne pourrait le croire, et nous verrons dans le paragraphe suivant que cette résistance forme une partie notable de la résistance du couple. Pour déterminer cette résistance j'ai employé la disposition suivante : à la place de B′ C′ dans le circuit de la figure 6, j'ai placé une cuve rectangulaire à liquide A B fig. 7, de 30 centim. de largeur et d'autant de hauteur; deux lames

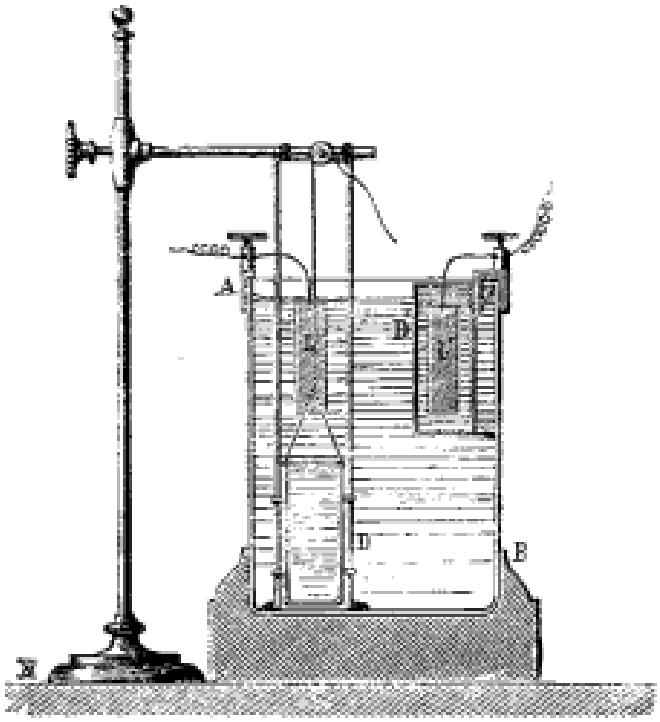


Fig. 7.

métalliques, en cuivre, en zinc ou en platine L et L′ de 3 centim. de largeur sur 10 centim. de hauteur, se trouvaient plongées entièrement dans le liquide renfermé dans le vase. Un support permettait d'élever avec une petite poulie un diaphragme D, ou de le laisser au fond du vase, de manière que quand il était soulevé,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la lame L était entourée par le diaphragme, et quand il était au fond du vase la lame était dégagée. Comme le courant électrique pouvait passer de L' à L à la partie supérieure du vase, il est évident que si l'on mesure la résistance à la conductibilité de la couche liquide L L', si l'on vient à élever le diaphragme, ce diaphragme vient s'interposer entre les lames, et si la résistance du système augmente, l'augmentation représente la résistance de la portion du diaphragme qui se trouve traversée par l'électricité. Un second diaphragme D', qui reste fixe pendant la durée de l'expérience, permet de faire fonctionner le vase A B, avec deux liquides et deux métaux différents.

Les résultats suivants ont été obtenus en opérant, dans chaque cas, avec un seul diaphragme cylindrique D, ayant 13 centim. de hauteur et 3 centim. de diamètre. On a pris d'abord 3 vases en porcelaine dégourdie, n° 1, n° 2, n° 3, ayant de 3 millim. 5, et 4 millim. d'épaisseur, puis deux diaphragmes de même hauteur et de même diamètre, l'un en toile à voile, l'autre en vessie. On a mis dans le vase une dissolution de sulfate de cuivre acidulé, puis une dissolution de sulfate de zinc ; dans le premier cas on a pris deux lames de cuivre, et dans le second deux lames de zinc. On a eu :

LIQUIDE renfermé dans le vase.	TEMPÉRATURE du liquide.	RÉSISTANCE DUE A L'INTERPOSITION DES DIAPHRAGMES, EN DEGRÉS DE RHEOSTAT.				
		En porcelaine poreuse			En toile à voile.	En vessie.
		n. 1.	n. 2.	n. 3.		
Dissol. de sulfate de cuivre.	22	365,00	232,9	342,7	84,8	141,4
Dissol. de sulfate de zinc.	22,5	47 ,10	342,0	440,4	»	»

Or, si l'on remarque que la matière des diaphragmes n'étant pas conductrice, l'électricité ne peut passer que par l'intermédiaire du liquide qui les imbibe, on comprendra que l'augmentation de résistance ne peut provenir que de la substitution d'une couche moins conductrice à une couche entièrement liquide qui se trouve remplacée par elle; avec les diaphragmes en biscuit de porcelaine, les 3/4 au moins de la masse se trouvent ainsi formés de corps non conducteurs. D'après cela, en supposant que les pou-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

voirs d'imbibition de la porcelaine pour les deux liquides soient à peu près les mêmes, le rapport des résistances des diaphragmes plongés dans le sulfate de cuivre et dans le sulfate de zinc doit être le rapport des résistances des deux dissolutions trouvées précédemment et indiquées dans le tableau de la page 319.

On a d'après ce tableau pour le rapport des résistances du sulfate de zinc au sulfate de cuivre : $\frac{10,79}{7,79} = 1,38.$

et l'on a trouvé ici :

$$\frac{476,1}{363,0} = 1,30 \quad \frac{342,0}{232,9} = 1,46 \quad \frac{440,4}{342,7} = 1,29 \text{ moyenne } 1,35.$$

On reconnaît également que la toile à voile, qui est plus perméable que le biscuit de porcelaine n'a qu'une résistance qui n'est que le 1/4 des nombres précédents ; la vessie, quoique plus mince que cette dernière mais à pores plus serrés, est moins résistante que la porcelaine, mais plus que la toile à voile.

On doit observer que les nombres précédents ne donnent pas la résistance totale des diaphragmes, car il faudrait que la seconde lame L' fût cylindrique, et entourât le sytème formé par le diaphragme D et par la lame L, mais ils donnent des valeurs proportionnelles aux résistances de chaque cloison perméable.

§ III. RÉSISTANCE A LA CONDUCTIBILITÉ DES COUPLES VOLTAÏQUES; COUPLES A ACIDE NITRIQUE, A SULFATE DE CUIVRE ET A SULFATE DE PLOMB.

D'après ce qui a été dit au commencement de la seconde partie de ce travail, page 298 il serait important de pouvoir déterminer directement la résistance à la conductibilité des couples voltaïques comme on détermine la résistance des solides et des liquides, et sans recourir à la formule de la pile dans laquelle une seconde variable, la force électro-motrice, se trouve comprise. J'ai essayé d'employer plusieurs moyens et entre autres d'opposer deux couples semblables, espérant traiter ce système comme un seul conducteur liquide n'ayant aucune force électro-motrice ; mais aussitôt qu'on le fait traverser par un courant électrique additionnel, les effets ne restent plus les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mêmes et les lames des couples se polarisent. J'ai donc dû employer la méthode indiquée plus haut et qui consiste à introduire dans le circuit d'un couple des résistances additionnelles r, r' r'' etc. parfaitement définies, et à déterminer les intensités I I' I'' correspondantes ; si la résistance du fil qui entoure l'appareil rhéométrique se trouve comprise dans l'expression de r, on aura $I = \frac{E}{R+r}$ $I' = \frac{E}{R+r'}$ $I'' = \frac{E}{R+r''}$ etc. et il suffira de deux opérations pour déterminer R. A l'aide de plusieurs déterminations on a différentes valeurs de cette résistance dont on prend la moyenne. On a vu antérieurement que cette méthode est celle qui a été employée par les physiciens qui ont établi, par leurs recherches, les lois du dégagement de l'électricité dans les piles voltaïques.

L'appareil mesureur dont j'ai fait usage est une boussole des sinus donnant la minute, et dont un seul fil entoure le cadre mobile ; quand la déviation est trop forte on introduit une résistance additionnelle dans le circuit. Afin d'opérer rapidement, j'ai préparé des bobines de résistances dans des éprouvettes comme le représente la figure 3, page 301 ; elles représentent en divisions du rhéostat normal :

à 0°.	138,0	270,6	536,8
à + 20	149,1	292,8	580,3

Le rhéostat restant à la température de + 20°, ces nombres représentent, en fonction du fil de cuivre pur de 1 millim. de diamètre, une longueur variable entre 15 mètres et 84 mètres ; j'ai préféré, comme plus exact et plus rapide, ce moyen à celui qui consiste à introduire dans le circuit un des rhéostats décrits dans la première partie de ce travail.

Si l'on considère un couple simple analogue à celui de Volta ou de Wollaston, et formé par deux lames métalliques de même surface plongeant parallèlement l'une à l'autre dans un liquide, il est évident que la résistance à la conductibilité peut se déduire de celle du liquide interposé, puisque cette résistance est proportionnelle à l'épaisseur de la couche liquide e, et en raison inverse de la section ou de la surface s des lames métalliques. D'après les nombres indiqués page 319 et qui représentent le pouvoir conducteur des liquides, un couple formé par une lame

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de platine et une lame de zinc suffisamment épaisse de 1 décimètre carré de surface et plongés parallèlement dans un vase parallélipipédique de même section rempli d'eau acidulée au $\frac{1}{10}$ à une distance de 1 centimètre, devrait avoir une résistance représentée par un fil d'argent pur de 1 millim. de diamètre et de 1 mètre 02 de longueur, ou bien par un fil de cuivre de 0 mètre 96; pour une section différente il serait facile de trouver de même la résistance. On devrait donc avoir pour l'intensité I du courant d'un couple, dont la force électro-motrice est E, et dans lequel se trouve une résistance extérieure r, $I = \frac{E}{\frac{e}{s} + r} = \frac{s\,E}{e + s\,r}$ [1]; on comprend donc que la surface du couple augmentant, l'intensité I doit augmenter, si r est très-petit. Mais on ne peut vérifier cette formule, car on a vu que dans ces couples les lames se polarisent, et qu'on a $I = \frac{E - f(I)}{R + r}$ c'est-à-dire que la force électro-motrice inverse varie avec l'intensité du courant lui-même. On peut dire néanmoins que les couples à un liquide sont les seuls jusqu'ici avec lesquels on soit certainde diminuer la résistance proportionnellement à l'augmentation de leur surface.

Avec les couples à deux liquides et à vases poreux, dans lesquels la polarisation est détruite, lorsque ce terme $f(I)$ disparaît, on ne peut plus déduire du calcul la résistance à la conductibilité, et cela en raison de l'introduction des diaphragmes; il faut alors avoir recours à l'expérience. En appliquant la méthode donnée plus haut et dont M. Pouillet a fait usage dans ses recherches sur l'électricité comme on l'a dit au commencement de la seconde partie de ce mémoire, on est frappé des différences que l'on trouve dans le cours d'une même expérience, et qui peuvent quelquefois s'élever à $\frac{1}{10}$ de la résistance du couple; elles doivent provenir non-seulement du changement dans la force électro-motrice, mais encore du mélange des liquides et de leur variation de température. Voici quel est le mode d'opération qui a été suivi : on

[1] Voir le travail de Ohm, *Die galvanische kette*, etc. Berlin, 1827. *Archives de l'électricité*, t. I, p. 55. Genève, 1841.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fait préparer les couples au moment d'opérer ; on attend un quart d'heure, puis on procède aux déterminations expérimentales en notant la température des liquides du couple. On cherche quelles sont les déviations de l'aiguille de la boussole, en interposant les bobines normales dans le circuit, et d'après la formule de la pile, on calcule les résistances par chaque groupe de deux déterminations expérimentales ; le nombre moyen est pris comme résistance du couple. Si l'on note la température de l'air extérieur et par conséquent celle des bobines, il est facile de ramener les résistances a ce qu'elles seraient si ces bobines étaient à 0, les liquides des couples restant à la température que l'on considère ; en effet, le fil conducteur en cuivre diminuant de résistance dans le rapport de 1 à $1 + 0{,}00409\ t$, il faut augmenter les nombres trouvés pour l'expression des résistances des couples dans le même rapport, l'unité de comparaison étant meilleur conducteur à 0, et représentant par une plus grande longueur l'équivalent de résistance du couple. Les résultats des expériences ont été consignés dans le tableau représenté page suivante.

On reconnaît à l'inspection de ce tableau que la résistance des couples à acide nitrique dans les divers couples employés dans l'industrie ne change pas autant qu'on pourrait le supposer ; les plus grands couples ont encore une résistance comprise entre 5 à 6 mètres de fil de cuivre de 1 millim. de diamètre, tandis que les plus petits n'en ont qu'une cinq fois plus grande. Cependant, les dimensions relatives de ces couples sont dans des rapports bien différents : ainsi, les surfaces seules des vases poreux, qui sont les moyennes entre celles du zinc et des lames de platine ou des conducteurs en charbon, sont dans les rapports de 350 à 16, c'est-à-dire de 22 à 1. On n'observe donc pas une diminution dans la résistance des couples proportionnellement à l'augmentation de leur surface et ainsi que le donnent les couples à un liquide. Il faut attribuer ce résultat à l'épaisseur des diaphragmes poreux qui opposent une certaine résistance au passage de l'électricité. Dans les grands couples l'épaisseur de la porcelaine (6 à 7 millim.) compense leur grande dimension ; c'est pour ce motif que les couples moyens dont les diaphragmes n'ont qu'une épaisseur comprise entre 3 et 4 millim., et dont la surface est près de 3 fois plus petite que celle des plus grands couples, a cependant la même résistance que ces derniers.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DÉSIGNATION DES COUPLES.		Température du couple.	DIMENSION DES VASES POREUX.			Résistance du couple à la température indiquée par rapport au degré du thermomètre à 0°.	Résistances du couple pour rapport de cuivre de 1 mill. de diamètre, à 0°.	Résistances du couple par rapport au fil de fer de 1 mill. de diamètre.
			Hauteur.	Diamètre extérieur.	Épaisseur.			
			cent.	cent.	mill.			
COUPLES DE BUNSEN.	Grand couple.	22°	20	larg. 17 et 2	3,5	40,75	4,08	8,16
	Moyen.	22	14	larg. 8,5 et 4,8	de 3 à 3,5	70,91	7,09	14,18
	Petit.	22	8,5	larg. 4,5 et 4,5	id.	103,13	10,31	20,62
COUPLES DE GROVE.	Couples à vases poreux cylindriques en porcelaine. Zinc extérieur, platine intérieur. — Diaphragme n° 1.	10,5	13	5	3,50	98,42	9,84	19,68
	— n° 2.	10,5	13	5	3,50	69,29	6,93	13,86
	Très-grands couples à diaphragmes poreux cylindriques de porcelaine, ayant plus de deux litres de capacité. Charbon intérieur, zinc extérieur. — Modèle prêté par M. Ruhmkorff.	19,50	37,5	11	6 environ	71,89	7,19	14,38
	— Autre modèle.	14,50	37,0	10,	id.	94,60	9,46	18,92
	— Id. de dimension analogue.	11	38,0	9	7	61,33	6,13	12,26
	Couples à vases poreux cylindriques en porcelaine, grand modèle des laboratoires (Deleuil). — Diaphragme n° 1.	20	21	6,5	4 environ	70,90	7,09	14,18
	— n° 2.	20	21	6,5	id.	57,02	5,70	11,32
	Couples à vases poreux cylindriques, plus petits que les précédents, et à charbon intérieur ; ils ont servi au Conservatoire aux expériences d'adhérence sur des rails.) — n° 1.	14	16	6	4 environ	103,61	10,36	20,72
	— n° 2.	14	16	6	id.	104,70	10,47	20,04
	— n° 3.	14	16	6	id.	126,90	12,02	25,24
	— n° 4.	11	16	6	trop plus épais [mill. environ	200,64	20,06	41,32
	— n° 5.	14	16	6	id.	160,33	16,03	33,86
COUPLES DE BUNSEN.	Couples à vases poreux cylindriques, à zinc intérieur et charbon extérieur. Ancien modèle du laboratoire de physique du Conservatoire. — n° 1.	13	13	5	de 3,3 à 4	91,26	9,13	18,26
	— n° 2.	19,5	13	5	id.	80,0	8,00	16,00
	— n° 3.	13,5	13	6	id.	101,18	10,12	20,24
	Couple du plus petit modèle, à zinc extérieur et charbon intérieur.	13	4	2	de 1 à 2	288,84	28,85	57,70

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On pourrait se demander alors quel est l'avantage que l'on peut retirer de leur emploi. La réponse est facile ; cet avantage se trouve dans leur durée, c'est-à-dire dans le temps pendant lequel ils présentent des effets à peu près semblables. Quand les couples fonctionnent, comme on le verra dans la 3e partie de ce travail, l'acide sulfurique attaque le zinc, l'acide azotique se décompose et diminue de concentration ; les couples de petite dimension ne sont donc constants que pendant peu d'instants, et une fois mis en action, leur résistance à la conductibilité augmente graduellement ; il y a en qui ne peuvent servir pendant plus d'une demi-heure dans des conditions un peu favorables ; avec les grands couples de même résistance, comme le même travail chimique a lieu intérieurement, la même quantité d'acide azotique se trouve décomposée pendant le même temps ; mais comme la masse sur laquelle on opère est beaucoup plus grande, les liquides conservent à peu près le même degré de concentration, et l'intensité reste constante pendant un temps beaucoup plus long. Ainsi, de grandes dimensions ne donnent pas une moindre résistance à la conductibilité aux couples à acide azotique en raison de l'épaisseur et du peu de perméabilité des diaphragmes, mais donnent une durée plus longue avec une intensité qui varie peu quand la température reste constante, et cela en raison de la masse de liquide employée.

Il résulte également de ce qui précède qu'il faut déterminer la résistance à la conductibilité d'un couple peu d'instants après qu'il a été monté, et quand il commence à fonctionner. Les expériences précédentes ont été faites, comme on l'a dit, un quart d'heure après le montage de chaque couple, mais sans que le circuit ait été fermé pendant ce temps. On explique aussi par la résistance des vases poreux et par l'inégale perméabilité des vases les nombres différents présentés par des couples de même grandeur et montés de la même manière. J'ai observé fréquemment qu'avec les couples à vases en porcelaine faisant partie d'une même pile et que l'on pouvait croire semblables, il y en avait dont la résistance était la moitié ou le tiers plus considérable que celle d'un autre.

L'influence du vase poreux sur la résistance des couples est mise en évidence lorsqu'on substitue aux diaphragmes en porcelaine dégourdie le papier azotique, comme on l'avait tenté dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ces dernières années, ou bien, comme je l'ai fait, quand on remplace ces diaphragmes par des sacs en toile préparés comme le coton azotique ; j'ai eu en effet :

	Résistance en fil de cuivre pur de 1 mill. de diamètre.	
	Avec le diaphragme en porcelaine.	Avec le diaphragme en toile préparée de même grandeur.
	mètres	mètres
Couple de Bunsen avec diaphragme cylindrique de 9 cent. de hauteur et de 3 cent. de diamètre	10,40	7,98
Couple de Grove. Diaphragme de 13 cent. de hauteur et de 4c,6 de diamètre. . .	8.42	8,09

En résumé si l'on a besoin de couples à acide nitrique peu résistants, il vaut mieux prendre des couples moyens et les disposer en pile montée en surface ; ainsi 4 couples du grand modèle des laboratoires (voir le tableau de la page 327), disposés de façon que les 4 zincs communiquent ensemble, et que les 4 charbons soient également en relation et qui auraient 6 mètres de fil de cuivre comme résistance, formeront un seul couple ayant même force électromotrice, mais dans lequel la résistance serait $\frac{6^m}{4} = 1^m,5$ c'est-à-dire 3 à 4 fois moindre que celle des grands couples à acide nitrique, dont les diaphragmes poreux ont 3 à 4 litres de capacité.

On a déterminé également la résistance à la conductibilité des différents couples à sulfate de cuivre qui sont actuellement en usage. On a obtenu les résultats suivants :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	DÉSIGNATION DES COUPLES.		Température des couples.	DIMENSION DES VASES POREUX. Hauteur.	Diamètre.	Épaisseur.	Résistance du couple par rapport aux divisions du rhéostat.	Résistance de couple à la température indiquée par rapport au fil de cuivre pur de 1 mill. de diamètre à 0°	Résistance du couple par rapport au fil de fer de 1 mill. de diamètre.
				cent.	cent.	mill.		mètres.	mètres
COUPLES AVEC DIAPHRAGMES EN PORCELAINE POREUSE.	Couple à sulfate de cuivre avec sac de toile à voile comme diaphragme. Lame de zinc intérieure de 14 décimètres carrés ; vase en cuivre extérieur de 43 centim. de haut sur 35 de large et 6 à 7 d'épaisseur. Liquides ; eau saturée de sulfate de cuivre et eau salée saturée.	Grand modèle du Muséum d'histoire naturelle.	15°	Sac en toile à voile de 45 cent. de hauteur sur 35 de largeur.			39,06	3,91	7,82
	Cylindre de zinc extérieur, lame de cuivre intérieure. Liquides : sulfate de cuivre saturé et eau acidulée par l'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$.	Grand modèle ordinaire des laboratoires.	19°	21	6,5	4 environ	208,16	26,82	53,64
	Cylindre de zinc extérieur, lame de cuivre intérieure. Liquides : dissolution saturée de sulfate de cuivre, eau acidulée par l'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$.	Moyen modèle ordinaire des laboratoires.	19,5	13		de 3,5 à 4 environ	231,69	23,17	56,94
	Id. La dissolution d'eau acidulée est remplacée par l'eau salée saturée à $+$ 13° de temp.	Id.	19,5	13	5	de 3,5 à 4 environ	298,19	29,32	59,64
	Zinc extérieur plongeant dans l'eau pure; cuivre plongeant dans le sulfate de cuivre ; on a chargé le couple deux jours avant d'opérer ; le zinc est couvert de cuivre réduit.	Couple remis par M. Breguet et de la grandeur de ceux qui sont usités dans la télégraphie.	19°				900,94	90,09	180,18

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On reconnaît encore ici l'influence prépondérante de la cloison perméable ; avec les couples dans lesquels on fait usage de toile à voile, la résistance est très-faible, mais aussi le mélange des liquides se fait avec rapidité.

Les piles à sulfate de cuivre et à acide azotique étant celles qui sont généralement adoptées aujourd'hui, soit pour les applications électro-magnétiques, soit pour la galvanoplastie, je me suis attaché particulièrement à leur étude ; cependant j'ai joint aux résultats précédents les déterminations faites avec les piles à sulfate de plomb que j'ai déjà mentionnées, page 293, et dont j'ai donné la force électro-motrice comparée à celle des autres piles.

Ces piles sont fondées, comme nous l'avons dit (voir première partie, page 262), sur la propriété découverte par mon père, savoir : que le sulfate de plomb peut dépolariser l'électrode négative des couples, comme l'acide azotique et les sels métalliques, et sur celle que j'ai trouvée et d'après laquelle le sulfate de plomb jouit de la propriété, quand on l'a délayé avec une dissolution saturée de chlorure de sodium, de durcir à la manière du plâtre, en raison d'une double décomposition et de la formation soit d'un chlorosulfate de plomb, soit, plus probablement, d'un mélange de chlorure de plomb et de sulfate de soude, et comme ce dernier sel exige beaucoup d'eau pour cristalliser, la matière se prend en masse.

Tous les échantillons de sulfate de plomb ne se comportent pas de la même manière, probablement en raison des matières mélangées. Le sulfate de plomb calciné grenu peut devenir très-dur, même en restant plongé dans de l'eau salée saturée. En mélangeant au sulfate de plomb de la litharge ou du minium, on augmente aussi la dureté de la masse; mais en opérant comme il suit, on peut utiliser les différents sulfates de plomb, l'on évite que les masses ne se délitent dans l'intérieur des couples, et l'on peut se passer de vases poreux : on mélange le sulfate de plomb bien pulvérisé et l'eau salée saturée (à 25° de l'aréomètre de Baumé), dans la proportion de 35 à 40 centimètres cubes de dissolution pour cent gramme de sulfate. Le mélange doit être fait très-rapidement, car la matière devient immédiatement compacte, et si l'on continue alors à l'agiter, on l'empêche de durcir ultérieurement. En n'employant que 30 à 35 centigrammes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cubes de liquide, la prise est très-rapide ; avec 40 à 45 cent. cubes, elle est plus lente et l'on a tout le temps nécessaire pour couler le mélange dans le moule destiné à le recevoir. Ce dernier doit contenir au centre une tige de plomb qui doit servir de conducteur après la consolidation du sulfate. Une fois le cylindre ou la masse compacte de sulfate obtenue, on le place dans un autre moule cylindrique un peu plus grand, de façon à pouvoir couler autour une couche de plâtre qui l'environne de tous les côtés. Cette masse, recouverte d'un enduit en plâtre, étant plongée dans un liquide au milieu d'un cylindre creux en zinc, constitue un couple ; on évite par ce moyen que le sulfate ne se délite, et en outre on n'a pas besoin de diaphragme, puisque le plâtre en tient lieu et s'oppose au contact du plomb réduit et du zinc.

Ce mode d'envelopper le sulfate de plomb solide à l'aide d'une couche de plâtre peut s'appliquer aussi à d'autres composés insolubles, tels que les oxydes métalliques de plomb, de cuivre, etc. que l'on veut placer au pôle négatif des couples pour former des piles à courant constant avec ces différentes matières.

On peut former un couple avec un cylindre ou une plaque de sulfate de plomb, et une lame de zinc amalgamé ou non, en se servant d'eau salée, d'eau acidulée, ou même d'eau pure. L'eau salée donne une force électromotrice un peu plus forte, comme on l'a vu ultérieurement ; je préfère donc pour commencer l'action de ces couples de l'eau contenant une petite quantité de chlorure de sodium (au $\frac{1}{4}$ de saturation et marquant 5 à 6° à l'aréomètre) ; ensuite on ajoute de l'eau pure pour compenser l'évaporation, ou bien on peut joindre au couple un vase à niveau constant, comme dans les couples à sulfate de cuivre.

La résistance à la conductibilité de ces couples doit dépendre de l'épaisseur de la masse compacte de sulfate enduite de plâtre et de la dimension des éléments. Je vais donner les déterminations faites avec les couples dont je fais usage au Conservatoire des arts et métiers en indiquant d'abord la quantité de matière employée.

Le modèle que j'ai employé le plus fréquemment est fait comme le représente la figure 8 ; le vase extérieur M N a 13c,5 de haut sur 12 cent. de diamètre ; le cylindre creux en zinc Z Z a 12 cent. de hauteur et 8 cent. de diamètre intérieur. Le cylindre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en sulfate de plomb central est composé de la partie en sulfate de plomb CD de l'enveloppe en plâtre PP, et de la tige en plomb AB; celle-ci a 25 cent. de hauteur sur 5 à 6 millim. de diamètre. Elle porte des entailles *a* dans la partie qui plonge dans le sulfate afin d'être maintenue au milieu de la masse. La partie cylindrique en sulfate de plomb est formée avec un mélange de 400 grammes de sulfate de plomb et de 125 à 135 centigrammes cubes d'eau salée saturée à 25° de l'aréomètre; il a 13 cent. de hauteur sur 5 de diamètre; la couche de plâtre a $\frac{1}{8}$ centimètres d'épaisseur de tous côtés, ce qui donne au cylindre PP un diamètre total de 15 à 20 cent. de hauteur sur 6 de diamètre. Voici du reste le détail du poids des différentes parties qui composent ces cylindres :

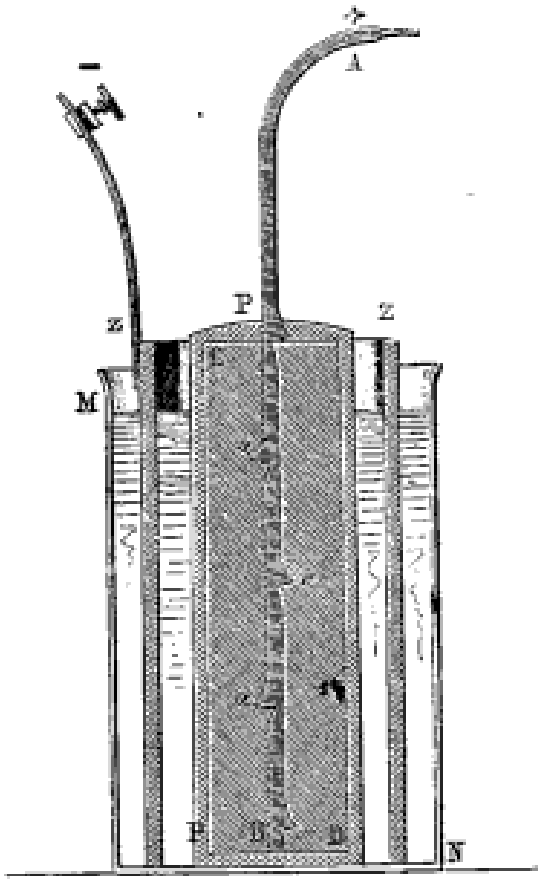


Fig. 8.

Cylindre en sulfate.	Sulfate de plomb.	400	grammes.
	Eau salée.	130	—
	Tige	65	—
Couche de plâtre.	Plâtre.	200	—
	Eau.	125	—
	Total.	920	grammes.

J'ai disposé des couples ayant d'autres dimensions : les uns étaient cylindriques comme les précédents, mais avaient 32 centimètres de hauteur sur 13 de diamètre; la couche de plâtre avait partout 1 centimètre. Ils pesaient en totalité 10 kilogrammes, renfermaient près de 5 kilogr. de sulfate de plomb et portaient à son axe une tige de plomb. On les a entourés de cylindres en zinc plongé dans un vase d'une capacité suffisante.

Les autres avaient la forme d'une plaque, et étaient placés entre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

deux lames plates de zinc comme le diaphragme poreux des piles plates de Grove. Ce parallélipipède avait 21 centim. de hauteur sur 17 de largeur dans un sens, et 2c,8 dans l'autre sens. Il portait une large lame de plomb au milieu et parallèlement aux larges faces ; le poids du sulfate employé était de 950 grammes ; le poids total de ce parallélipipède était 2,100 grammes, et l'épaisseur de la couche de plâtre 4 millim.

Quand on met les couples à sulfate de plomb en action, il faut attendre que les cylindres soient convenablement imbibés ; s'ils viennent d'être préparés, l'on peut s'en servir immédiatement : s'ils sont secs, il faut plusieurs heures. Avant de déterminer la résistance, il faut encore avoir soin de fermer le circuit pendant quelques instants, car le plomb central peut être recouvert d'un peu d'oxyde, mais au bout de peu d'instants l'action devient parfaitement constante. On a obtenu pour les résistances à la conductibilité de ces couples :

DESIGNATION DES COUPLES A SULFATE DE PLOMB.		Température au moment de l'observation.	DIMENSION DES CYLINDRES EN SULFATE DE PLOMB. Hauteur du cylindre en sulfate.	Diamètre du cylindre en sulfate	Épaisseur de la couche de plâtre.	Résistance en fonction des divisions du rhéostat.	Résistance en fonction du fil de cuivre de 1 mill. de diamètre et supposé = 60.	Résistance par rapport à un fil de fer de 4 mill. de diamètre.
		cent.	cent.	cent.	cent.	mètres	mètres.	mètres.
Très-grand couple. poids du sulfate, 5 kil.; poids du cylindre, 10 kil.	Liquide : eau salée marquant 6° à l'aréomètre.	16	32	11	1	348	34,8	69,6
Couple plat : poids du sulfate, 950 gr.; poids total, 2100 gram.	Liquide : eau salée marquant 6° à l'aréomètre.	16	21	17 et 2,8	0,4	250	25,0	50
Poids du sulfate, 400 gr. — Poids du cylindre, 920 g.	Liquide : eau avec quelques gouttes d'acide sulfurique.	19	13	5	0,5	1518.	151,8	303,8
	Liquide : eau salée marquant 6° à l'aréomètre.	19	13	5	0,5	1129.	112,9	225,8

On reconnaît à l'inspection de ce tableau que les résistances

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ont varié dans le rapport de 25 à 110, c'est-à-dire de 1 à 4 à peu près, en opérant avec l'eau salée étendue comme liquide des couples. Le couple plat est celui dont la résistance est la plus petite, car l'épaisseur de la masse de sulfate est moindre ; le très-grand couple a une résistance un peu plus grande que ce dernier. On voit qu'avec 4 couples de petite dimension montés en surface, on obtiendrait le même résultat qu'avec le plus grand couple.

Au lieu de disposer les couples à sulfate de plomb comme il vient d'être dit, en séparant le zinc du sulfate de plomb, on pourrait faire alterner des plaques de cette matière et des lames de zinc, les entourer de plâtre, et l'on n'aurait qu'une seule masse que l'on pourrait plonger dans une même auge; ces piles fonctionneraient alors à la manière des piles en sable. On pourrait également imaginer d'autres dispositions : le principe étant donné, la question de forme est bien importante sans doute pour la facilité avec laquelle on peut employer ces couples; mais ici, pour le but que je me suis proposé, elle devient secondaire.

Je dois faire encore remarquer qu'un des avantages du sulfate de plomb, comme de toute autre substance insoluble placée au pôle négatif des couples pour les dépolariser, consiste à ne pas s'altérer quand le circuit est ouvert, et à ne se réduire que lorsque le courant passe, tandis que dans les piles à deux liquides, il y a toujours mélange des liquides, même quand ces piles ne fonctionnent pas; ainsi, par exemple, la pile à sulfate de cuivre donne toujours un dépôt de cuivre sur le zinc.

§ IV. RÉSISTANCE DES COUPLES A DIVERSES TEMPÉRATURES.

La chaleur qui agit si vivement pour changer la résistance à la conductibilité des liquides, comme on l'a vu page 320, doit aussi changer la résistance des couples voltaïques; aussi, quand on élève graduellement la température d'un couple en relation avec un rhéomètre, on voit la déviation de l'aiguille augmenter, et cela principalement en raison de la diminution de résistance du couple. D'après les résultats cités dans la première partie, page 294, la force électromotrice d'un couple à acide nitrique varie peu avec la température, puisqu'en passant de 14 à 20°,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

elle augmente à peine des $\frac{4}{100}$ de sa valeur ; dans cette circonstance, on a vu que la force électromotrice qui provient de la réaction des liquides, est en partie cause des changements que l'on observe. D'un autre côté, quand la température change, les diaphragmes peuvent être imbibés plus ou moins facilement par l'un des deux liquides, et conduisent à un changement dans la résistance autre que celui qui provient des variations de température des liquides.

Pour étudier ces changements, on a préparé une certaine quantité d'eau acidulée et d'acide azotique, et l'on a divisé ces liquides en plusieurs parties égales ; on a refroidi les unes et échauffé les autres, et en les plaçant successivement dans un même diaphragme et en se servant des mêmes électrodes, on a pu déterminer par la formule de la pile la résistance et la force électromotrice d'un couple à diverses températures. On opère rapidement, car lorsque la température est élevée, il y a une différence de 2 à 3° entre la température des liquides au commencement d'une expérience et à la fin ; on a pris alors la moyenne des températures des liquides à l'intérieur et à l'extérieur du diaphragme.

J'ai préféré ce moyen à celui qui consiste à élever graduellement la température d'un même couple, car pendant cette élévation de température les liquides peuvent se mélanger, ce qui n'a pas lieu ici.

Ces expériences présentent de très-grandes inégalités : quand on applique la formule de la pile, on trouve des différences notables entre les forces électromotrices calculées, différences qui ne sont pas en rapport avec celles que donne la détermination directe de ces forces électromotrices. On doit conclure de là que les changements qui ont lieu dans les liquides par élévation de température amènent des perturbations dont la formule ne saurait tenir compte. Néanmoins, je donne les résultats tels qu'ils ont été obtenus. Les nombres de la dernière colonne ne doivent être comparés qu'entre ceux d'une même expérience, car les conditions de conductibilité du reste du circuit, et de l'intensité magnétique de l'aiguille, ne sont pas les mêmes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	COUPLES.	Température moyenne des liquides du couple.	RÉSISTANCE à la conductibilité en fonction des divisions du rhéostat. Par expérience R.	RÉSISTANCE à la conductibilité en fonction des divisions du rhéostat. Calculée.	FORCE électromotrice. D'après la formule de la pile E.	FORCE électromotrice. Par la balance électro-magnétique.	Puissance du couple ou valeur $\frac{E^2}{R}$
COUPLES A ACIDE AZOTIQUE	Couple de Grove. Zinc extérieur, platine intérieur; acide azotique à 36° de l'aréomètre; eau acidulée au $\frac{1}{10}$; vase poreux cylindrique de 13 cent. de haut sur 5 de diamètre.	14,25	119,31	»	173,9	»	1,47
		72,50	91,98	»	189,8	»	2,06
	Couple de Bunsen. Zinc extérieur, charbon intérieur; mêmes liquides que plus haut, et vase poreux analogue.	4,5	83,19	83,19	180,0	»	2,16
		18,0	79,78	77,81	175,0	»	2,19
		48,0	65,13	65,81	184,1	»	2,83
		66,25	38,39	38,39	183,1	»	3,13
	Couple de Grove. Zinc extérieur, platine intérieur; acide azotique à 36°, eau acidulée au $\frac{1}{10}$; vase poreux de 13 mill. de hauteur.	2,5	105,85	»	264,9	93	2,50
		70,0	67,37	»	273,20	92,3	4,01
	Couple à sulfate de cuivre. Eau salée saturée et dissolution de sulfate de cuivre saturée à 14°,4 de température; vase poreux en porcelaine poreuse de même dimension que les précédents.	3,5	180[1]	»	»	»	»
		14,4	152,66	152,66	96,9	»	0,63
		32,05	119,92	116,11	104,2	»	0,87
		68,0	101,47	101,47	106,5	»	1,03

Malgré les inégalités présentées par ces différents couples, on reconnaît que la résistance à la conductibilité diminue graduellement avec la température. La loi de ce changement, si l'on s'en rapportait à ces expériences, ne serait pas régulière; cependant on peut, sans erreur bien grande et comme approximation, admettre que si la résistance à 0° du couple est représentée par R^0, à t^0, elle sera :

$$R_t = R_0 (1 - \alpha t).$$

Les expériences précédentes donnent pour α calculé d'après les observations extrêmes, excepté pour la pile à sulfate de cuivre dont on a éliminé la première détermination en raison de la cristallisation des sels qui s'était opérée dans les diaphragmes :

[1] L'expérience avec le couple à sulfate de cuivre à $+3°,5$ doit être écartée, car une portion du sulfate de cuivre s'est précipitée au fond du vase poreux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

		Valeur de α.
Couples à acide azotique (diaphragme en porcelaine)	Couple de Grove	0,0038
	Couple de Bunsen	0,0047
	Couple de Bunsen	0,0053
	Moyenne	0,0046
Couple à sulfate de cuivre (diaphragme en porcelaine)		0,0057

C'est-à-dire que si un couple de Bunsen a une résistance 1 à 20°, à 40° elle sera : $\frac{1-40\alpha}{1-20\alpha} = 0{,}8997$.

Les nombres qui sont contenus dans la quatrième colonne de l'avant-dernier tableau (page 337) sont calculés de cette manière, et l'on reconnaît qu'ils diffèrent peu des nombres trouvés directement par expérience.

On voit encore que les changements de résistance évalués par ce procédé ne sont pas aussi grands que ceux que l'on déduirait des seuls changements dans le pouvoir conducteur des liquides, puisqu'on a vu page 321 que les coefficients de changements de résistance diffèrent peu du nombre 0,025, c'est-à-dire que pour une différence de 40° la résistance devrait être réduite à moitié de ce qu'elle était ; les expériences précédentes indiquent qu'il faudrait dépasser 100° pour que le même effet arrivât dans les couples à acide nitrique ou à sulfate de cuivre. Cette divergence ne peut provenir que des réactions qui ont lieu entre les liquides en contact, ainsi que de l'effet des diaphragmes, les erreurs du procédé d'expérimentation ne pouvant conduire à un écart aussi considérable.

Enfin, il ressort nettement de ces déterminations que la puissance des couples, quand on élève leur température, augmente surtout en raison de la diminution de résistance des liquides qui entrent dans leur composition.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TROISIÈME PARTIE.

Puissance chimique des piles; évaluation de leur dépense.

§ I. EFFET CHIMIQUE D'UNE PILE DONT ON CONNAIT LA FORCE ÉLECTROMOTRICE ET LA RÉSISTANCE.

Dans les deux premières parties, on a donné la détermination des forces électromotrices et des résistances des couples, et ces éléments suffisent pour se rendre compte des effets comparatifs qu'ils peuvent produire lorsqu'on veut les employer pour un travail chimique ou pour un effet magnétique déterminé; la formule de la pile, en effet, malgré les variations que peuvent subir la force électromotrice et la résistance, représente d'une manière satisfaisante pour les applications l'intensité du courant, et par conséquent la puissance des couples.

Il n'a été question que des couples isolés, mais ce qui en a été dit s'applique aux piles composées d'un certain nombre d'éléments, puisqu'il suffit d'étendre à leur ensemble les lois relatives à chacun d'entre eux. Supposons que l'on considère une pile formée de n éléments disposés en tension, c'est-à-dire que le pôle positif de l'un communique avec le pôle négatif de l'autre, et ainsi de suite; la force électromotrice de la pile sera égale à la somme des forces électromotrices des couples, et la résistance totale équivaudra à la somme de résistance; on aura donc pour l'intensité du courant : $I = \frac{E + E' + E'' \text{ etc.}}{R + R' + R'' \text{ etc.}}$.

Si tous les couples sont semblables entre eux, ce qui est le cas ordinaire, et que la pile ait n éléments, on aura : $I = \frac{nE}{nR + r}$, r étant la résistance extérieure qui sert à joindre les deux pôles de la pile. On voit que la force électromotrice E et la résistance R d'un élément suffisent pour connaître la puissance de la pile.

Si les n éléments dont la pile se compose sont montés en surface, c'est-à-dire si tous les pôles de même nom communiquent entre eux, il en est encore de même : dans ce cas, la pile agit

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

comme un seul élément à grande surface, dont la résistance est $\frac{R}{n}$, et on a :

$$I = \frac{E}{\frac{R}{n} + r} \text{ ou } I = \frac{nE}{R + nr}.$$

Une question importante à résoudre est de savoir combien un couple d'une force électromotrice donnée et d'une résistance également définie peut produire d'effet chimique dans des circonstances déterminées. M. Pouillet [1] a donné la détermination de la puissance chimique que peut produire un couple thermo-électrique en fonction de la décomposition électro-chimique de l'eau. Il a trouvé que pour opérer la décomposition d'un gramme d'eau, il faut une quantité d'électricité exprimée par 13,787 fois la quantité qui passe en une minute dans un circuit bismuth cuivre dont la longueur totale est équivalente à 20 mètres d'un fil de cuivre de 1 millimètre de diamètre et dont les soudures ont une différence de température de 100°.

Pour conclure de cette détermination l'action d'une pile quelconque, il faudrait connaître la force électromotrice de la pile, par rapport à celle du couple thermo-électrique. Si l'on se rapporte aux évaluations indiquées dans la première partie de ce mémoire, page 270, on voit que par rapport à l'unité de force électromotrice adoptée dans ce travail (l'action exercée de la part de l'eau acidulée sur le zinc), la force électromotrice d'un élément thermo-électrique est $\frac{1}{236}$. En réduisant tout à la même unité, on trouve, d'après les équivalents chimiques, qu'en une heure, un couple dont la force électromotrice serait un, et dont la résistance serait 1 mètre de fil d'argent, déposerait environ 83 grammes de cuivre, d'une dissolution de sulfate de cuivre. On verra plus loin que les déterminations directes conduisent à un nombre qui ne diffère pas plus de $\frac{4}{10}$ du précédent. On peut expliquer cette faible différence entre le nombre que l'on déduit des recherches de M. Pouillet et celles qui ont été faites ici par la conductibilité des fils pris comme types, qui n'était peut-être

[1] Pouillet, *Traité de physique*, 3e édit., t. Ier, p. 719.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pas la même, et par ce motif que j'ai eu soin de ramener les résistances à la température de 0°.

Voulant déterminer de nouveau la puissance des couples en partant des unités de force électromotrices et de résistance qui ont servi de base à ce travail, je pouvais hésiter sur le choix d'une unité de comparaison dans les mesures de la puissance chimique de l'électricité. Après plusieurs essais, et en raison de la simplicité, de la facilité, et en même temps de l'exactitude des déterminations, je me suis arrêté à la décomposition électro-chimique du sulfate de cuivre et à la mesure du dépôt de cuivre produit par un courant électrique d'une intensité déterminée.

On sait que les décompositions électro-chimiques se font en proportions définies; dès lors, quand un couple fonctionne et décompose électro-chimiquement une substance, la quantité d'effets chimiques produits doit être équivalente au travail chimique intérieur du couple. Dans les couples disposés avec soin, et isolés convenablement, on vérifie ce principe; mais quand on se sert de couples préparés comme ceux qui servent journellement dans l'industrie, il y a une différence entre le travail extérieur et le travail intérieur; cette différence est due à ce que le couple fonctionne même quand le circuit est ouvert, c'est-à-dire que le zinc peut être dissous sans qu'il y ait action chimique extérieure, et que les liquides se mélangent toujours par l'intermédiaire des vases poreux. D'un autre côté, si la pile est formée d'un grand nombre de couples, et que l'isolement ne soit pas bien fait, une portion de l'électricité peut passer par dérivation tout autour, surtout quand le circuit est ouvert; car, lorsqu'il est fermé, la conductibilité des fils fait que la plus grande partie de l'électricité suit cette dernière route. Il résulte de là, comme on le verra du reste plus loin, qu'il se dissout plus de zinc dans chaque couple qu'il ne se produit d'effet chimique correspondant dans le voltamètre. Néanmoins, comme les déterminations précises doivent être basées sur les couples montés dans des conditions normales, on a agi avec des couples disposés avec soin, et quand on indiquera plus loin la consommation des piles dans les conditions habituelles, il suffira d'ajouter au nombre théorique une fraction qui représentera l'excès de la consommation intérieure sur celle qui devrait avoir lieu si les causes per-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

turbatrices indiquées plus haut n'exerçaient aucune action.

Après avoir étudié différents voltamètres dont on peut faire usage pour mesurer l'intensité chimique d'un courant, j'ai fait usage simplement du voltamètre à sulfate de cuivre, mais en opérant avec une dissolution préparée avec soin.

M. Jacobi d'abord, puis les personnes qui se sont occupées de dépôts galvaniques en cuivre, ont remarqué que la perte de poids de l'électrode positive en cuivre dans la dissolution de sulfate de cuivre du commerce ou acidulée était un peu supérieure au poids du cuivre déposé à l'autre pôle. J'ai voulu me rendre compte de cet effet et voir dans quelles conditions on devait se placer pour obtenir l'expression de l'intensité chimique du courant par le poids du dépôt de cuivre.

On a mis sur le trajet du courant d'une pile composée d'un ou plusieurs éléments plusieurs voltamètres à sulfate de cuivre, de façon que le même courant pût effectuer simultanément le dépôt du cuivre sur les lames négatives, et déterminer la dissolution des électrodes positives. Les voltamètres contenaient : 1° une dissolution de sulfate de cuivre acidulée par $\frac{1}{10}$ d'acide sulfurique; 2° une dissolution saturée de sulfate de cuivre du commerce; 3° une dissolution saturée de sulfate de cuivre pur obtenu par plusieurs cristallisations successives; 4° une dissolution de sulfate de cuivre mise en digestion à froid avec du carbonate de cuivre; on a eu :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Durée de l'expérience.	Nombre des couples de la pile.	SULFATE DE CUIVRE neutre au $\frac{1}{10}$.				SULFATE DE CUIVRE du commerce.				SULFATE DE CUIVRE cristallisé à plusieurs reprises et pur.				SULFATE DE CUIVRE mis en dissolution à froid avec du carbonate de cuivre.			
		Perte de poids au pole +.	Gain de cuivre au pole —.	Différence.	Rapport de la différence au poids du dépôt.	Perte de poids au pole +.	Cuivre déposé au pole —.	Différence.	Rapport de la différence au poids du dépôt.	Perte de poids au pole +.	Cuivre déposé au pole —.	Différence.	Rapport de la différence au poids du dépôt.	Perte de poids au pole +.	Cuivre déposé au pole —.	Différence.	Rapport de la différence au poids du dépôt.
heures.		gram.	gram.			gram.	gram.			gram.	gram.			gram.	gram.		
16 à 17	1	1,218	1,211	+0,043	0,019	1,243	1,184	+0,029	0,024	1,205	1,195	+0,010	0,008	1,218	1,212	+0,006	+0,005
17 à 18	1	1,787	1,760	+0,037	0,023	1,780	1,775	+0,005	0,003	1,793	1,779	+0,014	0,008	1,785	1,796	—0,011	—0,006
18 à 24	2	1,514	1,376	+0,048	0,023	1,409	1,383	+0,016	0,011	1,389	1,383	+0,006	0,004	1,380	1,402	—0,022	—0,016
24 à 48	4	1,293	1,202	+0,062	0,040	1,384	1,327	+0,057	0,014	1,339	1,243	+0,016	0,013	1,253	1,263	—0,010	—0,008
48 à 72	6	*	*	*	*	2,509	2,420	+0,089	0,035	*	*	*	*	2,542	2,560	—0,018	—0,007
72 à 96	8	*	*	*	*	3,172	3,059	+0,113	0,036	3,118	3,093	+0,025	0,008	3,118	3,188	—0,030	—0,010
20 à 21	3	1,060	1,029	+0,031	0,029	1,077	1,056	+0,021	0,020	*	*	*	*	*	*	*	*
19 à 20	3	0,607	0,562	+0,035	0,057	0,603	0,565	+0,038	0,063	*	*	*	*	*	*	*	*
15 à 16	5	*	*	*	*	8,163	8,311	+0,252	0,029	*	*	*	*	*	*	*	*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On reconnaît que les dépôts formés par les deux premières dissolutions sont à grains fins et cohérents, et peuvent s'enlever en lames ; tandis qu'avec les deux autres le cuivre est cristallisé et les grains ont peu d'adhérence entre eux. Les cuivres des trois premiers liquides paraissent purs, mais ceux donnés par la quatrième dissolution perdent un peu de poids, étant chauffés dans l'hydrogène, ce qui tient probablement à un mélange de protoxyde.

Ces résultats montrent encore qu'avec la dissolution saturée de sulfate de cuivre acidulée au $\frac{1}{20}$ la perte du poids de l'électrode positive est toujours supérieure à l'augmentation de poids au pôle négatif. Cette différence a varié entre 2 et 5 centièmes du poids du dépôt (en moyenne 0,033). On avait eu soin de sécher les électrodes dans le vide après les avoir retirées de la dissolution.

Avec le sulfate de cuivre du commerce, la perte de poids de l'électrode positive a toujours été supérieure au poids du dépôt, et cette différence a varié de 1,2 à 4 centièmes (en moyenne 0,027).

Avec le sulfate pur ou obtenu par plusieurs cristallisations, la perte au pôle + a encore été supérieure au gain au pôle négatif, mais seulement d'une quantité variable entre 4 et 13 millièmes.

Avec le sulfate neutre, contenant probablement des sous-sels, la perte a été en général inférieure, mais les lamelles noirâtres qui se détachaient des lames positives n'ont pas permis de compter d'une manière certaine sur ces déterminations.

On reconnaît néanmoins, d'après ces résultats, que la perte de poids de l'électrode soluble en cuivre tient principalement à l'acidité du liquide, et en raison de cela on a évalué dans les expériences suivantes les effets chimiques des courants en déterminant la quantité de cuivre déposée dans une dissolution saturée à froid de sulfate de cuivre préalablement purifié et obtenu par plusieurs cristallisations.

On a disposé un voltamètre de manière à ce que 2 lames métalliques de 1 décimètre carré fussent placées parallèlement l'une à l'autre et à 3 centimètres de distance ; l'une était en cuivre et destinée à être l'électrode positive, l'autre en platine ; elles ont été pesées avant et après l'expérience. Elles étaient placées de façon à ne pas changer de position dans le vase. On a versé dans ce vase une dissolution saturée de sulfate de cuivre pur à froid.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On a fait passer dans ce voltamètre le courant d'un ou de plusieurs couples de Bunsen assez grand pour que la quantité de liquide fût telle que l'intensité du couple variât peu pendant la durée de l'expérience. Dans le même circuit, on a placé une boussole des sinus, de façon que toutes les 5 minutes on a eu l'intensité du courant. A la fin de chacune des expériences qui ont duré de 1 à 2 heures, on a laissé le voltamètre et le couple en place, et l'on a interposé dans le circuit les bobines de résistance dont on a parlé page 301, afin de déterminer la résistance à la conductibilité du circuit dans lequel s'est déposé le cuivre ; pour avoir la résistance à la conductibilité du système avant l'expérience, on a mis à la place de l'électrode en platine négative et pesée une autre lame exactement semblable, et l'on a fait une première détermination de la résistance du système ; cette détermination préalable effectuée, on a remis en place la lame pesée, et l'expérience a commencé. On a eu par ce moyen la résistance du circuit avant et après le dépôt du cuivre ; on a pris la moyenne des deux déterminations. Cette résistance est rapportée à celle du fil d'argent pur à la température de zéro.

On a déterminé la force électromotrice avant et après l'expérience avec la balance électro-magnétique ; en général, la valeur obtenue au commencement diminue de 1,5 à 2 pour cent pendant le cours de l'opération. On a pris la moyenne des deux évaluations.

Les expériences ayant donné le poids du cuivre déposé pendant un intervalle de temps connu, on peut en déduire combien il se déposerait de cuivre par minute ; mais comme l'intensité du courant varie un peu pendant la durée des opérations, il faut rapporter ces intensités à celle qui sert de point de départ pour l'évaluation des résistances ; c'est pour cette raison que l'on a déterminé les différentes intensités pendant l'expérience, et que l'on en a conclu quel est le temps pendant lequel, avec une intensité constante, le courant électrique agirait de manière à produire le même effet chimique que celui qui est observé par expérience ; car pendant l'espace de chaque intervalle de 5 minutes, on peut admettre que l'intensité a été la moyenne entre les deux intensités au commencement et à la fin de cet espace de temps.

Dans le tableau suivant, les déterminations expérimentales ont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

été faites avec un couple, la deuxième seule a été obtenue avec 4 éléments; mais dans ce dernier cas, la force électromotrice trouvée a été divisée par 4 pour ramener les déterminations à ce qu'elles seraient avec un seul couple, puisque les forces électromotrices sont proportionnelles au nombre des éléments de la pile. On a trouvé de cette manière :

NOMBRES DÉDUITS DE L'EXPÉRIENCE.				Quantité de cuivre qui serait déposée dans un circuit formé par un fil d'argent de 1 mill. à 0°, par une force électromotrice égale à celle de l'eau acidulée sur le zinc pur.
Résistance du circuit dans lequel le dépôt s'opère par rapport au rhéostat à la température de 0°.	Quantité de cuivre déposée par heure sur la lame négative.	Force électromotrice déterminée au moyen de la balance électro-magnétique.	Quantité de cuivre qui serait déposée par heure dans un circuit qui aurait 1 mètre de fil d'argent de 1 mill. de diamètre à la température de 0°.	
	milligr.		gr.	gr.
1961,8385	500,820	96,65	104,5712	86,0150
2226,9298	491,160	94,45	116,4098	97,9838
2099,1956	498,127	98,20	111,3567	90,1435
1858,2799	565,455	96,60	112,0318	92,1993
1524,1219	691,080	98,00	111,5690	90,5076
Moyenne. . . .		96,90	111,1877	91,3698

Les nombres de la dernière colonne ont été calculés en remarquant que le zinc pur, attaqué par l'acide sulfurique, a donné dans la balance électro-magnétique le nombre 79,5; c'est l'unité de force électromotrice adoptée ici.

On voit que la force électromotrice des couples de Bunsen employés a été de 96,90 en moyenne; mais il faut remarquer que ce nombre exprime la moyenne entre la force électromotrice au commencement et à la fin de chaque expérience, c'est-à-dire la moyenne de l'effet produit pendant les deux heures environ que les couples ont fonctionné; au commencement des expériences cette force était de 98 à 98,5, et à la fin elle n'était plus que de 94,5 à 95.

Il est facile, d'après les nombres précédents, de trouver quelle serait l'action chimique que peut produire une pile d'une force électromotrice quelconque ayant une résistance déterminée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cherchons, en effet, quel serait le poids du cuivre qui pourrait être déposé dans un circuit formé par un couple de Bunsen ou à sulfate de cuivre, en admettant que la force électromotrice du couple de Bunsen soit 96,90 pendant la durée de l'expérience, et celle à sulfate de cuivre 58,50 ; on suppose que les résistances sont pour le 1er couple 10 mètres de fil de cuivre de 1 millim. de diamètre et à 0°, et pour le second de 26 mètres.

COUPLES	Résistance supposée du circuit total en fils de cuivre de 1 mill. à 0°.	Quantité de cuivre déposée par heure par chaque couple.
	mètres.	gr.
A acide nitrique (Bunsen).	10	10,4471
A sulfate de cuivre.	26	2,4269

En général, connaissant la résistance d'un circuit dans lequel ces deux couples sont compris, la quantité d'action chimique est en raison inverse de cette résistance. Si les piles étaient formées par la réunion d'un certain nombre de couples en tension, la force électromotrice du système étant égale à la somme des forces électromotrices, et proportionnelle, par conséquent, au nombre des éléments de la pile, il faudrait multiplier les valeurs précédentes par le nombre des éléments de la pile.

Les actions électro-chimiques se produisant en proportions définies, si on veut connaître quel serait le dépôt de l'argent, de l'or, du zinc, qui aurait lieu par heure dans une pile quelconque, ou bien la quantité d'eau décomposée, il suffit de multiplier les nombres précédents par les rapports qui existent entre les équivalents du cuivre et celui de ces métaux ; on a ainsi :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

FORCE ÉLECTROMOTRICE.	RÉSISTANCE à la conductibilité du circuit total.	POIDS DES CORPS DÉPOSÉS ÉLECTRO-CHIMIQUEMENT PAR HEURE.					Eau décomposée par heure.
		Cuivre.	Zinc.	Plomb.	Argent.	Or.	
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Action exercée par l'eau acidulée par l'acide sulfurique sur le zinc pur. (Unité adoptée dans ce travail.)	Fil d'argent pur de 1 mètre de longueur, de 1 mill. de diamètre, à la température de 0° degré.	91,370	93,883	298,963	311,372	283,021	25,086
Couple à acide nitrique (Bunsen).	10 mètres de fil de cuivre pur de 1 mill. de diamètre, à 0°.	10,447	10,734	34,183	35,624	32,417	2,871
Couple à sulfate de cuivre.	26 mètres de fil de cuivre semblable au précédent.	2,427	2,494	7,941	8,276	7,531	0,699

Il est évident que ces nombres n'expriment pas l'effet des couples auxquels on joindrait une résistance extérieure, solide ou liquide, qui ne serait pas comprise dans les nombres de la seconde colonne ; si l'on voulait trouver, par exemple, combien un couple de Bunsen semblable au précédent précipiterait de cuivre par heure dans un voltamètre extérieur qui aurait 10 mètres de résistance en outre de celle du couple, la résistance totale serait 20 mètres, et le poids du cuivre déposé serait moitié ou 5 gram. 223. Quant à l'eau décomposée, si l'on voulait vérifier le nombre indiqué dans le tableau au moyen de l'action d'une pile qui dégagerait des gaz dans un voltamètre, il faudrait non-seulement avoir la résistance du voltamètre et celle de la pile, mais encore diminuer la force électromotrice de celle-ci de l'effet de polarisation due aux lames du voltamètre pour avoir l'intensité du courant qui dégage le gaz.

§ II. ÉVALUATION DE LA DÉPENSE D'UNE PILE D'UNE FORCE ÉLECTROMOTRICE DONNÉE ET D'UNE RÉSISTANCE ÉGALEMENT DÉTERMINÉE.

Les résultats rapportés précédemment permettent de déterminer quelle est la dépense d'une pile, lorsque celle-ci fonctionne pendant un certain temps. Les décompositions chimiques ayant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lieu en proportions définies, chaque couple agit comme un appareil décomposant quand le courant circule et présente le même travail chimique intérieur; il suffirait donc d'évaluer celui d'un des couples pour en conclure le travail de la pile entière, si la dépense effective était représentée exactement par la dépense théorique.

Pour vérifier s'il en est réellement ainsi, on a pris pour exemple l'effet que devrait produire un couple à acide azotique avec conducteur en charbon (Bunsen), et en supposant que sa force électromotrice et sa résistance fussent constantes pendant le temps que l'on considère; en cherchant, d'après le paragraphe précédent, quelle est la force électromotrice admise pour le couple, et en admettant que les résistances fussent de 6, 8 et 10 mètres de fil de cuivre de 1 millimètre de diamètre, qui sont les résistances entre lesquelles sont comprises les résistances des couples grands et moyens actuellement en usage, on déduit des nombres contenus dans les tableaux précédents quel serait le poids du zinc dissous par heure dans la pile, en remarquant que les équivalents chimiques du cuivre et du zinc sont représentés par les nombres 393,6 et 406,5.

Résistances des couples de Bunsen en fil de cuivre de 1 millim. de diamètre à 0°.	Quantité théorique de zinc qui serait consommée par heure et par couple.
6 mètres.	17^{g},956
8 —	13 ,467
10 —	10 ,774

En même temps que cette quantité de zinc serait consommée par heure, un équivalent d'acide sulfurique serait nécessaire pour former du sulfate de zinc, et un équivalent d'acide azotique serait employé à donner des vapeurs nitreuses ou des produits azotés.

Cette évaluation donne, ce qu'on peut appeler, le travail théorique du couple; et si, en prenant des précautions très-grandes, en évitant que le zinc amalgamé ne soit plongé dans l'eau acidulée sans fonctionner, en isolant convenablement les couples, on approche de ce nombre, dans la pratique, alors que l'on ne prend pas toutes ces précautions, on trouve que la consommation est plus grande que ne l'indique la théorie; cela peut tenir à ce que les liquides se mélangent au travers des diaphragmes, à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ce que le zinc amalgamé s'altère même quand le circuit n'est pas fermé, et par conséquent que toute l'action chimique qui se produit entre le zinc et l'eau acidulée n'est pas entièrement efficace pour le dégagement de l'électricité; enfin, si la tension de l'électricité est grande, une partie de l'électricité peut passer par les parois des vases sous forme de courants dérivés.

Pour montrer la différence qu'il peut y avoir en déterminant le travail chimique par le dépôt du cuivre dans un voltamètre, et le travail intérieur des couples montés comme on le fait dans la pratique, je rapporterai deux expériences faites, la première avec six couples de Bunsen de moyen modèle (vase poreux de 12 millim. de hauteur), et ensuite avec deux couples grand modèle des laboratoires (vase poreux de 20 cent. de hauteur), et qui ont été pris au milieu d'une pile montée pour faire de la lumière électrique. On a pesé dans chaque couple les zincs avant et après l'expérience, ainsi que le dépôt de cuivre dans le voltamètre à sulfate de cuivre pur; on a eu:

	Durée de l'expérience.	Zinc dissous par heure en moyenne dans chaque couple.	Cuivre déposé dans le voltamètre.
Pile de 6 éléments moyens	Après la première heure.	12^{s},900	12^{s},170
	— la deuxième heure	9 ,858	8 ,014
	— la troisième.	6 ,875	5 ,730
	Total.	29^{s},633	25^{s},914
Pile de 2 grands éléments	Après la première heure.	14^{s},075	11^{s},231
	— la deuxième.	9 ,700	9 ,774
	— la troisième.	13 ,050	11 ,325
	Total.	36 ,825	32 ,330

Si l'on cherche quel est l'équivalent du zinc pour 25^{gr},914 et 32^{gr},330 de cuivre, on trouve 26^{gr},723 et 33,340. Par conséquent, dans les deux cas il s'est usé plus de zinc que le nombre théorique ne l'indique. La différence, dans le premier cas, est de $29{,}633 - 26{,}723 = 2{,}91$, et le rapport au poids du cuivre est

$$\frac{2{,}91}{26{,}723} = 0{,}109.$$

Dans ce second cas, on a $\frac{36{,}825 - 33{,}340}{33{,}34} = \frac{3{,}485}{33{,}34} = 0{,}105$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ainsi il s'est usé près de $\frac{11}{100}$ plus de zinc que ne l'indique la dépense théorique.

Dans l'expérience suivante, on a cherché non-seulement la quantité de zinc dissous et celle du cuivre déposé, mais encore la quantité d'acide azotique décomposée ; l'opération a duré vingt-trois heures et a été faite avec deux couples moyens de Bunsen.

Poids du cuivre dans le voltamètre.	Perte de poids du zinc		Acide nitrique dans les vases poreux.				
	1re lame.	2e lame.		Degrés aréométr.	Densité.	Volume.	Poids.
						cent. cb.	gr.
gr.	gr.	gr.	Avant l'expérience.	36	1,310	276	361,8
32,833	62,880	66,290	Après l'expérience.	17	1,093	281	307,2

L'acide azotique, après l'expérience, renfermait un peu de sulfate de zinc. On a trouvé, avec une liqueur titrée faite avec le carbonate de soude, que l'acide à 36° aréométriques avait perdu 0,756 de son acidité, en passant à 17° ; en admettant que l'acide disparu ait été consommé, cela ferait, en acide aqueux à 36°, 273gr,52. Si l'on cherche quel est l'équivalent chimique de l'acide azotique correspondant à deux fois 32,88 de cuivre, on trouve 297, nombre peu différent du précédent, mais cependant qui lui est supérieur.

Quant aux zincs, ils se sont usés plus que ne l'indique le dépôt de cuivre, puisque l'équivalent chimique donnerait 54gr,53 de zinc dans chaque couple, et que l'on trouve en moyenne 64,50 ; le rapport de la différence au nombre théorique est $\frac{10}{54,53} = 0,18$.

Ainsi l'action intérieure a dépassé de près de $\frac{1}{5}$ la dépense calculée comme il a été dit précédemment, au lieu d'être seulement de $\frac{1}{10}$ comme plus haut.

Ces expériences montrent donc que, dans la pratique, les couples à deux liquides consomment plus de zinc que ne l'indique la théorie. Mais il faut évaluer, quand ils fonctionnent avec toute leur intensité, quelle est la quantité totale d'action chimique

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qu'ils peuvent donner, et, par conséquent, quelle puissance chimique ils peuvent produire :

On a monté deux piles de deux éléments chacune, et on les a fait fonctionner sans aucune résistance additionnelle, en les faisant agir, par conséquent, sur elles-mêmes, et en concentrant toute leur action chimique à l'intérieur : les modèles des couples étaient ceux qui avaient, comme résistance, au moment du montage, de 9 à 10 mètres de résistance et de 6 à 7 mètres de fil de cuivre. Après deux heures d'action, on a eu en moyenne pour la dissolution du zinc dans chaque couple.

	Consommation du zinc dans chaque couple par heure.
Couples de Bunsen de moyen modèle (diaphragme haut de 13 cent. et de 3 millim. de diamètre)	17g,08
Couple grand modèle ordinaire (diaphragme haut de 20 cent.)	22 ,37

Si les résistances pouvaient être représentées par les nombres indiqués plus haut, on aurait dû avoir 11 à 12 grammes dans le premier cas et 15 à 16 grammes dans le second ; mais les couples fonctionnant sans résistance extérieure se sont échauffés, et leur pouvoir conducteur a aussitôt changé, comme on l'a vu page 337. Dès lors, cette résistance a pu devenir de 7 ou 8 mètres dans le premier cas, et de 5 mètres environ dans le second, ce qui conduirait aux quantités de zinc de 13 et 21 grammes; d'un autre côté, ces résistances ne se sont pas maintenues telles et ont dû diminuer ensuite.

Si l'on remarque ensuite que la consommation du zinc peut dépasser de 1 à 2 dixièmes l'évaluation théorique, on voit que cette dernière expérience donne des résultats conformes à ceux qui avaient été trouvés antérieurement.

On a supposé que l'on faisait fonctionner les couples sans aucune résistance extérieure ; en introduisant des fils métalliques ou des conducteurs dans le circuit, on diminue l'intensité du courant, on rend la pile moins variable d'intensité, et l'on se rapproche de la dépense calculée précédemment.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En résumé, on voit donc que l'on peut admettre la dépense indiquée page 349 pour les couples à acide azotique, en évaluant le zinc par les équivalents chimiques, et en ajoutant de 0,1 à 0,2 pour exprimer l'excès de zinc dissous sans travail extérieur correspondant.

On peut également conclure des résultats précédents qu'avec une pile d'un nombre de couples déterminés, on ne peut dépasser une certaine limite d'action dépendant du nombre des couples, de leur force électromotrice et de leur résistance. Cette limite est telle, que, pour les couples à acide azotique en usage, on ne dépasse guère 20 *à* 30 *grammes de zinc dissous dans chaque couple par heure,* et encore avec les éléments de plus grande dimension que l'on possède, et quand la résistance extérieure est petite. Lorsqu'une résistance additionnelle est interposée dans le circuit, si cette résistance est égale à celle du couple, ce qui donne le maximum d'effet utile, la consommation n'est que moitié du nombre précédent. On ne donne pas le prix de revient des matières consommées dans les couples, car ce prix peut varier; mais on peut aisément l'établir d'après les nombres rapportés plus haut et les équivalents chimiques.

Il serait facile d'évaluer d'une manière semblable la dépense des couples à sulfate de cuivre ou de tout autre couple, et ainsi qu'on l'a fait page 347 et suivantes; car il suffirait, d'après le tableau qui a été donné, de connaître la résistance des couples, la résistance additionnelle extérieure et la force électromotrice du couple.

Pour les couples à sulfate de plomb, il en est encore de même; si l'on considère d'abord le couple dont on a parlé page 332, et qui a 100 mètres environ de fil de cuivre de résistance, comme sa force électromotrice est de 28 à 29, celui d'un couple à acide azotique étant 100, on aurait, en supposant que la résistance ne changeât pas :

	Résistances.	Poids du cuivre déposé par heure.	Poids du zinc dissous théoriquement par heure.
	mètres.	gr.	gr.
Avec le couple à sulfate de plomb sans résistance extérieure. . . .	100	0,3016	0,3110
Avec une résistance extérieure de 1000 mètres.	1100	0,0283	0,0292

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On peut bien admettre qu'il se dissout plus de zinc dans le couple, mais la proportion de sulfate de plomb réduit ne dépassera pas les nombres précédents ; or, d'après les équivalents chimiques, les quantités de zinc inscrites au tableau sont équivalentes à 1gr,461 de sulfate de plomb et à 0gr,137. Chaque couple, fonctionnant sans interruption et sans résistance extérieure, ayant 400 grammes de sulfate, pourrait donc durer 11 à 12 jours, si la résistance ne devenait pas plus petite; avec une seule résistance de 1,000 mètres, ces mêmes couples pourraient durer quatre mois, et si la résistance était plus grande, comme dans la télégraphie, ils pourraient fonctionner, sans cesser d'être constants, pendant plus longtemps.

Les autres couples à sulfate de plomb cités page 333, et renfermant l'un 1 kilogr. de sulfate et l'autre 5 kilogr., pourraient fonctionner sans interruption et avec une intensité constante, pendant un temps très-long, mais proportionnellement au poids de sulfate ; ainsi le dernier couple, avec une seule résistance de 1000 mètres, pourrait durer plus de quatre ans.

Il est facile d'indiquer, d'après les équivalents chimiques, quelles sont les proportions relatives de zinc et de sulfate de plomb nécessaires pour ces piles ; pour 100 gram. de zinc il est nécessaire de 470 gram. de sulfate de plomb, c'est-à-dire d'un peu moins de cinq fois le poids du zinc. Cependant il est possible qu'il se consomme un peu plus de zinc, mais il ne se réduira que la proportion de sulfate de plomb équivalente à la quantité d'électricité qui passe dans le circuit.

En terminant le résumé de ces recherches je dois faire une dernière remarque qui n'est pas sans intérêt pour les applications industrielles de l'électricité.

Si l'on assimile les couples électriques à des foyers dans lesquels on consomme du zinc pour produire à l'extérieur une certaine somme d'effets électriques qui peut être employée à tel ou telle action, on voit que ces foyers ne peuvent consommer au delà d'une quantité de zinc déterminée et correspondant à une force électromotrice et à une résistance également déterminée. D'après les couples à deux liquides et à acide azotique aujourd'hui en usage, ceux qui ont la plus grande puissance n'ont pas une résistance inférieure à 3 ou 4 mètres de fil de cuivre de 1 millim. de diamètre, et chacun d'eux, au minimum, ne peut consommer

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

utilement au-delà de 25 à 30 gram. de zinc par heure, c'est-à-dire qu'ils ne peuvent produire utilement à l'extérieur un travail plus grand que celui qui serait équivalent à la consommation de cette quantité de zinc. Avec des couples simples à un liquide, cette quantité pourrait être dépassée en raison de leur peu de résistance, mais ces couples ne présenteraient pas une force électromotrice constante.

Je ne me suis occupé dans la 3e partie de ces recherches que des effets chimiques produits par les piles. Il serait important de déterminer quels sont les effets physiques équivalents à une force électromotrice déterminée dans un circuit dont la résistance est connue. Ce sujet mérite d'être étudié, et quoique je ne puisse actuellement entrer dans aucun détail sur ces effets, je me bornerai à citer les résultats de plusieurs déterminations expérimentales se rapportant aux unités employées dans ce travail, et qui expriment la quantité de chaleur produite dans un fil métallique d'une résistance connue, lequel serait parcouru par un courant électrique capable d'une action chimique donnée : On sait que cette quantité de chaleur est proportionnelle au carré de l'intensité du courant et à la résistance du fil métallique. « Un « courant électrique passant dans un fil d'argent pur de 1 millim. de dia- « mètre, et de 1 mètre de longueur supposé à 0° pendant l'expérience, et ce « courant donnant 1 gram. de cuivre par minute dans un voltamètre à sulfate « de cuivre, produirait dans cette minute 669,25 calories, c'est-à-dire 669 fois « la quantité de chaleur qui élèverait 1 gram. d'eau de 0 à 1°. »

DIVISION DE CE MÉMOIRE.

1re Partie. Force électromotrice.

§ I. Procédé d'expérimentation, page 258. — § II. Polarisation des électrodes, 270. — § III. Action des dissolutions les unes sur les autres, 277. — § IV. Forces électromotrices dues à l'action des liquides sur les métaux, 281. — § V. Forces électromotrices des différentes piles; couples à acide azotique, à sulfate de cuivre, à sulfate de plomb, etc., 289. — § VI. Forces électromotrices à différentes températures, 295.

2e Partie. Résistance à la conductibilité.

§ I. Résistance des corps solides; unités de comparaison, page 299. — § II. Résistance des liquides et des diaphragmes poreux, 314. — § III. Résistance des couples voltaïques, 323. — § IV. Résistance des couples à diverses températures, 335.

3e Partie. Puissance chimique des piles; évaluation de leur dépense.

§ I. Effet chimique d'une pile dont on connaît la force électromotrice et la résistance, page 337. — § II. Évaluation de la dépense d'une pile d'une force électromotrice donnée et d'une résistance également déterminée, 348.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

NOUVELLE MÉTHODE

POUR DOSER

LES SALPÊTRES DU COMMERCE

PAR M. J. PERSOZ.

En 1789, Riffault fit connaître pour le dosage des salpêtres une méthode calquée sur l'opération industrielle que l'on pratique pour le raffinage de ce sel; mais ce mode d'essai, quoique encore en usage dans beaucoup de circonstances, ne peut donner qu'approximativement le titre d'un salpêtre. Gay-Lussac, et plus tard M. Pelouze, ont publié des méthodes destinées à évaluer plus exactement le degré de richesse des salpêtres du commerce.

Dernièrement encore, M. Boussingault, dans un travail sur l'analyse des terres, indique un nouveau procédé d'élimination et de dosage de l'acide nitrique.

Ces différentes méthodes étant connues de tous les chimistes et industriels, nous nous dispenserons d'entrer dans des détails à leur sujet.

Sur l'invitation de notre chambre de Commerce, je me suis livré à des recherches qui m'ont amené à découvrir une nouvelle méthode de dosage des salpêtres qui me paraît plus à la portée des personnes étrangères aux connaissances chimiques.

Les substances qui se rencontrent en général dans les nitrates du commerce, et dont il importe de connaître aussi exactement que possible les quantités respectives sont :

(*a*) L'eau;
(*b*) Les chlorures;
(*c*) Les sulfates;
(*d*) Les matières insolubles;
(*e*) Enfin le nitrate proprement dit ou l'acide nitrique.

Dosage de l'eau. Plusieurs moyens se présentent pour le dosage de l'eau renfermée dans un salpêtre :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1° On peut pulvériser le sel, en prendre un poids déterminé, l'exposer à la chaleur d'une étuve chauffée à 100 ou 110°[1].

2° On peut enfin peser rigoureusement dans une capsule en platine de 50 à 200 grammes de nitre, et soumettre ensuite la capsule à l'action d'une chaleur ménagée, de manière à arriver peu à peu à la fusion complète du nitrate, sans élever la température beaucoup au dessus de son point de fusion, ce à quoi on arrive très-facilement au moyen du gaz. Dans ces circonstances, le nitre et les sels qui le souillent n'éprouvent aucune altération ; toute l'humidité disparaît, et dès que la fusion est devenue tranquille, on retire la capsule du feu. Aussitôt refroidie, elle est portée sur la balance, et la diminution de poids qu'elle a éprouvée fait connaître directement la proportion d'eau.

Cette dernière manière de déterminer l'eau d'un nitrate est la plus rigoureuse, et les résultats ne peuvent en être inexacts que si, ayant porté la température à un degré bien supérieur à celui où la matière entre en fusion, on est arrivé à décomposer les nitrates calcique et magnésique qui pouvaient s'y trouver. Une erreur serait encore possible, si le nitre à essayer renfermait des proportions notables de nitrate ammonique ou des matières organiques accidentelles, capables de réagir sur l'oxygène du nitrate et de provoquer une déflagration.

Aussi, comme ces cas sont exceptionnels, et qu'on peut facilement se prémunir contre ces diverses causes d'erreurs, nous donnons la préférence à ce dernier moyen sur le précédent, qui présente cet inconvénient que, si, comme c'est ordinairement le cas, on opère sur des nitres du commerce toujours plus ou moins souillés de corps étrangers, on ne parvient jamais à dessécher complétement le sel, ce qui expose à doser trop bas la quantité d'eau.

Dosage des matières insolubles. — Deux moyens sont employés :

1° On dissout dans l'eau un poids P du nitre à essayer ; la liqueur est versée sur un filtre, et le précipité recueilli, lavé, desséché, calciné et pesé. On peut encore recueillir ce précipité sur un double filtre, dont l'un servira ensuite de tare, puis laver, dessécher et peser.

[1] On peut parfaitement utiliser à cet effet les appareils de conditionnement dont nous nous servons journellement pour fixer les proportions d'eau renfermées dans les soies et les laines du commerce.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2° On traite par l'eau la masse fondue qui a servi à fixer le degré d'humidité, de manière à former un volume déterminé de liqueur N. On filtre celle-ci avec soin, et on recueille le précipité ; ce dernier ayant acquis par la fusion une certaine cohésion, la filtration de la liqueur est très-rapide et le *précipité* lavé en très-peu d'instants ; on le dessèche alors et on le pèse comme ci-dessus.

Il faut avoir soin de conserver intacte la liqueur primitive N, et d'y ajouter les eaux de lavage du précipité. Selon les proportions de nitre sur lesquelles on aura opéré, et selon aussi qu'on aura dissous la masse fondue et fait du tout un $\frac{1}{2}$ ou 1 litre de liqueur N, celle-ci renfermera des quantités variables, mais *déterminées* de nitre, et pourra ainsi servir, comme on va le voir, au dosage des *chlorures* et des *sulfates*.

Dosage des chlorures. — Pour faire le dosage des chlorures, nous avons recours à la méthode employée par Gay-Lussac pour l'essai des matières d'argent par voie humide. A cet effet, nous composons deux liqueurs titrées de *nitrate argentique* (liq. A et liq. B).

Pour former la première A, on traite 27 gram. argent pur par les quantités d'eau et d'acide nitrique nécessaires pour en opérer la dissolution, et on fait du tout un litre de liquide.

Pour la seconde B, on mesure exactement 100 centim. cubes de la liq. A et on l'étend d'eau, de manière à en faire 1000 cent. cubes ; elle se trouve ainsi 10 fois plus faible.

1 centimètre cube de la liqueur A représente donc :

0ᵍ,01466 de chlorure sodique
et 0ᵍ,01864 de chlorure potassique.

1 centimètre cube de la liqueur B représente par conséquent :

0ᵍ,001466 chlorure sodique
0ᵍ,001864 chlorure potassique.

Quant à la manière d'opérer, elle est bien simple.

On mesure 50 centimètres cubes de la dissolution de nitre N (contenant 5, 10, ou 15 gram. de sel), qu'on introduit dans un flacon bouché à l'émeri de 250 centimètres cubes de capacité ; alors, à l'aide d'une petite pipette graduée, et selon l'intensité du précipité qui apparaît, on y verse $\frac{1}{2}$ ou 1 centimètre cube de la liqueur argentique A, et l'on continue d'en ajouter, jusqu'à ce qu'elle ne produise plus d'effet. Le flacon dans lequel on opère étant chauffé au bain-marie et ensuite fortement agité, le liquide

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ne tarde pas à s'éclaircir parfaitement, puisque la liqueur argentique s'y trouve en excès. Pour connaître cette quantité excédante, on remplit une burette alcalimétrique de la dissolution de nitre N, et on en verse peu à peu et successivement, de manière à *neutraliser* et précipiter toute la quantité de nitrate argentique employée en excès.

Si, comme cela peut arriver, on venait à dépasser le but, et à faire prédominer la dissolution N, on a dans ce cas recours à la liqueur argentique B, qu'on verse en très-petite quantité, $\left(\frac{1}{10}^{cc}\right)$ et on finit par précipiter rigoureusement tout le chlore qui existait dans le *nitrate à essayer*. Or, en notant exactement :

1° Le volume de dissolution de nitre N ;

2° Le nombre de centimètres cubes des liqueurs A et B employées à la précipitation des chlorures, on a tous les éléments nécessaires pour connaître la proportion de chlorure sur 100 parties de sel, car il suffit de rapporter par le calcul les données ci-dessus à 100 gram. de nitre, et de multiplier ensuite le nombre de centimètres cubes des liqueurs A et B par les nombres correspondants de chlorure potassique ou sodique.

Je suppose, par exemple, qu'on ait opéré sur une dissolution de nitre N renfermant 100 gram. de sel dans un litre de liquide, et qu'après la précipitation achevée on trouve que $60^{cc},5$, de cette dissolution N, ont exigé

9 cent. cubes liqueur argentique A } = 10 c. cubes 3, liqueur A.
et 13 cent. cubes *id.* B }

or 60,5 : 10,30 : : 1000 : $170^{cc},25$ et $170^{cc},25 \times 0^{g},01466 = 2,496$ de chlorure sodique.

Le seul inconvénient que présente ce mode de dosage, c'est qu'il expose à précipiter et à doser comme étant du chlore le brôme et l'iode qui se rencontrent dans certains salpêtres du commerce ; toutefois ces corps n'y figurant jamais qu'en faible proportion, l'erreur est insignifiante.

Dosage des sulfates. — Il semble que rien n'est plus facile que le dosage de l'acide sulfurique, et par conséquent de celui d'un sulfate renfermé dans un nitrate ; mais en réalité, de tous les corps à doser, c'est celui qui offre le plus de difficultés, en raison de la facilité avec laquelle les *sulfates insolubles* se dissolvent dans les *nitrates alcalins*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Voici comment nous procédons à ce dosage :

Nous formons une *liqueur titrée de chlorure* barytique, renfermant sous le volume de 1 litre 259 gram. 8 de sel. Chaque *centimètre cube* de cette liqueur renferme donc, 0 gram.,2598 de chlorure, et représente par conséquent :

0ᵍ,179 de sulfate sodique
0ᵍ,208 de sulfate potassique.

On commence par mesurer 200 centimètres cubes de la dissolution de nitre N. Après avoir acidulé cette liqueur par quelques gouttes d'acide, on l'introduit dans une capsule de platine pour la chauffer et la porter à pleine ébullition; on y verse alors peu à peu la liqueur titrée barytique jusqu'à ce que celle-ci ne trouble plus et qu'elle soit en excès. Arrivé à ce point, on remplit une burette alcalimétrique de la dissolution de nitre N que l'on verse peu à peu dans la capsule, à l'effet de neutraliser l'excédant de la liqueur barytique. C'est alors que les difficultés se présentent : la liqueur ne s'éclaircit pas assez bien d'elle-même pour qu'on puisse juger du trouble provoqué par les agents en présence. Pour obvier à cet inconvénient, on prélève de temps en temps une certaine quantité du liquide trouble, qu'on passe au travers d'un petit filtre lavé, et, dans la liqueur claire et transparente, on verse $\frac{1}{2}$ centimètre cube de la dissolution de nitre N; selon qu'il se forme un précipité plus ou moins abondant, on remet le tout dans la capsule avec 10, 15, 20 centimètres cubes de cette même dissolution N; on fait bouillir de nouveau, on filtre, et on procède à un nouvel essai; enfin on arrive ainsi à constater, par exemple, que pour 213ᶜᶜ,6 de dissolution de nitre N renfermant 100 grammes de sel par litre, on a dû employer 2ᶜᶜ,5 de chlorure barytique; ces 100 grammes de sel renferment 2ᵍ,094 de sulfate sodique.

Dosage de l'acide nitrique. — Le mode de dosage que nous employons est aussi simple que celui de l'eau, car il consiste à *expulser l'acide nitrique d'un nitrate et à évaluer son poids par des différences constatées à la balance.*

Comme les salpêtres du commerce renferment de *l'eau* et des *chlorures*, il fallait arriver à *vaporiser l'eau sans toucher à l'acide nitrique, et éliminer ensuite ce dernier* sans toucher aux *chlorures*, car autrement il n'y avait pas de dosage possible par cette voie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces conditions se sont trouvées réunies de la manière la plus heureuse dans l'emploi du CHROMATE et du BI-CHROMATE POTASSIQUE.

Le premier de ces sels, ajouté à un nitrate, permettra toujours de dessécher celui-ci et d'expulser par la fusion la totalité de l'eau qu'il renferme, sans que la plus faible quantité d'acide nitrique soit entraînée et perdue.

Le second, le bi-chromate potassique (chromate rouge), fondu et sec, jouit par son excès d'acide de la propriété d'expulser tout l'acide nitrique d'un nitrate, sans porter la plus légère atteinte aux *fluorures* et aux *chlorures* qui se trouvent en présence. Le succès de ces opérations dépend surtout de l'état de siccité des sels; or, il est facile d'y arriver puisque le *chromate* supporte une chaleur très-forte sans se décomposer, et que le *bi-chromate* entre facilement en fusion et perd ainsi toute son eau hygroscopique.

Ceci une fois posé, voici comment on opère : dans un creuset de platine extrêmement mince de $0^m,07$ de hauteur et de $0^m,04$ de diamètre, on pèse avec le plus grand soin de 2 à 3 grammes du nitre dont on veut connaître la richesse en acide nitrique et par suite en nitrate. On place ce creuset, muni de son couvercle, sur un petit disque *très-mince* en terre poreuse et percé d'une multitude de petits trous, ou mieux encore dans un double creuset en platine. Sous cet appareil, on fait brûler avec précaution un bec à gaz de Bunsen; le nitre ne tarde pas à entrer en fusion parfaite et toute l'eau en est expulsée. On retire alors le creuset du feu, et après l'avoir laissé refroidir, on le porte sur la balance pour constater la perte qu'il a subie et qui représente l'eau [1].

Pendant que le creuset se refroidit, on mesure dans un tube gradué à cet effet un volume de *bi-chromate potassique*, correspondant à deux fois le poids du nitre employé; on le chauffe dans un petit vase en platine, et aussitôt après la pesée du creuset contenant le nitre, on y verse ce *bi-chromate* en fusion et on tare le tout. Après quoi, le creuset est exposé de nouveau à l'action de

[1] Lorsqu'on est certain de la présence, dans le salpêtre à essayer, des nitrates calcique et magnésique, et qu'on peut craindre qu'une portion de l'acide nitrique ne soit expulsée par la fusion et comptée pour de l'eau, il suffit d'ajouter à ce salpêtre environ 1 gramme de *chromate potassique sec*, et dans ces circonstances, la fusion et la dessiccation s'accomplissent sans perte d'acide nitrique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la chaleur du gaz ; les deux sels entrent en fusion, puis se décomposent mutuellement, ainsi que le prouvent les abondantes vapeurs nitreuses qui se dégagent à mesure que l'acide chromique du bi-chromate se porte sur la base du nitrate.

Au commencement de l'opération, la réaction est si vive qu'il est nécessaire de tempérer l'action de la chaleur afin d'éviter que la matière ne soit projetée au dehors ; malgré cela, il arrive souvent que des parties notables du mélange sont entraînées et viennent se condenser sur la surface interne du couvercle auquel on donne la forme d'une capsule profonde, afin que la matière fusible qui y est projetée tende toujours à retomber dans le centre du creuset.

Au fur et à mesure que les vapeurs nitreuses deviennent moins abondantes, on élève graduellement la chaleur jusqu'au rouge sombre, afin d'amener le tout à l'état de fusion tranquille, sans cependant faire subir une décomposition à la portion de bi-chromate qui se trouvait en excès. On a soin enfin de faire rougir le couvercle du creuset, en dirigeant une flamme de gaz de manière à décomposer les parties de nitrate qui auraient pu y rester adhérentes.

L'opération achevée, le creuset est laissé quelques instants ouvert, afin que l'air s'y renouvelle et que les dernières parties de vapeurs nitreuses soient expulsées. Une fois refroidi, il est porté sur la balance où l'on constate rigoureusement la diminution de son poids ; cette diminution exprime la proportion exacte d'acide nitrique renfermé dans le nitrate soumis à cette épreuve.

Dans cette dernière opération, on peut se contenter de fondre le nitrate à essayer, et y ajouter le bichromate sans avoir égard à la perte d'eau préalable, car l'action du bichromate une fois accomplie, le nitrate à essayer donne lieu à une perte représentée par l'eau et l'acide nitrique qu'il renfermait. Or, comme on a dû doser l'eau à part sur des quantités de matières beaucoup plus grandes et que les résultats en sont plus exacts, il suffit de retrancher du chiffre représentant la perte totale celui qui appartient à l'eau et l'on a pour différence la quantité d'acide nitrique renfermée dans le nitrate.

Si par l'un de ces deux moyens on est arrivé à trouver que 5 grammes de nitrate de soude du commerce donnent lieu à une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

perte en acide nitrique = à P, il suffira de poser la proportion :

675 équivalent de l'acide nitrique : 389 éq. de la soude[1] : : P d'acide nitrique trouvé par différence : x.

Or $x + P \times 20 =$ la quantité de nitrate réel renfermée dans 100 parties de nitrate brut essayé.

Après avoir appliqué les méthodes ci-dessus à l'essai d'un nitrate du commerce, si on fait la somme sur 100 part.

1° De l'eau trouvée.	2,52	5,93
2° Des chlorures	1,65	
3° Des sulfates.	1,18	
4° Des matières insolubles.	0,60	
5° Du *nitrate réel* calculé d'après l'acide nitrique expulsé.	94,072	

on trouve à *des millièmes* près la quantité de nitre primitivement employée[2], pourvu, toutefois, que le nitre sur lequel on a opéré soit *exclusivement* ou à *base de potasse,* ou à *base de soude*. Mais si ce nitre sur lequel on expérimente est à base de soude, et accompagné d'une certaine quantité de potasse, il y aura une perte apparente proportionnelle à la quantité de cette dernière base dont l'équivalent est plus élevé.

Si, par contre, on évalue la richesse d'un nitrate potassique *contenant du nitrate sodique,* la somme des quantités de matières énoncées ci-dessus présentera un *excédant*, dont le chiffre sera d'autant plus élevé, que le nitre contiendra plus de soude, dont la capacité de saturation est beaucoup plus grande. En un mot, on ne perdra pas de vue que :

675 grammes d'acide nitrique saturés par la soude et la potasse se convertissent en 1074 nitrate sodique et 1264 nitrate potassique.

La présence des nitrates calcique et magnésique, dont les

[1] Si l'on opère sur un sel à base de potasse, ce nombre 589 est remplacé par celui de l'oxyde potassique = 589.

[2] En effet, dans cette expérience, 5 grammes de nitrate sodique du commerce perdirent 2s,984 représentant,

d'après la pp. 675 : 589 :: 2,984 : x = 1,7196 de soude :

donc le nitrate = 4,7036 × 20 = 94,072;

La quantité de nitre évaluée par différence = 94,05.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

équivalents sont encore moins élevés que celui de la soude, peut encore donner lieu à un excédant.

Telle est la nouvelle méthode que nous proposons et que nous n'avons cru devoir livrer à la publicité qu'après nous être assuré par des expériences nombreuses sur les divers nitrates hydratés ou anhydres, purs ou impurs, qu'elle présentait de véritables garanties de précision.

N. B. Cette note était à l'impression lorsque parut dans les journaux allemands un travail de M. Mueller sur le même sujet. Ce chimiste propose de convertir les nitrates en chlorures, en faisant nager l'acide chlorhydrique en grand excès sur ces sels. La différence que l'on constate entre les poids du nitrate et du chlorure secs sert à calculer la proportion d'acide.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PRINCIPAUX

APPAREILS D'OBSERVATION

EMPLOYÉS DANS LES EXPÉRIENCES DE MÉCANIQUE

AU CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET METIERS.

PAR M. TRESCA.

Nous avons indiqué d'une manière générale les dispositions à l'aide desquelles la plupart des expériences de mécanique peuvent être faites dans la salle des machines en mouvement du Conservatoire. Nous nous proposons dans cette note d'entrer dans quelques détails sur les instruments et sur les appareils plus spécialement destinés aux observations.

Nous examinerons successivement ceux de ces appareils qui sont destinés aux phénomènes dynamiques, et ceux que nous employons dans le cas où l'action des forces ne détermine qu'un équilibre moléculaire dont l'observation peut être faite au repos.

Dans le premier cas, les instruments devront saisir rapidement les éléments qu'ils servent à mesurer. Ce seront la plupart du temps des appareils enregistreurs. Dans le second, l'observateur peut apporter tout le temps nécessaire à la précision de ses déterminations; il appellera à son aide tous les appareils qui lui permettront de mieux voir et de mieux mesurer.

Dans le premier cas, les nombres sont enregistrés, la plupart du temps, par des compteurs; les efforts et les déplacements, par des tracés graphiques. Dans le second, les nombres seront écrits par l'observateur, les efforts seront déterminés par des poids plus ou moins considérables.

Lorsqu'un corps se meut dans l'espace, on a le plus souvent à considérer la rapidité de son mouvement, et la forme même du chemin qu'il parcourt. Dans la plupart des applications de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mécanique, la forme du chemin, ce que l'on appelle la trajectoire du mobile, est déterminée géométriquement par la disposition des organes, et pour connaître toutes les conditions du mouvement, il suffit dès lors de déterminer par expérience les durées des différentes parties du parcours.

S'agit-il de connaître toutes les circonstances de la marche d'un train sur un chemin de fer, on observera l'heure exacte du passage du train devant chacun des poteaux kilométriques de la voie ou même devant chacun des poteaux télégraphiques, dont la distance sera ensuite mesurée avec soin. Mais la rapidité de la marche pourrait être souvent telle que le temps manquât pour prendre les annotations, et l'on a dès longtemps imaginé des appareils qui les inscrivent d'une manière plus rapide.

Nous voulons parler des montres à pointage, sur le cadran desquelles il suffit d'appliquer un point d'encre pour conserver l'indication du moment précis du commencement ou de la fin de tel ou tel phénomène.

On sait que dans ces appareils l'aiguille se termine par une sorte de petite cuiller, dans laquelle on dépose une goutte d'encre grasse. La cuiller est percée d'un trou capillaire, qui peut être traversé par une pointe placée à l'extrémité d'un ressort, assujetti par son autre extrémité sur l'aiguille même; au moyen d'un bouton extérieur sur lequel on appuie à l'instant convenable, ce ressort est brusquement comprimé; la pointe traverse l'encre de la cuiller, et vient déposer un point sur le cadran.

La montre à pointage est d'un grand secours dans les expériences délicates, et l'on peut, dans certaines circonstances, déterminer le pointage par l'organe même dont il s'agit d'étudier le mouvement, comme, par exemple, par la tige du piston d'une machine à vapeur ou toute autre pièce animée d'un mouvement alternatif, qui viendrait à l'extrémité de sa course pousser le bouton de pointage.

Dans un grand nombre d'expériences, on peut arriver au même résultat par un procédé tout différent : on fait marcher une feuille de papier proportionnellement au chemin parcouru par le mobile, et l'on pointe le passage de ce papier devant un crayon ou un pinceau fixe à chaque seconde, ou après des périodes de temps plus ou moins grandes. Il suffit alors de mesurer les longueurs de papier, comprises entre les pointages successifs

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour connaître les chemins parcourus pendant les différents intervalles.

C'est ce procédé que M. Morin a appliqué dans ses dynamomètres, et il est de beaucoup le plus commode, en ce que le même papier qui doit recevoir l'indication des efforts exercés porte, de cette façon, celle des temps et des espaces parcourus. Mais, pour obtenir ce résultat, il est nécessaire d'employer des organes intermédiaires, et la plupart du temps rotatifs, pour transformer le chemin réellement parcouru par le mobile en un chemin plus court, et toujours proportionnel, transmis au papier.

Lorsqu'on observe la marche d'une machine, il est rare de n'y pas trouver un organe rotatif sur lequel il suffit alors d'établir un compteur de tours, qui peut facilement enregistrer le nombre des révolutions réellement effectuées dans un temps donné. Et s'il n'y a pas de mouvement rotatif, on pourra toujours atteler le compteur sur un organe à mouvement alternatif, au moyen d'un encliquetage qui fera avancer d'une dent la première roue du compteur à chaque alternance. Ce procédé offre même l'avantage de ne faire marcher le premier rouage du compteur qu'avec une vitesse très-notablement moindre que celle de la machine sur laquelle on opère. Quelquefois aussi ce premier rouage du compteur est mis en mouvement par une vis sans fin, qui, à chaque tour, ne fait tourner le rouage que d'une seule dent.

Ces appareils sont trop répandus pour qu'il soit nécessaire d'en donner la description; le plus ordinairement, ils se composent d'une suite de rouages, portant chacun les dix premiers chiffres, mais visibles seulement par une fenêtre, qui n'en laisse apercevoir qu'un seul. Chaque rouage, comme dans la machine originale de Pascal, fait avancer d'une dent le suivant toutes les fois qu'une révolution entière est terminée; c'est ainsi que la première roue fait enregistrer les dizaines par la suivante, et ainsi de suite; le nombre des tours est directement écrit, à la manière ordinaire, par les chiffres qui apparaissent à la fois dans les différentes fenêtres qui correspondent aux divers cadrans.

La lecture de ces chiffres est plus facile que celle des compteurs à engrenages différentiels, dont les divisions sont moins distinctes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans presque toutes les expériences sur les machines, il est bon d'installer un de ces instruments, et pour le faire avec facilité, le mieux est de percer au centre de l'arbre qui doit communiquer le mouvement un trou de foret suffisant pour y introduire, à frottement dur, une petite tige, articulée à joints de Cardan, sur l'arbre à vis sans fin du compteur. La flexibilité de la transmission rend facile le placement de l'appareil, mais il est bien aussi que l'arbre de la vis sans fin puisse être embrayé à volonté au commencement et à la fin du comptage; l'observation est alors plus facile.

Dans les expériences très-délicates, il peut être nécessaire d'étudier le mouvement du mobile dans tout son parcours, et non pas après chaque révolution ou à la fin de parcours égaux. Il faut alors avoir recours au bel appareil à plateau tournant, dont le principe a été posé par M. Poncelet et que MM. Morin, Piobert et Didion ont employé dans leurs expériences sur la résistance de l'air.

On sait que cet appareil, qui existe dans les principaux cabinets de physique, se compose d'un plateau circulaire, sur lequel est fixée une feuille de papier, et qui est animé d'un mouvement de rotation uniforme, au moyen de poids suspendus à une corde enroulée sur un tambour, l'accélération que les poids tendraient à produire au delà d'une certaine limite étant exactement compensée par la résistance d'un régulateur à ailettes. Tous les déplacements du mobile font tourner proportionnellement un axe, qui fait décrire à un pinceau, placé devant le papier du disque précédent un mouvement de rotation plus ou moins rapide. Le trait, très-fin, produit par le pinceau sur le papier, se trouve à la fois modifié dans sa forme suivant la rapidité du disque et les circonstances du mouvement de mobile, et la courbe ainsi obtenue permet, après l'expérience, de déterminer combien de chemin le mobile a fait en chacun des instants successifs; cette courbe est une sorte de représentation, en coordonnées polaires, de la loi du mouvement du mobile. Elle peut être facilement transformée en l'une de ces courbes à coordonnées rectangulaires par lesquelles nous représentons habituellement les circonstances d'un mouvement, mais on peut aussi, par des procédés particuliers, en déduire immédiatement les éléments numériques que l'expérimentateur recherche.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nous avons employé cet appareil dans plusieurs circonstances, notamment pour la vérification du mouvement uniforme de l'arbre des machines à vapeur et pour la recherche pratique des poids qu'il est nécessaire de donner aux volants de ces machines, pour éviter tous changements de vitesse. Il constitue un véritable appareil de recherche, qui ne doit être employé que dans les circonstances les plus délicates, et pour la vérification de certaines lois.

On sait avec quel bonheur M. Morin a appliqué le même principe de mouvement simultané à son appareil à cylindre, qui sert aujourd'hui, d'une manière presque générale, à la démonstration des lois de la chute des corps. Sous cette forme, on obtient directement la courbe qui exprime la relation entre les chemins et les temps en coordonnées rectangulaires, et par conséquent sous la forme la plus habituelle de ces sortes de représentations.

Les dynamomètres, à l'aide desquels on détermine les efforts et le travail transmis dans les opérations mécaniques, sont restés à peu près tels qu'ils sont décrits dans la notice sur les appareils dynamométriques, à laquelle nous ne pouvons que renvoyer le lecteur; c'est à peine si nous avons à indiquer quelques modifications dans le détail de la construction.

L'organe principal consiste toujours en une ou plusieurs lames d'acier, disposées de telle façon qu'elles s'infléchissent de quantités plus ou moins grandes sous l'action des efforts transmis. Une feuille de papier passe, d'un mouvement uniforme, sous ces lames, et deux diagrammes y sont tracés simultanément, l'un par un pinceau fixé à une armature postérieure, l'autre à une armature antérieure, sur laquelle l'effort à mesurer se trouve directement exercé; le premier de ces pinceaux décrit une ligne droite sur le papier, l'autre une ligne plus ou moins ondulée, dont les distances à la première représentent, à une certaine échelle, les efforts exercés.

On comprend d'ailleurs que ce principe de construction doive conduire à des formes différentes, suivant qu'il s'agit d'enregistrer un effort de traction, analogue à celui des chevaux qui tirent une voiture, ou suivant que le travail doit être transmis à un arbre tournant par une poulie ou une manivelle.

Les dynamomètres de traction nous ont fréquemment servi

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans des expériences sur le tirage des voitures, sur l'influence de telle ou telle nature de sol, sur le tirage des charrues, et aussi sur le travail dépensé par un convoi en marche. Nous nous proposons de publier successivement les différents résultats obtenus dans chacune de ces directions; mais nous nous bornerons aujourd'hui à donner quelques indications sur l'installation même des appareils. On trouvera dans l'ouvrage de M. Morin sur le tirage des voitures, tous les détails relatifs à cette installation, qui dans toutes les nouvelles expériences n'a dû recevoir aucune modification. Pour l'application aux chemins de fer, de nouveaux dynamomètres ont été construits, qui peuvent enregistrer jusqu'à des efforts de six mille kilogrammes.

Le plus grand instrument que possède le Conservatoire est à six lames, chacune d'une longueur de $1^m,10$. Installé sur un truc spécial appartenant au chemin de fer du Nord, il a servi à quelques déterminations sur lesquelles nous aurons occasion de revenir. M. Bocher, ingénieur des mines, l'emploie aujourd'hui à quelques recherches sur le frottement du bois sur les rails. En introduisant le truc qui le porte dans un convoi en service courant, il peut fournir de précieuses indications sur l'importance des différentes causes de résistance.

Lorsque les dynamomètres de traction sont employés à l'essai des charrues, le mieux est de les établir sur un petit chariot spécial, une sorte d'avant-train dont les roues peuvent être relevées à volonté indépendamment les unes des autres, et qui s'attelle à la charrue au moyen d'un régulateur qui permet de donner à la ligne de tirage la direction même qu'elle prendrait sans la présence de l'avant-train.

Obligés quelquefois de faire très-rapidement des déterminations de ce genre, dans les concours agricoles, nous avons trouvé dans cette disposition une facilité telle, que plusieurs comices ont pu faire des expériences analogues, sans aucun exercice préalable. Les fig. 1 et 2 de la planche III représentent cet avant-train, dont les principales dispositions ont été empruntées au dynamomètre anglais de Bentall. Quant à l'appareil dynamométrique en lui-même, celui de M. le général Morin est de beaucoup préférable à l'instrument anglais, et c'est lui que nous avons représenté sur les dessins. L'avant-train se compose d'un bâti en fer, AA, supporté par quatre roues B, B'; trois d'entre elles sont de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

même dimension, et elles peuvent individuellement s'élever ou s'abaisser au moyen des tiges *b*, qui portent leurs fusées et qui se fixent au bâti au moyen des boulons *c*.

La quatrième roue B′ est d'un diamètre plus grand, et elle porte une poulie à gorge *b′*, à l'aide de laquelle on peut au besoin transmettre le mouvement au papier du dynamomètre; cette roue peut glisser sur l'arc en fer *d*, et se fixe d'ailleurs à la hauteur convenable au moyen de l'écrou *c′*.

En se servant de cette transmission, le papier se mouvrait proportionnellement au nombre des tours de la roue, mais les inégalités de terrain peuvent empêcher la roue motrice B′ de rouler sur le sol, et il est plus exact de faire mouvoir le papier par un mouvement d'horlogerie placé dans la boîte G, qui fait partie du dynamomètre. Les chevaux s'attellent à la manière ordinaire au crochet E de l'avant-train, et la charrue est accrochée au moyen d'une chaîne plus ou moins longue au crochet F de l'instrument. On fait facilement varier la direction des traits d'attelage en montant ou descendant le bâti, et lorsque deux des roues doivent marcher dans le sillon, on a soin de les abaisser du côté convenable pour que le bâti se maintienne dans une position sensiblement horizontale.

Le dynamomètre est d'ailleurs solidement fixé sur la traverse H, et on en voit les lames en *l* et *l′*.

Lorsqu'on se sert des dynamomètres il est toujours bon d'éviter les efforts brusques, surtout au départ, et bien que des buttoirs soient placés convenablement pour limiter l'étendue des flexions, il arrive quelquefois que les lames cassent.

Des expériences récentes, faites au Conservatoire, ayant démontré que les flexions de l'acier sont les mêmes, avant et après la trempe, on essaye en ce moment des lames brutes de forge, qui semblent donner des résultats tout aussi satisfaisants que les autres. On n'aurait plus la crainte de les voiler à la trempe.

L'instrument qui est au Conservatoire, de l'emploi le plus fréquent, est le dynamomètre de rotation à styles de M. Morin. Au moyen de quelques lames de rechange, on obtient toute la sensibilité nécessaire, et les résultats sont parfaitement comparables, si l'on a soin de bien remettre les crayons au zéro au commencement de chaque expérience. Pour faire cette vérification, on ne doit pas négliger de jeter bas les courroies, parce que les deux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

brins en pourraient être inégalement tendus, même au repos, et cette inexactitude au point de départ exercerait une fâcheuse influence sur les résultats.

Outre les dynamomètres de dimensions moindres et insuffisants dans les grandes expériences de la pratique, le Conservatoire possède un appareil de ce genre avec poulie de $0^m,82$, dont il a déjà été parlé dans la notice précédente. On obtient des tracés réguliers jusqu'à une vitesse de 400 tours par minute, et comme la plus grande flexion des grosses lames correspond à un effort de 265 kilog., on voit que cet effort maximum, multiplié par le chemin parcouru par $1''$, se trouve exprimé par 265×1028 ou 272420 kilogrammètres. On voit ainsi que nos déterminations peuvent porter sur des machines consommant jusqu'à plus de 40 chevaux; si la machine à essayer est à grande vitesse, on se sert d'un arbre intermédiaire, placé entre elle et le dynamomètre.

Il y a grand avantage dans ces expériences à se servir de larges poulies et de longues courroies; la transmission est alors assurée avec une tension moindre, et par conséquent sans fatiguer outre mesure les coussinets.

L'élargissement des poulies a permis de cacher sous leurs jantes la totalité des organes du dynamomètre, qui se trouvent ainsi abrités contre les accidents que l'ancienne disposition aurait déterminés, en cas de chute de la courroie. Pour pouvoir mettre les lames en place, cette disposition nécessite seulement que des ouvertures suffisantes pour leur passage soient pratiquées sur la couronne de la poulie.

Les figures 3 et 4 de la planche III représentent le grand dynamomètre du Conservatoire, tel qu'il est installé sur son beffroi mobile, A est la courroie motrice, B celle qui fournit le travail à la machine en expérience; on voit par derrière l'arbre vertical C, qui peut être commandé par le dynamomètre, au moyen des roues d'angle D, vues en plan, fig. 4, lorsqu'on veut transmettre le mouvement à un arbre vertical, par une courroie placée sur une poulie horizontale D, dont la hauteur à partir du sol et le diamètre seront convenablement appropriés.

Quant au beffroi lui-même, il se compose de quatre semelles en charpente, qui supportent autant de poteaux reliés à la partie supérieure par les traverses U, qui forment un cadre sur lequel

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sont assis un plancher et les traverses P, sur lesquelles les chaises du dynamomètre sont boulonnées. La figure 1 ci-jointe représente

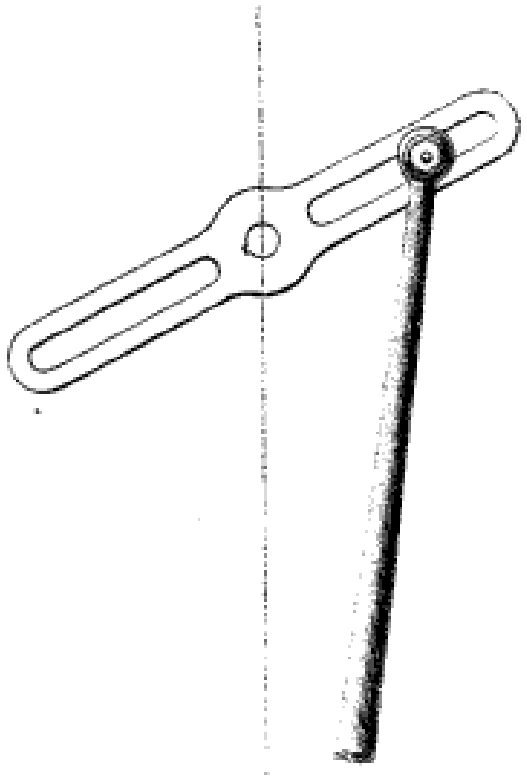


Fig. 1.

la manivelle équilibrée à course variable, qui peut, au besoin, être calée sur l'arbre horizontal E du dynamomètre, particulièrement pour les essais de pompes.

Lorsque le travail ne demande que l'effort de un ou deux hommes, on emploie une petite manivelle dynamométrique à une seule lame, qui se fixe à la place de la manivelle ordinaire sur l'arbre de la machine, au moyen d'un manchon et de vis de serrage.

Au point de vue des expériences au frein, pour déterminer la puissance des machines motrices, le seul moyen à employer est encore celui du frein de Prony, qui s'installe à peu de frais pour chaque cas particulier. Toutes les fois que l'on peut établir le frein sur des volants ou des poulies tournées, on évite d'exercer des efforts considérables, et par suite l'échauffement des mâchoires du frein. On peut alors se contenter de graisser les surfaces, au lieu de les arroser abondamment avec de l'eau de savon, opération qui salit tout autour de la machine, et à laquelle

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

il convient de n'avoir recours que dans le cas d'absolue nécessité.

Nous dirons à ce sujet que dans la plupart des essais au frein on continue à placer le bras de levier qui porte les poids à la partie supérieure de la poulie : c'est là une faute grave, parce qu'alors ce levier est toujours dans une position d'équilibre instable, puisque toutes les fois que la puissance de la machine devenant prépondérante, le levier est entraîné par elle, son extrémité se rapproche de la verticale qui passe par le centre de rotation.

Si le levier est, au contraire, placé à la partie inférieure de la poulie, en se relevant son extrémité s'éloignera de la verticale passant par le centre, et le moment du poids augmentera de manière à rétablir de lui-même l'équilibre. Les observateurs qui auront une fois expérimenté avec un frein établi de cette façon, ne voudront plus en employer d'autre, et l'ancienne disposition ne devra être conservée que dans le cas où il serait impossible de suspendre le plateau au-dessous du levier inférieur.

L'emploi journalier des moyens d'observation conduit nécessairement à diverses améliorations de détail qu'il importe de faire connaître. C'est ainsi que nous avons été conduits à remplacer le piston des indicateurs de pression par des pistons en aluminium. On sait que dans ces appareils, la pression de la vapeur est estimée à chaque instant par la tension d'un ressort qui agit en sens contraire, et qu'un crayon, lié au piston, trace sur une feuille mobile de papier un diagramme dans lequel les ordonnées représentent à une certaine échelle la force élastique de la vapeur.

Cet appareil fonctionne très-bien dans les machines à basse pression, à vitesse modérée de soixante tours par minute, par exemple ; mais lorsque les pressions sont trop grandes, lorsque, surtout, les révolutions sont beaucoup plus rapides, il est très-difficile d'obtenir des tracés exacts.

A chaque admission nouvelle, le piston est lancé avec grande vitesse ; en vertu de son inertie, il dépasse le point auquel il devrait s'arrêter, s'il était au repos, et il ne revient à cette position moyenne que par des oscillations plus ou moins accusées par les diagrammes. Si la période d'admission est très-courte, ces oscillations sont encore bien plus marquées, et l'on obtient alors des courbes dentelées, dans lesquelles il n'est pas possible

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de discerner ce qui doit être attribué à la pression intérieure, et ce qui appartient à l'inertie du piston.

L'emploi de l'aluminium, en permettant de donner au piston de l'indicateur une moindre masse, devait nécessairement amoindrir ces effets accessoires du lancé, et par conséquent conduire à une amélioration notable dans les tracés.

C'est ce que nous avons vérifié dès 1858, sur l'un des indicateurs du Conservatoire, dans lequel l'ancien piston plein en bronze est remplacé par un piston allégi en aluminium.

Essayés le même jour et sur la même machine, dans des conditions identiques, ces deux pistons ont fourni les résultats que la figure ci-jointe reproduit. La machine fonctionnait à près de

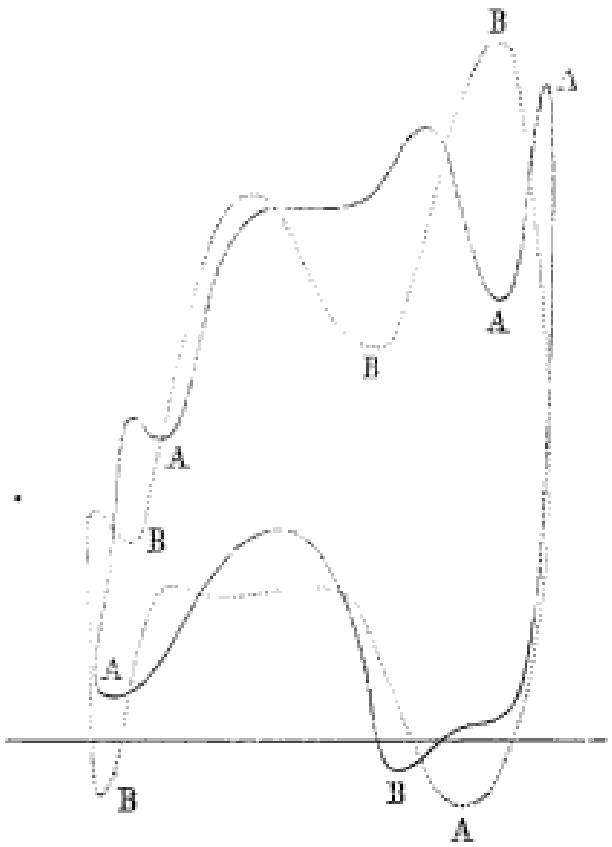


Fig. 2.

200 tours par minute, et l'on peut voir que les sommets A de la courbe obtenue avec l'indicateur en aluminium sont toujours moins éloignés les uns des autres que ceux de la courbe BB donnée par l'indicateur ordinaire.

Le piston en aluminium pesait avec sa tige 62,10 gram.; celui de cuivre 139,60 gram.

Depuis lors nous avons fait construire un nouvel indicateur,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans lequel nous avons recommandé l'emploi du même métal, non-seulement pour le piston, mais pour sa tige, qui est creuse, et aussi pour le porte-crayon et toutes les autres parties mobiles.

Les tracés obtenus à des vitesses de 150 tours, et dans les conditions de pression et de détente les plus difficiles, ne laissent aujourd'hui rien à désirer. Quoique l'aluminium soit sujet à gripper facilement, on devra dans l'avenir l'employer exclusivement pour cet objet, et pour des raisons analogues on préférera les indicateurs à petite section à ceux qui sont encore en usage dans la marine, et auxquels on donne certainement un diamètre trop considérable. Les nôtres ont en général une section de 1 centimètre carré seulement, ou la section convenable pour que chaque atmosphère équivale à une pression de 1 kilogramme. La section est alors $\frac{1\,cq}{1,033} = 0,968\ cq$, et le diamètre $0^m,0111$. Dans ce dernier instrument nous avons garanti le cylindre contre le refroidissement, au moyen d'une double enveloppe dans laquelle la vapeur s'introduit lorsque le robinet est ouvert d'une certaine façon. Cette enveloppe se purge, comme un cylindre de machine à vapeur, lorsque la clef est convenablement tournée.

Au moment où les questions de ventilation sont à l'ordre du jour, il ne sera pas inutile de donner quelques indications sur les anémomètres destinés à mesurer la vitesse des courants d'air, et par conséquent à vérifier le débit des volumes d'air pour les cheminées ou autres conduits.

L'anémomètre de M. Combes est un joli instrument très-portatif, dont l'organe principal se compose d'un arbre monté sur pierres, sur lequel est placé, à frottement dur, une petite douille avec quatre bras, armés chacun d'une petite feuille de mica de 4 centimètres carrés de surface. Ces feuilles sont inclinées par rapport à l'axe de manière que le vent en les frappant obliquement détermine un mouvement de rotation plus ou moins rapide, dont il faut compter les révolutions en un temps donné. A cet effet, l'arbre porte une vis sans fin qui engrène dans une première roue à cent dents, qui avance d'une dent seulement à chaque révolution des ailettes. Cette première roue porte vers son centre une came qui engrène avec une seconde roue de 50 dents, qui avance d'une dent à chaque révolution de la première, c'est-à-dire pour chaque centaine de tours des ailettes ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les roues peuvent ainsi compter jusqu'à 5,000 tours. On peut d'ailleurs arrêter ou permettre la rotation des ailettes au moyen de deux petits renvois de mouvement qui commandent un bec, dont la point vient s'insérer entre les bras lorsque le mouvement doit être arrêté. Tel qu'il est construit par M. Neumann, cet instrument donne lieu à une lecture difficile, et il faut prendre garde de se tromper d'une dizaine lorsqu'on ramène les zéros à leur place, avant de commencer une observation. Un petit timbre est d'ailleurs disposé pour sonner chaque dizaine, et aide encore à la sûreté des observations.

La grande qualité de cet appareil est d'être très-sensible : toutes les pièces sont légères, tous les frottements sont faibles, et il suffit d'un courant d'air de $0^m,13$ par seconde pour qu'il fonctionne habituellement. La vitesse du vent est donnée par une formule à 2 termes, $v = a + bn$, dans laquelle n étant le nombre de tours par 1″, a et b sont deux coefficients constants. Si l'on fait $n = o$, il vient $v_o = a$, ce qui montre que le coefficient a indique la limite de la vitesse du vent, dans lequel l'instrument ne marcherait pas d'une manière continue.

L'anémomètre de M. Morin, construit par M. Bianchi, est complétement fondé sur les mêmes principes ; mais il permet de compter un plus grand nombre de tours, et il peut résister à des vitesses beaucoup plus grandes.

Le moulinet, au lieu d'être situé entre les 2 pivots, est en porte-à-faux à l'extrémité de l'arbre, de manière que le vent peut agir sur toute sa surface sans que les supports lui fassent obstacle. Les ailettes, en plus ou moins grand nombre, étaient d'abord en cuivre, maintenant en aluminium ; leur surface peut être beaucoup plus grande que celle des anémomètres de M. Combes, et leur forme hélicoïdale rappelle celle des hélices des bateaux à vapeur. Mais tout avantage a ses inconvénients, et en même temps que la surface utile est agrandie, les résistances des axes sont aussi plus grandes, et l'appareil ne fonctionne pas d'une manière sûre au-dessous de $0^m,25$ environ.

Le procédé de comptage est plus satisfaisant : il rappelle celui des montres à pointage, et il permet de ne commencer l'opération qu'au moment où l'on veut, c'est-à-dire lorsque déjà les ailettes ont pris la vitesse de régime qu'elles conserveront pendant l'opération. Nous décrirons en détail les divers organes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de cet instrument qui est représenté par les figures 3, 4 et 5.

L'arbre A, qui porte la roue à ailettes, est renflé en B par une partie filetée qui engrène avec une route dentée de 100 dents placée au-dessous, et dont l'arbre C est fileté en D comme le précédent. Ce nouveau filet de vis engrène avec une nouvelle roue de 100 dents, dont l'arbre E est muni à son extrémité postérieure, d'une came, qui fait avancer une troisième roue F, d'une dent seulement à chacune de ses révolutions. Cette dernière roue porte 50 dents, et l'on voit que le nombre des révolutions de l'arbre à ailettes peut être enregistré jusqu'à $100 \times 100 \times 50 = 500000$.

Fig. 5.

Les cadrans M et N, que l'on voit en projection horizontale fig. 3, sont fixes; mais ils sont respectivement traversés par les extrémités des arbres C et E. C'est sur ces extrémités que l'on fixe à frottement les aiguilles, qui sont à pointage et par consé-

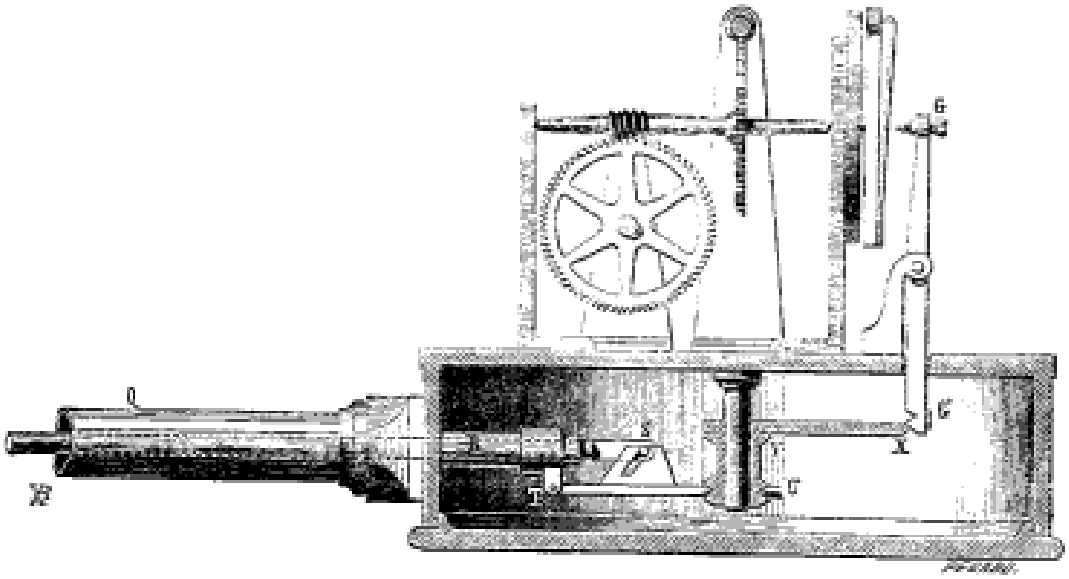


Fig. 4.

quent disposées comme nous l'avons dit en parlant des appareils de ce genre; les pointes des vis G et H viennent, à un instant donné, frapper sur le ressort qui forme l'une des branches de chacune d'elles, et il ne nous reste plus qu'à décrire le méca-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nisme à l'aide duquel cette action peut être instantanément produite. Ces deux vis sont placées aux extrémités supérieures de deux petits balanciers verticaux dont les autres extrémités traversent la plaque qui forme la base de l'appareil. L'un de ces balanciers est entièrement représenté en GG' dans la coupe, fig. 4, faite suivant la ligne PQR du plan.

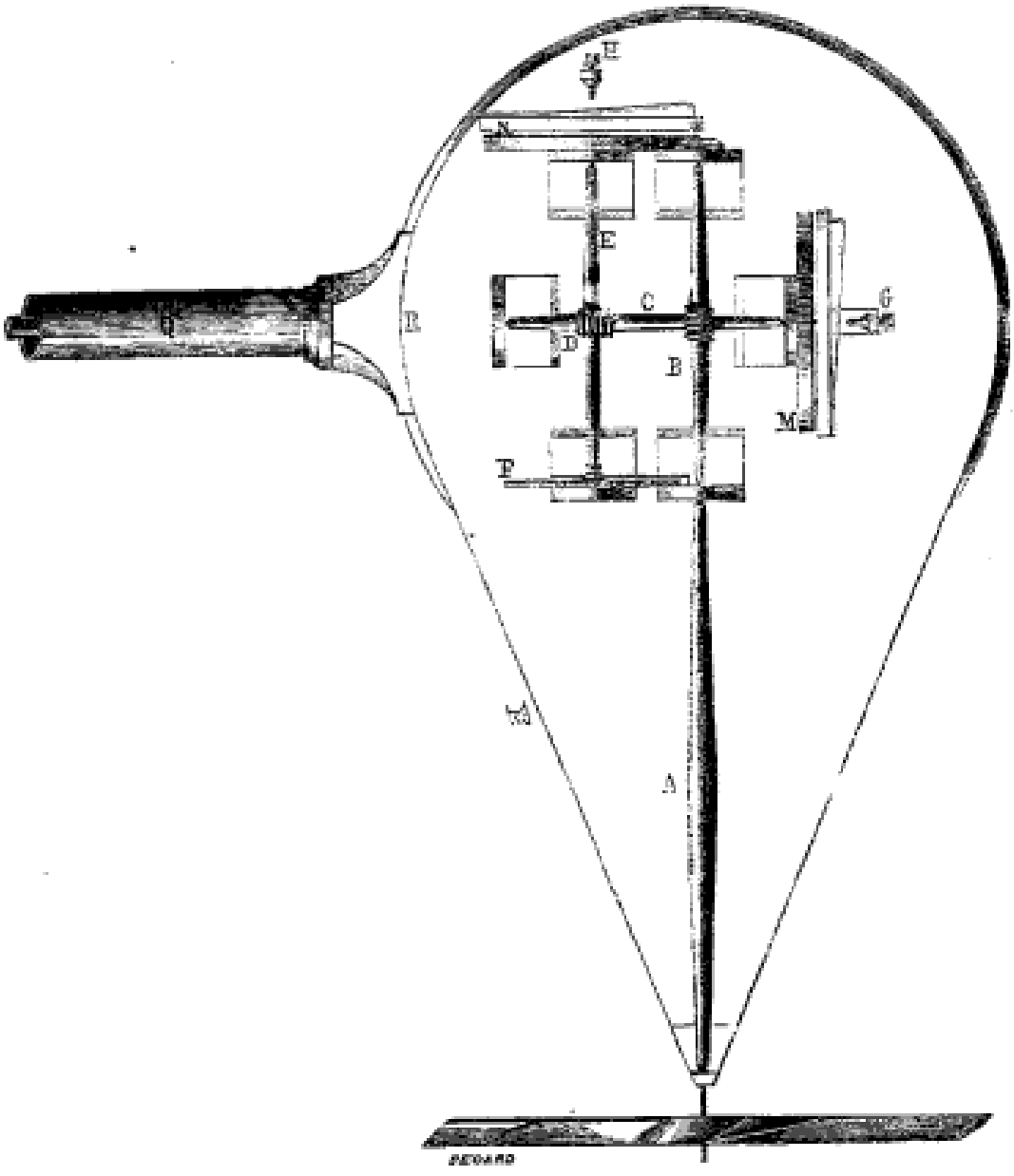


Fig. 3.

La partie ponctuée R est le prolongement du bouton P, placé à l'extrémité du manche PQ de l'instrument. Si, dans la position que représente la figure, on tire cette tige dans la direction RS, la fourchette TU basculera autour de la charnière T, fixe par rapport à l'instrument, et le point U entraînera avec lui le ca-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

non V, ainsi que son appendice VX, qui ne peut se déplacer sans faire basculer le balancier GG'; dans ce mouvement de bascule la pointe de la vis G appuiera sur l'aiguille et la forcera à pointer sur le cadran.

Si ultérieurement on pousse la tige R en sens contraire, les effets inverses se produiront pour la rainure S, pour la fourchette TU et pour la pièce VX, et il en résultera un nouveau pointage lorsque le bec X repassera sur le mentonnet correspondant du balancier, qui est d'ailleurs ramené dans sa position après chaque pointage, par un petit ressort G' que l'on voit en coupe sur le dessin. La pièce VX est bifurquée de manière que sa seconde branche agisse de la même façon sur le balancier H du deuxième cadran, et il résulte de cette disposition qu'il suffit d'agir sur le bouton P, quand déjà le volant à ailettes a pris sa vitesse de régime, pour inscrire sur les deux cadrans à la fois le nombre de tours déjà faits au commencement de l'expérience; la même manœuvre indiquera le nombre des tours à la fin, et il suffira de retrancher le nombre donné par la première lecture, de la dernière, pour avoir exactement celui des révolutions effectuées pendant toute la durée de l'observation.

Nous venons de faire la tare d'un de ces instruments avec volant et ailettes en aluminium, et nous avons trouvé pour formule $V = 0{,}250 + 0{,}282\ n$, c'est-à-dire une expression à deux termes qui fait voir que l'anémomètre ne fonctionne pas au-dessous d'une vitesse de vent de 0. Si pour quelques expériences spéciales il était nécessaire de donner à l'instrument une sensibilité plus grande, on pourrait employer un volant d'un poids plus faible pour lequel les arbres destinés au comptage seraient considérablement allégés. Nul doute que l'on n'arrive dans ces conditions à estimer facilement des vitesses de vent de 15 centimètres et au-dessous. Le volume de l'instrument serait de beaucoup réduit et sa sensibilité serait aussi grande que celle de tous les autres anémomètres.

Nous joindrons à ces détails sur les principaux moyens d'observation que possède le Conservatoire la description des dispositions prises pour faire rapidement les expériences sur la résistance des matériaux; de nombreux résultats numériques ont déjà été obtenus; on peut juger de leur intérêt à la lecture du Mémoire de M. le général Morin sur les planchers en fer.

Les essais les plus fréquents sont ceux qui sont relatifs, pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les métaux, à la flexion; pour les pierres et autres matériaux analogues, à la compression.

Pour les expériences de flexion, le Conservatoire possède deux installations distinctes.

Lorsque les charges ne doivent pas dépasser 5 à 6000 kilog., les pièces en expérience sont placées sur deux supports en pierre dure, reposant sur une excellente fondation, et distants l'un de l'autre de 6 mètres. Lorsque les pièces offrent une base assez large pour ne pas craindre de déversement, on les charge par-dessus au moyen de caisses en bois, consolidées avec des équerres en fer feuillard et remplies avec des boulets. Lorsque cette manière d'opérer ne donnerait pas une sécurité suffisante, on suspend la charge au milieu de la pièce au moyen d'un plateau de balance, formé d'une pièce de bois de résistance convenable.

Dans les deux cas, des repères en papier sont collés sur les pièces en leur milieu et aux extrémités, et l'on vise avec des cathétomètres le point d'entre-croisement de deux lignes fines tracées à l'avance.

L'observation du milieu détermine directement la grandeur de la flèche à un centième de millimètre près, et même à un millième de millimètre, s'il est nécessaire : les observations aux extrémités n'ont d'autre objet que de constater l'immobilité des points d'appui.

Les pierres qui donnent, sous ce rapport, la rigidité convenable devant être scellées à poste fixe, il fallait remplacer l'un des supports principaux par un support mobile, pour le cas où les pièces à expérimenter seraient d'une moindre longueur. Le procédé qui nous a le mieux réussi sous ce rapport consiste à employer, pour second point d'appui, le plateau d'une petite presse hydraulique, que l'on ramène, au moment de chaque observation, au même niveau en regardant le repère avec une lunette. Les déterminations se font alors très-rapidement, sans qu'il soit nécessaire de compter sur une fixité qu'il serait difficile d'obtenir dans une installation provisoire. Lorsque les charges doivent être plus considérables, et qu'il serait trop pénible ou trop difficile de les former avec des poids, on a recours à une disposition toute différente. Dans un des murs principaux des bâtiments du Conservatoire, on a inséré deux pierres dures formant corbeaux à l'intérieur des caves, et à une hauteur de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1m,65 au-dessus du sol. C'est sous ces corbeaux que l'on place les pièces à essayer, et la pression est exercée sur elles au moyen d'un plateau de presse hydraulique. On peut ainsi exercer des efforts de 30 et 40,000 kilogrammes, que l'on évalue, ainsi que nous l'indiquerons dans un instant, au moyen de manomètres appropriés.

Bien que la fondation sur laquelle repose la presse soit solide, il serait possible qu'elle s'affaissât sous ces énormes charges; mais il est facile de se mettre à l'abri de cet inconvénient en déterminant chaque fois, et au moyen d'un même cathétomètre, la distance verticale entre un repère tracé sur la pièce et un repère tracé sur le mur, ces différences étant nécessairement indépendantes des tassements possibles des points d'appui.

C'est encore à l'aide de la presse hydraulique que nous faisons les essais d'écrasement; à cet effet, nous nous procurons des cubes parfaitement taillés, de 10 centimètres de côté, et nous les plaçons sur le plateau de la presse entre deux feuilles épaisses de plomb, destinées à répartir exactement la pression sur toute la surface. Cette égale répartition est d'ailleurs assurée dans la presse spéciale qui sert à ces essais, en ce qu'elle est formée de quatre cylindres placés les uns à côté des autres, et dont les pistons, indépendants les uns des autres, s'élèvent de manière à exercer partout la même pression.

On a souvent dit que les essais à la presse hydraulique étaient nécessairement entachés d'une erreur résultant des frottements qui ont lieu sur les cuirs emboutis, et que d'ailleurs il n'était pas possible de déterminer exactement la pression à l'aide de la charge de la soupape de sûreté, dont la surface est toujours difficile à mesurer. Pour échapper à cette deuxième cause d'erreur, nous employons un manomètre en communication constante avec l'intérieur des cylindres de la presse, et il est facile de reconnaître que le frottement des cuirs n'a pas une grande influence sur les résultats. Il est difficile de croire que l'on arrive à des chiffres plus exacts en écrasant, à l'aide de leviers, des échantillons de dimensions beaucoup plus petites, et qui représentent, par conséquent, moins bien la qualité moyenne de la pierre en expérience.

Si nous admettons qu'une pierre s'écrase sous une charge de 200 kilogrammes par centimètre carré, il faudra disposer d'une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

charge totale de 20,000 kilogrammes pour un cube de notre échantillon ordinaire; il faudra donc développer par la presse un effort de 5000 kilog. sur le piston de chaque cylindre; la surface de l'un de ces pistons étant πr^2, la surface frottante du cuir sera exprimée par $2\pi rh$, si l'on désigne par h sa hauteur, et par suite la pression exercée sur le cuir sera donnée par la relation $5000 \times \frac{2\pi rh}{\pi r^2} = 10000\,\frac{h}{r}$. La hauteur h n'excédant pas $0{,}1r$, on voit que cette pression de la garniture dans chaque cylindre s'élèvera à 1000 kilog. environ, et si nous admettons 0,20 pour coefficient de frottement, nous voyons que la résistance du cuir sera de 200 kilog. pour chaque cylindre, et au total de 800 kilog. On risquera donc de se tromper de 800 kilog. sur 20 000 ou de 0,4 : aucun des procédés employés ne conduit certainement à une approximation plus satisfaisante.

Ces évaluations d'ailleurs ne sont pas purement théoriques ; elles ont été confirmées, dans une certaine mesure, par l'observation comparative des flexions obtenues sur une même pièce, chargée directement jusqu'à une certaine limite, puis chargée par la presse hydraulique de manière à produire successivement des flexions égales et notablement plus grandes.

On a reconnu de cette manière que, pour les grandes charges estimées au manomètre, les flexions étaient encore sensiblement proportionnelles à celles observées pour les petites charges directes ; les erreurs ne sont donc pas considérables, puisque la loi de proportionnalité se trouve vérifiée dans des conditions aussi extrêmes.

La difficulté n'est pas dans les frottements plus ou moins considérables du cuir, elle réside plutôt dans les indications du manomètre ; celui que nous employons est du système de M. Galy-Caralat, à piston différentiel. On sait que dans cet appareil à air libre, la colonne de mercure est raccourcie dans le rapport inverse des deux surfaces du piston, et qu'ainsi chaque atmosphère peut être représentée par un décimètre ou même un centimètre de mercure; mais deux lames de caoutchouc sont employées pour empêcher les liquides de s'introduire par les joints, et de leur emploi résultent nécessairement quelques causes d'erreurs, à l'abri desquelles cependant nous nous sommes, autant que possible, placés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Malgré ces défauts, le manomètre de M. Galy-Cazalat est encore le seul dont l'échelle puisse être tracée géométriquement pour les grandes pressions, et non d'une manière empirique. Le Conservatoire en possède divers modèles, que nous employons de manière à obtenir toujours la plus grande sensibilité, que comportent les limites extrêmes des expériences à faire.

En ce qui concerne les expériences de traction, nous avons pu, dans ces derniers temps, comparer les résultats qu'elles fournissent à ceux que l'on déduit de l'observation des flexions; à cet effet, nous avons soumis successivement aux deux épreuves la même matière, en extrayant, au moyen d'une machine à raboter, des prismes de 1 centimètre carré de section dans les barres qui avaient primitivement été soumises à la flexion.

Ces prismes, de 1 centimètre de section et d'une longueur de 3 à 4 mètres, sont insérés par pression dans des coquilles en fonte et maintenues entre elles au moyen de boulons assez forts ; un filetage pratiqué à l'extrémité de la pièce permet encore d'ajouter la résistance d'un écrou à celle du frottement, et à l'aide de deux armatures semblables, destinées l'une à suspendre la barre, l'autre à soutenir des plateaux chargés de poids, nous avons pu facilement porter les charges jusqu'à 6 ou 8,000 kilog.

Les allongements, dans ces expériences, sont observés entre deux points déterminés par des repères, au moyen de cathétomètres supportés par des installations fixes, et tout à fait indépendants des tassements qui peuvent se produire sous l'action des charges.

Les mêmes précautions ont été prises lors de l'étude des allongements, permanents ou accidentels, produits sur des fils de 25 mètres de longueur, observés à la fois dans les combles de la salle des machines en mouvement et dans la salle même.

Les appareils destinés aux expériences de torsion sont aujourd'hui terminés, et ils se composent de deux grandes poupées de tour à nervures solides, pouvant se placer à une distance déterminée l'une de l'autre et reliées par leurs bases à l'aide de fortes jumelles en bois ; l'une des poupées est disposée de manière à maintenir l'encastrement de l'une des extrémités de la pièce en expérience au moyen de coussinets de forme convenable, fortement serrés par des vis de pression; l'autre poupée, disposée de manière à guider l'axe de la pièce et en soutenir l'autre extré-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mité, lui permet au contraire de se tordre librement sous l'action des charges auxquelles on les soumet.

On pourra très-prochainement vérifier avec cet appareil les lois déjà admises pour la résistance à la torsion.

On remarquera que pour ces expériences, comme pour tous les autres essais du même genre que l'on exécute au Conservatoire, on préfère opérer sur des échantillons de grande dimension; cela exige nécessairement l'emploi de charges considérables, mais les résultats obtenus doivent inspirer plus deconfiance que ceux que l'on déduit habituellement d'essais faits sur une petite échelle.

C'est aussi au Conservatoire des arts et métiers que se font les vérifications relatives aux poids et aux mesures du commerce et des bureaux de garantie. Pour faciliter, dans l'avenir, la comparaison des poids étalons, on fait exécuter en ce moment deux kilogrammes en platine fondu, qui devront avoir exactement les mêmes dimensions que celles du kilogramme prototype des archives. Cette égalité de volume permettra d'échapper de la manière la plus simple à la plupart des corrections qu'entrainent nécessairement les pesées faites dans l'air, sur des corps de volumes inégaux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DÉTERMINATION

DU COEFFICIENT D'ÉLASTICITÉ DE L'ALUMINIUM.

Le *Journal polytechnique* de Dingler a rendu compte des expériences faites par M. de Burg sur la ténacité de l'aluminium et du bronze que l'on obtient en alliant 0,90 de cuivre avec 0,10 d'aluminium, alliage dont les propriétés sont très-remarquables, et qui se forge très-facilement. Ces propriétés sont si manifestes, qu'on a songé à l'employer à la fabrication des canons, et l'on sait que la première pièce en bronze d'aluminium a été fondue dans l'usine de M. Morin, à Nanterre, dans le courant du mois de mars dernier.

M. de Burg n'a examiné que la résistance à la rupture, et il a trouvé des chiffres assez variables, ainsi qu'on en peut juger par les indications suivantes :

En opérant sur plusieurs tiges en aluminium fondu, la rupture s'est produite à une charge par millimètre carré de. . . $10^k,96$

Avec un prisme fortement martelé à froid, la résistance s'est élevée à. . . . . $20^k,28$

Quant au bronze d'aluminium, il a résisté jusqu'à la charge de $64^k,58$ par millimètre carré, ce qui est à peu près la charge de rupture des fers très-résistants.

Ces indications n'étant pas suffisantes pour guider les constructeurs dans l'emploi qu'ils pourraient avoir à faire de l'aluminium, nous avons fait au Conservatoire quelques expériences pour déterminer le coefficient d'élasticité de ce métal.

A cet effet, nous avons opéré sur une petite barre simplement fondue, qui nous a été donnée par M. Christofle, et sur un mètre, parfaitement dressé et poli, qui avait été remis dans ce but par M. W. Martin.

Les résultats des deux essais de flexion qui ont été faits sont tellement concordants, que nous les indiquerons en détail pour les deux barres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tableau des essais faits sur une règle d'aluminium de $0^m,01125$ *sur* $0,01125$

(la distance entre les points d'appui étant $2C = 0^m,256$).

Charges au milieu.	Flexions observées en millimètres.	Flexions rapportées à une charge de 10 kilogrammes.
5	0,22	0,440
10	0,38	0,380
15	0,54	0,360
20	0,76	0,380
25	1,06	0,424
30	1,28	0,424
35	1,64	0,468
40	2,46	0,610

On voit que les flexions sont restées sensiblement proportionnelles aux charges jusqu'à celle de $1^{mill},28$, et si l'on fait la moyenne des chiffres jusqu'à cette limite, on trouve que la flexion moyenne pour la charge de 10 kilog. est de $1^{mill},401$.

Le calcul du moment d'inertie donne $I = 0,00000000132$, et l'application de la formule ordinaire conduit à

$$E = \frac{P\,C^3}{3\,f\,I} = \frac{5 \times 0,128^3}{3 \times 0,000401 \times 0,00000000132} = 6\,603\,000\,000.$$

Au delà de la charge de 30 kilog, les flexions ont augmenté plus rapidement que les charges, d'où il faut conclure que l'élasticité commençait à être altérée. Il convient donc de considérer la charge de 30 kilog. pour un maximum, et elle correspond à un allongement par mètre exprimé par

$$i' = \frac{PCv'}{EI} = \frac{15 \times 0,128 \times 0,0036}{EI} = \frac{0,010752}{8,754} = 0^m,00123,$$

et qui serait obtenu, en agissant, par traction par une charge directe $R = Ei' = 8\,157\,360$ kilog.

Ce qui montre que, dans ces conditions, l'aluminium ne doit pas être soumis à plus de 8,15 kilog. par millimètre carré de section transversale.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tableau des essais faits sur une barre d'aluminium de 0,036 *de hauteur sur* 0,0042 *de largeur.*

(Distance entre les appuis : 2C = 1,00.)

Charges au milieu.	Flexions au milieu en millimètres.	Flexions rapportées à une charge uniforme de 10 kilog.
2,83	0,56	1,98
5,66	0,96	1,70
8,49	1,56	1,84
11,32	2,08	1,83
14,15	2,62	1,85
16,98	3,26	1,91
19,81	3,66	1,80
	Moyenne.	1,846

On calcule de même le moment d'inertie

$$I = \frac{ab^3}{12} = \frac{0{,}0042 \times \overline{0{,}036}^3}{12} = 0{,}000001633,$$

et par suite

$$E = \frac{PC^3}{3fI} = \frac{5 \times \overline{0{,}50}^3}{3 \times 0{,}001846 \times 0{,}000001633} = 6\,911\,000\,000^k.$$

Dans cette expérience, rien n'indique que l'élasticité du métal ait été altérée, et nous retrouvons un chiffre presque identique à celui qui résulte du premier essai. On peut donc admettre que l'aluminium a pour coefficient d'élasticité 6 737 000 000 kilog., nombre que l'on obtient en prenant la moyenne des deux déterminations qui précèdent.

Le coefficient d'élasticité des meilleurs fers étant E = 20 000 000 000, on voit que celui de l'aluminium en est environ le tiers; mais l'élasticité paraît s'altérer moins rapidement pour ce dernier métal et seulement par une charge de 8 kilogrammes par millimètre carré, alors qu'on doit compter 20 kilogrammes pour le bon fer. La densité de l'aluminium étant 2.5, tandis que celle du fer est 7.2; on voit qu'à égalité de *poids*, et non pas à égalité de *volume*, l'aluminium serait aussi résistant que le fer.

C'est là une conclusion générale qui pourra servir de première règle dans la construction.

Nous espérons qu'il nous sera possible de donner prochainement des indications analogues en ce qui concerne la résistance du bronze d'aluminium.

Paris, le 25 août 1860.

Vu : Général Morin. H. Tresca.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

RAPPORT

SUR LA RÉSISTANCE A LA TRACTION DES OMNIBUS DU CHEMIN DE FER DIT AMÉRICAIN.

INFLUENCE DES BOITES A GALETS.

Dans nos précédentes expériences sur le tirage des voitures employées sur les voies ferrées, établies de Paris à Versailles, sur l'accotement des routes ordinaires, nous avons reconnu que ce tirage n'était pas proportionnel à la charge, et nous en avons conclu que les boudins devaient, indépendamment du chargement de la voiture, exercer sur les rails une action de *coin* qui se traduisait par une dépense de travail assez grande.

Nous avions observé d'ailleurs que la traction était beaucoup plus grande lorsque les rails, qui sont creusés en gouttière pour le passage des boudins, sont établis sur le macadam; nous avions même pu attribuer cette différence à l'écrasement des poussières siliceuses qui recouvrent toujours les rails dans le voisinage du macadam, et qui n'existent pas sur les routes pavées. Enfin nous étions arrivés, pour la valeur du rapport entre le tirage et la charge, au coefficient 0,010 pour une voiture complétement chargée, portée par quatre roues à boudins, roulant sur rails établis sur une route macadamisée.

Le procès-verbal de ces expériences, qui remontent à l'année 1836, a été publié dans les *Annales des ponts et chaussées*, 1837, tome XIV, page 97. Depuis cette époque, M. Delonchant, ingénieur de la compagnie, a supprimé les boudins des roues placées à la gauche de la voiture, et la pratique de ces quatre dernières années a consacré cette importante modification, dont nous avons voulu, par de nouvelles expériences, déterminer directement l'influence sur le tirage.

Ces expériences ont été faites, le 16 juillet dernier, sur la route de Paris à Sèvres, entre le pont de Sèvres et les fortifications. Un trajet de 1610^{m},60 a été parcouru en terrain horizontal en 8', et par conséquent avec une vitesse de 3,35 par 1$''$.

La voiture était attelée de deux chevaux, et elle contenait 47 voyageurs. Le poids transporté se décomposait ainsi qu'il suit :

Poids de la voiture	2299 kil.
Poids des roues	421
Poids de 47 voyageurs à raison de 63 kilog. .	3053
Total.	5773

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les efforts ont été enregistrés au moyen d'un dynamomètre de traction à style, de M. le général Morin ; mais on n'en a commencé le relevé qu'à partir du moment où la voiture avait atteint, et jusqu'au moment où elle conservait encore sa vitesse normale, afin d'éliminer l'influence de l'inertie au départ et à l'arrivée. L'ordonnée moyenne de la courbe était de $63^{mill},66$, correspondant, d'après la tare de l'instrument, à un effort moyen de $39^{k},150$.

Chaque cheval dépensait donc pendant le trajet un travail de $19,575 \times 3,35 = 65,57$ kilogrammètres par seconde, travail qu'il pourrait facilement supporter pendant quelques heures par jour, si le travail énorme du démarrage n'était de nature à le fatiguer outre mesure. Nous avons pu constater que les efforts au départ dépassent 360 kilogrammes, et qu'ainsi chaque cheval est obligé d'exercer alors un effort de 200 kilogrammes environ. Lorsqu'une voiture a une si grande masse, l'influence des rampes et celle de la mise en marche sont très-fâcheuses.

Si l'on divise l'effort de 39,150 par le poids total, on voit qu'il peut être représenté par le coefficient $0,006796 = \frac{1}{147}$. Ce coefficient s'est donc abaissé de 100 à 67, ou de 3 à 2, par le fait de la suppression des boudins sur un des côtés.

Il faut dire, en outre, que les deux rails étaient placés au même niveau dans les expériences de 1856, et que dans les nouvelles expériences, l'un des rails était placé à $0^{m},02$, en contre-bas de l'autre, par suite du profil transversal de la route sur laquelle ces rails sont établis.

M. Delonchant nous a demandé de faire comparativement la détermination de l'effort de traction, après remplacement des roues ordinaires par des roues d'un nouveau système, dit à galets, que nous décrirons bientôt, et qui ont été essayées immédiatement après les premiers essais sur le même parcours.

Le poids total du véhicule se composait :

Du poids de la caisse comme précédemment. . .	2299 kil.
Du poids des nouvelles roues	332
Du poids de 47 voyageurs.	3055
Ensemble.	5886

Les $1610^{m}.60$ ont été parcourus en $8'\ 37''$, et par conséquent avec une vitesse de $3^{m}.13$, peu différente de celle qui avait été atteinte la première fois.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'ordonnée moyenne de la courbe, 52mill.58, correspond à une effort de 32.336, et par conséquent le rapport entre le tirage et la charge est exprimé par le coefficient $0.005493 = \frac{1}{182}$.

Ces chiffres établissaient une différence notable en faveur des nouvelles roues, et cette différence ne pouvant résulter que des dispositions de la boîte, il était nécessaire d'examiner si les frottements de la fusée sont assez grands pour expliquer une pareille réduction.

Les fusées ont 0m,068 de diamètre; les roues ont 1 mètre; chaque mètre d'avancement, dans la première expérience, correspond donc à un glissement de la boîte autour de la fusée, égal à $\frac{0,068}{1,00} = 0,068$. D'un autre côté, et en faisant abstraction de l'effort dû au tirage, les 4 fusées supportent ensemble une charge de 5773 kilog.; si nous admettons que le coefficient de frottement de fer sur bronze, baignant dans l'huile, soit seulement de 0,05, le travail dû au frottement de la fusée sera, par mètre d'avancement, exprimé par $0,05 \times 5773 \times 0,068 = 19,63$ kilogrammètres, et ce nombre représentera également la partie de l'effort de traction afférente au frottement de la fusée. Cet effort est la moitié de l'effort total; nous pouvons donc admettre que dans nos premières déterminations, en juillet dernier, le tirage total de $\frac{1}{147}$ est dû pour moitié au frottement de la fusée, et pour moitié aussi à la résistance du rail, ou plus exactement :

Rapport entre la résistance du rail et la charge	0,003410
Rapport entre l'effort de tirage dû à l'action de la fusée et la charge	0,003386
	0,006796

Les expériences avec les nouvelles fusées ont donné pour résistance total. 0,005493

Si nous en déduisons la résistance du sol, telle qu'elle vient d'être calculée. 0,003410

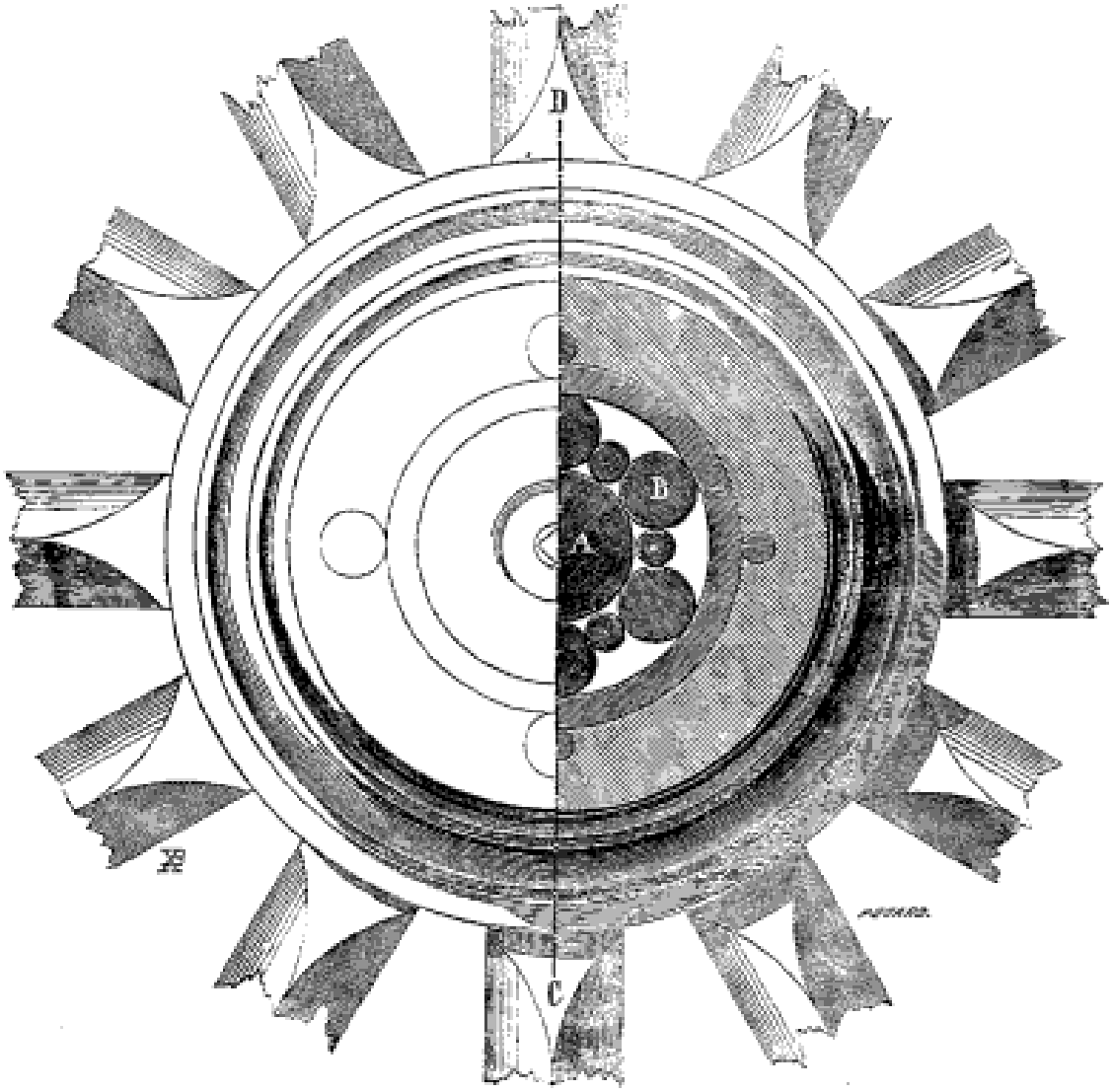
on voit qu'en définitive la résistance due à la nouvelle boîte serait encore de 0,002083

ou les deux tiers environ de celle de l'ancienne.

Il n'y a, dans cette comparaison, rien d'anormal, et nous nous

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trouvons ainsi conduits à admettre que la nouvelle disposition réduit aux $\frac{3}{5}$ la résistance due au frottement de la fusée dans sa boîte. Ce résultat paraît d'ailleurs confirmé par les observations de la pratique, en ce qui concerne ces boîtes spéciales dont nous donnerons la description.



La fusée cylindrique A, de $0^m,068$ de diamètre, est supportée dans la boîte par six galets d'un diamètre moitié moindre, qui sont représentés en B, sur la figure ci-jointe, et qui roulent dans une boîte dont le diamètre est égal à $0,068 + 2 \times 0,034 = 2 \times 0,068$, ou double du diamètre de la fusée elle-même.

M. Delonchant a été conduit à ces proportions en remarquant que si un galet est placé entre deux plans parallèles, dont l'un se déplace par rapport à l'autre, pendant que le galet roule sans glisser sur aucun d'eux, il est nécessaire, à chaque rotation com-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plète du galet, qu'il se soit lui-même déplacé d'une longueur égale à sa propre circonférence, et que le plan supérieur se soit en même temps déplacé d'une longueur double.

Ces circonstances ne peuvent se réaliser dans une boîte cylindrique qu'à la condition que le diamètre de la boîte sera double de celui de la fusée, et que par conséquent le diamètre du galet sera égal au rayon de celle-ci, ou moitié moindre que le diamètre de cette même fusée.

Quant aux espaces restant libres entre les galets principaux dans la couronne comprise entre la fusée et la boîte, ils sont remplis par des galets plus petits, dont les axes reposent dans les couvercles de la boîte, et qui tournent sans glissement, à la demande des galets principaux. On remarquera que ces intermédiaires sont indispensables pour que tous les rouleaux du premier système puissent tourner dans le même sens, sous l'action commune de la fusée et de la circonférence de la boîte.

Tous ces galets d'ailleurs sont en acier, et n'ont pas moins de 25 centimètres de longueur.

L'emploi des galets autour des fusées s'est produit, depuis 20 années, sous mille formes différentes. Peu partisan que nous sommes de ces complications, nous en avons nous-même déconseillé l'emploi en maintes circonstances; peut-être l'absence de choc sur les rails est-il ici la principale cause des bons effets observés.

Les expériences que nous venons de rapporter changent à peine notre manière de voir, et cependant, cette même question, nous l'avons déjà rencontrée dans certaines boîtes employées avec succès au chemin de fer du Nord, dans des conditions où elle nous avait paru bien moins encore à sa place. Nous n'avons voulu faire les expériences demandées par M. Delonchant qu'après un service de quelque durée. La voiture qui porte ses boîtes a parcouru depuis le 2 juin 1860, jusqu'au 2 septembre, 11040 kilomètres; la marche a toujours été régulière ; les galets ne portent aucune trace d'usé, et, malgré les défiances que de pareilles dispositions font naître, tout semble indiquer qu'un service réel a été rendu par l'arrangement, d'ailleurs très-intelligemment entendu, et très-bien exécuté, que la compagnie des omnibus doit aux efforts de M. Delonchant.

Paris, le 12 septembre 1860.

Vu : Général MORIN. A. TRESCA.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ÉTUDES

POUR SERVIR A

L'HISTOIRE DE LA CHIMIE

PAR P.-P. DEHERAIN.

LA DÉCOUVERTE DE LA COMPOSITION DE L'EAU.

Neuf grammes d'eau sont formés de huit grammes d'oxygène unis à un gramme d'hydrogène.

Deux litres de gaz hydrogène en se combinant à un litre de gaz oxygène produisent deux litres de vapeur d'eau.

Ce n'est que depuis vingt ans qu'on peut écrire avec certitude ces deux lignes, et pour qu'on le puisse faire, il a fallu, outre les travaux des alchimistes, ceux de Robert Boyle et de Lémery, de Cavendish, de Macquer et Sigaud de Lafond, de Waltire, de Watt, de Lavoisier et de Laplace, de Monge, de Nicholson et Carlisle, de Fourcroy, Vauquelin et Séguin, d'Humboldt et Gay-Lussac, de Dulong et Berzélius, enfin de M. Dumas.

L'exposé des travaux de chacun des auteurs précédents fait l'objet de cette étude. Nous y avons réuni les fragments les plus importants de tous les mémoires publiés sur cette question capitale, en les reliant entre eux le plus sobrement que nous avons pu, ainsi que nous l'avions fait déjà dans une étude précédente, la *Découverte de l'oxygène,* publiée par fragments dans la *Revue de l'instruction publique* en 1858 et 1859.

CHAPITRE PREMIER.

Découverte de l'air inflammable.

§ Ier. Premiers travaux.

A l'aurore d'une civilisation, quand les hommes délivrés des premiers soins, nourris, couverts, à l'abri, ont essayé de classer les êtres qu'ils voyaient autour d'eux, la distinction qu'ils ont dû faire d'abord est celle de l'état physique dans lequel se ren-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

contrent les corps. La philosophie la moins avancée, la plus simple, a pu observer immédiatement les différences qui caractérisent le solide, le liquide, le gaz, et enfin le fluide impondérable, et les quatre objets qui caractérisent ces états, c'est-à-dire la terre, l'eau, l'air et le feu, ont du être considérés comme le point de départ de toutes choses, comme des éléments.

Telle a été l'origine d'une doctrine qui, acquérant de la force à mesure qu'elle se perpétuait à travers les âges, est arrivée presque jusqu'à nos contemporains. A la fin du dix-huitième siècle, en effet, Macquer s'exprime ainsi dans son *Dictionnaire de chimie*, dont la première édition parut en 1766 : « On reconnaîtra, non sans doute sans en être étonné, que nous admettrons à présent comme principes de tous les composés, les quatre éléments, le feu, l'air, l'eau et la terre, qu'Aristote avait indiqués comme tels, bien longtemps avant qu'on eût les connaissances nécessaires pour contrôler une pareille vérité [1]. »

On ne peut s'empêcher d'être étonné de ce passage; quand il fut écrit, le laboratoire existait au moins depuis cinq cents ans; les alchimistes avaient pâli déjà sur les cornues et les creusets; ils s'étaient roussi la barbe et brûlé les yeux à la poursuite du grand œuvre; comment, dans les mille mélanges qu'ils essayèrent n'obtinrent-ils pas une décomposition d'eau, phénomène si fréquent, d'une réalisation si facile, qui se manifeste dans tant de circonstances différentes? C'est que la chimie est avant tout une science d'expérimentation, c'est que pour trouver le plus mince résultat sur son domaine, il faut sinon le chercher spécialement, avoir au moins les yeux ouverts à l'observation, et que les alchimistes, inspirés par un désir unique, toujours lancés à la poursuite de la pierre philosophale, dédaignaient tous les résultats qu'ils pensaient inutiles à la réussite de leurs projets; c'est que, de plus, cette recherche exigeait des appareils spéciaux. Recueillir un gaz invisible est pour nous une opération tellement banale que rien ne nous semble plus aisé; il n'y a pas un siècle cependant qu'on le sait faire convenablement.

Quoi qu'il en soit, on avait déjà entrevu au dix-septième siècle l'un des gaz qui entre dans la composition de l'eau.

Robert Boyle, le grand seigneur Irlandais dont le nom est resté célèbre malgré le peu d'importance de ses travaux, rap-

[1] Voir d'excellents articles de M. Chevreul dans le *Journal des savants*, 1851.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

porte un fait remarquable ; du fer, placé dans un ballon avec de l'eau aiguisée d'huile de vitriol, dégage un air qui peut remplir ce ballon si celui-ci est retourné sur l'eau. C'est là toute l'observation de Robert Boyle ; il ne cherche ni à généraliser ce procédé pour recueillir les gaz, ni à savoir quelles propriétés possède cet air qu'il vient d'obtenir.

C'est plus tard, qu'en France, Nicolas Lémery, né en 1645 à Rouen, publie dans son cours de chimie, que le gaz qu'on obtient par l'action de l'eau acidulée sur le fer est inflammable ; mais pas plus que Robert Boyle, Lémery ne recherche quel est le produit de la combustion de ce gaz, ni quel est l'ensemble de ses propriétés.

C'est là tout ce que nous enseignent les chimistes du dix-septième siècle, Jean Rey, Jean Mayow, Hales, qui avaient obtenu des résultats si intéressants sur la combustion, sont muets à l'égard de l'eau, et quelques observations même semblent faire plutôt reculer qu'avancer les connaissances sur ce sujet. On sait en effet que c'est au dix-septième siècle que fut faite une expérience restée longtemps célèbre : un arbre planté dans du sable absolument stérile peut, quand on l'arrose avec de l'eau pure, non-seulement y vivre, mais même accroître beaucoup son poids, ce qui tendrait à appuyer cette idée que l'eau est capable de se transformer en tous les éléments nouveaux qui ont servi à l'accroissement de l'arbre. On crut aussi au dix-huitième siècle au changement de l'eau en terre ; changement obtenu en faisant bouillir de l'eau dans un vase de verre ; ce ne fut qu'à la fin de ce siècle que Lavoisier et Scheele démontrèrent que le sédiment trouvé au fond de l'eau, provenait du verre attaqué et dépoli par l'action du liquide longtemps prolongée.

C'est avec ces notions erronées que nous arrivons à Cavendish.

§ II. Cavendish.

Il naquit à Nice, le 10 octobre 1731, d'une famille appartenant à la plus haute aristocratie anglaise. On voulut le pousser d'abord dans les carrières publiques, mais un goût prononcé pour l'étude des sciences, une timidité, une sauvagerie extrême l'en éloignèrent toujours ; sa résistance fut au reste encouragée par le legs d'une fortune considérable que lui fit un de ses oncles. Pouvant dès lors vivre à sa guise, il organisa sa maison de façon à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

n'avoir plus à s'occuper d'aucun détail de la vie matérielle : ses repas, ses vêtements, toutes ses habitudes furent parfaitement réglés, et la parole lui devint, pour ainsi dire, inutile. Sa grande fortune lui permit, au reste, de faire beaucoup de bien ; il créa une riche bibliothèque à laquelle le public fut admis, et il encouragea de ses deniers plusieurs savants anglais sans patrimoine [1].

Sa manie silencieuse s'étendit jusque sur ses publications écrites, et on ne compte de lui que très-peu de mémoires, ils sont en revanche de la plus grande importance.

Le mémoire dans lequel il traite des airs factices, c'est-à-dire de ces « espèces d'air qui sont contenus dans d'autres corps dans un état non élastique et qui sont extraits de ces corps artificiellement, » se divise en plusieurs parties dont la plus intéressante à notre point de vue traite de l'air inflammable [2].

« Je ne connais que trois substances métalliques, c'est-à-dire le zinc, le fer et l'étain, qui produisent de l'air inflammable par la dissolution dans les acides : et ceux-ci seulement par la dissolution dans l'acide vitriolique ou l'esprit de sel. Le zinc se dissout avec une grande rapidité et une forte élévation de température. Une once de zinc produit environ un volume d'air représenté par 356 mesures d'une once; la quantité de celui-ci semble juste la même, quel que soit l'acide employé. Le fer se dissout dans l'acide vitriolique étendu, mais non aussi complétement que le zinc. Une once de fer produit environ 412 mesures d'une once d'air : la quantité est précisément la même avec de l'huile de vitriol étendue de 1 fois 1/2 ou de 7 fois son poids d'eau; la quantité d'air produite ne semble donc pas dépendre de la force de l'acide. »

Cavendish n'obtient pas les mêmes résultats avec l'acide nitrique ; il voit, en effet, que dans ce cas il se dégage de l'air nitreux non inflammable. Il n'obtient pas non plus d'air inflammable en dissolvant le zinc ou le fer à chaud dans l'acide vitriolique.

Cette expérience lui suggère les réflexions suivantes, qu'il est important de noter pour montrer quel est le point de départ de la théorie de cette production d'air inflammable.

[1] Voir pour plus de détails : *Life of illustrated men of letters and sciences of the times of George III by lord Brougham*. F. R. S. Paris, Baudry's European Librairy. 1845.

[2] Trois mémoires contenant des expériences sur les airs factices, par the Hon. Henry Cavendish. F. R. S. *Philosophical transactions*. 1766. vol. LVI, p. 141.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« De là il semble qu'on peut conclure que lorsqu'une des substances métalliques précédentes est dissoute dans l'esprit de sel ou dans l'acide vitriolique étendu, leur phlogistique se dégage sans avoir sa nature changée par l'acide, et forme l'air inflammable ; mais lorsqu'elles sont dissoutes dans l'acide nitreux ou unies par la chaleur à l'acide vitriolique, leur phlogistique s'unit en partie à l'acide employé à la dissolution, et se dégage avec lui en fumée ; le phlogistique perd par cette combinaison sa propriété de s'enflammer.

« .... Quant à l'air inflammable produit en dissolvant ces substances dans l'esprit de sel ou dans l'acide vitriolique, il y a de grandes raisons de penser qu'il ne doit contenir aucun acide dans sa composition, non-seulement parce qu'il semble être toujours le même, quel que soit l'acide employé pour le dégager, mais aussi parce que c'est un air inflammable ressemblant beaucoup à ceux qu'on tire des substances animales en putréfaction, ou des substances végétales par la distillation, et qu'il n'y a pas de raison d'admettre que ceux-ci ont été produits par des acides. »

Tout le monde sait que Stahl, le fameux chimiste de Halle, avait expliqué les phénomènes de la combustion à l'aide d'une hypothèse ingénieuse. La faculté de brûler que possèdent les corps est due à un agent spécial, le phlogistique; tout corps combustible en renferme, et le perd par la calcination; des métaux calcinés, transformés en chaux métallique, en oxydes comme nous disons, sont pour Stahl privés de leur phlogistique; le charbon qui en contient beaucoup, puisqu'il est lui-même très-combustible, peut le leur rendre sous l'influence de la chaleur, les métaux sont alors revivifiés.

Cavendish, imbu de ces idées, explique le dégagement du gaz inflammable à l'aide de l'hypothèse précédente : le zinc ou le fer perdent sous l'influence de l'acide sulfurique dilué leur phlogistique, car ils se transforment en chaux, et c'est ce phlogistique qui se dégage à l'état de pureté sous forme d'air inflammable. Quand la dissolution a lieu à chaud au contraire, le phlogistique ne se dégage plus seul, mais avec une partie de l'acide, et la propriété combustible disparait.

Ce premier mémoire renferme encore le récit des explosions qu'on obtient avec l'air inflammable mélangé à l'air atmosphérique quand on les enflamme, et une détermination approchée de la densité de ce gaz; mais il n'est nullement question des produits de la combustion, c'est même à peine si Cavendish note que l'eau intervient dans la réaction à l'aide de laquelle il a ob-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tenu ce gaz inflammable. L'eau joue si souvent dans les opérations chimiques un rôle secondaire, on la voit si souvent se conduire comme dissolvant, si fréquemment on l'emploie pour étendre les corps à réaction violente pour atténuer leur énergie, que l'omission que fait Cavendish, toute fâcheuse qu'elle est, n'en est pas moins naturelle. L'eau est un élément, ce n'est pour ainsi dire pas une substance chimique, et le savant anglais est à cent lieues de penser qu'elle a joué un rôle quelconque dans les phénomènes qu'il observe.

§ III. Combustion de l'air inflammable. — Macquer. — Waltire.

De 1766, époque à laquelle a paru le mémoire de Cavendish, jusqu'en 1776 et 1777, la question n'avance pas; on répète cependant les expériences sur l'air inflammable; Priestley le fait détoner, non-seulement avec l'air commun, mais encore avec l'air vital, qu'il vient de découvrir (1774).

L'inflammabilité du gaz obtenu en dissolvant le zinc dans l'acide vitriolique étendu, le fait ranger à côté des gaz, inflammables également, qu'on tire de la distillation des matières végétales et animales (hydrogènes carbonés, oxyde de carbone, etc.); toutefois Macquer dont les travaux vont maintenant nous occuper ne fait pas cette confusion.

Dans la seconde édition de son excellent *Dictionnaire de chimie* parue en 1778, et qui représente parfaitement l'état de la science à cette époque, Macquer établit une distinction entre tous les gaz combustibles.

« Quoique ces gaz paraissent se ressembler tous, non-seulement par l'inflammabilité, mais encore par plusieurs autres propriétés qui leur sont communes, ils n'ont pas encore été examinés en assez grand détail pour qu'on sache s'il n'y en a point qui diffèrent essentiellement l'un de l'autre ou s'il n'y a qu'une seule substance aériforme, inflammable, distincte de toutes les autres matières par des propriétés constantes et uniques, comme paraît l'être le gaz méphitique. »

Dans cette indécision, Macquer considère comme type de l'air inflammable celui qu'on obtient en dissolvant le zinc ou le fer dans l'acide vitriolique.

Ainsi que nous l'avons vu, Cavendish avait, à bien des reprises différentes, fait détoner l'air inflammable avec l'air atmosphérique, Priestley avait même reconnu que pour que la détonation

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

arrive à son maximum, il faut employer deux volumes d'air inflammable contre un d'air vital.

Que se produit-il quand ces gaz se combinent?

Ni l'un ni l'autre ne le sait ni ne le cherche. Mais ce qui surprend encore davantage c'est que Macquer, travaillant en commun avec Sigaud de Lafond, trouve quel est le produit de cette combustion, et ne s'arrête pas sur cette observation capitale; elle est pour lui sans importance. Il raconte en ces termes son expérience :

« Je me suis assuré aussi, en interposant une soucoupe de porcelaine blanche dans la flamme du gaz inflammable brûlant tranquillement à l'orifice d'une bouteille, que cette flamme n'est accompagnée d'aucune flamme fuligineuse, car l'endroit de la soucoupe que léchait la flamme est resté parfaitement blanc; il s'est trouvé seulement mouillé de gouttelettes assez sensibles d'une liqueur blanche comme de l'eau, et qui nous a paru n'être, en effet, que de l'eau pure[1]. »

Puis il passe à un autre sujet.

Presque en même temps le même fait est observé en Angleterre. Waltire écrit, à la date du 3 janvier 1777, à Priestley[2] :

« J'ai répété plusieurs fois sur l'air inflammable une expérience qui me paraît très-curieuse. J'adapte à une fiole à fond rond un bouchon de liége conique auquel j'ajuste un tube de verre, recourbé de façon que, lorsqu'il est suspendu par sa courbure supérieure au bord du baquet pareil à celui qui est décrit dans votre premier volume, sa courbure inférieure sort de 2 pouces sous la surface de l'eau, et son extrémité s'élève de 4 pouces. La fiole étant chargée de matériaux propres à produire de l'air inflammable rapidement, il faut allumer cet air à mesure qu'il s'échappe de l'extrémité du tube, et la flamme durera aussi longtemps qu'il s'élèvera de l'air inflammable, pourvu qu'on ait soin d'empêcher qu'il ne monte aucune humidité conjointement avec l'air. »

L'auteur ajoute qu'on place au-dessus de cet appareil une cloche qu'on plonge dans l'eau de façon que la combustion ait lieu au moyen de l'air confiné dans la cloche.

« L'air inflammable continue de brûler tant qu'il y a dans le récipient de l'air commun capable d'entretenir la flamme.... L'air commun est diminué d'un cinquième de ses dimensions primitives; quand la flamme s'éteint, on voit dans presque tout le récipient une substance en poudre fine comme un

[1] Macquer, *Dictionnaire de chimie*, article GAZ INFLAMMABLE.

[2] Priestley, *Expériences sur différentes espèces d'airs*, t. V.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nuage blanchâtre, et l'air qui reste sous le verre est parfaitement nuisible. »

Telles sont les deux premières expériences dans lesquelles la production de l'eau est accomplie, mais nullement appréciée ni comprise.

Quelle leçon pour les chimistes ! Combien cela doit nous apprendre de quelle importance il est de peser toutes les circonstances des expériences, de se rendre compte de chacune d'elles !

Chacun se trouve plusieurs fois dans sa vie devant des faits remarquables comme celui que nous venons de citer. Mais les faibles passent sans le voir; ils le notent et tout est dit. Macquer et Sigaud de Lafond ont fait de l'eau; ils ont accompli une des opérations les plus importantes qu'ait jamais pu imaginer un chimiste ! ils passent sans comprendre. D'où vient-elle cette eau qui s'est déposée sur la soucoupe? qui l'a produite ? Quel est ce nuage blanc qu'observe Waltire? Que sont devenus les airs qui disparaissent dans cette expérience ? Ni les uns ni les autres ne s'en soucient, et Waltire termine sa lettre par des histoires de feux follets.

§ IV. Identité de l'air inflammable et du phlogistique.

Les travaux s'accumulent cependant, la préparation de l'air inflammable est chose facile, chacun la répète, et met au jour quelques-unes des propriétés de cette nouvelle substance.

Chaussier de Dijon en allume un jet sortant d'un tube métallique effilé, il construit ainsi le premier chalumeau à gaz hydrogène, et il remarque très-bien les propriétés calorifiques et réductrices de cette flamme[1] :

« Non-seulement l'air enflammé rend la fusion des métaux plus prompte et plus facile, mais encore il empêche la calcination. J'ai entretenu pendant plusieurs minutes un courant d'air inflammable sur une petite quantité d'étain fondu, et quoique ce métal se calcine très-aisément, je n'ai pas obtenu un atome de chaux. Mais ce qui paraîtra plus surprenant encore, en dirigeant un jet d'air enflammé sur des chaux de plomb, de fer, de mercure, je les ai revivifiés en très-peu de temps sans addition.

« Peut-être croirait-on que la flamme d'une lampe d'émailleur, entretenue par un souffle continu, aura le même effet; mais j'ai essayé ce moyen

[1] *Journal de physique* de l'abbé Rozier, t. XVI. 1777.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sur des chaux de plomb et de fer : il n'a fait qu'augmenter leur calcination et les approcher davantage de l'état de vitrification. »

Et quelle est l'explication que vont donner de ces phénomènes très-bien observés tous les chimistes de cette époque? la seule logique avec leur éducation, celle qui sautait aux yeux, et qui a été répétée par tous, Chaussier, Priestley, Kirwan, Cavendish : c'est qu'il y a la plus grande analogie, sinon identité, entre l'air inflammable et le phlogistique :

« Ces phénomènes de la fusion des métaux, dit encore Chaussier, et de la réduction de leur chaux par l'air enflammé, s'expliqueront facilement si l'on fait attention que l'air inflammable n'est autre chose qu'un air surchargé de phlogistique, et qu'ainsi il fond les métaux plus promptement et en fournissant moins de chaleur que le feu ordinaire, parce qu'ayant plus d'analogie avec le phlogistique des métaux, il s'y unit, y adhère, et leur communique la mobilité qui fait la fusion. Il réduit de même les chaux, parce qu'étant surchargé de phlogistique, il pénètre toutes les parties calcinées, s'y engage, s'y fixe, et leur porte le principe qui leur manquait, tandis que l'air qui y était incorporé pendant la calcination se dissipe et s'exhale en vapeurs. »

Plus tard, Priestley [1] publie ses expériences sur la réduction du minium par l'air inflammable et arrive aux mêmes conclusions.

L'air inflammable est placé dans une grande cloche, sous laquelle on fait pénétrer une coupelle remplie de minium qu'on chauffera à l'aide d'une lentille.

« Afin de démontrer cette revivification avec toute la rigueur désirable, j'ai chassé d'une certaine quantité de minium toutes les substances phlogistiques qui pouvaient y être contenues en le calcinant au rouge avec du nitre ; je l'exposai alors à l'action de la lentille ardente dans l'air inflammable, et je réduisis 101 parties de celui-ci à deux. Le résidu était encore de l'air inflammable....

« Après cette expérience je n'hésitai plus à conclure que cet air inflammable pénètre totalement et sans décomposition dans le plomb qui s'est formé, et je pense qu'on ne révoquera pas en doute ma conclusion, à savoir : que le phlogistique est la même chose que l'air inflammable contenu dans l'état de combinaison dans les métaux, comme l'air fixe est contenu dans la chaux et les autres substances calcaires, l'un et l'autre étant susceptibles d'en être chassés sous forme de gaz. »

En 1782 Kirwan [2] était arrivé aux mêmes conclusions, en s'ap-

[1] *Philosophical transactions*. 1783.

[2] *Philosophical transactions*, t. LXXII.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

puyant sur les expériences de Chaussier et sur celles de Priestley, qui lui étaient connues, bien qu'elles ne fussent pas encore publiées.

Jusqu'à présent, on le voit, on connaît la préparation de l'air inflammable; on sait qu'il réduit les chaux métalliques; on sait que, mêlé à l'air atmosphérique, il détone sous l'influence d'une flamme ou sous celle de l'étincelle électrique, car Volta [1] a déjà construit son eudiomètre; toutes ses expériences ont conduit à faire admettre l'identité du phlogistique et de l'air inflammable, et les deux expériences de Waltire et de Macquer sont restées lettre close.

CHAPITRE II.

L'eau est un corps composé. — Les phlogisticiens.

§ I. Watt.

Nulle époque ne peut se comparer pour l'activité scientifique à la fin du dix-huitième siècle. Le vent était aux découvertes, aux changements, aux rénovations; tous les esprits éclairés, émus par les découvertes de Priestley, de Scheele, de Lavoisier, de Cavendish, s'étaient mis dans le mouvement. L'aristocratie, qui avait eu tant de part aux publications philosophiques, venait apporter son contingent de travailleurs, témoin les brillantes expériences du duc de Chaulnes; les géomètres, les ingénieurs avaient pris aussi les cornues et les creusets, ou, s'ils ne pouvaient se livrer aux travaux de laboratoire, s'en dédommageaient par de fréquentes correspondances avec les hommes d'expérience. Parmi eux, au premier rang, loin devant les autres, se place Watt, le grand ingénieur; bien que son attention se fût surtout portée sur la mécanique où il devait créer un des instruments les plus puissants qu'il ait été donné à l'homme d'inventer, bien qu'à l'aide de son condenseur et de son parallélogramme, il eût transformé une machine informe en un travailleur sobre, infatigable, d'une puissance pour ainsi dire sans limites, il était loin d'être épuisé. Se complaisant aux recherches purement théoriques, il devait avoir ce bonheur singulier de n'apparaître qu'une fois sur le domaine de la chimie, mais de jeter par

[1] *Journal de physique* de l'abbé Rozier. Lettre adressée à Priestley. 1780.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

son apparition la lumière la plus vive sur la solution d'une question devant laquelle s'arrêtaient les plus grands. Il réfléchissait aux expériences de ses contemporains, les commentait, les complétait; n'étant pas soumis à l'impression des mille détails qui assiégent l'expérimentateur, qui grossissent les réactions secondaires, et lui masquent le fait essentiel, voyant de plus haut, d'une meilleure station, il émet le premier, dans une lettre adressée à Priestley, une théorie à peu près satisfaisante de la composition de l'eau.

Priestley, Cavendish, Kirwan, avaient expérimenté sur l'air inflammable; outre sa détonation avec l'air déphlogistiqué et l'apparition d'humidité obtenue, on a, comme nous l'avons vu, revivifié les chaux métalliques en les chauffant dans l'air inflammable.

Le 26 avril 1783, Watt écrit à Priestley, au sujet de ces dernières expériences, une lettre dans laquelle il émet les idées que lui suggère le récit des faits observés; la lettre est communiquée à plusieurs membres de la Société royale, entre autres au président sir Joseph Banks; puis tout à coup, saisi de crainte, moins sûr des résultats, Watt hésite, demande qu'on suspende la lecture de sa lettre, et déclare qu'il désire attendre le résultat de nouvelles expériences entreprises par Priestley.

En cette même année 1783, au mois de juin, ainsi que nous le verrons plus loin, Blagden, secrétaire de la Société royale, ami de Cavendish, vient à Paris, voit Lavoisier, Laplace, assiste à leurs expériences sur les combustions de l'air inflammable et de l'oxygène, et entend les conclusions nettes et précises qu'ils en tirent.

En 1784 [1], enfin Watt, enhardi, demande la lecture de sa lettre, qu'il étend et refond dans un mémoire adressé à De Luc, le célèbre météorologiste de Genève; toutefois, cette dernière lettre est séparée du texte par des guillemets retournés, et il est facile, par conséquent, de savoir les conséquences que Watt avait tirées l'année précédente des expériences de Priestley.

« Il est bien connu, depuis quelque temps, que l'air inflammable contient beaucoup de phlogistique, et le docteur Priestley a trouvé, par quelques expériences faites récemment, que c'est du pur phlogistique, ou du moins qu'il ne contient aucun mélange d'aucune autre matière. Dans mon opi-

[1] *Philosophical transactions.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nion, cependant, il contient une petite quantité d'eau et beaucoup de chaleur élémentaire. »

Watt rappelle ensuite l'expérience de Chaussier sur la réduction des chaux métalliques par l'air inflammable, expérience répétée par Prietsley; il ajoute :

« Ainsi, comme une quantité d'air inflammable a été absorbée par les chaux métalliques, et qu'elles ont été réduites à l'état métallique, que la petite portion de gaz restante n'a subi aucun changement, on peut raisonnablement conclure que l'air inflammable est le phlogistique pur ou la matière qui réduit les chaux en métaux.

« Le même ingénieux philosophe méla ensemble certaines proportions d'air déphlogistiqué parfaitement sec dans un vase de verre fermé, et les enflamma par l'étincelle électrique. Le premier effet fut l'apparence d'une chaleur rouge qui rendit le vase très-chaud. La chaleur peu à peu s'échappa des vaisseaux et fut dissipée dans l'air ambiant, et quand le vase se réfroidit, de la vapeur visible y apparut, et se condensa sous forme d'humidité ou de rosée. Si le vase, ramené à la température ordinaire, est ouvert sous l'eau ou le mercure, les liquides montent jusqu'à ce qu'il ne reste plus qu'environ 1/200e de sa capacité; et on peut penser que ce léger résidu a été occasionné par quelque impureté dans l'une ou l'autre espèce de gaz. L'humidité adhérente au verre, après ces détonations, étant recueillie à l'aide d'un papier buvard et pesée avec soin, fut trouvée exactement ou à très-peu près exactement égale en poids aux airs employés[1].

[1] Tout ce que nous venons de citer de Watt est compris dans la lettre de 1785. — On voit que Watt s'appuie là sur une expérience bien remarquable, qu'il attribue à Priestley; nous n'avons pas été assez heureux pour rencontrer dans les ouvrages de ce chimiste le passage où il raconte cette expérience capitale, mais on trouve dans un mémoire qu'il publia en 1786 les paroles suivantes : « Que l'eau en grande quantité soit produite en brûlant les airs inflammable et déphlogistiqué, cela est évident d'après les expériences de MM. Cavendish et Lavoisier. J'ai aussi fréquemment recueilli des quantités d'eau considérables de cette manière, *mais jamais tout à fait égales aux poids des deux espèces d'air employé.* » Si on veut chercher une explication à cette contradiction entre le récit de Watt et celui de Priestley, on peut peut-être supposer que Priestley, dans une première expérience heureuse, était tombé sur une quantité d'eau égale au poids des deux airs employés, puis qu'en voulant répéter cette expérience il avait été moins habile et que, n'ayant plus obtenu les mêmes résultats, il transmit à Watt des doutes sur l'exactitude de ses premiers essais. Celui-ci demanda alors qu'on retardât la lecture de sa lettre, et ne consentit à cette publication

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« Je suis redevable à votre amitié du récit des expériences faites récemment à Paris sur ce sujet avec de grandes quantités des deux espèces d'air, par lesquelles le point essentiel semble avoir été clairement prouvé, que la combustion ou l'union de l'air déphlogistiqué et de l'air inflammable, déterminée par l'inflammation, a produit une quantité d'eau égale en poids aux airs, et que l'eau ainsi produite a paru être de l'eau pure.

« Quand le vase est froid, une quantité d'eau est trouvée égale, en poids, à l'air employé. Cette eau est ainsi le seul produit restant de l'expérience, et l'eau, la lumière et la chaleur sont tous ces produits, à moins que quelque autre matière n'échappe à nos sens.

« Ne sommes-nous pas autorisés à conclure que l'eau est composée d'air déphlogistiqué et de phlogistique privés d'une partie de leur chaleur élémentaire; que l'air pur ou déphlogistiqué est composé d'eau privée de son phlogistique, et unie à la chaleur élémentaire et à la lumière; que cette dernière y est contenue à l'état latent, non sensible au thermomètre et à nos sens, et si la lumière est seulement une modification de la chaleur, l'air pur ou déphlogistiqué est composé d'eau privée de son phlogistique et unie à la chaleur élémentaire [1]. »

Si on veut traduire phlogistique par gaz inflammable, par conséquent par hydrogène, nous trouverons que Watt a donné une idée extrêmement complète de la composition de l'eau; mais en réalité, il n'en est pas ainsi, et le mot de phlogistique laisse dans l'esprit quelque chose de vague, de non satisfaisant.

Le phlogistique, en effet, dans l'expérience sur laquelle Watt s'appuie, doit être pesant, puisqu'il s'ajoute à l'air déphlogistiqué pour former l'eau; mais dans l'expérience de la réduction des chaux métalliques, il eût fallu qu'il ne le fût point.

Watt, le premier, a vu que l'eau était un corps composé, et c'est là sa grande gloire chimique; mais, quant à nous, il ne nous paraît pas possible de lui accorder une idée nette sur la constitution de cette substance avant le mémoire publié par Lavoisier; c'est ce que démontrent, au reste, ses hésitations dans la publication de son travail.

§ II. Second mémoire de Cavendish.

Ce sont les expériences de Waltire, décrites précédemment qui excitent Cavendish à rechercher quels sont les produits de la

que l'année suivante, quand les chimistes français avaient déjà indiqué complétement la solution.

[1] Ces deux derniers alinéas sont encore de la lettre de 1784.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

combustion du gaz inflammable dans le cours d'un travail « entrepris principalement dans le but de trouver la cause de la diminution que supporte l'air commun par tous les moyens différents à l'aide desquels il est phlogistiqué, et pour savoir ce que devient cet air ainsi perdu ou condensé [1]. »

.... « Dans le dernier volume des expériences du docteur Priestley est racontée une expérience de M. Waltire, dans laquelle il dit qu'en foudroyant un mélange d'air commun et d'air inflammable dans un vase de cuivre fermé, il obtint toujours une perte de poids d'environ 2 grains, bien que le vase fût disposé de façon qu'aucun gaz ne pût s'échapper pendant l'explosion. Il dit aussi qu'en répétant l'expérience dans des vases de verre, le contenu, bien que clair et sec d'abord, devient immédiatement humide, ce qui confirma une opinion que j'avais eue déjà, que l'air commun dépose son humidité par la phlogistication. »

Cavendish donne ensuite les détails de ses expériences ; opérant mieux que Waltire, il ne trouve, en agissant en vases clos, ni augmentation, ni diminution de poids, mais dans toutes les expériences il constate la formation d'humidité sans aucune autre matière impure.

« .... D'après les quatre expériences précédentes, il ressort que 423 mesures d'air inflammable sont suffisantes pour phlogistiquer complétement 1000 parties d'air commun, et que le résidu de l'air restant après l'explosion est ainsi plus petit que les $\frac{4}{5}$ de l'air commun employé ; tellement que comme l'air commun ne peut être réduit à un volume moindre par aucun procédé de phlogistication, nous pouvons en conclure que quand ils sont mêlés dans ces proportions et qu'ils font explosion, tout l'air inflammable et environ la cinquième partie de l'air commun perdent leur élasticité, et sont condensés dans la rosée qui ternit le verre. »

En recommençant l'expérience sur de plus grandes quantités, il finit par obtenir 135 grains d'eau qui se condensèrent dans l'appareil où les gaz étaient mélangés...

« Cette eau n'avait ni goût ni odeur, et ne laissa aucun résidu quand elle fut évaporée à sec ; comme aucune odeur piquante ne se manifestait pendant l'opération, elle parut de l'eau pure.

« Cette expérience semble donc prouver que tout l'air inflammable et environ un cinquième de l'air commun sont condensés en eau pure. »

Cavendish recommença cette expérience avec le gaz tiré du

[1] *Philosophical transactions*, vol. LXXIV, p. 119. 1784. Expériences sur l'air.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mercure *precipite per se*; il obtient encore de l'eau en le combinant au gaz inflammable, et il finit par conclure de ses expériences que si les deux airs étaient bien purs et pris en proportions convenables, ils se condenseraient entièrement en ne laissant aucun résidu gazeux.

Il arrive souvent que dans ces expériences l'eau se charge d'acide nitrique; cette difficulté, qui embarrasse d'abord Cavendish, est levée et donne naissance au beau mémoire sur la production de l'acide nitrique dans l'air sous l'influence de l'étincelle électrique.

« Toutes les expériences précédentes sur l'explosion de l'air inflammable avec l'air commun et déphlogistiqué, excepté celles relatives à la cause de l'acide trouvé dans l'eau, furent faites dans l'été de l'année 1781, et furent mentionnées par moi au docteur Priestley, qui, en conséquence, fit plusieurs expériences de la même espèce. Pendant ce dernier été aussi, un de mes amis donna quelques connaissances de ces travaux à M. Lavoisier, ainsi que de la conclusion qu'on en avait tirée, à savoir : que l'air déphlogistiqué est seulement de l'eau privée de phlogistique; mais à cette époque, Lavoisier était si éloigné de croire une telle opinion vraisemblable, que jusqu'à ce qu'il fût convaincu en répétant lui-même l'expérience, il éprouva quelques difficultés à croire que les deux airs étaient entièrement transformés en eau. »

Ainsi Cavendish couronne de la façon la plus brillante son mémoire sur la découverte du gaz inflammable; il démontre nettement, les faits sont précis, qu'en prenant des quantités convenables d'air vital et d'air inflammable on peut complétement les transformer en eau.

Quelles conclusions en tirer ?

Rien ne paraît plus simple :

L'eau est un corps composé d'air vital et d'air inflammable.

Telle n'est pas cependant l'opinion de Cavendish :

Il a été élevé, il a vécu avec la théorie du phlogistique, et il va l'introduire dans ses belles expériences, pour leur faire dire autre chose que ce qu'elles disent nettement.

« De tout ce qui précède, il paraît très-naturel de penser que l'air déphlogistiqué est seulement de l'eau privée de son phlogistique, et, qu'ainsi qu'on l'a dit, l'air inflammable est de l'eau phlogistiquée, ou même du pur phlogistique, mais très-probablement le premier. »

Ainsi pour Cavendish l'eau est un corps composé; lui enlève-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

t-on son phlogistique, on obtient l'air déphlogistiqué; lui donne-t-on du phlogistique, on obtient l'air inflammable; ainsi l'air vital est une substance simple, l'eau une substance composée, et l'air inflammable également, à moins toutefois qu'il ne soit du phlogistique pur, ce sur quoi Cavendish n'ose pas se prononcer.

Remarquons que le mémoire de Lavoisier a déjà paru et que Cavendish discute l'opinion émise par notre grand compatriote.

Ce sont toujours les mêmes causes qui entraînent dans l'erreur Watt et Cavendish, comme Priestley et Scheele lorsqu'ils découvrirent l'oxygène ; ils expérimentent avec soin, avec précision ; mais, au lieu de suivre pas à pas l'expérience, de ne tirer de celle-ci d'autres conclusions que celles qui en découlent, ils s'écartent brusquement, et allant chercher une hypothèse *à priori*, ils veulent tirer des faits qui la détruisent une démonstration en sa faveur. La finesse, la justesse d'observation décèlent déjà le talent, mais c'est dans le passage si délicat des faits constatés à la conclusion qu'apparaît le génie dans toute sa grandeur. Ici on est obligé de le refuser à Cavendish.

Le mémoire sur les airs factices, les expériences sur l'air dont nous venons de présenter le résumé, la découverte de la production de l'acide azotique par la combinaison de l'oxygène et de l'azote sous l'influence de l'électricité, voilà tout le bagage chimique de Cavendish, grâce auquel son nom restera parmi les plus illustres. Bien qu'il ait été aussi sobre d'écrits que de paroles, ses travaux ont une telle importance par les résultats qu'ils renferment, par ceux auxquels ils ont conduit, qu'ils assurent à son auteur une place au premier rang.

Il conserva pendant toute sa vie les habitudes silencieuses que nous lui connaissons; les véritables événements qui agitèrent son existence furent ses découvertes ; quant aux guerres, aux catastrophes qui bouleversaient le monde pendant la dernière période de son existence, elles n'eurent pas la moindre influence sur ses habitudes de retraite.

Sir Henry Cavendish mourut le 10 mars 1810, après une courte maladie; son valet de chambre le voyant plus souffrant avait osé s'approcher du lit de son maître sans être appelé, Cavendish lui fit signe de se retirer ; quand on entra le lendemain il était mort; peut-être sa dernière pensée avait été à la science, mais son dernier geste demandait la solitude et le silence.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE III.

L'eau est formée d'oxygène et d'hydrogène. Détermination approchée des poids et des volumes suivant lesquels a lieu la combinaison.

§ I. — Lavoisier, Laplace et Meusnier.

Nous avons placé après les travaux de Watt et de Cavendish le résumé des mémoires des chimistes français, parce qu'il est naturel de passer de l'erreur à la vérité, des idées fausses aux idées justes, et de plus parce qu'ainsi que nous l'avons vu et que nous le verrons encore, tous les contemporains accordèrent à Cavendish l'idée que l'eau est un corps composé; mais on verra toutefois par la comparaison des dates que les mémoires des chimistes français sont en définitive ceux qui ont précédé tous les autres, et qu'il est très-probable que les travaux se poursuivirent parallèlement des deux côtés de la Manche, sans dériver les uns des autres.

Les deux mémoires de Lavoisier et de Laplace, et de Lavoisier et Meusnier, sont insérés dans le recueil de l'Académie des sciences pour 1783. — Le premier de ces travaux, dans lequel on a pour objet de prouver que l'eau n'est point une substance simple, un élément proprement dit, mais qu'elle est susceptible de décomposition et de recomposition, fut lu à la rentrée publique de la Saint-Martin de 1783.

« Si on brûle ensemble sous une cloche, au moyen de caisses pneumatiques, un peu moins de deux parties d'air inflammable contre une d'air vital, en supposant que l'un et l'autre soient parfaitement purs, la totalité des deux airs est absorbée, et on trouve à la surface du mercure sur lequel se fait cette expérience une quantité d'eau égale en poids à celui des deux airs qu'on a employés.

« Tel est, en général, le résultat de la combustion de l'air vital et de l'air inflammable; mais comme on a voulu élever quelques doutes sur l'antériorité de cette découverte, je me crois obligé d'entrer dans quelques détails sur la suite des expériences qui m'y ont conduit. Les premières tentatives qui aient été faites pour déterminer la nature du résultat de la combustion de l'air inflammable remontent en 1776 ou 1777; à cette époque, M. Macquer ayant présenté une soucoupe de porcelaine blanche à la flamme de l'air inflammable qui brûlait tranquillement à l'orifice d'une bouteille, il observa

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que cette flamme n'était accompagnée d'aucune fumée fuligineuse; il trouva seulement la soucoupe mouillée de gouttelettes assez sensibles d'une liqueur blanche comme de l'eau, et qu'il reconnut, ainsi que M. Sigaud de Lafond, qui assistait à cette expérience, pour de l'eau pure. »

Cette expérience étonne Lavoisier; il pensait « que l'air inflammable en brûlant devait donner de l'acide vitriolique ou de l'acide sulfureux. M. Bucquet au contraire pensait qu'il devait en résulter de l'air fixe. » En septembre 1777 ces deux savants font brûler de l'air inflammable dans une bouteille où ils ont introduit de l'eau de chaux; ils ne la voient pas blanchir; ce n'est donc pas de l'air fixe que donne l'air inflammable en brûlant.

Cette expérience répétée de nouveau donne encore les mêmes résultats.

« Ils me surprirent d'autant plus, que j'avais entièrement reconnu que dans toute combustion il se formait un acide...

« Cependant rien ne s'anéantit dans les expériences; la seule matière du feu, de la chaleur et de la lumière a la propriété de passer à travers les pores des vaisseaux; les deux airs, qui sont des corps pesants, ne pouvaient donc avoir disparu, ils ne pouvaient être anéantis; de là la nécessité de faire les expériences avec plus d'exactitude et plus en grand. Je fis construire en conséquence une seconde caisse pneumatique, afin que l'une fournissant l'air inflammable, l'autre l'air vital, on pût continuer plus longtemps la combustion...

« Ce fut le 24 juin 1783 que nous fîmes cette expérience, M. de Laplace et moi, en présence de MM. le Roi, de Vandermond, de plusieurs autres académiciens et de M. Blagden, aujourd'hui secrétaire de la Société royale de Londres; ce dernier nous apprit que M. Cavendish avait déjà essayé à Londres de brûler de l'air inflammable dans des vaisseaux fermés, et qu'il avait obtenu une quantité d'eau très-sensible. »

L'expérience réussit, on obtient de l'eau.

« Nous en rendîmes compte dès le lendemain 25 à l'Académie, et nous ne balançâmes pas à en conclure que l'eau n'est point une substance simple, et qu'elle est composée poids pour poids d'air inflammable et d'air vital.

« Nous ignorions alors que M. Monge s'occupat du même sujet, et nous ne l'apprîmes que quelques jours après, par une lettre qu'il adressa à M. Vandermond et que ce dernier lut à l'Académie; il y rendait compte d'une expérience du même genre, et qui lui a donné un résultat tout semblable.

« En rapprochant le résultat de ces premières expériences de ceux que nous avons obtenus, M. Meusnier et moi, dans des expériences faites postérieurement en commun et dont je parlerai bientôt, il paraîtrait que la pro-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

portion en volume du mélange des deux airs, en les supposant l'un et l'autre dans leur plus grand état de pureté, est de 12 parties d'air vital et de 22,924345 d'air inflammable; mais on ne peut disconvenir qu'il ne reste encore quelque incertitude sur l'exactitude de cette proportion. En parlant au surplus de cette donnée, qui ne doit pas s'écarter de beaucoup du vrai, et en supposant qu'à 28 pouces de pression et à 100 degrés du thermomètre, l'air vital pèse 0,47317 grains le pouce cube, et l'air inflammable 0,037449 grains, ainsi qu'il résulte des expériences faites avec M. Meusnier, on trouve qu'une livre d'eau est composée ainsi qu'il suit :

	Livre.
Air vital ou plutôt principe oxygéné	0,86866273
Air inflammable ou plutôt principe inflammable de l'eau	0,13133727
	1,00000000

« Ces nombres exprimés en fractions régulières de livres reviennent à

	Onces.	Gros.	Grains.
Principe oxygène.	13	7	13,6
Principe inflammable.	2	0	58,4
	16	»	»

« Enfin, en réduisant ces quantités au volume, on trouve pour les quantités de pouces cubiques de chacun de ces deux airs :

	Pouces cubes.
Air vital.	16919,07
Air inflammable	32321,29
	49240,36

Quelle grandeur! quelle simplicité! Après avoir lu ces mémoires pénibles de Watt et de Cavendish, après avoir cherché à suivre leurs idées confuses, après avoir gémi du peu de rigueur de leur raisonnement, étayé cependant sur de si belles expériences, comment n'être pas frappé de la netteté, de la précision du mémoire de Lavoisier et Laplace?

Ils ne voient pas tout, cependant, et il est bien curieux qu'ayant sous les yeux ce rapport presque exact de deux volumes d'hydrogène se combinant à un volume d'oxygène pour constituer l'eau, ils n'aient pas songé que ce rapport, au lieu d'être à peu près comme un est à deux, était exactement dans ce rapport.

Tant il est vrai que dans les sciences expérimentales il ne suffit pas d'avoir les résultats devant soi pour les voir, mais qu'il faut qu'ils reparaissent un grand nombre de fois dans le même sens pour qu'ils passent des yeux au cerveau, que l'attention détournée jusqu'alors par d'autres recherches s'éveille, se fixe, et vérifie, par une série d'essais dirigés dans ce but particulier, la conclusion entrevue.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si Lavoisier laisse échapper ce point si important qu'il pouvait tirer de ses belles recherches, il n'en fait pas moins surgir une foule d'explications précises sur des faits déjà observés.

Aidé de Laplace qui lui suggère le premier l'explication, il voit que lorsqu'on traite les métaux par de l'acide vitriolique étendu d'eau, c'est de « l'eau que provient l'air vital qui s'unit au métal dans la dissolution ; elle se décompose donc et son principe inflammable se développe sous forme d'air. »

L'expérience, nous l'avons vu, était de 1766, c'est seulement en 1783 qu'elle est comprise.

Lavoisier explique aussi facilement la revivification des chaux métalliques par l'hydrogène qu'avait obtenue Chaussier, puis Priestley, en chauffant, au moyen d'une lentille, du minium placé sous une cloche remplie d'air inflammable.

« M. Priestley est parvenu à réduire 101 mesures d'air inflammable à 2, et ce restant était encore de l'air inflammable pur. Il a conclu de cette expérience que l'air inflammable se combinait avec le plomb pour le revifier, et que, par conséquent, l'air inflammable et le phlogistique n'étaient qu'une seule et même chose, comme l'avait avancé M. Kirwan.

« J'observerai que M. Priestley n'a pas fait attention à une circonstance capitale qui a lieu dans cette expérience, c'est que le plomb, loin d'augmenter de poids, diminue, au contraire, de près d'un douzième; il s'en dégage donc une substance quelconque ; or, cette substance est de l'air vital, dont le minium contient près d'un douzième ; mais d'un autre côté, il ne reste, après cette opération, de fluide élastique d'aucune espèce ; non-seulement on ne retrouve pas dans la cloche d'air vital, mais l'air inflammable lui-même qui la remplissait disparaît : donc les produits ne sont plus dans l'état aériforme ; et puisque, d'un autre côté, il est prouvé que l'eau est un composé d'air inflammable et d'air déphlogistiqué, il est clair que M. Priestley a formé de l'eau sans s'en douter. »

La synthèse ne suffit pas à Lavoisier, il ne lui suffit pas d'avoir fait de l'eau, d'avoir déterminé avec le plus grand soin les poids d'oxygène et d'hydrogène qu'elle renferme, en rejetant bien loin de lui toutes les vieilles idées sur le phlogistique qui ont empêché Watt et Cavendish d'arriver à la conclusion précise que comportaient leurs expériences ; il ne suffit pas d'avoir trouvé la théorie de la production de l'hydrogène au moyen de zinc et de l'acide vitriolique étendu d'eau, ni la revivification des chaux métalliques, il faut encore que Lavoisier, suivant la méthode qu'il emploie toujours, vérifie ses résultats par une méthode différente

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de celle qu'il a d'abord employée. Il a fait de l'eau en en combinant les éléments, il veut maintenant la décomposer de façon à obtenir d'une part de l'hydrogène, de l'autre une combinaison dans laquelle l'oxygène soit fixé.

L'expérience qu'il tente alors est devenue classique : de l'eau placée dans un entonnoir muni d'un robinet coule goutte à goutte dans un tube de fer, protégé extérieurement par des luts argileux contre l'action du feu ; l'extrémité du canon de fusil arrive à un vase destiné à recevoir l'eau non décomposée, pour qu'aucune portion de cette dernière n'échappe à la condensation; les gaz traversent un serpentin où les dernières portions de vapeur d'eau se condensent et sont recueillies, avant d'aboutir à une cloche retournée sur l'eau, dans laquelle se rendra l'air inflammable produit par la décomposition de l'eau sous l'influence du fer rouge de feu.

L'eau introduite dans l'entonnoir est pesée avec grand soin, le vide est fait dans le tube ; lorsque le canon est rouge, on fait écouler l'eau bien lentement, et l'expérience commence.

Après avoir fait les corrections dues à l'eau qui était restée dans le serpentin, et qui n'avait pu être pesée avec les autres produits, après avoir défalqué l'eau restée dans le canon de fusil, Lavoisier et Meusnier trouvent les résultats suivants :

	Onces.	Gros.	Grains.
Augmentation de poids du canon.	2	7	33
Poids du gaz hydrogène		3	32
Poids des deux principes qui constituent l'eau.	3	3	18
Mais la quantité d'eau disparue est.	3	3	16
Il y a donc un déficit de.		2	3

« En considérant cette expérience seulement comme une approximation, on arrive cependant à trouver que si l'on supposait que tout le déficit dont nous venons de parler portait sur le gaz hydrogène, on trouverait 19 livres de ce gaz par quintal d'eau ; en attribuant au contraire à la vapeur d'eau non décomposée la perte de 2 gros 3 grains, le quintal d'eau contiendrait 13 livres de gaz hydrogène. Ainsi, pour former 100 livres d'eau, il ne faudra pas moins de 81, ni plus de 87 livres de cette partie constituante qui s'est fixée dans le fer et en a augmenté le poids. »

Enfin Lavoisier et Meusnier répètent encore une fois la synthèse de l'eau dans un appareil qui leur permet d'arriver à une plus grande précision que dans leurs premières expériences ; trois mois entiers sont consacrés aux apprêts. Dans deux caisses,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dont on a déterminé la capacité, on introduit d'une part l'oxygène, de l'autre l'hydrogène; les gaz sont desséchés pour la première fois sur de la potasse caustique avant de pénétrer dans la caisse centrale, où l'on a fait le vide et qui est elle-même desséchée avec soin; on employa ainsi après toute correction :

Air vital.	4 onces	0 gros	60 grains $\frac{2}{3}$.
Hydrogène.	0	6	39
Ensemble	5	3	28
Dont il faut retrancher.	0	1	7 $\frac{1}{2}$

pour l'eau restée dans les appareils desséchants à potasse.

Le poids des fluides aériformes seuls est donc 5 onces, 4 gros, $20\frac{2}{3}$ grains;

Or, l'augmentation du poids du ballon est de 5 onces, 4 gros, 51 grains;

D'où il résulte que l'eau produite a sur le poids des gaz réunis un excès de 30 grains.

Après avoir expliqué par la difficulté des pesées cette légère inexactitude, les auteurs continuent:

« Il suit que l'eau contient par quintal 15 livres de gaz hydrogène et 85 livres d'air vital; on voit avec satisfaction que ce dernier nombre se tient entre les limites qui lui ont été prescrites par l'expérience précédente de la décomposition de l'eau. »

On peut à peine croire que Watt et Cavendish soient contemporains de Lavoisier et des chimistes de son école, tant la différence qui sépare leurs travaux est immense : d'un côté, le vague, l'hypothèse, l'indécision ; de l'autre, la rigueur, la précision, la démonstration. Et tout cela pourquoi? parce que Lavoisier a nettement distingué pour la première fois les fluides impondérables des gaz, qu'il a pu alors retrouver ce principe sur lequel est basée toute la chimie moderne, et qu'avait déjà indiqué Jean Rey : rien ne se crée, rien ne se perd. Dès lors la balance est devenue entre ses mains une arme puissante et invicincible, à l'aide de laquelle il triomphe de toutes les difficultés.

§ II. Monge.

C'est le propre des grands problèmes de passionner à la fois plusieurs hommes de talent; en même temps que Watt, que Cavendish, que Lavoisier et Laplace, un jeune savant, obscur professeur à l'école du Génie de Mezières, où la routine et les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

habitudes prises l'empêchaient encore de mettre au jour ses brillantes découvertes de géométrie appliquée à la représentation graphique des corps dans l'espace, s'efforçait aussi de trouver quelle est la composition de l'eau.

Gaspard Monge était né à Beaune en 1746, ajoutant encore un nom illustre à tous ceux qu'a donnés à la France cette féconde province de Bourgogne. Remplaçant à Mézières l'abbé Nollet comme professeur de physique, il avait pu trouver les appareils nécessaires à ses expériences.

Son mémoire est publié dans le recueil de l'Académie des sciences (1785). Il a pour but de rechercher « le résultat de l'inflammation du gaz inflammable et de l'air déphlogistiqué dans des vaisseaux clos. » Ses expériences furent faites à Mézières dans les mois de juin et juillet 1783, et répétées en octobre de la même année. L'auteur ajoute :

« Je ne savais pas alors que M. Cavendish les eût faites plusieurs mois auparavant en Angleterre, mais plus en petit, ni que MM. Lavoisier et Laplace les fissent à peu près dans le même temps à Paris dans un appareil qui ne comportait pas toute la précision de celui que j'ai employé.

« Lorsqu'à la manière de M. Volta, on enflamme un mélange d'air déphlogistiqué et de gaz inflammable par le moyen d'une étincelle électrique, ou par une élévation suffisante de température, les deux fluides se décomposent et se dépouillent réciproquement d'une très-grande partie de la matière de la chaleur qui entrait auparavant dans leur composition. Ce feu, abandonné à lui-même, quitte l'état de compression où le tenait son adhérence pour les autres parties constituantes des fluides, il entre en expansion, il heurte d'une manière mécanique les parois des vaisseaux dans lesquels se fait l'opération, et il les brise lorsque la résistance n'est pas assez grande; mais lorsque cette résistance est suffisante, le feu, après avoir perdu son mouvement contre les parois, passe par leurs pores comme matière de température, et il échauffe les corps circonvoisins; il se trouve alors du vide dans le récipient, qui ne contient plus que les autres substances qui entraient dans la composition des fluides élastiques, et qui sont privées du ressort et de la légèreté que leur communiquaient auparavant la matière de de la chaleur et celles de la lumière qu'elles ont abandonnées. Malgré le grand nombre d'expériences que tous les physiciens avaient répétées sur l'inflammation dans l'eudiomètre de M. Volta, on n'avait aucune connaissance sur la nature de ce résidu, parce que les expériences avaient été faites trop en petit, ou parce qu'on avait opéré les inflammations sur de l'eau qui masquait ce résidu et empêchait qu'on ne pût l'apercevoir. »

Après avoir déterminé le poids d'un certain volume d'air,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'oxygène, d'hydrogène soumis à la pression atmosphérique, Monge fait entrer dans un ballon taré de l'air déphlogistiqué, puis du gaz inflammable, et fait jaillir l'étincelle entre les conducteurs électriques; il introduit ensuite une nouvelle quantité d'air inflammable; une seconde explosion a lieu sur le passage de l'électricité; au bout de cinq ou six explosions le « ballon étant engorgé, » il fait le vide et recommence les expériences.

« Par ce procédé, et en trois séries d'explosions dont le nombre a été porté à 372, j'ai consommé :

145 pintes $\frac{81}{144}$ d'air inflammable,

et 74 pintes $\frac{25}{144}$ d'air déphlogistiqué.

« Le poids des gaz, si leurs densités avaient été les mêmes que lorsque je les pesai, aurait été

	Onces.	Gros.	Grains.
Pour l'air inflammable.	0	6	10,03
Pour l'air déphlogistiqué.	3	0	58,53
	3	6	68,56

« Avant que d'aller plus loin, je rappellerai quelques circonstances qui ont accompagné ces expériences. 1° Chaque explosion occasionnait une chaleur très-forte, subite, et qui se faisait sentir d'une manière très-sensible au visage, même à la distance de 3 pieds du ballon; j'ai été obligé de mettre de l'intervalle entre les explosions, et de refroidir le ballon avec des linges mouillés pour empêcher les luts de se ramollir et de laisser échapper les fluides élastiques. 2° En refroidissant ainsi le ballon, le fluide qu'il contenait perdait sa transparence, et présentait un brouillard très-épais qui disparaissait sur-le-champ à l'explosion suivante, parce que les gouttes de liquide qui le composaient étaient subitement converties en vapeur par la haute température qu'excitait l'inflammation.

« Le ballon, étant déluté, a été pesé, puis vidé et séché, et pesé de nouveau vide d'air et de liquide.

	Onces.	Gros.	Grains.
On a trouvé pour le poids du liquide . . .	3	2	43,01
L'air pesait		2	27,91
	3	5	1,01

« Il s'en faut de 1 gros 26,55 grains que ce poids ne soit égal à celui des gaz que j'ai employés. »

. . . . . Monge examine avec soin les causes qui ont pu amener cette inexactitude dans les résultats; suivant lui, elles sont multiples : la dilatation produite dans les fluides élastiques dont il a déterminé le poids par le calcul, sans pouvoir y faire entrer les corrections relatives à cette augmentation de volume; l'impureté des gaz employés, dont le résidu présentait en effet de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'air fixe, de l'air atmosphérique, et enfin une certaine quantité d'oxygène et d'hydrogène non combinés.

Quant au produit liquide, c'est : « Une liqueur parfaitement transparente; elle a rougi imperceptiblement le tournesol, beaucoup moins que celle que j'avais obtenue dans une expérience précédente.

« Il sort de cette opération que, lorsqu'on fait détoner le gaz inflammable et le gaz déphlogistiqué, considérés l'un et l'autre comme purs, on n'a d'autres résultats que de l'eau pure, de la matière de la chaleur et de celle de la lumière.

« Il reste à savoir actuellement si les deux gaz, étant des dissolutions de substances différentes dans le fluide du feu considéré comme dissolvant commun, ces substances, par l'inflammation, abandonnent le dissolvant, et se combinent pour produire de l'eau qui ne serait plus alors une substance simple, ou bien si les deux gaz, étant les dissolutions de l'eau dans des fluides élastiques différents, ces fluides quittent l'eau qu'ils dissolvaient pour se combiner, et former le fluide du feu et de la lumière qui s'échappe à travers les parois des vaisseaux, et alors le feu serait une matière composée. Les deux conséquences sont également extraordinaires, et l'on ne pourra se décider pour l'une d'elles que d'après des expériences d'un autre genre. »

L'expérience de Monge confirme complétement, comme on voit, celles de Lavoisier, mais ses conclusions n'ont pas la même netteté.

§ III. Discussion sur la priorité de Watt, Cavendish et Lavoisier.

Nous venons de faire passer sous les yeux du lecteur les passages les plus importants des mémoires des chimistes illustres qui ont contribué chacun pour une part à la découverte immense de la composition de l'eau.

Ainsi qu'on l'a vu, les mémoires s'enchevêtrent, sont presque contemporains; il y a eu différentes communications de ces savants les uns aux autres, et on a quelque peine à se faire une opinion précise sur la part qu'il convient d'attribuer à chacun.

Les discussions, au reste, n'ont pas manqué; une des plus importantes a été publiée par lord Brougham, à la requête d'Arago, qui écrivait la biographie de sir James Watt, un des associés étrangers de l'Institut de France [1]. Dans ces derniers temps, cette

[1] *Life of illustrated men of times of George III.* Paris 1845.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

discussion est revenue devant la Société royale de Londres[1], et les esprits sont encore divisés.

Nous allons essayer de résumer rapidement les faits de façon à nous former une opinion indépendante de tout parti pris.

En 1766, Cavendish donne le moyen de préparer l'air inflammable dont quelques propriétés ont déjà été entrevues par Robert Boyle et par Lémery.

En 1777, Waltire en Angleterre, Macquer et Sigaud de Lafond en France, font brûler l'air inflammable, et remarquent qu'il se produit de l'eau par sa combustion.

En 1781, Cavendish, à l'imitation de Waltire, fait détoner en vase clos l'air inflammable et l'air déphlogistiqué, obtient de l'eau et communique ses *expériences* à Priestley; plus tard, Blagden, ami de Cavendish, prétendit que celui-ci avait, dès cette époque, émis l'opinion que l'eau était formée d'air déphlogistiqué et de phlogistique, et avait communiqué cette conclusion à Priestley; mais le mémoire de Cavendish indique que les expériences seules furent communiquées, et si les conclusions l'ont été en même temps, on peut ajouter avec lord Brougham que c'est une bien grosse négligence (*a most material omission*) de ne l'avoir pas écrit.

Les expériences de Cavendish, répétées par Priestley, suggèrent, en 1783, à Watt, l'idée que l'eau est un corps composé. Il résume ces faits dans une lettre écrite à Priestley, et qui établit nettement la priorité en sa faveur. Toutefois, hésitant encore, il demande de nouvelles expériences avant de se prononcer, et sa lettre ne paraît qu'en 1784.

Est-ce Cavendish, est-ce Watt qui a eu le premier l'idée que l'eau n'était pas un élément? Il nous paraît évident que la priorité appartient à Watt; mais on a invoqué dans ces derniers temps l'opinion de De Luc qui, dans ses *Idées sur la météorologie*[2], a donné un récit de tous les incidents de ce remarquable point d'histoire scientifique.

« Vers la fin de l'année 1782, j'allai à Birmingham, où le docteur Priestley s'était établi depuis quelques années. Il me communiqua alors que M. Cavendish, d'après une remarque de M. Waltire, qui avait toujours trouvé de l'eau dans les vases où il avait brûlé un mélange d'air inflammable et d'air atmosphérique, s'était appliqué à découvrir la source de cette eau, et qu'il

[1] *Philosophical Magazine*. 1859. Cahier d'août.

[2] Paris, 1787, t. II, p. 206.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avait trouvé « qu'un mélange *d'air inflammable* et d'air déphlogistiqué, en proportion convenable, étant allumé par l'étincelle électrique, se convertissait tout entier en eau. »

« De retour en Angleterre au mois de février, j'allai à Birmingham en mars, très-impatient d'apprendre les progrès du docteur Priestley dans ses expériences sur la formation de l'air par l'eau ; il me communiqua alors les expériences qu'il avait faites, d'après M. Cavendish, sur la production de l'eau par la combustion de l'air déphlogistiqué avec l'air inflammable. Il avait réussi à employer ces airs en telles proportions, qu'ils se détruisaient presque entièrement et fournissaient une quantité d'eau égale à leur poids, ce qu'il eut la bonté de me montrer en répétant cette expérience en ma présence. »

D'après le commencement de ce passage de De Luc, on doit croire qu'il accorde à Cavendish la découverte de la composition de l'eau ; toutefois, il ajoute plus loin :

« Le docteur Priestley, venant à Londres au mois d'avril, informa M. Watt qu'il avait dessein de communiquer toutes ses expériences à la Société royale, ce qui décida ce dernier à lui écrire une lettre datée du même mois.... Ce fut donc ainsi que M. Watt conçut et exprima, dès le mois d'avril 1783, la formation de l'eau par la décomposition réciproque de l'air déphlogistiqué et de l'air inflammable. »

Et plus loin, on trouve encore, après le récit des expériences des chimistes français :

« Nous ignorions, M. Watt et moi, que M. Cavendish eût eu des idées fort semblables aux siennes sur la cause de ce phénomène, lorsque je retournai à Birmingham en septembre, dans l'intention de le solliciter à terminer ses expériences... »

Cavendish n'avait donc pas communiqué ses idées à Priestley, puisque celui-ci, constamment en correspondance avec Watt, ne les lui avait pas fait connaître. Le témoignage de De Luc ne paraît donc pas avoir grande valeur ; il affirme d'une part ce qu'il nie d'une autre ; il attribue à Priestley des expériences que celui-ci ne paraît pas avoir faites aussi exactement qu'il le prétend ; enfin il a écrit cette histoire plusieurs années après que les événements ont eu lieu, très-probablement de mémoire, et sans se souvenir de toutes les circonstances.

En 1783, ainsi que nous venons de le voir, Watt envoie sa lettre à la Société royale ; Blagden la connaît très-certainement puisqu'il est secrétaire de la société ; il va à Paris, voit Lavoisier, et lui dit certainement que Cavendish a fait de l'eau par l'inflam-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mation des deux gaz, et peut-être il ajoute l'opinion que Watt s'est formée de cette réaction.

Cavendish, Blagden, De Luc affirment que, en même temps qu'on transmit à Lavoisier les expériences, on lui transmit les suppositions qu'on avait formées; on a vu le récit de Cavendish; voici celui de De Luc.

« Au mois de juin 1783, le docteur Blagden, ami particulier de M. Cavendish, et informé de toutes ses expériences, ainsi que de celles du docteur Priestley et des idées de M. Watt, fit un voyage à Paris, et à son retour, il me communiqua ce qui s'y était passé à l'occasion de tous ces nouveaux phénomènes. Il avait fait part de leurs progrès aux mêmes physiciens avec qui je m'en étais entretenu en janvier (Lavoisier, Laplace, etc.), en y *ajoutant les idées de MM. Cavendish et Watt sur leurs causes;* mais il les avait trouvés peu disposés à en admettre les conséquences sur la nature de l'eau, pensant toujours que l'eau recueillie après la combustion des deux airs y était contenue auparavant comme substance étrangère. Cependant comme la question dépendait de la preuve d'un fait, savoir : si la masse entière d'un certain mélange de ces airs était convertie en eau, ils trouvèrent que ce fait méritait une vérification, dont M. Lavoisier se chargea. L'expérience fut faite le 24 de juin en présence des mêmes physiciens et du docteur Blagden. Son succès fut tel que ce dernier l'avait annoncé, et MM. Monge et Meusnier, l'ayant répétée fort en grand, trouvèrent le même résultat. De sorte que la formation de l'eau par la seule réunion des substances sensiblement pesantes des deux fluides aériformes fut mise hors de doute. »

On voit que le récit de De Luc diffère essentiellement de celui de Lavoisier; le chimiste français raconte, ce qui paraît hors de doute d'après la nature de ses travaux, qu'il avait déjà essayé la combustion de l'air inflammable et de l'air déphlogistiqué, que Blagden assiste aux expériences sans en être le promoteur; le serait-il, au reste, que Lavoisier et Laplace n'en auraient pas eu moins cependant l'immense mérite de voir immédiatement dans cette expérience la réalisation de la synthèse de l'eau, et d'avoir donné une théorie parfaitement nette et parfaitement saine, qui, transmise ensuite aux chimistes anglais encore hésitants, leur donna le courage de publier leurs idées.

Quant à Monge, le récit de De Luc est évidemment inexact; d'abord il l'associe à Meusnier, tandis que Meusnier travaillait avec Lavoisier, et pas du tout avec Monge, et, de plus, il admet que Monge ne fit qu'une vérification, tandis qu'il avait commencé ses expériences sans connaître celles qui se poursuivaient à Birmingham, à Londres et à Paris.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En 1784, enfin, Cavendish, qui avait eu l'immense mérite de faire le premier l'expérience de la synthèse de l'eau, publie son mémoire en donnant une explication analogue à celle de Watt, et qui, si elle n'en dérive pas, a eu le tort d'être publiée un an après la lettre de Watt à Priestley, et dix mois après que Blagden avait vu les expériences des chimistes français, et les lui avait certainement transmises.

En résumé, si les chimistes anglais ont les premiers fait de l'eau de toutes pièces, et entrevu une explication approchée de leurs expériences, à la France revient l'honneur d'avoir immédiatement compris le véritable sens de ces travaux et d'avoir donné pour la première fois une expression exacte de la composition de l'eau.

Bien que contemporains de ceux des chimistes anglais, les travaux de Lavoisier, de Laplace, de Meusnier et de Monge en sont à une grande distance. Ceux-ci appartiennent à une époque positive, véritablement scientifique, où rien n'est plus donné à l'imagination, mais où la conclusion est purement et simplement l'expression de l'expérience. Ceux-là restent encore nuageux, obscurs, difficiles à saisir; dans la composition de l'eau se retrouve encore cet être idéal, le phlogistique, auquel Lavoisier, cependant, a commencé de porter des coups mortels.

C'était bien, au reste, à la France, à son esprit net, lumineux, amoureux de la clarté et de la précision, qu'il appartenait de faire disparaître de la science cette théorie mystique, fruit de l'imagination allemande, tout empreinte encore du cachet de la méthode *à priori*.

§ IV. Attaque des idées des chimistes français, leur vérification. — Priestley; Fourcroy, Vauquelin et Séguin.

L'explication nouvelle donnée par les chimistes français de la composition de l'eau venait porter un second coup à la théorie du phlogistique déjà ébranlée par la découverte de l'oxygène; on ne pouvait s'attendre cependant à ce qu'on abandonnât immédiatement les idées admises jusqu'alors ; toute nouvelle théorie rencontre naturellement à son aurore une opposition dont elle doit triompher; elle en triomphe au reste toujours quand elle approche davantage de la vérité, et c'est dans ces luttes qu'elle développe successivement toutes ses qualités.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce fut Priestley qui joua dans cette question le rôle de défenseur des anciennes idées, de la théorie du phlogistique, comme il l'avait joué déjà quand Lavoisier avait voulu tirer de la découverte de l'oxygène toutes les conséquences que son génie y voyait contenues.

En 1786, il insère aux *Philosophical transactions*[1] un mémoire, qu'il reproduit ensuite dans un de ses ouvrages personnels[2], où il cite de nombreuses expériences sur la réduction des chaux métalliques par l'air inflammable. — Il a enfin imité Lavoisier et commence à faire des pesées; mais malgré les résultats les plus évidents, les plus contradictoires avec ceux sur lesquels il comptait, il n'abandonne pas sa théorie erronée.

Il trouve en effet que les chaux métalliques, au lieu d'augmenter de poids, comme il avait pensé qu'elles le devaient faire, deviennent plus légères; il remarque même avec sagacité que la quantité d'air inflammable disparue représente un volume à peu près double de celui qu'aurait occupé l'air déphlogistiqué que la chaux métallique a perdu, et qu'ils sont ainsi très-près de la proportion suivant laquelle ils se combinent sous l'influence de l'étincelle électrique, c'est-à-dire deux volumes d'air inflammable pour un d'air déphlogistiqué. « Je n'eus pas de doute, dit-il, que les deux airs s'étaient unis pour donner de l'eau ou de l'air fixe. »

Il pèse l'eau obtenue et la trouve en général égale à la perte de poids de la chaux métallique, jamais, ainsi que nous l'avons vu, à la somme de l'air inflammable disparu et de la perte subie par la chaux.

Plus tard, il s'enhardit encore davantage; en 1789 il insère aux *Philosophical transactions*[3] des « objections aux expériences et observations relatives au principe de l'acidité, de la composition de l'eau et du phlogistique, avec quelques expériences et observations sur le même sujet. »

« N'ayant jamais manqué, quand mes expériences ont été faites avec soin, de me procurer un acide, quand j'ai combiné de l'air inflammable et de l'air déphlogistiqué dans des vases fermés, j'en ai conclu qu'un acide

[1] *Phil. trans.*, vol. LXXV, p. 279.

[2] *Experiments and observations relating to various branches of natural philosophy. Birmingham.* 1779, 1786, vol. III.

[3] vol. LXXIX.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

était le résultat nécessaire de l'union de ces deux espèces d'air, et non de l'eau pure; hypothèse maintenue actuellement par M. Lavoisier et d'autres, et sur laquelle est basé un nouveau système de chimie. Les faits que j'ai signalés n'ont pas été discutés; mais à ma conclusion on a objecté que l'acide que j'obtenais provenait de l'air phlogistiqué qui, dans un de mes procédés, n'était pas exclu. »

Ce fait, signalé souvent par les chimistes qui avaient ainsi combiné directement, à l'aide de l'étincelle électrique, les deux gaz qui entrent dans la composition de l'eau, avait été expliqué par Cavendish; l'acide, qui était presque toujours de l'acide azotique, provenait, ainsi que nous l'avons vu, de la combinaison de l'azote de l'air restant dans le ballon avec l'oxygène; il se formait dans ces expériences une petite quantité d'acide, comme il s'en forme dans les pluies d'orage.

« M. Berthollet, pensant que l'acide provenait des matières que j'employais, désira que je lui envoyasse un échantillon de mon « *precipite per se.* » En conséquence, je lui envoyai tout ce qui me restait, et en retour, il m'en donna une quantité sur la pureté duquel je pouvais compter. Avec cette préparation, je répétai ma première expérience, et en donnant plus d'attention à mon procédé, je trouvai un résultat plus concluant en faveur de mon opinion que je ne puis l'imaginer. »

Cette expérience dont Priestley est si fier lui donne dans le ballon, après la détonation des deux gaz, de l'eau légèrement acide, et le résidu gazeux renferme de l'air fixe, d'où il conclut que l'eau est imprégnée de cet acide.

Le *precipite per se* employé, calciné seul, ne donnait pas d'air fixe.

« Il a été dit que l'air fixe produit dans cette expérience peut provenir de la plombagine contenue dans le fer dont on a tiré l'air inflammable. » Priestley, toutefois, repousse cette conclusion, l'air inflammable essayé avec de l'eau de chaux ne donnant aucun trouble; « et c'est seulement au moment de la combustion que cet air fixe est produit; l'eau n'est donc pas la seule matière obtenue par la combinaison de l'air pur et de l'air inflammable. »

Ainsi, en définitive, Priestley rencontre toujours un acide dans l'eau artificielle qu'il obtient en combinant l'air inflammable et l'air déphlogistiqué; mais c'est tantôt de l'acide nitrique et tantôt de l'air fixe; cette différence dans les résultats aurait déjà dû le mettre en garde contre cette opinion qu'un acide est forcé-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment produit dans ces circonstances; de plus, s'il avait songé à déterminer le poids de l'acide azotique provenant de l'union du peu d'azote mêlé à ces gaz avec l'oxygène, ou de l'air fixe provenant de la combustion d'un peu d'oxyde de carbone brûlant dans l'oxygène, il aurait parfaitement reconnu que la quantité de ces substances devait les faire ranger dans les impuretés.

Les objections de Priestley n'eurent toutefois que peu de retentissement, et les travaux continuent non pas pour vérifier les idées émises sur la composition de l'eau, mais pour arriver à déterminer plus exactement les proportions suivant lesquelles les gaz sont combinés. Fourcroy, Vauquelin, Séguin se réunirent pour recommencer les expériences, et faire une quantité d'eau assez considérable pour que les erreurs fussent moins appréciables. La disposition de leur appareil n'est malheureusement pas à l'abri de toute objection; ils emploient encore ces caisses pneumatiques qui ont servi à Lavoisier et à Monge à renfermer les gaz oxygène et hydrogène. La même incertitude règne toujours sur le poids exact de ces gaz humides et dont il faut déterminer la densité à l'aide de calculs dontles éléments sont difficiles à apprécier.

Bien que la méthode suivie soit pénible et peu élégante, le talent des expérimentateurs leur permet d'obtenir des résultats assez satisfaisants [1].

	Onces.	Gros.	Grains.
L'air vital et l'hydrogène réunis pesaient	12	4	49,277
Et l'on a obtenu : eau.	12	4	45
			4,227

La différence entre les deux nombres n'est donc que de 4,227. Si on cherche à évaluer la composition de l'eau en volume, en ramenant autant que possible ces volumes à la même pression et à la même température, on trouve que les gaz sont entre eux dans le rapport de 1 d'air vital, à 2,069 d'hydrogène.

Enfin ces nombres d'expériences expriment que 100 parties d'eau sont formées de :

Oxygène	85,662
Hydrogène.	14,338
	100,000

Les 12 onces d'eau artificielle, qui servent de base aux chiffres

[1] *Annales de chimie*, t. VIII, 1re série. Mémoire lu en 1790, 1791.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

précédents, les plus exacts qu'ait donnés le dix-huitième siècle, sont conservés au Muséum d'histoire naturelle, où Fourcroy et Vauquelin devaient poursuivre dans la science deux carrières bien remplies l'une et l'autre, mais bien différentes cependant. L'un était un homme de parole; il remplissait de sa voix sonore, de son geste pompeux ce grand amphithéâtre du Muséum, toujours trop étroit pour le public qui se pressait à ses leçons; l'autre, au contraire, homme de laboratoire et d'expérience, faisait modestement des travaux consciencieux, se souciant moins de la renommée vulgaire que de l'estime de ses pairs. Fourcroy devait arriver aux plus hautes positions sociales; comte de l'Empire, sénateur, sa carrière fut une longue suite d'honneurs. Vauquelin préférait le tablier du laboratoire à l'habit brodé de son confrère, la direction de ses élèves à celle des assemblées; aussi eut-il ce grand honneur d'être le maître d'un des chimistes les plus illustres du dix-neuvième siècle, de M. Chevreul, qui comme lui a commencé et grandi au Muséum d'histoire naturelle dont il restera une des gloires les plus vives et les plus pures.

§ V. Décomposition de l'eau par la pile. Nicholson, Carlisle, Cruikshank, etc.

La puissante activité qui signala la fin du dix-huitième siècle s'exerçait non-seulement en Angleterre, où Watt créait ses puissantes machines, où Priestley découvrait plusieurs gaz, non-seulement en France où la chimie moderne naissait avec les mémoires de Lavoisier et de son école, mais aussi en Italie. Galvani, puis Volta, venaient en effet de mettre au jour la machine la plus extraordinaire que le génie de l'homme ait jamais pu rêver, une machine qui sait parler à l'oreille à cinq cents lieues de distance; qui peut torturer, foudroyer, ou déposer légèrement un métal précieux sur un autre plus commun en respectant les plus délicates ciselures; qui sait rendre rigides, inaltérables, en les métallisant, les fins pétales d'une fleur en suivant avec une délicatesse exquise leurs formes capricieuses.

Volta avait décrit sa pile encore informe et peu puissante en 1794. En répétant les expériences qu'on peut faire avec la pile à colonne, Anthony Carlisle, auquel sir Joseph Banks, président de la Société royale, avait communiqué le mémoire de Volta, remarqua qu'il se dégageait des bulles de gaz du liquide qui,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

aux deux extrémités de la pile, assurait les communications. Nicholson, qui assistait à l'expérience, crut reconnaître l'odeur de l'hydrogène impur. Frappés de cette observation, ces deux savants se mettent à l'œuvre. Pour obtenir plus facilement et en plus grande quantité le gaz qui se dégage, ils interrompent le fil conducteur de la pile par un tube rempli d'eau.

« Des fils furent placés[1] aux deux extrémités opposées d'un tube de verre d'environ un pouce de diamètre; on remplit d'eau l'intervalle laissé entre les bouchons, et les fils, séparés dans l'eau par une distance d'un pouce et trois quarts, furent mis en communication avec les deux extrémités d'une pile de trente-six couples. Les bulles commencèrent immédiatement à se dégager sur le conducteur en contact avec l'argent, tandis que le conducteur opposé se ternit, devint orange et ensuite noir. En renversant le tube, des effets inverses se manifestèrent, le fil d'argent, qui était d'abord brillant, se ternit, et ce fut autour de celui qui s'était coloré d'abord que les bulles se dégagèrent. »

En continuant l'expérience pendant deux heures et demie, les savants anglais obtinrent les deux tiers d'un pouce cube de gaz. Il était mêlé d'air commun, et fit explosion à la flamme.

Carlisle et Nicholson furent conduits par le raisonnement d'après ce premier dégagement d'hydrogène à admettre une décomposition d'eau; mais ce ne fut pas sans surprise que, trouvant l'hydrogène dégagé à un des fils conducteurs, ils virent l'oxygène se fixer en combinaison avec l'autre conducteur à la distance de deux pouces environ. Comme la distance entre les fils formait une condition importante dans ce résultat, il devenait désirable de savoir jusqu'à quel écartement l'expérience pouvait réussir. On essaya donc de faire passer le courant à travers l'eau d'un tube de trente-six pouces de diamètre, mais l'expérience manqua.

En remplaçant les fils d'argent par des fils de platine ou d'or, les savants anglais observèrent une grande quantité de gaz se dégageant au pôle argent et une plus faible au pôle zinc, mais dans ce cas il ne se produisit aucune oxydation des fils.

Plusieurs faits importants ressortent déjà des expériences précédentes. Sous l'influence d'un courant voltaïque l'eau est décomposée; à chacun des fils conducteurs apparaît un gaz dif-

[1] *The Philosophical Magazine*, by Al. Tilloch, vol. VII. 1800. Expériences d'électricité galvanique par MM. Nicholson, Carlisle, Cruikshank.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

férent, et si les fils d'or ou de platine sont suffisamment écartés, ces deux gaz peuvent être obtenus séparément.

Cette dernière expérience fut tentée avec une pile plus puissante que toutes celles employées jusqu'alors; les fils de chaque extrémité de la pile passaient sous des fioles séparées remplies d'eau et retournées sur la cuve à eau.

« Un dégagement de gaz se manifesta à chaque extrémité, mais plus à l'argent ou à l'extrémité moins, les bulles se dégagèrent non-seulement autour des conducteurs, mais de toutes les parties de l'eau, et adhérèrent à la surface des vaisseaux. L'expérience fut continuée pendant treize heures; après quoi les communications furent interrompues et les gaz décantés dans des bouteilles séparées. En mesurant les quantités, c'est-à-dire en pesant les bouteilles dans lesquelles ces gaz avaient été introduits, on trouva que les quantités déplacées par les gaz étaient respectivement de 72 grains pour le gaz du côté zinc, et de 142 grains pour le gaz du côté argent; en somme, le volume total du gaz obtenu était 1,17 pouce cubique ou environ un pouce et quart. »

Toutefois l'expérience ne réussit pas complétement, et les gaz qu'on obtint de part et d'autre étaient loin d'être purs.

Malgré les irrégularités de l'expérience, Carlisle et Nicholson n'hésitent pas à croire qu'ils ont décomposé l'eau. Cette opinion toutefois ne devait pas s'établir sans conteste. En effet, Richter, l'année suivante, avec un appareil beaucoup plus parfait que les précédents, et qui approche du voltamètre employé maintenant dans les cours[1], obtient d'un côté un volume de gaz et de l'autre deux volumes et demi.

L'analyse toutefois ne lui donne pas l'oxygène ou l'hydrogène pur dans chacune de ses éprouvettes; aussi ne considère-t-il plus les deux airs comme étant des parties constituantes de l'eau, mais comme deux matières produites par une partie d'eau combinée avec le fluide galvanique, la production d'un des gaz étant pour lui complétement indépendante de la production de l'autre.

Les expériences, au reste, devaient être reprises plus tard; mais ce ne fut que lorsque M. Thénard eut découvert l'eau oxygénée qu'on comprit comment il arrivait souvent que la quantité d'oxygène trouvée fût trop faible par rapport à la quantité d'hydrogène obtenue à l'autre pôle.

[1] *Philosophical Magazine*. 1801, vol. IX.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE IV.

Détermination précise de la composition de l'eau en volumes.

HUMBOLDT ET GAY-LUSSAC.

Nous sommes en 1805; il y a déjà vingt-deux ans qu'ont été faites pour la première fois l'analyse et la synthèse de l'eau. Malgré la précision qu'avaient apportée dans leurs expériences Fourcroy, Vauquelin et Séguin, diverses considérations conduisent les savants à faire de nouveaux essais pour déterminer avec une plus grande exactitude encore les rapports suivant lesquels se combinent les gaz oxygène et hydrogène quand ils s'unissent pour donner l'eau.

De même que la statue passe par les mains de nombreux travailleurs avant d'arriver à l'artiste qui, de son ciseau habile, la modèle avec amour et lui souffle la vie, de même cette grande question de la composition de l'eau, dégrossie déjà par les savants du dix-huitième siècle, largement ébauchée, n'acquiert cependant son dernier caractère de précision qu'avec nos contemporains.

Les appareils sont mieux conçus, la discussion plus serrée, on connaît mieux les causes d'erreur, la question est abordée par des esprits reposés, arrivés sans efforts jusqu'au point où s'étaient arrêtés les devanciers, haletants, épuisés par leurs triomphes mêmes, et ne voyant plus rien à conquérir.

En 1805, à l'aurore de l'Empire, un jeune chimiste limousin, qui avait débuté par cette vigoureuse éducation mathématique qu'on donne à l'École polytechnique, célèbre déjà par un voyage aérien, dans lequel il était arrivé au point le plus élevé qu'on eût encore atteint, Gay-Lussac, s'était lié avec un autre voyageur, poëte et géologue, M. de Humboldt, à qui il devait être donné d'employer une vie longue et glorieuse à l'étude de la physique du globe.

C'est dans le but de déterminer exactement la composition de l'air atmosphérique provenant de diverses localités que Gay-Lussac et de Humboldt s'étaient réunis; et c'est en s'occupant des études préliminaires nécessaires à l'accomplissement de ce travail, qu'ils arrivèrent à la connaissance exacte de la composition

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de l'eau en volumes. Nouvel exemple de ce fait fréquent dans la marche des sciences, qu'une recherche entreprise dans un but déterminé, conduit souvent à la solution d'un problème d'une importance égale et même supérieure à celle de la question dont on s'occupait d'abord.

Les procédés eudiométriques, alors en usage pour déterminer la quantité d'oxygène existant dans un mélange gazeux, consistaient à absorber cet oxygène par les sulfures alcalins ou par le phosphore, ou encore à foudroyer le mélange additionné d'hydrogène, ainsi que l'avait appris Volta.

C'est à l'emploi de cette dernière méthode que s'arrêtèrent Gay-Lussac et Humboldt, mais avant de l'employer, ils voulurent la soumettre à une étude approfondie afin de savoir le degré de confiance que méritaient les résultats obtenus en l'employant.

Un mélange d'oxygène et d'hydrogène fait dans des proportions convenables peut-il disparaître entièrement quand il est soumis à l'influence de la flamme ou de l'étincelle électrique? Telle est la première question qui fut posée. Aussitôt qu'il fut démontré que les deux gaz perdaient entièrement leur force élastique par la combinaison, Gay-Lussac et Humboldt s'occupèrent de déterminer exactement les proportions d'oxygène et d'hydrogène qui constituent l'eau.

« A [1] 100 parties de gaz oxygène nous avons ajouté 300 parties de gaz hydrogène, et après les avoir enflammées par l'étincelle électrique, nous avons obtenu dans douze expériences les résidus suivants :

100,8	101,0	102,0
101,4	101,7	102,0
100,5	102,0	101,0
101,0	101,5	101,5

Donc le terme moyen est 101,3.

« Ainsi 100 parties d'oxygène supposé très-pur auraient exigé 198,7 d'hydrogène; mais en mettant notre gaz avec du sulfure, nous avons trouvé qu'il était tout absorbé à 0,004 près; il suit de là que 99,6 d'oxygène ont absorbé 199,1 d'hydrogène, ou que 100 en ont absorbé 199,89, ou enfin en nombres ronds que 100 d'oxygène demandent pour se saturer 200 d'hydrogène. »

Au lieu d'employer un excès d'hydrogène, on met, dans la

[1] *Journal de physique* de De Lametherie, t. XL. Nivôse an XIII (1805). Expériences sur les moyens eudiométriques et sur la proportion des principes constituants de l'atmosphère par MM. A. de Humboldt et J.-T. Gay-Lussac.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

seconde série d'expériences, les deux gaz en volumes égaux. On trouve alors que :

« 200 parties d'hydrogène supposé pur en exigeraient 98,3 d'oxygène, tandis que, d'après la proportion que nous venons d'établir, il leur en faudrait 100. Mais si nous admettons que cette même proportion soit exacte dans les 298,8 d'absorption, il ne se trouverait que 198,8 d'hydrogène, ce qui indiquerait 0,006 d'azote dans ce gaz.

« En supposant même que l'hydrogène fût parfaitement pur, les deux proportions obtenues en faisant dominer l'oxygène ou l'hydrogène s'accordent assez bien entre elles; pour les rendre identiques, il suffit d'admettre 0,006 millièmes d'azote dans l'hydrogène, et, en effet, nous pouvons y démontrer sa présence.

« Nous venons de voir par les expériences précédentes que 200 d'hydrogène, sans faire aucune correction, ont absorbé 98,3 d'oxygène. Prenons donc les résidus 101,0 et 101,3 provenant de la combustion de 100 d'oxygène et de 300 d'hydrogène, et faisons-les détoner avec 200 de gaz oxygène. Dans ces deux résidus, il doit se trouver 0,008 d'azote dues aux 200 parties de gaz oxygène, et si le reste 201,7 était de l'hydrogène pur, il devrait absorber 99,1 d'oxygène, et par conséquent il aurait dû disparaître par l'inflammation 300,8 parties, mais il n'en a disparu que 295,0; il faut donc que le résidu 201,7 ne fût pas de l'hydrogène pur, et que, d'après la proportion de 100 d'oxygène à 200 d'hydrogène, il contint 5,0 d'azote provenant de 600 d'hydrogène, c'est-à-dire que ce dernier gaz contiendrait 0,008 d'azote.

« Ainsi, il nous paraît prouvé que 100 parties en volume de gaz oxygène exigent à très-peu près 200 parties de gaz hydrogène pour le saturer. »

Nous avons tenu à citer textuellement quelques passages de ce beau mémoire, car il nous paraît un modèle dans l'art d'expérimenter. Les auteurs suivent pas à pas l'expérience, ils ne vont pas au delà, ils acceptent sans ambiguïté les résultats qu'elle donne ; mais combien cependant ils savent éclairer ces résultats par de nouveaux essais ! L'expérience leur dit que 200 d'hydrogène ne se combinent pas exactement avec 100 d'oxygène, mais avec 98,3 ; mais Gay-Lussac a l'instinct des choses grandes et simples, chez lui l'idée est plus forte que le fait; si le rapport n'est pas exact, c'est que les gaz ne sont pas purs. Il reprend ses résidus, les réunit de façon à faire grossir la cause perturbatrice, et, la rendant visible, il montre que c'est l'azote mélangé qui fausse le résultat.

Le génie dans les sciences d'observation se manifeste non-seulement par la découverte des faits, mais aussi par la marche suivie

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans les recherches. Celle qu'ont suivie Humboldt et Gay-Lussac peut servir de modèle. Ils font surgir des expériences l'ensemble des faits, se les assimilent, les coordonnent, puis en tirent une loi probable; une fois entrevue, celle-ci est un fanal qui les guide, les fait triompher des fautes de détail pour arriver bientôt à une démonstration nette et rigoureuse.

Autant il peut être fatal d'aborder un sujet avec une idée préconçue dont on ne veut pas démordre, autant il est fâcheux de se laisser flotter au gré des résultats fortuits, sans savoir prendre en main le gouvernail pour se guider vers une théorie claire et lucide.

Quand le grand Haüy a commencé à classer les espèces minérales d'après leurs formes cristallines, il n'avait à sa disposition que des moyens grossiers pour mesurer les angles; mais, ayant confiance dans l'idée, il corrigeait les nombres que lui donnaient ses mesures quand ils allaient à l'encontre de la loi qu'il pressentait; plus tard, Wollaston inventa son goniomètre, et les expérimentateurs retrouvèrent non pas les nombres observés par Haüy, mais ceux qu'il avait devinés d'après les lois qu'il avait aperçues malgré ses mauvaises expériences [1].

Gay-Lussac et Humboldt ne s'en tiennent pas seulement à déterminer, comme nous venons de le voir, la composition de l'eau en volumes, mais ils en tirent des conclusions précieuses quant à la composition en poids de ce fluide :

« Nous nous sommes assurés que la proportion ne varie pas par les changements de température. Il est évident qu'il devait en être ainsi puisque la chaleur dilatant également les deux gaz et leur faisant dissoudre d'égales quantités d'eau, les poids réels d'oxygène et d'hydrogène contenus dans des volumes égaux conservent toujours le même rapport. Il serait donc plus exact de dire, en supposant que notre proportion par les volumes soit bien établie, que 100 parties d'oxygène en demandent 200 d'hydrogène, que d'énoncer les proportions de l'eau par les poids. Si l'oxygène et l'hydrogène qu'on a fait servir à la composition de l'eau eussent été parfaitement secs, ou si on eût fait la correction due à l'humidité qu'ils pouvaient contenir, il serait indifférent d'énoncer le rapport de ces principes d'après les volumes ou d'après les poids; mais puisque l'hydrogène se combine avec l'oxygène en volume double de ce dernier, et qu'ils dissolvent l'un et l'autre

[1] Ce fait était rappelé par M. Dufrénoy à son cours de minéralogie du Muséum d'histoire naturelle à Paris.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la même proportion d'eau, il est évident qu'ils ne portent pas dans la combinaison des quantités d'eau qui soient entre elles dans le même rapport que les quantités pondérales d'oxygène et d'hydrogène, et que, par conséquent, la proportion des principes de l'eau doit en être altérée. Ainsi le rapport, d'après les volumes, a la propriété de rester constant, malgré les changements de température et d'humidité, tandis que celui d'après les poids est variable dans les mêmes circonstances. Et qu'on ne croie pas que cette considération soit d'un faible intérêt, car il est bien facile de faire voir qu'elle influe considérablement sur le rapport des principes de l'eau. D'après les expériences de MM. Fourcroy, Vauquelin et Séguin, les plus exactes qu'on ait faites jusqu'à ce jour sur ce sujet, l'eau contient en poids 85,662 d'oxygène et 14,338 d'hydrogène. Mais l'expérience ayant été faite à la température de 14° environ, et la correction due à l'eau tenue en dissolution par les gaz n'ayant pas été faite, il en résulte qu'en adoptant leur pesanteur spécifique du gaz oxygène et du gaz hydrogène, ainsi que le rapport de leurs volumes dans leurs combinaisons, et en admettant de plus avec Saussure qu'un pied cube d'air à la température de 14° contient à très-peu près 10 grains d'eau en dissolution, le rapport pondéral de l'oxygène à l'hydrogène, au lieu d'être 85,662 à 14,338, serait de 87,41 à 12,59, différence bien remarquable, et qui doit avoir surtout une grande influence dans les analyses où il s'agit de déterminer le poids réel de l'hydrogène. »

On comprend toute l'importance qu'eut dans cette question l'idée de rechercher si l'oxygène et l'hydrogène ne se combinaient pas suivant des rapports simples en volumes; nous avons vu que malgré des expériences qui l'indiquaient très-nettement, ni Lavoisier aidé de Laplace et de Meusnier, ni Fourcroy, Vauquelin et Séguin n'y avaient songé. Auquel des deux collaborateurs revient cet honneur?

« L'ignorer serait cruel et ce serait là un des graves inconvénients des publications en commun. Mais ces inconvénients disparaissent lorsque par exception l'un des associés se résout à ne pas laisser le public se livrer à des conjectures préconçues souvent malicieuses, et se décide à répudier sans hésiter une part qui appartient à autrui. Il a été dans la destinée de Gay-Lussac de rencontrer un pareil collaborateur. Voici, en effet, ce que je lis dans une note de M. de Humboldt :

« Insistons sur la remarque contenue dans ce mémoire, que 100 parties en volume d'oxygène exigent 200 parties de gaz hydrogène pour se saturer. Berzélius a déjà rappelé que ce phénomène est le germe de ce que plus tard on a découvert sur les proportions définies; mais le fait de la saturation complète est dû à la sagacité seule de Gay-Lussac. J'ai coopéré à cette

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

partie des expériences, mais lui seul a entrevu l'importance du résultat pour la théorie[1]. »

On ne sait ce qu'il faut admirer davantage du génie de Gay-Lussac, qui a fait la découverte, ou de la grandeur d'âme, de la simplicité de Humboldt qui déclare n'y avoir aucune part.

Gay-Lussac, au reste, ne devait pas en rester là; soupçonnant, d'après le rapport exact de 100 de gaz oxygène à 200 de gaz hydrogène, qu'il avait déterminé avec M. de Humboldt, pour les proportions de l'eau, que les autres gaz pouvaient aussi se combiner dans des rapports simples, il essaye de mettre en contact 100 de gaz muriatique, de gaz fluoborique et de gaz carbonique avec un volume égal et double de gaz ammoniac, et il reconnaît que la combinaison a lieu, en effet, suivant des rapports simples en volume.

« Non-seulement les gaz se combinent dans des proportions très-simples, comme on vient de le voir, mais encore la contraction apparente du volume qu'ils éprouvent par la combinaison a aussi un rapport simple avec le volume des gaz ou au moins avec celui de l'un d'eux. »

Après avoir montré par les densités du gaz oxyde de carbone, du gaz carbonique et le non-changement de volume qui se produit quand l'un brûle pour donner naissance à l'autre, que cette seconde partie de la loi se vérifie comme la première, Gay-Lussac trouve, dans la combinaison de l'oxygène et de l'hydrogène, une nouvelle occasion de contrôler l'exactitude de la seconde règle qu'il a posée, puisqu'il va nous démontrer que deux volumes d'hydrogène donnent, en se combinant à un volume d'oxygène, deux volumes de vapeur d'eau.

« Saussure a trouvé que la densité de vapeur de l'eau est à celle de l'air comme 10 est à 14. En supposant que la contraction de volume des deux gaz soit seulement de tout le volume du gaz oxygène ajouté, on trouve, au lieu de ces rapports, celui de 10 à 16. Cette différence et l'autorité d'un physicien aussi distingué que Saussure sembleraient devoir faire rejeter la supposition que je viens de faire; mais voici plusieurs circonstances qui la rendent très-probable.

« Elle a d'abord pour elle une très-forte analogie; en second lieu, M. Tralès a trouvé, par des expériences directes, que le rapport de la densité de la vapeur de l'eau à celle de l'air est de 10 à 14,5 au lieu de 10 à 14. En troisième lieu, quoiqu'on ne connaisse pas très-exactement le volume

[1] Biographie de Gay-Lussac par Arago. *Notices biographiques*, t. III, p. 19.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qu'occupe l'eau à l'état élastique, on sait, d'après les expériences de M. Watt, qu'un pouce cube d'eau produit à peu près un pied cube de vapeur, c'est-à-dire un volume 1728 fois plus grand. Or, en admettant le rapport de Saussure, on trouve seulement 1488 pour le volume qu'occupe l'eau lorsqu'elle est en vapeur, et en admettant celui de 10 à 16, on aurait 1700,6. Enfin, la réfraction de la vapeur aqueuse, calculée dans l'hypothèse du rapport de 10 à 14, est un peu plus forte que celle donnée par l'observation; mais celle calculée en adoptant le rapport de 10 à 16 concilie beaucoup mieux les résultats de la théorie et de l'expérience. Voilà donc plusieurs considérations qui rendent très-probable le rapport de 10 à 16[1]. »

Les expériences si précises de M. Regnault ont montré depuis que la densité de la vapeur d'eau était 0,622. Or le rapport de 10 à 16, admis par Gay-Lussac, donne 0,623. Ce mémoire est frappé au coin du génie; quelques expériences ont suffi pour faire surgir devant ce grand esprit la loi nette et précise à laquelle obéissent les substances dont il observe les métamorphoses; toutes les difficultés disparaissent alors, et si tous les faits ne semblent pas d'abord s'accorder avec la règle qu'il leur a dictée, il les fait rentrer dans cette règle par une discussion aussi fine que simple, à laquelle bientôt de nouvelles expériences viennent donner raison.

S'il est glorieux de mettre au jour un fait nouveau, d'inscrire un nouveau corps dans la nombreuse série de ceux déjà connus, s'il est intéressant de décrire exactement les propriétés jusqu'alors mal observées de quelques combinaisons, combien il est plus beau encore d'envisager tout un ordre de faits et de démêler au milieu des irrégularités de détail les points communs qu'ils possèdent, qui les font tous se conduire de même dans certaines circonstances déterminées, de telle sorte qu'il soit possible de prévoir ce qui arrivera toutes les fois que ces circonstances se présenteront, combien il est plus beau enfin de trouver une loi!

Dans toutes les circonstances, et probablement à toutes les époques, un savant aussi éminent que Gay-Lussac aurait montré la grandeur de son génie; mais, toutefois, le milieu dans lequel il a vécu n'a pas peu contribué à le développer; ainsi qu'on l'a vu plus haut, le mémoire sur les combinaisons gazeuses a paru dans

[1] *Mémoire sur la combinaison des substances gazeuses les unes avec les autres.* — *Mémoires de physique et de chimie de la Société d'Arcueil*, t. II, 1809, p. 207.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le recueil de la Société d'Arcueil, dont Gay-Lussac faisait partie avec M. Biot, Monge, Dulong et de Candolle que Berthollet réunissait autour de lui, dans sa maison de campagne d'Arcueil, que la proximité de Paris rendait précieuse à tous ces travailleurs rappelés chaque jour au laboratoire par leur ardeur au travail. C'est au milieu de cette réunion d'hommes d'élite capables de se comprendre, de s'éclairer mutuellement par la discussion, que plusieurs travaux hors ligne prirent naissance, témoignant ainsi du génie des membres qui composaient la réunion et de la fécondité de leur association.

Il semble maintenant que la composition de l'eau soit parfaitement connue, puisqu'on sait que deux volumes d'hydrogène s'unissent exactement à un volume d'oxygène; on n'aura plus qu'à déterminer les poids de ces volumes de gaz pour avoir terminé cette recherche. Peser un gaz n'est pas cependant une chose aisée, et nous allons voir combien de chimistes, et des plus illustres, s'y essayent sans y réussir d'abord.

CHAPITRE V.

Détermination exacte des poids d'oxygène et d'hydrogène qui se combinent pour former l'eau.

§ I. Berzélius et Dulong.

« Les chimistes portant aujourd'hui dans leurs analyses la prétention de l'exactitude jusqu'aux millièmes du poids des éléments constitutifs, on conçoit que, pour atteindre ce but, il faut avant tout que les données fondamentales dont ils font un usage continuel dans le calcul de leurs résultats soient exemptes de l'ordre d'erreur qu'ils croient pouvoir éviter dans leurs expériences[1]. Le rapport des poids des éléments de l'eau est une des plus importantes et des plus fréquemment employées. La valeur de ce rapport, généralement adoptée depuis quelques années, paraissait à l'abri de tout soupçon, et par la nature des méthodes mises en usage pour l'obtenir et par l'habileté des observateurs auxquels on en est redevable. Toutefois, nous avions, chacun de notre côté, des raisons qui nous portaient à croire que ce nombre pouvait être affecté d'une légère erreur. La chose était assez

[1] Nouvelles déterminations des proportions de l'eau et de la densité de quelques fluides élastiques par MM. Berzélius et Dulong. — *Ann. de Chim. et de Phys.*, 2e série, t. XV, p. 386. 1820.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

importante pour mériter d'être vérifiée, et nous résolûmes de tenter ensemble les expériences nécessaires pour éclaircir nos doutes. M. Berthollet, dont la libéralité a été si souvent utile aux sciences, nous donna toutes les facilités désirables pour exécuter notre dessein, en mettant à notre disposition le laboratoire d'Arcueil. »

Ainsi débute le travail qu'ont entrepris Berzélius et Dulong. Le grand Suédois, qui, pendant vingt ans, marchant à la tête de la chimie, et dominant, de Stockholm, le monde savant qui s'agitait loin de lui, devait distribuer le blâme et l'éloge, soutenir contre les efforts des chimistes français sa théorie croulante, et, résistant à l'évidence, descendre dans la tombe sans avoir rien voulu sacrifier, Berzélius, était venu à Paris pour connaître tous ces grands savants qui jetèrent un si vif éclat sur la fin de l'empire et le commencement de la restauration. Dulong n'était pas un des moins brillants ; tour à tour physicien et chimiste, il devait faire, pour les questions relatives au calorique, ces premières recherches, larges, originales, qui montrent le chemin, ouvrent la voie, et permettent aux esprits précis, fins, d'arriver au détail et de toucher à la vérité, que le premier n'a fait qu'admirer de plus loin.

Avant d'indiquer quelle est la marche qu'ils ont suivie dans leur recherche, Berzélius et Dulong donnent les raisons qui les font douter des nombres représentant les poids suivant lesquels l'oxygène et l'hydrogène se combinent.

« La nature de l'appareil employé dans les premières expériences sur la composition de l'eau ne permettait pas d'atteindre le degré de précision que l'on exige aujourd'hui dans l'analyse chimique ; mais cette vérité une fois bien établie que l'eau résulte de la combinaison de l'oxygène avec l'hydrogène, la connaissance de ses proportions ne nécessitait que deux choses : le rapport des volumes des deux éléments et leurs pesanteurs spécifiques. Celles-ci étant indispensables dans un grand nombre de recherches étaient déjà connues, et pour la première l'eudiomètre de Volta suffisait. C'est à ce moyen que l'on accorda, avec juste raison, le plus de confiance, lorsque MM. Gay-Lussac et de Humboldt eurent fait connaître, dans leur beau mémoire sur l'eudiomètre, les véritables proportions en volumes des principes de l'eau, et après que MM. Biot et Arago eurent apporté dans la mesure des pesanteurs spécifiques des principaux gaz les soins les plus minutieux.

« Si le nombre proportionnel de l'hydrogène 13,427 déduit de ces résultats était une erreur, on ne pouvait s'en prendre qu'à la pesanteur spécifique de l'hydrogène ou à celle de l'oxygène, ou à toutes les deux à la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fois; car le rapport en volume a cet avantage remarquable, qu'étant garanti par une loi générale il ne comporte absolument aucune exactitude. Avant de nous livrer à de nouvelles observations sur les densités de l'oxygène et de l'hydrogène, nous avons désiré obtenir, par un moyen simple, une confirmation de nos doutes. La décomposition d'un oxyde par l'hydrogène nous a paru, en même temps, le plus exact et le plus commode. »

Ce moyen est en effet bien supérieur à tous ceux qui ont été employés jusqu'ici. Peser un tube de verre renfermant un oxyde, puis un autre tube renfermant l'eau condensée dans une substance desséchante, ne présente aucune difficulté; on est soustrait ainsi à toutes ces causes d'erreur inhérentes à la pesée des gaz, et qui ont faussé les résultats donnés par tous les chimistes précédents.

La méthode inventée par Berzélius et Dulong est très-bien appropriée à la recherche spéciale qu'ils veulent faire, à savoir: déterminer exactement les poids d'oxygène et d'hydrogène qui se combinent pour former l'eau; mais elle ne pouvait être employée qu'à l'époque de la science où nous sommes parvenus, où un grand nombre de faits sont déja acquis. Lavoisier et Laplace, Monge, Fourcroy, Vauquelin et Séguin avaient à démontrer que l'eau fournie est égale en poids à l'oxygène et à l'hydrogène employés, ils devaient peser chacun de ces gaz, et comparer la somme de ces poids à celui de la combinaison obtenue. Cette méthode, imparfaite quand il s'agit d'obtenir un résultat numérique tout à fait exact, avait été excellente pour résoudre le problème spécial qu'ils s'étaient posé.

« Nous avons d'abord cherché à nous procurer du gaz hydrogène bien pur. Le zinc distillé n'est pas préférable pour cet objet au zinc du commerce; il contient les mêmes impuretés, savoir : du plomb, de l'étain, du cuivre, du fer, du cadmium, du soufre; mais en faisant passer le gaz hydrogène dans des tubes contenant des fragments de potasse caustique légèrement humectée, il perd complétement son odeur et sort parfaitement pur. L'expérience était disposée de la manière suivante :

« Un courant de gaz hydrogène développé par l'action de l'acide sulfurique étendu d'eau sur le zinc se purifiait en passant sur des fragments de potasse caustique légèrement mouillés, et se desséchait ensuite en traversant du muriate de chaux. Puis il se trouvait en contact avec de l'oxyde de cuivre desséché et renfermé dans un tube qui était lié à l'appareil par deux petits tuyaux de gomme élastique; ce qui permettait d'en avoir le poids très-exactement avant et après l'expérience. Lorsque le gaz avait

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

passé en quantité suffisante pour chasser l'air atmosphérique, on chauffait l'oxyde avec une lampe à esprit-de-vin.

« Dans les premières expériences, la plus grande partie de l'eau formée était reçue à l'état liquide dans un petit récipient adapté à l'extrémité du tube précédent afin de pouvoir en constater la pureté. Dans les autres, le liquide et le gaz excédant passaient à travers une longue colonne de muriate de chaux fondu. On voit facilement de quelle précision ce genre d'expérience est suceptible. Aussi les résultats obtenus à diverses reprises s'éloignent-ils très-peu l'un de l'autre, et comme nous n'avons pu découvrir aucune impureté dans l'eau ainsi formée, on peut considérer les nombres ci-dessus comme étant l'expression aussi exacte qu'il est possible de la composition de ce fluide.

N^os des expériences.	Perte de poids de l'oxyde de cuivre ou oxygène de l'eau.	Augmentation du poids du chlorure de calcium ou eau formée.	Proportion des éléments de l'eau dans un poids 100.	
1	8,051	9,052	O. 88,942	H. 11,038
2	10,832	12,107	88,809	11,191
3	8,246	9,270	88,954	11,066
			88,9	11,1

La moyenne de ces résultats donne 12,488 d'hydrogène pour 100 d'oxygène au lieu de 13,27, nombre adopté : ce qui fait presque un douzième de différence. Nous ne pouvions plus douter de la réalité de l'erreur que nous avions soupçonnée, mais il fallait en rechercher la cause en prenant de nouveau les densités de l'oxygène et de l'hydrogène : c'est ce que nous avons fait par les méthodes connues, en y ajoutant seulement les précautions suivantes qui nous paraissent d'une assez grande importance pour être rapportées.

« M. Dalton a trouvé qu'un gaz quelconque, insoluble dans l'eau, ne peut pas séjourner sur ce liquide même pendant un temps assez court, sans être souillé d'une certaine quantité du mélange gazeux que l'eau tient en dissolution. Lorsqu'il s'agit d'un gaz d'une densité peu différente de celle de l'air atmosphérique, le fluide qui se dégage de l'eau n'apporte aucune erreur notable ; mais pour le gaz hydrogène en particulier, on conçoit qu'un centième d'air, seulement, suffirait pour produire une erreur énorme.

« Il est très-probable que c'est à cette cause qui n'était pas connue à l'époque où MM. Biot et Arago ont fait leurs expériences qu'il faut attribuer l'erreur qui affecte le nombre qu'ils ont trouvé pour la densité du gaz hydrogène ; et cette erreur était d'autant plus difficile à éviter avant d'en connaître la source, que le gaz hydrogène y est plus sensible qu'aucun autre à cause de sa légèreté, et qu'il s'altère aussi plus rapidement dans les conditions que nous venons d'indiquer. Nous avons réussi à nous préserver de cet inconvénient en recouvrant la surface de l'eau, dans l'in-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

térieur de la cloche, d'une couche d'huile fixe de deux ou trois centimètres d'épaisseur, l'échange de ces gaz se faisant, comme l'on sait, beaucoup plus difficilement à travers ce liquide. »

En prenant ces précautions, Berzélius et Dulong arrivent à trouver pour densité de l'oxygène 1.1026, au lieu de 1.10359, qu'avaient trouvé Biot et Arago, et pour l'hydrogène 0.0687, au lieu de 0.07321 déterminé par les mêmes savants.

§ II. M. Dumas.

Il est rare qu'un homme possède à la fois les deux qualités nécessaires au chef d'école : le génie de l'invention, la largeur d'idées qui conduisent aux grandes découvertes, et la facilité d'élocution, le langage vif et coloré qui dominent, subjuguent et convainquent.

C'est à la réunion de ces qualités qu'est due l'immense influence qu'a eue M. Dumas sur la marche de la chimie pendant le dernier quart de siècle.

Ses travaux ont été dirigés dans plusieurs voies différentes : en donnant d'une part le premier exemple indiscutable d'une substitution, il a fait entrer la science dans une voie nouvelle tellement féconde, qu'on ne saurait énumérer le nombre de substances jusqu'alors inconnues sorties des travaux dirigés dans le sens qu'il avait indiqué.

M. Dumas a aussi consacré une grande partie de sa brillante carrière scientifique à déterminer les nombres qui représentent les rapports des poids suivant lesquels les corps simples se combinent les uns avec les autres. Ces nombres proportionnels, ces poids atomiques, sont extrêmement importants à connaître, puisque de cette détermination découlera l'exactitude de toutes les analyses rigoureuses dans le calcul desquelles on est obligé de les employer.

Berzélius s'était adjugé la rude tâche de faire cette détermination, et nous venons de voir comment, aidé de Dulong, il avait cherché, en faisant la synthèse de l'eau, le poids d'hydrogène qui se combine à 100 d'oxygène; il avait trouvé 12.48, mais ses expériences n'étaient pas à l'abri de tous reproches.

« L'eau[1] est formée d'oxygène et d'hydrogène, et l'on a essayé de définir

[1] *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. VIII. 1843

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le rapport exact suivant lequel ces gaz s'unissent, soit en les mesurant, soit en les pesant. Ces deux méthodes, mises en pratique par MM. Berzélius et Dulong, les ayant conduits exactement au même résultat, celui-ci a été admis sans discussion comme l'expression exacte de la vérité.

« Il résulte de mes recherches que l'eau est formée en poids de 1000 parties d'hydrogène pour 8000 d'oxygène, c'est-à-dire que ces corps se combinent dans le rapport simple de 1 à 8.

« MM. Berzélius et Dulong ont admis le même rapport à peu près, car ils regardent l'eau comme formée de mille parties d'hydrogène pour 8008 d'oxygène $\left(\frac{12,48}{12,48} = 1000\,\frac{10000}{1248} = 8008\right)$. Si ce chiffre exprimait véritablement le résultat de leurs expériences, il faurait regarder comme insignifiante la correction que je propose aujourd'hui, et comme inutile la longue, dispendieuse et pénible série de recherches à laquelle je me suis livré.

« Mais quand on remonte aux expériences mêmes de mes illustres devanciers, on trouve qu'ils se sont basés sur des déterminations fautives des densités de l'hydrogène et de l'oxygène ; car il est bien prouvé maintenant que la densité de l'oxygène n'est pas représentée par 1,1026, et je vais faire voir que celle de l'hydrogène ne peut pas l'être par les nombres 0,0688 et 0,0687 entre lesquels hésitent MM. Berzélius et Dulong.

« En effet, quand on suppose que l'hydrogène et l'oxygène s'unissent dans le rapport exact de 2 volumes à 1 et qu'on essaye d'en déduire la composition de l'eau, d'après la densité de l'hydrogène de MM. Berzélius et Dulong et de la densité de l'oxygène que nous avons déterminée, M. Boussingault et moi, on trouve non le rapport de 1000 à 8008, mais bien le rapport de 1000 à 8040 qui est inadmissible..., il faut que la densité de l'hydrogène de Dulong soit inexacte ou que la loi de M. Gay-Lussac sur la combinaison des gaz ne soit qu'une approximation.

« M. Berzélius a déduit la composition de l'eau d'une expérience plus directe. Il a réduit l'oxyde de cuivre au moyen de l'hydrogène, et recueillant l'eau formée par une quantité d'oxygène connue, il a pu en tirer la composition de l'eau.

« M. Berzélius a fait trois expériences de ce genre qui, en moyenne lui ont donné pour 1000 d'hydrogène 8008 d'oxygène. Un chimiste anglais, le docteur Prout, avait déjà émis l'opinion que l'eau pourrait bien contenir 1000 parties d'hydrogène pour 8000 d'oxygène ; mais on lui opposait le résultat de ces expériences, comme propre à démontrer que de tels rapports étaient des jeux d'esprit qui ne méritaient aucune considération.

« Pour montrer à quel point on s'est laissé influencer par une confiance exagérée dans les déterminations de cette nature, il suffit de comparer les chiffres, résultats des trois expériences de M. Berzélius.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1re	expérience	1000	d'hydrogène	8042	d'oxygène.
2e	—	1000	—	7936	—
3e	—	1000	—	8053	—
				24031	
			Moyenne.	8010	

« De ce qu'on avait trouvé les nombres 803, 804 et 793 dont la moyenne était 801, rien n'autorisait certes à conclure que le véritable nombre n'était pas 800. Il ne faut pas répondre de $\frac{1}{800}$ quand on n'a fait que 3 expériences qui diffèrent entre elles de $\frac{12}{800}$, et ce n'est pas avec des expériences dont les nombres s'écartent de $\frac{1}{66}$, qu'on est autorisé à repousser cette correction de $\frac{1}{800}$ qui suffisait pour mettre la moyenne d'accord avec les vues du docteur Prout. »

Le chimiste anglais, dont nous rencontrons le nom pour la première fois, pensant avec raison que les nombres représentant les rapports des poids suivant lesquels les corps simples entrent en combinaison seraient d'autant plus commodes à employer qu'ils seraient plus petits, avait eu l'idée de comparer ces poids non plus à 100 d'oxygène pris pour unité, comme on avait fait jusqu'alors, mais à 1 d'hydrogène. Il avait reconnu alors que plusieurs de ces nombres proportionnels étaient entiers, c'est-à-dire qu'ils étaient un multiple exact de celui de l'hydrogène. Persuadé bientôt de la vérité de ces rapports pour tous les corps connus, il n'hésita pas, dit-on, à altérer les nombres qui lui étaient fournis par l'analyse pour les faire rentrer dans l'idée générale qu'il avait émise.

Berzélius avait traité très-légèrement ces considérations, et comme les nombres proportionnels qu'il avait donnés n'étaient pas d'accord avec les vues du docteur Prout, il ne les voulut pas admettre.

M. Dumas ne les jugea pas aussi sommairement, et entreprit de les vérifier. Il donne dans le beau mémoire que nous analysons le détail des précautions nécessaires pour obtenir l'hydrogène pur; ce n'est pas là chose facile, tant les réactifs qu'on emploie à sa production, c'est-à-dire le zinc et l'acide sulfurique, sont impurs par eux-mêmes et donnent des résultats complexes.

C'est dans ce long appareil, si souvent reproduit depuis dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les cours, que fut installé pour la première fois, ou au moins préconisé par l'exemple, un système aussi élégant qu'ingénieux, celui des tubes *témoin*. On comprend qu'il importe, dans une expérience où il s'agit de faire de l'eau, de ne pas permettre à la plus petite goutte d'eau étrangère de pénétrer dans l'appareil, comme il faut recueillir absolument toute celle qui prendra naissance dans la réaction; si on est certain que ces deux conditions sont bien remplies, on comprend quelle valeur prendra l'expérience. Son exactitude ne sera plus probable, elle sera certaine: or les tubes *témoin* donnent cette certitude. A la suite de tous les tubes que traverse l'hydrogène pour se purifier et se dessécher, immédiatement avant le ballon renfermant l'oxyde de cuivre, M. Dumas plaçait un petit tube en U, léger et rempli d'une matière essentiellement hygrométrique comme l'acide phosphorique anhydre; un autre tube semblable était placé à l'extrémité de l'appareil après le dernier tube desséchant destiné à condenser l'eau qui s'était formée. On comprend facilement que si le poids de ces tubes, constaté avec la plus grande exactitude à un demi-milligramme près au commencement de l'expérience, n'a pas varié pendant toute sa durée, on est assuré que le gaz qui pénétrait dans le tube à oxyde de cuivre était bien sec, que le gaz qui sortait de l'appareil était également parfaitement desséché; pas une trace d'eau n'est entrée dans le ballon à oxyde de cuivre, pas une trace n'est sortie des appareils condenseurs, les deux petits tubes à acide phosphorique en sont *témoins*.

« L'appareil disposé, l'opération est mise en marche : L'oxyde de cuivre étant chauffé au rouge sombre, la réduction commence, et l'eau ruisselle bientôt en abondance; mais au bout de quelques heures la formation d'eau se ralentit, et ce n'est qu'après 10 ou 12 heures que l'opération est terminée. Il n'est pas facile, par conséquent, de consacrer moins de 16 ou 18 heures à l'exécution de chaque expérience, abstraction faite des dispositions préliminaires qui m'ont coûté 2 ou 3 jours de soins.

« Si j'ajoute que j'ai obtenu dans mes diverses expériences plus d'un kilogramme d'eau, que c'est le produit de 19 opérations, qu'enfin en comptant celles qui ont échoué par accident, je n'ai pas fait moins de 40 ou 50 expériences semblables, on pourra se faire une juste idée du temps et de la fatigue que cette détermination m'a coûtés.

« Il faut même ajouter que la durée nécessaire de ces opérations, en m'obligeant à prolonger le travail fort avant dans la nuit, en plaçant les pesées vers 2 ou 3 heures du matin dans la plupart des cas, constitue une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cause d'erreur réelle. Je n'oserais pas affirmer que de telles pesées méritent autant de confiance que si elles avaient été exécutées dans des circonstances plus favorables et par un observateur moins accablé de la fatigue inévitable après 15 ou 20 heures d'attention soutenue.

« ..... A la vérité, on pourrait abréger ces expériences en diminuant la quantité d'eau qu'on veut produire à chacune d'elles, mais il faut faire attention à une circonstance particulière pour apprécier jusqu'à quel point cette diminution est permise.

« De toutes les analyses qu'un chimiste peut se proposer, celle de l'eau est celle qui comporte le plus d'incertitude. En effet, une partie d'hydrogène se combine avec 8 parties d'oxygène pour former de l'eau et rien ne serait plus exact que l'analyse de l'eau, si on pouvait peser l'hydrogène et l'eau qui proviendrait de sa combustion.

« Mais l'expérience n'est pas possible sous cette forme. Nous sommes obligés de peser l'eau formée et l'oxygène qui a servi à la produire pour en déduire par différence le poids de l'hydrogène qui en a fait partie. Ainsi une erreur de $\frac{1}{900}$ sur l'eau ou de $\frac{1}{800}$ sur le poids de l'oxygène affecte d'une quantité égale à $\frac{1}{90}$ ou $\frac{1}{80}$ le poids de l'hydrogène. Que ces erreurs étant dans le même sens viennent à s'ajouter, et l'on aura des erreurs qui iront jusqu'à $\frac{1}{40}$.

« Il ne faut donc pas s'étonner si MM. Dulong et Berzélius n'ont déterminé le poids atomique de l'hydrogène qu'à $\frac{1}{60}$ près; ce qui surprend seulement, c'est qu'ils aient pu croire que cette détermination atteignait une précision de $\frac{1}{1000}$ environ.

« Je m'estimerais fort heureux si l'avenir prouvait que les expériences que j'ai exécutées donnent le poids atomique de l'hydrogène à $\frac{1}{200}$ près. J'aurais bien voulu arriver à $\frac{1}{1000}$, mais je ne l'ai pas pu, et je laisse à de plus habiles le soin d'y parvenir,

« Quoi qu'il en soit, le poids atomique de l'hydrogène ne peut guère être au-dessous de 12,50 quand on représente l'hydrogène par 100.

« Mes expériences le placent entre 12,50 et 12,5, et si elles peuvent laisser quelque chose à désirer au point de vue philosophique, elles suffisent surabondamment à tous les besoins de la pratique.

« En considérant l'eau comme formée de 1 d'hydrogène pour 8 d'oxygène, jamais un chimiste ne sera exposé à commettre une erreur dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ses expériences ou dans ses calculs, puisqu'on trouve qu'elle renferme :

8	d'oxygène	et	1	d'hydrogène.
80	—	et	10	—
800	—	et	100	—
8000	—	et de 1001 à 1003		d'hydrogène.

§ III. Objections de Berzélius.

On ne pouvait s'attendre, à coup sûr, que le grand chimiste suédois laissât passer les expériences de M. Dumas sans les analyser; on aimerait mieux toutefois pour sa gloire qu'il eût reconnu que son émule français était arrivé encore plus près que lui de la vérité, et qu'il avait mis la dernière main à cette étude depuis tant d'années sur le chantier; mais si Berzélius avait de grandes qualités, il n'avait pas celle de savoir supporter la discussion, et ce n'était pas habituellement avec la plus grande urbanité qu'il répondait aux objections que suscitaient ses opinions.

Il publia, dans ses *Rapports annuels sur les progrès de la chimie* [1], dans ce livre si curieux au point de vue de l'histoire de la science, non pas tant la défense du travail fait en commun avec Dulong, que l'attaque de celui qui venait de paraître.

Après avoir indiqué la marche suivie par M. Dumas dans ses recherches, marche semblable, comme on l'a vu, à celle qu'il avait employée lui-même, il continue ainsi :

« Les résultats, quant aux détails des poids, sont réunis sous forme de tableau, et l'on a ainsi deux séries des poids équivalents de l'hydrogène, savoir : 1° tel que l'expérience le fournit ; et 2° après la correction pour l'air dans l'acide sulfurique. »

On sait, en effet, que pour purger son appareil d'hydrogène, afin d'exécuter à la fin de l'expérience les pesées avec les appareils remplis d'air comme ils l'étaient d'abord, M. Dumas faisait passer au travers de tout l'appareil un courant d'air sec; cet air se dissolvait en petite quantité dans les tubes à acide sulfurique destinés à le dessécher complétement à sa sortie, et venait augmenter légèrement le poids d'eau trouvé; des expériences préalables avaient établi la valeur de cette correction.

« La moyenne du poids brut de l'équivalent de l'hydrogène est 12,533, le maximum est 12,575, et le minimum 12,481. L'on ne voit pas clairement le

[1] Tome IV. 1846, édition française, page 15.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

but de la correction pour l'air de l'acide sulfurique, d'après ce qui a été communiqué des expériences ; mais cette correction faite conduit pour la moyenne du poids de l'équivalent de l'hydrogène à 12,515, pour le maximum à 12,562, et pour le minimum à 12,472. D'un autre côté, l'on a omis de faire une autre correction qui n'aurait pas dû être négligée, puisque l'on recueillait l'eau à l'état liquide, savoir : pour l'air atmosphérique que cette eau avait absorbé durant le temps assez long pendant lequel on a fait passer de l'air sec à travers l'appareil, pour chasser l'hydrogène qui était resté dans le ballon à la fin de l'expérience, et dont le poids, quelque petit qu'il soit, influe notablement sur le poids de l'équivalent de l'hydrogène ; car l'oxygène étant donné par la pesée de l'oxyde cuivrique le poids de l'air porte sur l'hydrogène. »

Cette correction dont parle Berzélius est bien faible; sur 50 grammes d'eau elle serait à peu près de 2 milligrammes, elle ne pourrait pas affecter sensiblement les nombres trouvés.

« Pour le présent, le poids équivalent de l'hydrogène est au poids atomique de l'oxygène : : 1 : 7,9912. Que sait-on maintenant de plus sur le poids équivalent de l'hydrogène? Est-il un sous-multiple entier de celui de l'oxygène ou non? Évidemment on ne le sait pas ; toutes les preuves manquent pour admettre qu'il en soit réellement ainsi, car d'autres expériences montrent que ce ne peut être un fait général : il y a autant de probabilité que les poids atomiques soient à peu de chose près des multiples entiers que des multiples entiers exacts. La question capitale n'est donc point encore décidée, et le poids atomique de l'hydrogène reste comme auparavant, et probablement restera dans l'avenir une approximation aussi voisine du nombre véritable qu'il est possible de l'obtenir; dès lors il est indifférent pour la science d'adopter 6,24, 6,25 ou 6,255, car les différences de ces nombres sont plus faibles que les erreurs ordinaires de l'expérience ne peuvent l'être.

On voit que Berzélius attaque surtout M. Dumas non pas dans ses expériences mêmes, mais dans les conclusions qu'il en veut tirer au sujet de la loi du docteur Prout. Que les équivalents de tous les corps simples ne soient pas des multiples exacts de celui de l'hydrogène, c'est ce que nous savons maintenant, et Berzélius avait raison de douter qu'il en pût être ainsi; mais il faut bien remarquer que le travail de M. Dumas, admirable comme exactitude, n'avait pas tant été entrepris pour vérifier cette hypothèse que pour mettre les nouveaux nombres obtenus pour la densité de l'oxygène d'accord avec la loi de Gay-Lussac. Ainsi qu'il le dit au commencement de son mémoire, il fallait qu'il y eût ou bien une erreur dans les déterminations numériques don-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nées par Dulong et Berzélius, ou bien que la loi de Gay-Lussac ne fût pas exacte; le fait méritait d'être éclairci, et on ne peut que louer le grand chimiste français d'y avoir consacré tous ses efforts. C'est lui qui a fixé, en définitive, les rapports exacts des poids suivant lesquels l'oxygène et l'hydrogène se combinent pour donner l'eau.

Quelques mois plus tard, au reste, par des méthodes analogues, deux chimistes allemands, MM. Erdmann et Marchand, annonçaient au monde savant qu'en répétant les expériences de M. Dumas, ils étaient tombés sur les mêmes nombres que lui.

L'énoncé de la composition de l'eau occupe deux lignes, mais il a fallu pour les écrire des travaux continués de 1766 à 1843, et exécutés par les chimistes les plus habiles.

Quelles réflexions suggère cette longue histoire qui se déroule pendant soixante-dix ans, prenant la chimie à sa naissance, et la conduisant jusqu'à son âge adulte? Quel enseignement tirer de ces efforts aboutissant, en résumé, à écrire deux lignes? N'est-ce pas une pitié que ce piètre résultat comparé aux efforts qu'il a coûtés, et celui-là qui dépensera toute sa vie pour contribuer à faire écrire quelques mots dans un traité de chimie n'est-il pas un grand fou, dont il faut rire quand on le rencontre?

Les esprits superficiels seuls pourraient juger ainsi; toute œuvre humaine ne s'exécute qu'au milieu des pleurs, du sang et des sueurs; l'enfantement s'accomplit dans la douleur, et les travaux de l'esprit n'échappent pas à la loi commune.

Les pyramides ont coûté la vie à des milliers d'hommes. Dans une bataille, dont le résultat est nul souvent pour le bonheur des peuples, les cadavres s'amoncellent. C'est le sort de l'homme de prodiguer constamment ses forces, son intelligence, sa vie même toutes les fois qu'il veut atteindre un but, qu'il veut conquérir le plus mince résultat.

Les victoires de la science portent aussi ce caractère, et pour élever son grand édifice, il faut bien des soucis, bien des nuits sans sommeil; des fronts purs se couvrent de rides à ces durs labeurs, les crânes se dépouillent et les yeux s'éraillent. Mais qui donc comptera sa peine quand il s'agit d'accomplir la plus belle mission que l'homme se soit donnée? Connaître le monde maté-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

riel, employer ses forces sans limites, utiliser ses ressources infinies au plus grand bonheur de l'humanité, sont déjà des buts propres à passionner des cœurs généreux. Aux initiés, cependant, est réservé de plus hautes récompenses; si pendant de longs jours ils travaillent sans réussir, une heure arrive où, l'obstacle vaincu, la montagne renversée, ils découvrent de nouveaux horizons; ils jouissent alors d'un bonheur inconnu au vulgaire; nouveaux Colombs ils voient leur Amérique, et en un jour sont payés les plus longs travaux.

Mais souvent, hélas! il se trouve que ces belles régions s'évanouissent, que la découverte n'est qu'un rêve; à la joie alors succède l'abattement. Chez les caractères bien trempés cependant il ne dure pas, le courage revient et la poursuite recommence; but splendide, efforts multipliés, mélange de déceptions cruelles, de joies pures et sans rivales, c'est tout cela qui constitue cette passion, absurde pour ceux qui l'ignorent, sans pareille pour ceux qui en sont atteints, l'amour de la science.

Aux Chapelles Bourbon, août 1860.

Paris. — Imprimerie P.-A. BOURDIER et Cie, rue Mazarine, 30.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SUR

LES GISEMENTS DU GUANO

DANS LES ILOTS ET SUR LES COTES

DE L'OCÉAN PACIFIQUE

PAR M. BOUSSINGAULT.

Les gisements de guano (*huano de pajaro*) sont répartis sur le littoral du Pérou entre le deuxième et le vingt et unième degré de latitude australe. J'ai vu les premiers dépôts dans la baie de Payta. En avançant vers le sud, on en trouve de distance en distance jusqu'à l'embouchure du rio Loa. En dehors de ces limites, le guano se rencontre encore, quelquefois même très-abondamment, mais alors il est à peu près dépourvu des sels ammoniacaux et des principes organiques auxquels il doit une grande partie de ses qualités.

On distingue au Pérou deux espèces de *guano:* 1° le *huano blanco*, consistant en déjections rendues depuis peu de temps, sa couleur claire est due à l'acide urique; 2° le *huano pardo*, *guano* ancien qui offre toutes les teintes intermédiaires comprises entre le gris sale et le brun foncé. Un passage de Garcilazo de la Vega, d'anciens documents font présumer que dans leurs cultures les Péruviens utilisaient surtout le *huano blanco*. En effet, les ordonnances édictées par les Incas avaient particulièrement pour objet de protéger les oiseaux producteurs. Ainsi la défense, sous les peines les plus sévères de tuer les *guanaes* même en dehors des *huaneras*, l'interdiction d'aborder les îlots aux époques de la ponte pour ne pas effrayer les couveuses, montrent qu'il s'agissait uniquement de favoriser la production du *huano blanco*, et que ces mesures n'avaient pas été prises pour protéger ces immenses amas de guano que l'antiquité péruvienne a laissés intacts, comme

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

si elle eût voulu les réserver pour les conquérants du nouveau monde [1].

En allant du sud vers l'équateur, les *huaneras* principales sont celles de : *Chipana, Huanillos, Punta de lobos, Pabellon de Pica, Puerto ingles, Islas patillos, Punta grande, Isla de Iquique, Pisagua, Ilo, Jesus y cocotea*, les îles de la baie d'*Islay*.

Entre *Islay* et un point situé à quelques lieues de *Pisco* on ne connaît pas de *guano de pajaro* (guano d'oiseau), les eaux étant principalement fréquentées par des phoques, des marsouins, des loups de mer (*lobos*); aussi les amas de guano, d'ailleurs fort restreints, que l'on voit dans ces parages sont-ils presque entièrement formés des excréments et des squelettes de ces animaux.

Le guano est déposé sur de petits promontoires, sur des falaises, il remplit des anfractuosités; en général, il est là où les oiseaux trouvent un abri contre les fortes brises du sud.

Les roches de cette partie de la côte consistent en granit, en gneiss, en syénite et syénite porphyrique; le guano qu'elles supportent est le plus souvent en couches horizontales, quelquefois cependant elles sont fortement inclinées, comme à *Chipana*, où elles deviennent presque verticales. Dans certaines *huaneras* on rencontre un mélange d'excréments d'oiseaux et d'excréments de poissons ou de cétacés (*lobos*). M. Francisco de Rivero signale particulièrement ce mélange à *Punta-lobos*, où, sur des strates d'un guano d'un gris obscur, l'on trouve superposées d'autres strates presque noires, d'une épaisseur de deux pieds, recouvertes à leur tour par de nouvelles couches de couleurs variées. La strate noire est remplie de petites pierres de porphyre luisantes, elliptiques, que les phoques (*lobos*) ont l'habitude d'avaler et qui

[1] « Sur la côte, depuis Arequipa jusqu'à Taracapa, c'est-à-dire sur une « étendue de plus de 200 lieues, la terre est fumée avec les déjections des « oiseaux de mer, grands et petits, qui fréquentent, en nombre prodigieux, « la côte du Pérou. Ils pondent dans plusieurs îlots déserts, où ils laissent « des quantités incroyables d'excréments. De loin, les sommets de ces îlots « paraissent couverts de neige. Du temps des rois Incas, on prenait de telles « précautions pour protéger ces oiseaux, qu'aux époques de la ponte il était « défendu, sous peine de mort, d'aborder dans ces îles, afin de ne pas « effrayer les couveuses. La chasse des oiseaux de mer était prohibée en « tout temps avec la même rigueur, même en dehors des îles. » (Garcilazo de la Vega, t. I, p. 134.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

accompagnent toujours leurs déjections. Les dépôts de guano sont ordinairement au-dessous d'un agglomérat de sable et de substances salines, le *caliche*, que les ouvriers enlèvent pour commencer une exploitation. Sur quelques points, comme à *Pabellon de Pica* et à *Punta grande*, le gîte est sous du sable descendu des montagnes voisines, et rien n'établit mieux son ancienneté dans cette localité qu'une observation faite par M. F. de Rivero. Sur la roche qui leur sert de base, l'on voit des couches horizontales de guano supportant un dépôt de trois mètres de puissance, appartenant à l'alluvion ancienne, renfermant des empreintes de coquilles marines; et sur cette alluvion, contrairement à ce qui a lieu ordinairement, sont placées plusieurs strates de guano recouvertes par le sable de l'alluvion actuelle. Le plus ordinairement, l'extraction du guano a lieu à ciel ouvert; cependant la *huanera de Chipana* est exploitée par des travaux souterrains poussés au-dessous de l'agglomérat salin et arénacé (*caliche*).

Dans la *huanera de Punta de lobos*, le *guano de pajaro* en strates horizontales légèrement ondulées est d'un brun très-foncé; il renferme du *guano de lobo* comme l'indiquent des ossements de marsouins, de phoques (*lobos*) et les pierres polies elliptiques qui caractérisent les déjections de ces animaux. On attaque la masse au pic et à la poudre. Le guano mis en sac est glissé sur des radeaux (*balsas*), qui le transbordent ensuite sur de petits bâtiments (*guaneros*). Les ouvriers reçoivent une piastre (5 f 40 c) par jour, la nourriture et de l'eau douce que l'on est obligé d'aller chercher au rio Loa quand les navires en chargement n'en apportent pas.

La *huanera de Pabellon de Pica* prend son nom du village de *Pica* placé à 30 lieues dans l'intérieur. C'est une montagne conique de 325 mètres d'altitude; la roche cristalline, que l'on suit jusqu'à 160 mètres de hauteur, est recouverte par un grès peu ancien parfaitement caractérisé. La puissance des strates de guano superposées au grès est de 15 à 20 *varas*[1]. Le produit le plus estimé provient d'un escarpement de plus de 200 *varas* de largeur que recouvre un amas de sable. Dans la zone inférieure, les strates sont séparées par une alluvion ancienne de 2 à 3 *varas* d'épaisseur et d'une grande dureté. Une soixantaine d'ouvriers sont établis

[1] La vara = 0m,816.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sur la *huanera*, dont la rade est assez profonde pour que les bâtiments *guaneros* y jettent l'ancre à 25 *varas* de l'embarcadère.

La *huanera del Puerto ingles* est un petit promontoire à moins d'un mille de distance de *Puerto pabellon;* on en tire tout le guano nécessaire aux cultures de *Tarapaca*. Comme à *Chipana* les travaux sont exécutés sous le *caliche*.

La *huanera de Iquique y patillos*, située au nord de *Pabellon*, est un îlot dans la rade d'*Iquique;* ce gisement est à peu près épuisé; on en extrait du *huano blanco* que les oiseaux y déposent journellement.

La *huanera de Punta grande* est un promontoire à quatre lieues au nord d'*Iquique*. Le guano remplit plusieurs ravins (*quebradas*) ouverts dans une roche quartzeuse feldspathique en relation avec un calcaire; il est comme enseveli sous du sable venant du *cerro de Tarapaca* qui domine la localité; aussi est-on obligé d'exploiter par des travaux souterrains.

Plus au nord, l'on connaît encore des gîtes de guano peu importants et d'un accès fort difficile; tels sont ceux que l'on aperçoit entre les morros de *Vigas y Carreta*, ou bien encore ceux des îles de *Ballista*, à l'ouest de *Pisco;* mais c'est dans cette zone que sont les trois îles de *Chincha*, les plus riches en guano ammoniacal et qui alimentent l'exportation pour l'Europe. Elles sont par 13 degrés 1/2 de latitude australe, à environ 12 milles à l'ouest-nord-ouest de Pisco; alignées dans une direction N.-S. et séparées par deux passes, l'une de 500 varas, l'autre de 800 varas de largeur; les côtes qu'elles présentent vers le sud et vers l'ouest sont coupées à pic. C'est sous le vent de l'île la plus septentrionale que la plupart des navires viennent charger. Les sommets les plus élevés des îles de Chincha ne dépassent pas 110 *varas;* leur base granitique est entourée de récifs d'autant plus périlleux qu'il règne presque constamment un vent très-vif, *la paracà*, depuis dix à onze heures du matin, jusqu'au coucher du soleil; la réverbération du sol, la poussière en suspension dans l'air élèvent singulièrement la température; aussi les ouvriers ne travaillent-ils que pendant la nuit. Le guano est en strates horizontales, assez souvent ondulées, contournées vers leurs extrémités; elles sont rougeâtres vers le haut, d'un gris plus ou moins clair vers le bas. Le guano y est partout excellent, excepté dans les assises inférieures, où il est mêlé de *huano de lobo*. On exploite à ciel ouvert.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans les *tailles* on rencontre des fissures remplies de cristaux de sels ammoniacaux ; l'on trouve aussi dans ces *huaneras*, des œufs pétrifiés, des plumes, des ossements et même des oiseaux momifiés.

A 30 ou 40 mètres au-dessus de la mer, M. Bland a vu, çà et là, le sol jonché de blocs de granit analogues aux roches alpines erratiques dispersées sur les pentes du Jura. Ces blocs reposent sur le guano, et ils sont comme encaissés dans des squelettes de *guanaes*.

Les premières notions sur la nature du guano sont dues à Fourcroy et Vauquelin ; dans un échantillon rapporté par Humboldt des îles de Chincha, ils ont trouvé [1] :

« 1° De l'acide urique en partie saturé par de l'ammoniaque et par de la chaux ;

« 2° De l'acide oxalique combiné à de l'ammoniaque et à de la potasse ;

« 3° De l'acide phosphorique uni aux mêmes bases et à de la chaux ;

« 4° De petites quantités de sulfate de potasse, de chlorure de potassium et de chlorhydrate d'ammoniaque ;

« 5° Un peu de matière grasse ;

« 6° Du sable en partie quartzeux, en partie ferrugineux. »

La composition du guano ammoniacal était définitivement fixée ; Fourcroy et Vauquelin n'hésitèrent pas à le considérer comme des excréments d'oiseaux. Depuis on y a reconnu de faibles proportions de xanthine, de guanine ; toutes les analyses ayant d'ailleurs été faites au point de vue des applications agricoles on s'est généralement borné à doser l'azote, l'ammoniaque, les phosphates et la matière organique.

Guano d'Angamos, sur la côte de la Bolivie.

C'est un *huano blanco* déposé sur une roche d'un accès très-difficile [2].

Matière organique.	70,21	52,92
Phosphate de chaux.	5,75	18,60
Acide phosphorique uni à d'autres bases que la chaux.	3,48	1,08

[1] *Annales de chimie*, 1re série, t. LVI, p. 258.

[2] Analyse de M. Nesbit.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Sels alcalins	9,37	8,99
Silice, sable	3,55	7,08
Eau	7,64	11,33
	100,00	100,10
Phosphate soluble	7,55	2,35
Phosphate insoluble (de chaux)	5,75	18,60
Phosphate, total	13,30	20,95
Azote dosé	20,00	14,38
Équivalent à ammoniaque	24,36	17,44

Une analyse faite sur un autre échantillon d'un *guano d'Angamos* a donné :

Matières organiques et sels ammoniacaux	56,03 [1]
Acide phosphorique	7,14
Phosphates de fer et d'alumine	0,85
Acide sulfurique	0,39
Chaux	3,67
Magnésie	0,50
Potasse	2,51
Soude	1,62
Chlorure de sodium	3,56
Silice et sable	1,46
Eau	22,28
	100,00
Azote dosé	17,41
Représentant ammoniaque	21,12

De 100 parties d'un guano des îles de Chincha, M. Ure a obtenu :

Matières solubles dans l'eau :

Sulfate de potasse	6,00 [2]		
Chlorhydrate d'ammoniaque	3,00	= ammoniaque	0,95
Phosphate d'ammoniaque	14,32		4,62
Sesqui-carbonate d'ammoniaque	1,00		0,34
Sulfate d'ammoniaque	2,00		0,50
Oxalate d'ammoniaque	3,23		0,89
Matière organique	17,45		
	47,00		

[1] L'acide urique, l'acide oxalique sont compris dans les matières organiques. (Analyse de M. Nesbit.)

[2] Avec traces de sulfate de soude.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Matières insolubles dans l'eau :

Urate d'ammoniaque.	14,73	= ammoniaque	1,23
Phosphate ammoniaco-magnésien. . . .	4,50		0,32
Phosphate de chaux tribasique.	22,00		
Oxalate de chaux.	1,00		
Silice et sable	1,25		
Matières organiques indéterminées . . .	9,52		
	53,00		8,85

De 15 analyses faites par M. Nesbit sur des échantillons provenant des îles de Chincha, on a pour composition moyenne :

Matières organiques et sels ammoniacaux. . . .	52,52 [1]
Phosphate de chaux.	19,52
Acide phosphorique.	3,12
Sels alcalins.	7,56
Silice et sable.	1,46
Eau.	15,82
	100,00
Phosphate de chaux soluble (neutre)	6,76
Phosphate de chaux insoluble (basique). . . .	19,52
Phosphate total.	26,28
Azote dosé	14,29
Répondant à ammoniaque.	17,32

Examens de guanos péruviens faits au laboratoire de chimie agricole du Conservatoire des arts et métiers.

D'un guano du Pérou, de qualité exceptionnelle et supposé sec, probablement un *huano blanco*, bien conservé, l'on a retiré :

Acide urique et oxalate d'ammoniaque. . . .	66, 2
Carbonate d'ammoniaque.	trace
Phosphate de chaux et de magnésie.	29, 2
Phosphates et chlorures alcalins	4, 6
Sulfates alcalins.	trace
	100,00

Deux échantillons de guano du Pérou ont donné, sur 100 parties :

[1] Ces matières organiques comprennent l'acide urique et l'acide oxalique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	I	II
Acide phosphorique	12,80	17,11
Soit phosphate de chaux tribasique. . .	27,74	37,08
Eau.	22,39	8,92
Azote total	7,70	12,05

Un échantillon de *huano blanco* des îles de Chincha exposé depuis plusieurs années à l'air libre, dans une armoire, était couvert d'une multitude de petits cristaux de sel ammoniac ; il n'émettait presque plus d'odeur. De 100 parties on a obtenu :

Acide phosphorique.	11,35
Soit en phosphate de chaux tribasique. . . .	24,60
Sels autres que le phosphate de chaux. . . .	9,90
Sable.	2,00
Ammoniaque toute formée.	7,00
Azote total.	8,05

Comme 7 d'ammoniaque équivalent à 5,76 d'azote, on voit qu'il y avait dans ce guano 2,29 d'azote qui constituait probablement de l'acide urique.

De 100 parties d'un guano des îles de Chincha considéré comme de première qualité on a retiré :

Acide phosphorique	15,24
Acide sulfurique	1,41
Acide nitrique.	0,19
Chlore.	0,30
Ammoniaque	7,82
Potasse	2,56
Soude.	0,26
Chaux.	13,33
Silice et sable.	1,47
Eau.	10,10
	52,68

On a dosé :

Azote total.	13,40
Cendres.	35,60

Comme les 13,33 de chaux pour constituer du phosphate tribasique n'exigeraient que 11,42 d'acide, 3,82 d'acide phosphorique étaient unis à d'autres bases.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

7,82 d'ammoniaque contiennent	6,44 d'azote.
L'azote total posé étant.	13,40
Il reste.	6,96

d'azote formant, pour la plus grande partie, de l'acide urique, c'est-à-dire près de 21 pour 100.— Un guano examiné par Fourcroy et Vauquelin en renfermait 25 pour 100.

Dans 100 parties d'un guano brun des îles de Chincha, conservé aussi depuis plusieurs années, à l'air libre, nous avons trouvé :

Acide phosphorique	12,5
Soit en phosphate de chaux tribasique. . . .	27,40
Sels autres que les phosphates	18,15
Sable.	1,20
Ammoniaque toute formée.	8,90
Azote total.	8,62

8,90 d'ammoniaque représentant 7,33 d'azote, et y avait dans ce guano 1,29 d'azote entrant probablement dans la constitution de l'acide urique.

	GUANOS DE			
	Lobos.	Pavillon de pica[1].	Ile de los Patos[2].	de Bolivie[3].
Matières organiques et sels ammoniacaux. .	46,10	33,50	32,45	23,00
Phosphate de chaux basique.	19,30	28,80	27,45	41,78
Acide phosphorique. .	3,71	2,70	3,37	3,17
Sels alcalins, etc.. . .	11,54	14,45	7,38	11,71
Silice et sable	2,55	5,05	2,55	7,34
Eau.	16,80	15,50	26,80	13,00
	100,00	100,00	100,00	100,00
Phosphate de chaux soluble.	8,03	5,85	7,30	7,20
Azote dosé	10,80	6,13	5,92	3,38
Représentant ammoniaque.	11,88	7,44	7,18	4,10

[1] Par 21° de latitude sud, sur la côte péruvienne (Nesbit).

[2] Près de la côte de la Californie.

[3] Gisement plus au sud que l'embouchure du rio Loa.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Voici les analyses de guanos provenant de deux points extrêmes de la côte orientale de l'océan Pacifique : de la Patagonie et de la Californie.

Guano de l'île Elide, près de la côte de Californie [1].

	I.	II.	III.
Matières organiques, etc.	34,50	33,00	27,37
Phosphate de chaux tribasique	24,05	25,97	14,35
Acide phosphorique	2,19	2,05	»
Phosphate de fer et d'alumine	»	»	13,80
Sels alcalins, etc.	7,16	10,18	»
Sulfate de chaux hydraté	»	»	9,46
Carbonate de chaux	»	»	3,12
Silice et sable	3,60	3,80	25,50
Eau	28,50	25,00	6,00
	100,00	100,00	100,00
Phosphate de chaux soluble dubasique	4,75	4,45	»
Azote dosé	6,98	5,71	1,34
Représentant ammoniaque	8,46	6,93	1,62

Guano des îles Falkland.

	I.	II.	III.
Matières organiques	23,68	18,00	17,35
Phosphate de chaux tribasique	20,28	20,12	16,61
Acide phosphorique	»	»	»
Phosphate de fer et d'alumine	3,76	5,50	4,85
Sels alcalins	4,90	9,31	»
Sulfate de chaux hydraté	4,45	9,87	29,14
Silice et sable	23,93	26,60	28,65
Eau	19,00	10,60	3,40
	100,00	100,00	100,00
Azote dosé	2,26	0,56	0,63
Représentant ammoniaque	2,74	0,68	0,77

Dans la mer Caraïbe, dans le golfe du Mexique, on a découvert plusieurs gisements assez importants de guano.

[1] Analyse de M. Nesbit.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	Ilot de Pedro-Key, côte de Cuba.	Côtes du Mexique [1]. I.	II.
Matières organiques	6,16	17,96	13,56
Phosphate de chaux tribasique	48,52	8,01	25,60
Sels alcalins	0,90	6,89	»
Chaux	0,85	»	»
Magnésie	1,09	»	»
Sulfate de chaux hydraté	1,92	9,51	10,86
Carbonate de chaux	21,71	1,82	46,14
Oxyde de fer et alumine	1,00	5,09	»
Silice et sable	0,45	38,38	0,60
Eau	17,40	12,34	3,24
	100,00	100,00	100,00
Azote dosé	0,28	3,45	0,21
Représentant ammoniaque	0,34	4,19	0,26

	Swan Islande.	Ile de Navasa entre la Jamaïque et Saint-Domingue [2].
Matières organiques, etc.	11,74	8,77
Phosphate de chaux tribasique	31,70	40,75
Phosphate de fer et d'alumine	2,25	27,71
Oxyde de fer et alumine	16,12	9,59
Sels alcalins, etc.	2,82	»
Sulfate de chaux hydraté	1,33	2,06
Carbonate de chaux	2,79	2,27
Silice et sable	22,15	5,85
Eau	9,00	3,00
	100,00	100,00
Azote dosé	0,25	0,21
Représentant ammoniaque	0,30	0,26

Comme termes de comparaison, je présenterai la composition de quelques guanos venus d'Afrique.

L'île d'Ichaboe dans la proximité de la côte ouest d'Afrique, à 400 milles au nord du cap de Bonne-Espérance, par 26° de latitude sud et 14° de longitude orientale, comptés de Greenwich, est habitée par une multitude de pingouins et de *gannets*.

Lors de la découverte du guano à Ichaboe on en estimait la quantité à plusieurs centaines de mille tonnes. Au commence-

[1] Analyse de M. Nesbit.

[2] Analyse de M. Nesbit.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment de son exploitation cette matière était d'excellente qualité; mais les importations postérieures ont consisté en excréments d'oiseaux récemment déposés et mêlés à des substances terreuses.

On a aussi importé en Europe des guanos de quelques autres points des côtes d'Afrique : des baies de *Saldanha* et d'*Algoa*.

Dans le guano d'Ichaboe de bonne qualité, importé en Angleterre immédiatement après la découverte du gisement, M. Nesbit a trouvé :

Matières organiques, etc.	41,52
Phosphate de chaux tribasique. . . .	20,08
Phosphate de magnésie	1,83
Phosphate de potasse.	4,71
Potasse.	1,05
Soude.	0,34
Chlorure de sodium	1,61
Sulfate de chaux hydraté.	2,28
Oxyde de fer et alumine.	0,48
Silice et sable.	0,44
Matières indéterminées	0,16
Eau.	25,50
	100.00
Azote dosé.	7,92
Représentant ammoniaque.	9,60

Dans le guano importé en 1858 on a dosé :

	I	II
Matières organiques.	17,50	17,49
Phosphate de chaux tribasique.	21,97	20,45
Chaux.	»	1,06
Magnésie.	»	2,43
Sels alcalins.	12,55	3,75
Sulfate de chaux hydraté.	»	5,17
Carbonate de chaux.	13,35	»
Oxyde de fer et alumine.	5,53	traces
Silice et sable.	15,60	33,65
Eau.	13,50	16,00
	100,00	100,00
Azote dosé.	2,89	3,07
Représentant ammoniaque.	3,51	3,72

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	Guano de Saldanha.	Algoa.
Matières organiques.	10,30	3,22
Phosphate de chaux tribasique.	13,96	10,10
Phosphate de magnésie	1,41	»
Phosphate de fer et alumine.	6,17	»
Sels alcalins.	0,90	»
Oxyde de fer et alumine.	1,47	»
Sulfate de chaux hydraté.	7,99	71,13
Silice et sable.	48,80	1,55
Eau.	9,00	14,00
	100,00	100,00
Azote dosé.	1,69	0,42
Représentant ammoniaque.	2,05	0,51

Les caractères des guanos dont les gisements sont éloignés des côtes du Pérou sont, comme l'analyse l'a constaté, une grande richesse en acide phosphorique et l'absence presque complète de matières azotées. Ce sont ces guanos qui, ayant été importés en Angleterre, comme étant d'origine péruvienne, causèrent une certaine perturbation dans les transactions ; car, quoi qu'on ait dit en leur faveur, l'unique élément utile qu'ils contiennent, le phosphate, ne saurait avoir la qualité, et par conséquent la valeur d'un guano ammoniacal, dans lequel il entre, indépendamment de l'acide phosphorique, de l'azote immédiatement assimilable par les plantes. Je n'en conteste pas néanmoins leur faculté fertilisante ; ils agissent comme phosphate, et leur emploi dans certaines circonstances pourra être très-avantageux. Je crois, d'ailleurs, qu'il serait facile de les rendre ammoniacaux, en procédant comme je l'ai fait sur quelques échantillons, en mettant à profit la propriété qu'ils possèdent, quand ils sont secs et en poudre, d'absorber une proportion d'eau qui va à 0,10, à 0,15, sans qu'ils cessent d'être pulvérulents.

J'ai commencé par déterminer, par un essai préliminaire, combien d'eau absorbaient 100 de guano terreux. J'ai trouvé 12. Alors j'ai incorporé 12 d'une dissolution saturée soit de nitrate de soude, soit de sulfate d'ammoniaque. Ce guano terreux, devenu *azoté*, pourrait être épandu sur le sol avec autant de facilité qu'un engrais pulvérulent quelconque. La mixture préparée avec le sulfate émettait une faible odeur ammoniacale à cause de l'humidité et de la présence du carbonate de chaux. Quand je

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

considère le bas prix des sels employés, je ne doute pas que l'on ne puisse avantageusement animaliser les guanos terreux et leur communiquer, à un certain degré, les qualités des guanos du Pérou.

Il y a quelques années, je reçus du gouvernement de la république de l'Équateur un guano découvert dans l'une des îles Galapagos. Un essai donna pour 100 parties :

Phosphate de chaux tribasique. . . .	60,3
Azote.	0,7
Sable et argile.	19,0

C'était une substance pulvérulente d'un jaune pâle, à peu près privée de substances azotées. Cependant, comme, d'après un rapport que l'on m'avait adressé, son action comme engrais était bien plus favorable qu'on n'aurait dû l'attendre du phosphate seul, j'eus l'idée d'y rechercher l'acide nitrique, et j'y trouvai, en nitrates, l'équivalent de 3 de nitrate de potasse pour 100. Or, il n'est pas douteux que 60 kilogrammes de phosphate, additionnés de 3 kilogrammes de salpêtre, n'aient sur la terre un effet bien autrement avantageux que le même phosphate exempt d'azote assimilable. Ainsi étaient expliqués les effets qu'avait produits le guano terreux des îles Galapagos.

Depuis, j'ai rencontré l'acide nitrique dans tous les guanos que j'ai pu examiner, dans les guanos ammoniacaux du Pérou comme dans les guanos terreux. Voici le procédé suivi pour constater la présence de cet acide:

Le guano pulvérisé est mis en digestion à froid pendant vingt-quatre heures dans de l'alcool à 80 degrés centésimaux. La liqueur alcoolique est évaporée au bain-marie; le résidu est repris par un peu d'eau dans laquelle il est facile de reconnaître les nitrates soit par le cuivre et l'acide sulfurique, soit par l'indigo [1].

Nitrates exprimés en nitrate de potasse dans 1 kilogr. de guano :

Guano du Pérou.	4,70	grammes
— des îles de Chincha.	3,80	—
— des îles de Chincha.	1,10	—
— guano blanco	2,75	—

[1] Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 1er semestre, année 1859.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Guano du Chili.	6,00	grammes
— terreux des îles Jervis.	5,0	—
— des îles Baker.	3,2	—
— du golfe du Mexique.	0,1	—
— de chauves-souris d'une grotte des Pyrénées	20,0	—

On voit que dorénavant dans l'examen chimique des guanos et particulièrement des guanos terreux, il conviendra de rechercher les nitrates, puisque dans l'acide de ces sels il entre de l'azote assimilable que l'on n'y soupçonnait même pas.

J'ajouterai que le guano de Galapagos, dénué de matières organiques, présente l'association du phosphate de chaux avec du nitrate, et que les bons effets de ce mélange sur la végétation justifient pleinement les vues que j'ai présentées sur l'association des phosphates naturels, des coprolithes avec le nitrate de soude du Pérou, comme moyen de constituer un engrais énergique qui renfermerait deux des éléments les plus importants des engrais : l'acide phosphorique et l'azote assimilable.

Les guanos terreux que je viens de mentionner à l'occasion des nitrates qu'ils renferment appartiennent à ces matières phosphatées que depuis quelques années la marine des États-Unis va chercher dans des îles de l'océan Pacifique. Les îles Baker et Jervis, dans lesquelles on a surtout trouvé des gisements fort importants de ces guanos, sont situées sous l'équateur (latitude sud 0° 3') et à 150 à 160 degrés à l'ouest du méridien de Greenwich. Elles sont formées de coraux, sans eau douce, sans végétation ; leur sol ne s'élève pas au delà de quelques mètres au-dessus du niveau de la mer. Leur superficie est peu étendue, et elles sont fréquentées par des oiseaux qui y séjournent pendant la nuit. Aux excréments déposés par les *guanaes*, s'ajoutent les débris de poissons, de tortues apportés pour la nourriture des petits, et les restes des oiseaux qui viennent y mourir. Dans l'île Jervis, les détritus sont recouverts par une croûte d'un centimètre d'épaisseur. Dans l'île Baker, le dépôt est pulvérulent, et il est vraisemblable qu'il serait beaucoup plus abondant si, en raison de sa ténuité, le vent n'avait pas d'action sur lui. Je n'ai pas trouvé d'acide urique dans ces matières, mais des nitrates, comme je l'ai dit, et des débris d'herbes marines. Dans le guano de l'île Baker, il y a des masses aussi dures que de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pierre, dont M. Bobierre a déterminé la proportion en même temps qu'il en a donné la composition.

Dans 258 kilogrammes de ce guano expédié à Nantes il y avait :

Matière pulvérulente.	157 kilog.
En fragments.	96 —
Perte pendant l'opération.	5 —
	258 kilog.

M. Bobierre a trouvé pour 100 :

	Dans la matière pulvérulente.	Dans les morceaux.
Phosphate de chaux . . .	43,2	73,0
Sulfate de chaux.	30,0	5.0
Sable.	2,0	1,0
Eau et matière organique.	20,8	18,5
Complément et perte. . .	4,0	2,5
	100,0	100,0

M. Barral a obtenu d'un échantillon de ce même guano :

Acide phosphorique.	37,97
Acide sulfurique.	1,02
Chlore	0,24
Chaux,.	39,43
Sable et argile.	0,20
Matières organiques.	9,53
Magnésie et perte	1,18
	100,00

Le guano terreux de l'île Jervis contiendrait :

	I[1]	II[2]
Posphate de chaux.	60,0	69,00
Sulfate de chaux..	10,5	3,25
Matières organiques	15,0	20,25
Sable.	1,5	0,25
Sels alcalins.	»	0,25
Eau,.	13,0	6,00
	100,0	100,00

[1] Analyse de M. Bobierre.

[2] Analyse de MM. Tesmacher et Smith.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Depuis, M. Liebig a fait un examen très-approfondi des guanos de ces deux îles[1]; « sous le microscope, ils offrent un aspect « très-différent. Le guano Baker présente des grains arrondis, « transparents, blanc-jaunâtre et brunâtre; on y distingue de « très-petites verrues, parmi lesquelles on reconnaît des cristaux « de phosphate-ammoniaco-magnésien; la poudre du guano « Jervis apparaît poreuse et à vives arêtes comme de la pierre « ponce pulvérisée, d'une couleur blanc-jaunâtre. La partie « principale du guano Baker est du phosphate de chaux mé- « langé d'un peu de plâtre; le guano Jervis contient près de la « moitié de plâtre. »

Comme moyenne de plusieurs analyses, M. Liebig adopte pour la composition des deux guanos :

	Guano Baker.	Guano Jervis.
Acide phosphorique	40,270	17,601
Magnésie	2,207	0,638
Phosphate de fer	0,126	0,160
Chaux	43,379	34,839
Acide sulfurique	0,941	37,021
Chlore	0,132	0,203
Potasse	0,171	0,256
Soude	0,676	0,232
Ammoniaque (Az. H. O.)	0,068	0,039
Acide nitrique	0,451	0,313
Substances organiques. Azote	0,862	0,534
Substances organiques. Carbone	3,096	2,458
Substances organiques. Hydrogène	3,800	3,000
Sable	0,009	0,617
Eau volatilisable à 100 degrés	3,945	12,118
	100,133	100,259

Ou, pour le guano Baker :

Phosphate de chaux tribasique (PO^4, 3 CaO)	78,798
Phosphate de magnésie	6,125
Phosphate de fer	0,126
Sulfate de chaux	0,134
Acide sulfurique, potasse, soude, chlore, matières organiques et eau	14,950
	100,133

[1] Munich, juillet 1860.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour le guano Jervis :

Phosphate de chaux tribasique (PO^5, 3 CaO). . . .	17,397	33,43
Phosphate de chaux duobasique (PO^5, 2 CaO). . .	16,026	
Phosphate de magnésie.	1,241	
Phosphate de fer	0,160	
Sulfate de chaux.	44,549	
Acide sulfurique, potasse, soude, chlore, matières organiques et eau.	20,886	
	102,259	

La grande différence qui existe entre la constitution du guano ammoniacal des îles de Chincha, par exemple, et celle des guanos terreux des îles Baker et Jervis, est d'autant plus étonnante que l'on sait que même dans les régions équinoxiales il pleut très-peu en mer, à une grande distance des côtes. Un navigateur qui a fréquenté ces parages m'a assuré que la pluie est en effet très-rare. Serait-ce par un effet des lames de mer déferlant dans les gros temps sur ces îlots, qui, dans certaines *huaneras*, altèrent si profondément les guanos du Pérou? Mais alors pourquoi y a-t-il si peu de chlorure de sodium dans les guanos Baker et Jervis?

Je ne sais s'il convient de ranger parmi les guanos des matières extrêmement riches en acide phosphorique recueillies principalement dans le golfe du Mexique, introduites en Angleterre, aux États-Unis sous la dénomination de *phosphatics-guanos*, et qu'on exploite principalement dans l'île de Sombrero, par 18° 35' de latitude nord et 63° 28' à l'ouest de Greenwich, non loin de l'île Saint-Thomas. Le gisement consiste en une falaise de 10 à 12 mètres de hauteur, qui s'étend sur toute la longueur de la côte. En moins de deux années on en a extrait plus de 70,000 tonnes. La surface de l'île, de 1 mille carré, est recouverte d'un tuf siliceux sur une profondeur de 1 mètre, au milieu duquel on trouve le phosphate dans lequel j'ai dosé des nitrates en faible proportion. Dans ce dépôt l'on rencontre des troncs d'arbres pétrifiés, des empreintes de coquilles marines, des débris de mammifères.

M. Nesbit donne pour la composition de ce produit :

Matières organiques.	6,90
Acide phosphorique.	36,35
Représentant phosphate de chaux	78,76

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Chaux.	32,30
Magnésie.	0,29
Sulfate de chaux hydraté.	0,51
Carbonate de chaux.	4,58
Oxydes de fer et alumine.	13,37
Sels alcalins.	0,20
Silice	1,00
	100,00
Azote dosé	0,14
Représentant ammoniaque.	0,17

Le guano ammoniacal du Pérou, choisi dans les meilleures qualités, pris dans le même dépôt, présente néanmoins des différences dans sa composition, dans sa teneur en azote ou en ammoniaque. Cependant, il est hors de doute que, pour les échantillons analysés en Europe, ces différences tiennent souvent à une altération de la matière, même en faisant abstraction des falsifications. Le guano exposé à l'air perd continuellement du carbonate d'ammoniaque, et quand par suite d'avaries subies pendant la navigation il a été mouillé, cette perte devient très-forte. Aussi la compagnie commise à Londres pour la vente de ce produit a-t-elle soin de trier les parties plus ou moins avariées de ceux qui ont échappé aux éventualités résultant d'un transport par mer, en les classant sous trois dénominations : *altérée, très-altérée, mouillée,* en les considérant comme guanos de qualités inférieures dans lesquels la proportion d'azote est amoindrie, soit par le fait de la volatilisation de l'ammoniaque, soit par un accroissement d'humidité. Dans un même chargement, M. Nesbit a dosé dans 100 parties de guano :

	Non altéré.	Altéré.	Très-altéré.	Mouillé.
Azote.	14,3	11,3	9,9	8,4

J'ajouterai que l'élimination de l'ammoniaque a certainement lieu par une exposition prolongée à l'air libre. Ainsi, deux échantillons de guano des îles de Chincha d'excellente qualité, après être restés pendant plusieurs années sur la tablette d'une armoire, ne contenaient plus pour 100 que 8,05 et 8,65 d'azote. Quand il n'a pas subi d'avarie et qu'il a été conservé en vase clos, l'on peut admettre en moyenne que le guano ammonical renferme de 13 à 15 d'azote pour 100.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Voici un relevé des dosages d'azote dans le guano ammoniacal parvenus à ma connaissance :

Origines.	Azote dans 100 part.	Autorités.
Angamos.	17,2	Nesbit, moyenne de 8 dosages.
Iles de Chincha	14,3	Nesbit, moyenne de 15 dosages.
Iles de Chincha	14,0	Boussingault.
Iles de Chincha	13,1	Boussingault.
Pérou, sans autre désignation.	13,4	Payen et Boussingault.
Pérou, sans autre désignation.	13,3	Girardin.
Pérou, guano blanco	16,9	Girardin.
Huanera de Pabellon de Pica.	6,0	Nesbit, moyenne de 3 dosages.
Ile de Lobos, Pérou.	7,5	Nesbit, moyenne de 2 dosages.
Bolivie.	3,7	Nesbit, moyenne de 15 dosages.
Chili.	5,2	Nesbit.
Chili.	3,3	Girardin, moyenne de 4 dosages.
Patagonie.	2,2	Girardin, moyenne de 4 dosages.
Patagonie, îles Falkland. . .	1,9	Nesbit, moyenne de 10 dosages.
Californie.	4,4	Nesbit, moyenne de 4 dosages.
Afrique : île d'Ichaboe . . .	4,0	Nesbit, moyenne de 6 dosages.
baie de Saldanha. .	1,0	Nesbit, moyenne de 5 dosages.
Océan pacifique : île Baker . .	0,6	Nesbit.
île Jervis . .	0,3	Barral.
île Jervis . .	0,4	Nesbit.
île Galapagos.	0,7	Boussingault.
Antilles.	0,2	Nesbit, moyenne de 12 dosages.
Australie, baie de Schark. . .	0,6	Nesbit, moyenne de 3 dosages.

En considérant ces résultats dans leur ensemble, on voit ressortir ce fait, que les *huaneras* fournissent deux sortes de produits : le guano ammoniacal, mélange de phosphates terreux, d'urates, de sels à base d'ammoniaque, et le guano terreux formé essentiellement de phosphate de chaux et à peu près dénué de matières organiques azotées.

Il semble d'ailleurs évident que les guanos terreux et les guanos ammoniacaux ont une même origine : les déjections et les dépouilles des oiseaux de mer. La disparition de l'ammoniaque est due probablement à des circonstances locales, telles que l'abondance et la fréquence des pluies qui favorisent naturellement la décomposition des substances organiques et la dissolution des sels à base d'ammoniaque.

La partie du littoral de la mer du Sud où gîte le guano am-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moniacal offre, en effet, cette particularité, que, sur une étendue considérable, depuis Tumbes jusqu'au désert d'Atacama, la pluie est pour ainsi dire inconnue, tandis qu'en dehors de ces limites, au nord de Tumbes, dans les forêts impénétrables et marécageuses du Choco, il pleut presque sans interruption. A Payta, placé au sud de cette province, lorsque je m'y trouvai, il y avait dix-sept ans qu'il n'avait plu. Plus au sud encore, à Chocopé (lat. 7° 46' S.), on citait comme un événement mémorable la pluie de 1726; il est vrai qu'elle dura pendant quarante nuits, car elle cessait pendant le jour.

La rareté des pluies dans ces contrées est attribuée à la permanence et à l'intensité des vents S.-S.-E. C'est en mai et juin qu'ils soufflent avec le plus de force. Le ciel est alors d'une admirable pureté; la température baisse par l'effet de ces courants d'air venus des régions polaires australes, qui annoncent la fin de l'été (*verano*).

Il n'y a pas d'orage sur cette côte péruvienne. Un habitant de Piura, de Séchura, s'il n'a pas voyagé, n'a aucune idée du tonnerre. Cependant, on se tromperait singulièrement si l'on s'imaginait que la sécheresse est permanente sur le littoral. Pendant plusieurs mois la terre est abreuvée sans recevoir de pluie; les vallées, les coteaux se couvrent de verdure. C'est qu'il arrive une époque où le vent des régions australes est remplacé par un vent du nord à peine perceptible, si faible qu'il a tout juste la force nécessaire pour faire mouvoir une girouette, pour agiter les banderoles des navires; c'est une légère agitation de l'air, un calme indécis indiquant que la brise S.-S.-E a cessé. A partir de ce changement, de juillet à novembre, l'atmosphère prend un aspect tout différent, que le vent, en reprenant peu à peu avec mollesse la direction normale S.-S.-E., ne modifie qu'avec lenteur. On est alors en hiver (*invierno*). A la vive lumière dont le pays était inondé a succédé un demi-jour qui attriste l'esprit. Le ciel est voilé par un épais brouillard; ce n'est plus que rarement, pendant quelques éclaircies, que l'on aperçoit le soleil; régulièrement, entre dix heures et midi, de la vapeur vésiculaire s'élève et se maintient à une certaine hauteur où elle devient un nuage. Pendant ce mouvement ascensionnel, une partie du brouillard se résout en bruine, en *garua* qui mouille la terre à la manière de la rosée. Les *garuas*, c'est l'expression indienne,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ne sont jamais assez abondantes pour rendre les chemins impraticables, pour pénétrer les vêtements les plus légers; mais par leur persistance elles introduisent dans le sol assez d'eau pour le rendre fertile, pour le maintenir dans un état convenable d'humectation quand le vent du sud, reprenant son impétuosité, les chasse et s'oppose à leur apparition. D'ailleurs, sur des points heureusement assez nombreux du littoral, l'aridité est seulement à la surface; à une certaine profondeur, l'on rencontre une nappe aquifère dont l'origine est dans la Cordillère. Les eaux pluviales que reçoivent les montagnes des Andes, à moins d'être extrêmement abondantes, ne parviennent pas toujours jusqu'à la mer; durant un parcours de vingt à trente lieues, elles sont absorbées par le sable, et, comme cela a lieu à Piura, à Séchura, pour les trouver, il faut creuser le lit des torrents desséchés. C'est à la fois à cette imbibition d'un sol arénacé et à la fréquence des bruines ou *garuas* que le pays compris entre Tumbes et le Chili doit de ne pas être un désert sur toute son étendue.

C'est précisément dans cette zone où la pluie est assez rare pour être considérée comme un événement, entre Payta et le rio Loa, que sont situés les gites de guano ammoniacal. Au delà plus au nord, comme plus au sud de ces points extrêmes, le guano exposé aux pluies tropicales est généralement dépourvu d'ammoniaque, de sels solubles; un sel insoluble a résisté, c'est le phosphate de chaux, la base et le caractère des guanos terreux.

Pour que le guano ait été accumulé en aussi énormes quantités dans les *huaneras*, il a fallu le concours de circonstances aussi favorables à sa production qu'à sa conservation : un climat d'une sécheresse exceptionnelle sous lequel les oiseaux n'aient pas à se garantir de la pluie; des accidents de terrains offrant des crevasses, des anfractuosités, où ils pussent reposer, pondre et couver à l'abri des fortes brises du sud; enfin une nourriture telle qu'ils la trouvent dans les eaux qui baignent la côte péruvienne. Nulle part au monde le poisson n'est plus abondant. Il arrive quelquefois, pendant la nuit, comme j'en ai été témoin, qu'il vient échouer vivant sur la plage en nombre prodigieux, sans que la mer soit agitée, comme s'il voulait échapper à la poursuite d'un ennemi [1].

[1] Les requins sont fort communs dans ces eaux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Un des navigateurs espagnols qui accompagnèrent les académiciens français à l'équateur, Antonio de Ulloa, rapporte que « les anchois sont en si grande abondance sur cette côte qu'il « n'y a pas d'expression qui puisse en représenter la quantité. Il « suffit de dire qu'ils servent de nourriture à une infinité d'oi- « seaux qui leur font la guerre. Ces oiseaux sont communément « appelés *guanaes*, parmi lesquels il y a beaucoup d'*alcatras*, « espèce de cormoran, mais tous sont compris sous le nom gé- « néral de *guanaes*. Quelquefois, en s'élevant des îles, ils forment « comme un nuage qui obscurcit le soleil. Ils mettent une heure « et demie à deux heures pour passer d'un endroit à un autre, « sans qu'on voie diminuer leur multitude. Ils s'étendent au- « dessus de la mer et occupent un grand espace; après quoi, ils « commencent leur pêche d'une manière fort divertissante : « car, se soutenant dans l'air en tournoyant à une hauteur assez « grande, mais proportionnée à leur vue, aussitôt qu'ils aper- « çoivent un poisson ils fondent dessus la tête en bas, ser- « rant les ailes au corps, et frappant avec tant de force qu'on « aperçoit le bouillonnement de l'eau d'assez loin. Ils repren- « nent ensuite leur vol en avalant le poisson. Quelquefois « ils demeurent longtemps sous l'eau, et en sortent loin de « l'endroit où ils s'y sont précipités; sans doute parce que le « poisson fait effort pour échapper et qu'ils le poursuivent, dis- « putant avec lui de légèreté à nager. Ainsi on les voit sans « cesse dans l'endroit qu'ils fréquentent; les uns se laissant « chevir dans l'eau, les autres s'élevant; et comme le nombre en « est fort grand, c'est un plaisir que de voir cette confusion. « Quand ils sont rassasiés, ils se reposent sur les ondes; au « coucher du soleil ils se réunissent, et toute cette nombreuse « bande va chercher son gîte. On a observé, au *Callao*, que les « oiseaux qui se gîtent dans les îles et les îlots situés au nord de « ce port vont dès le matin faire leur pêche du côté du sud, et « reviennent le soir dans les lieux d'où ils sont partis. Quand ils « commencent à traverser le port on n'en voit ni le commence- « ment ni la fin [1]. »

La rareté des pluies, comme la prédominance des vents du sud, l'abondance extraordinaire du poisson et des oiseaux pê-

[1] *Ulloa*, tome I, page 486.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cheurs sur ces côtes n'avait pas échappé à l'attention des premiers Espagnols qui foulèrent le sol péruvien. Un des historiens qui fut aussi un des acteurs de la conquête, *Agustino Zarate*, écrivait au seizième siècle : « Ceux qui ont soigneusement examiné la « chose prétendent que la cause naturelle de ce phénomène « (le manque de pluie) est le vent du sud qui règne pendant « toute l'année sur les côtes et dans la plaine, où il souffle avec « tant de violence qu'il emporte les vapeurs qui s'élèvent de la « terre et de la mer sans qu'elles puissent monter assez haut en « l'air pour s'y rassembler et former des gouttes de pluie. Le « même vent est aussi la cause qui fait que les eaux de la mer « du sud courent toujours vers le nord, ce qui rend si difficile « la traversée de Panama au Pérou. . . . . .

« Dans la vallée où Lima est situé, ajoute *Zarate*, le séjour y « est fort agréable parce que l'air est si tempéré qu'en aucune « saison on n'est incommodé par le froid ou par la chaleur. « Pendant les quatre mois durant lesquels on a l'été en Espagne, « l'on sent à Lima un peu plus de fraîcheur qu'il n'en fait dans « le reste de l'année, et il y tombe alors le matin, jusque vers « midi, une sorte de rosée menue, à peu près comme les brouil- « lards que l'on voit à Valladolid. . . . . .

« Tout le long de la côte, on y trouve des poissons de toutes « espèces, surtout des veaux marins, qui sont la pâture des vau- « tours. Il y a aussi des oiseaux nommés alcatras, ressemblant « à nos poules ; ils sont fort communs puisqu'on les observe par- « tout sur un espace de plus de 2,000 lieues ; ces oiseaux se « nourrissent de poissons de mer [1]. »

Sous un climat aussi constant, sur un sol que l'action érosive des météores aqueux ne modifie pas, sur des plages où les marées sont à peine perceptibles, où l'on ne voit nulle part des dunes envahissantes, l'aspect de la nature est immuable. En 1832, sur ces rivages baignés par l'océan Pacifique, j'assistais à ces mêmes scènes qu'avaient décrites Ulloa, Fraiziers et, bien avant eux, Zarate. Des alcatras, des phenicopterus, des ardéas, se livraient à la pêche comme sous le règne des Incas. A Piura l'on trouvait encore de l'eau en creusant dans le lit du torrent desséché. A Chocopé il n'avait pas plu depuis quatre-vingt-huit ans. Le

[1] Zarate, *Histoire de la Conquête du Pérou*, tome I.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rio Tumbes entrait dans la mer avec le même calme, et peut-être qu'en cherchant bien on aurait reconnu sur ses bords les traces laissées par cette poignée de soldats intrépides qui le franchirent en 1531 pour exécuter, avec un éclatant succès, l'entreprise la plus audacieuse qu'on ait jamais tentée; les bandes de Pizarre et d'Almagro avaient passé par là pour aller s'emparer du Pérou, et pas un de ces hardis compagnons ne daigna jeter un regard sur ces inépuisables gisements de salpêtre, sur ces *huaneras* dont l'importance dépasse aujourd'hui celle des mines les plus productives du nouveau monde.

Les intéressants travaux géodésiques que M. Francisco de Rivero a exécutés en 1844, par ordre du gouvernement péruvien, ont donné pour la surface et pour le contenu des *huaneras :*

HUANERAS DU SUD.	Surface en varas carrées.	Varas cubiques de guano.
Chipana	46,767	561,204
Huanilos	158,242	3,825,010
Punta de lobos. . .	138,576	2,921,580
Pabellon de Pica . .	240,801	5,950,000
Puerto ingles . . .	129,251	2,585,020
	713,637	15,842,814

HUANERAS DU CENTRE.		Superficie en varas carrées.	Varas cubiques de guano.
Iles de Chincha :	du nord. .	557,551	15,200,000
—	du milieu .	531,925	12,900,000
—	du sud . .	360,748	8,400,000
		1,450,224	36,500,000
Huaneras de viejas, carretta, balesto, estimé à			60,000
			36,560,000
En réunissant ces nombres on a pour le guano existant en 1844 .			52,402.814
Pour le guano d'extraction impossible, ou pour le guano enlevé avant 1844			6,157,186
Guano ayant existé dans les huaneras.			58,560,000

On a trouvé pour le poids de la *vara* cubique de guano :

1,200 livres espagnoles.
1,400 — —
1,600 — —

Un guano gris obscur a même pesé 1,700 livres.

Si, comme il est vraisemblable, ces pesées ont été prises sur du guano extrait, elles sont certainement trop faibles, car la ma-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tière avait dû foisonner ; en place, elle devait peser davantage. Quoi qu'il en soit, nous accepterons 1,400 livres espagnoles pour le poids de la *vara* cubique de guano, soit 645 kilogrammes.

Ainsi on aurait :

Pour le guano existant en 1844	338	millions de quintaux métriq.
Pour le guano ayant existé dans les huaneras.	378	—

Dans cette évaluation ne sont pas compris les gisements au sud du rio Loa, parce qu'ils appartiennent au Chili, ni ceux que l'on connaît au nord des îles de Chincha jusqu'à Payta, où je les ai vus reposer sur des schistes noirs argileux dont les sommets paraissaient couverts de neige.

Généralement les *huaneras* appartiennent à l'État. Leur exploitation fut concédée à une compagnie, *la Société péruvienne*, avec le privilége d'en vendre le produit pour le compte du gouvernement. En Angleterre, depuis 1842, la consommation du guano a été en augmentant :

Années.	Quantités importées en tonnes [1].	Années.	Quantités importées en tonnes.
1842	20,400	1850	116,920
1843	30,000	1851	243,010
1844	104,250	1852	129,890
1845	283,300	1853	123,170
1846	89,200	1854	235,110
1847	82,390	1855	305,060
1848	74,410	1856	191,500
1849	83,440		

Le guano importé ne provenait pas en totalité des *huaneras* du Pérou :

	1846	1847	1848	1849	1850	1851
	—	—	—	—	—	—
	Tonnes.	Tonnes.	Tonnes.	Tonnes.	Tonnes.	Tonnes.
Guano du Pérou. . . .	22410	57760	61055	73567	95080	199730
Guano d'autres proven.	66790	24630	10359	9871	21840	43280
Total. . . .	89200	82390	74414	83438	116920	243010

En France, la consommation du guano a été bien loin d'atteindre ces chiffres. D'après le tableau du commerce général avec les colonies et les puissances étrangères publié par l'administration des douanes dans la période décennale commençant avec l'année 1846, on a :

[1] *Statistic of the united kingdom.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Années :	1846.	3,130 tonnes[1].
	1847.	1,506
	1848.	5,383
	1849.	3,523
	1850.	1,429
	1851.	3,801
	1852.	9,244
	1853.	12,405
	1854.	12,449
	1855.	19,191
	Total.	72,061

En 1844, lorsque M. F. de Rivero exécutait ses travaux topographiques, on a vu qu'il y avait dans les *huaneras* près de 36 millions de tonnes de matières, et comme l'exportation de 1846 à 1851 a été de 509,579 tonnes[2], ou 532,000 tonnes si l'on y comprend l'année 1845, il restait, en 1852, dans les *huaneras* plus de 35 millions de tonnes de guano. Actuellement la principale exploitation a lieu dans les îles de Chincha, où il devait y avoir en 1844 36,500,000 *varas* cubiques, soit 23,542,500, et en 1852 à peu près 23 millions de tonnes de guano. Si, comme on l'assure, l'extraction annuelle s'est élevée dans ces derniers temps à 330 mille tonnes, les gîtes seraient épuisés en une soixantaine d'années. On porte à 900 le nombre des travailleurs des îles de Chincha, et dans ce nombre on compte 300 ouvriers appartenant à cette race chinoise qui paraît destinée à faire librement en Amérique l'ouvrage des esclaves.

Les gisements de guano sont tellement considérables que l'on a douté qu'ils fussent bien réellement formés par des excréments d'oiseaux appartenant à l'époque actuelle. Humboldt était très-enclin à les considérer comme antédiluviens, comme des amas de coprolithe ayant conservé leur matière organique originelle. Il reculait devant l'âge qu'il faudrait assigner à ces dépôts, dont l'épaisseur atteint quelquefois 30 mètres, parce qu'il supputait qu'en trois siècles les déjections des oiseaux qui fréquentent les îles de Chincha ne dépasseraient pas une épaisseur d'un centimètre.

[1] La tonne de 1000 kil.

[2] En adoptant pour l'année 1845 la quantité exportée en 1846.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. F. de Rivero croit, au contraire, que cette prodigieuse accumulation de guano est tout naturellement expliquée par la multitude des *guanaes*, désignés sur les côtes du Pérou sous les noms de : *piqueros*, *sarcillos*, *gaviotas*, *alcatraces*, *pajaros-niños*, *patillos*, etc. Si aujourd'hui, dit-il, malgré la persécution qu'ont soufferte et que souffrent encore les *guanaes*, on en voit néanmoins des milliards sur les récifs ou sur les sommets escarpés des îlots, qu'était-ce avant l'occupation du Pérou par les Européens, lorsqu'ils étaient, pour ainsi dire, les seuls habitants du littoral? Il ajoute que pour concevoir la formation du guano des îles de Chincha, évalué à 500 millions de quintaux espagnols, il suffit d'admettre, ce qui n'a rien d'exagéré, qu'un *guanaes* rend chaque nuit une once d'excrément et que toutes les vingt-quatre heures 264 mille de ces oiseaux fonctionnent dans les *huaneras*. En 6,000 ans, M. F. de Rivero ne va pas au delà par égard pour la date du déluge, le guano déposé pèserait 361 millions de quintaux, et l'on ne doit pas oublier qu'aux déjections se sont ajoutées nécessairement les dépouilles des oiseaux. 264 mille *guanaes* habitant à la fois les îles de Chincha est un nombre que l'on ne répugne aucunement à accepter quand on a vu se mouvoir ces nuées de volatiles dont, pour employer l'expression de Ulloa, « on n'aperçoit ni le commencement ni la fin, » qui font naître l'obscurité, et, en rasant la surface de la mer, empêchent un navire de manœuvrer. Ce nombre peut d'ailleurs subir une sorte de contrôle. Les *guanaes* ne pêchent que pendant la journée; la nuit ils se retirent dans les *huaneras*; dans l'hypothèse de M. F. de Rivero, les îles de Chincha en recevaient 264 mille; la question est donc de savoir si la place ne leur manquerait pas. Or, la surface de ces îles est de 1,450,224 *varas* carrées; un *guanaes* y pourrait donc disposer de 5 *varas* 6/10, soit à peu près 4 mètres carrés, sur lesquels il se trouverait parfaitement à l'aise.

Que le guano appartienne à l'époque actuelle ou qu'il ait été déposé à une époque antérieure, toujours est-il qu'il représente une masse énorme de substances organiques ayant appartenu aux habitants de l'Océan, et comme les déjections dérivent des aliments, les poissons détruits par les oiseaux pêcheurs en ont été la matière première; tous les éléments enfouis dans les *huaneras* ont incontestablement fait partie de leur organisme, et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

il n'est pas impossible d'estimer la quantité de poisson qui a été consommée.

En négligeant ce qu'un oiseau de mer dissipe pendant la combustion respiratoire, l'on est autorisé à croire que la presque totalité de l'azote de la nourriture se retrouve dans les déjections et, par conséquent, dans le guano ammoniacal, qui n'est autre chose que la déjection conservée par l'effet des circonstances particulières sur lesquelles j'ai insisté précédemment. L'albumine, l'acide urique ont donné lieu sans doute à une production d'ammoniaque, ou ont éprouvé d'autres modifications dans lesquelles se trouve l'azote qui entrait dans les fèces des *guanaes*, et, par conséquent, dans le poisson digéré par ces oiseaux. Un poids donné de guano ammoniacal aura donc pour équivalent un certain poids de poisson dans lequel il entrera la même quantité d'azote.

Le guano du Pérou, quand il vient d'être extrait, lorsqu'il n'est pas avarié, renferme, comme nous l'avons vu, en moyenne, environ 14 pour 100 d'azote.

Des recherches que j'ai faites il y a quelque temps m'autorisent à admettre que le poisson, à sa sortie de la mer, contient 2,3 d'azote pour 100[1].

Ainsi 100 kilogrammes de guano contiendraient l'azote de 600 kilogrammes de poisson de mer, et comme dans les *huaneras*, avant qu'on eût poussé aussi activement leur exploitation, il y avait 378 millions de quintaux métriques de guano, on aurait pour équivalent 2,268,000,000 de quintaux de poisson de mer.

Telle a dû être, en effet, l'énorme quantité de poissons dévorés, dans le cours des siècles, par une suite de générations non interrompues de *guanaes*; et les 53 millions de quintaux d'azote qui s'y trouvaient avaient réellement appartenu à l'atmosphère; car l'azote, comme je l'ai énoncé depuis longtemps, n'a pas d'autre gisement primitif[2].

Les êtres organisés ont dans leur constitution, indépendamment des sels minéraux, du carbone, les éléments de l'eau et de

[1] Le poisson entier, non vidé, était desséché à l'étuve, pulvérisé et analysé.

[2] Boussingault, *Annales de chimie et de physique*, 2e série, tome LXXI, page 116. Année 1839.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'azote. Le carbone, dans les carbonates, dans le graphite appartient aux plus anciennes formations ; le carbone pur, le diamant, accompagne l'or et le platine dans les détritus du granit, du gneiss, de la syénite. L'eau, d'après les belles expériences de MM. de Sénarmont et Daubré, a joué un rôle important dans le métamorphisme des terrains cristallins.

Des éléments de l'organisme, l'azote est donc le seul qu'on ne trouve pas fixé dans les roches d'origine ignée; nous ne le voyons apparaître que dans les dépôts sédimentaires, là ou il y a des vestiges d'êtres ayant végété ou respiré sur la terre, et tout nous porte à croire qu'il n'a pénétré dans les tissus des plantes, et, par suite, dans les tissus des animaux qu'après avoir été transformé en acide nitrique ou en ammoniaque, états sous lesquels on le rencontre habituellement dans l'atmosphère.

Comme les houillères, comme les dépôts tourbeux, comme les diluvium à ossements et à coprolithes, les *huaneras* recèlent, en les tenant en quelque sorte sous le séquestre, des matériaux des anciens mondes, que l'homme, dans son incessante activité, fait entrer dans le monde moderne.

En fertilisant un champ avec leurs produits, on métamorphose en aliments les excréments des oiseaux de mer; de même que, en brûlant des combustibles minéraux, on restitue à l'atmosphère du carbone, de la vapeur aqueuse, de l'azote qu'en avait soustrait la végétation propre à l'époque houillère. C'est ce qu'exprimait avec autant d'esprit que de vérité un illustre ingénieur anglais, G. Stephenson, en voyant avancer à toute vitesse un convoi sur un des nombreux chemins de fer qu'il avait créés : « Ce ne sont pas, disait-il, ces puissantes locomotives dirigées par nos habiles mécaniciens qui font marcher ce train, c'est la lumière du soleil, la lumière qui, il y a des myriades d'années, a dégagé le carbone de l'acide carbonique, pour le fixer dans des plantes qu'une révolution du globe a ensuite modifiées en houille. »

Les restitutions des anciens mondes n'ont pas lieu seulement envers l'océan aérien, mais aussi envers le sol. Les *huaneras* renferment des substances minérales, parmi lesquelles figure le phosphate calcaire; dans le guano le plus ammoniacal d'Angamos ou des îles de Chincha, il n'y en a pas moins de 25 pour 100; les guanos terreux en sont presque entièrement formés, et l'on peut,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sans aucune exagération, estimer le phosphate de chaux de ces gisements à 95 millions de quintaux métriques, de quoi former le système osseux de quatre billions d'hommes[1], et, cependant, ce n'est réellement là qu'une parcelle des phosphates répartis dans les divers étages de la série géologique. Dans le guano tout le phosphate a nécessairement pour origine le poisson consommé par les *guanaes*, ou, en prenant les choses de plus loin, la terre; ce qui a fait dire à M. Élie de Beaumont, avec une grande justesse de vue, que, dans les êtres organisés, « l'azote vient d'en haut et le phosphore d'en bas. »

Les matériaux accumulés dans ces ossuaires des temps primitifs que l'on rencontre dans le calcaire jurassique, dans le calcaire néocomien, dans les grès verts, dans les cavernes anciennement habitées par des générations de carnassiers, les coprolithes n'ont offert jusqu'en 1847 qu'un intérêt purement scientifique; mais aussitôt que la chimie eut signalé leur richesse en acide phosphorique, l'on comprit que, dans certaines limites, ils devaient agir comme le guano. Dès lors on les rechercha avec ardeur. Aujourd'hui l'agriculture européenne reçoit ces phosphates des extrémités du monde : des îles de l'océan Pacifique, de la mer Caraïbe, du golfe du Mexique, des côtes de l'Afrique et de l'Australie; pour s'en procurer, les navigateurs abordent des bancs de coraux, des récifs qu'ils évitaient autrefois comme de dangereux écueils.

Qu'il me soit permis, en terminant, de constater que ce grand mouvement commercial qui a pour résultat la diffusion des matières fertilisantes a eu pour unique impulsion une observation faite par un géologue éminent, le docteur Buckland, et les analyses si remarquables de l'un des membres les plus distingués de l'Académie des sciences, M. Berthier.

[1] D'après une donnée de notre savant confrère, M. Jobert de Lamballe.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DU COMMERCE ET DES TRAVAUX PUBLICS.

COMMISSION DES BLÉS D'ÉGYPTE[1].

RAPPORT

DE M. PAYEN, Président,

A SON EXCELLENCE M. LE MINISTRE DE L'AGRICULTURE, DU COMMERCE ET DES TRAVAUX PUBLICS.

Monsieur le Ministre,

Au commencement de l'année 1856, Votre Excellence a nommé une commission dont elle m'a fait l'honneur de me confier la présidence, et qu'elle a chargée de rechercher le parti que l'on peut tirer des blés d'Égypte, au point de vue de l'alimentation,

[1] Cette commission, instituée par décision du ministre en date du 8 janvier 1856, était ainsi composée :

Président : M. Payen, membre de l'Institut.

Membres : MM. le colonel Favé, aide de camp de l'empereur;
Foubert, chef du bureau des Subsistances;
Salone, directeur de la boulangerie centrale de l'Assistance publique;
Moisez, sous-intendant militaire;
Poggiale, pharmacien inspecteur, membre du Conseil de santé des armées;
Laperlier, officier principal de l'administration des Subsistances militaires.

Secrétaire : M. Robert de Massy, rédacteur au bureau des Subsistances.

M. le sous-intendant Moisey, nommé intendant, a été successivement remplacé par MM. Pagès, Wolf et Viguier.

Les autres membres n'ont pas cessé de prendre part aux travaux de la commission.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et spécialement d'examiner s'il serait possible d'améliorer la qualité de ces blés, en vue de leur application à la fabrication du pain en France.

Les études auxquelles la commission devait se livrer étaient surtout destinées à éclairer l'administration de la guerre sur les ressources qu'elle pouvait attendre, pour le besoin de son service, des blés d'Égypte, dont l'extrême infériorité avait été constatée par une commission instituée en 1855 par M. le ministre de la guerre.

De 1856 à 1859 la commission a procédé à une triple série d'opérations qui ont eu pour objet d'observer expérimentalement divers échantillons de blé d'Égypte que Votre Excellence a bien voulu mettre à sa disposition. Les résultats partiels de ces travaux ont été soumis à Votre Excellence dans trois rapports successifs que j'ai eu l'honneur de lui adresser les 29 avril 1856, 4 novembre 1857, et 30 juin 1859.

Cette année, la commission a continué ses travaux, et son examen a porté sur des blés d'origine européenne cultivés en Égypte, et sur des blés d'origine égyptienne également récoltés dans ce pays.

Les faits nouveaux que ces dernières études ont fait ressortir ont permis à la commission de coordonner et de compléter ses observations antérieures; et bien qu'elle ne puisse encore formuler des conclusions définitives sur les diverses questions que Votre Excellence a soumises à son examen, elle a pensé qu'il pouvait être utile de vous présenter dans leur ensemble les divers résultats généraux qu'elle a déjà constatés, en lui signalant les divers points qui restent à élucider.

Tel est, Monsieur le Ministre, l'objet du présent rapport dans lequel je commencerai par retracer un résumé des travaux de la commission depuis son origine.

Résumé des opérations de la commission de 1856 à 1860.

Les premières opérations de la commission ont eu lieu du mois de janvier au mois d'avril 1856.

Pendant cette période, les essais ont porté sur deux lots de blé, de 10 quintaux chacun, fournis, l'un par l'administration militaire, l'autre par le commerce[1].

[1] Ce dernier lot avait été acheté à l'entrepôt Boulard, situé à la Villette.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces deux lots de blés présentaient des caractères communs : ils étaient couverts d'un enduit terreux, contenaient un assez grand nombre de grains creux, étaient mélangés de graines étrangères, et particulièrement d'orge; ils répandaient une odeur à la fois putride et aromatique toute particulière. Ces défectuosités, d'ailleurs très-sensibles dans le lot de blé du commerce, apparaissaient à un moindre degré dans les blés de l'administration militaire; et cette différence de qualité entre les deux lots de blé d'Égypte s'est manifestée dans tout le cours de cette première série d'épreuves.

Conformément aux indications de Votre Excellence, la commission, avant de moudre les blés, les soumit à un lavage énergique suivi de dessiccation rapide; cette double opération fut accomplie dans un appareil spécial désigné sous le nom de *Machine Maupeou*. Le lavage à grande eau donna de très-bons résultats, et la commission a toujours considéré cette opération comme indispensable pour épurer convenablement les blés d'Égypte. La commission a appris, du reste, depuis cette époque, que le lavage était communément pratiqué dans le pays, et que, lors de l'expédition d'Égypte, on avait reconnu la nécessité de laver le blé, avant la mouture, pour le rendre propre à la panification.

Quant à la dessiccation rapide opérée par la machine Maupeou, elle a paru à la commission présenter le grave inconvénient de communiquer au blé une odeur sulfureuse assez prononcée, et cette considération l'a empêchée de recourir à cet appareil dans les opérations subséquentes.

La commission prit encore la précaution de débarrasser, avant la mouture, le blé d'Égypte des graines étrangères dont il était engagé. Elle se servit, dans ce but, du *Trieur Vachon*.

Pendant la mouture, qui a été faite au moulin d'essai de la boulangerie de l'Assistance publique, les blés d'Égypte ont exhalé une odeur particulière, qui s'est manifestée avec plus d'intensité dans le blé du commerce que dans celui de la manutention militaire; le rendement en farine, qui a été de 78 p. 100 du blé pour le second lot, n'a été que de 72 centièmes pour le premier lot.

Les farines obtenues ayant été soumises à des essais et analyses chimiques, il a été constaté qu'elles étaient *courtes*, c'est-à-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dire manquant de liant ou de cohésion, qu'elles contenaient une faible proportion de gluten, et que ce gluten était peu élastique.

A la panification on a vu se reproduire les différences de qualité déjà observées pour les deux lots de blé; il a été fait un essai avec la farine de l'administration militaire, employée seule, et un autre, avec la même farine mélangée par moitié, avec la farine ordinaire du commerce.

Le pain fait avec la farine d'Égypte seule manquait de développement, était compacte, *fendait*[1] difficilement, et présentait encore, quoiqu'à un très-faible degré, une odeur et une saveur particulières. Cependant, il s'est trouvé assez satisfaisant pour qu'on ait pu le distribuer aux bureaux de bienfaisance.

Le pain fait avec un mélange, par moitié de farine d'Égypte, de la manutention militaire, et de farine ordinaire, se rapprochait beaucoup plus du pain de Paris; M. le directeur de la boulangerie de l'assistance publique a pu, sans donner lieu à aucune réclamation, le faire passer dans son service.

La farine d'Égypte livrée par le commerce a donné des résultats beaucoup moins satisfaisants. Le pain fait avec cette farine seule était tellement défectueux, qu'il a été impossible d'en tirer parti pour l'alimentation de l'homme; on l'a employé à la nourriture des animaux.

Un mélange de 0,8 de farine ordinaire avec 0,2 de cette farine du blé d'Égypte n'a pu suffire pour faire disparaître ces défectuosités, et pour obtenir un pain susceptible d'être livré dans le service de l'Assistance publique, on a dû effectuer un mélange de 0,1 seulement de farine d'Égypte avec 0,9 de farine ordinaire.

Il résultait de ces premières expériences que les blés d'Égypte, d'une qualité toujours très-inférieure à celle des blés de France, présentaient entre eux des différences très-importantes dont le commerce et l'administration devaient tenir compte.

[1] L'un des caractères d'après lesquels les boulangers reconnaissent la bonne qualité des farines consiste dans la facile et régulière production des *pains fendus*, exigeant, en effet, des propriétés suffisamment adhésives et extensibles dans le gluten, afin, d'une part, que la *fente* imprimée par la pression du bras de l'homme se maintienne, et, d'un autre côté, que les deux lobes du pain se gonflent et s'arrondissent à la cuisson.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La commission, supposant que le peu de soin apporté à la récolte et au dépiquage de ces blés pouvait exercer une certaine influence sur leur qualité, pensa qu'il serait très-important de parvenir à écarter ces causes d'altération et d'examiner ces blés en eux-mêmes, en dehors de toutes les circonstances qui pouvaient en produire la détérioration.

Dans ce but elle exprima le vœu que Votre Excellence voulût bien faire venir d'Égypte, par l'intermédiaire de nos agents consulaires, des blés en épis envoyés immédiatement après la récolte. Elle priait en même temps Votre Excellence de vouloir bien réclamer de ces fonctionnaires des renseignements détaillés sur la culture du blé en Égypte.

Au mois de septembre 1857, Votre Excellence soumit à la Commission des échantillons de blé envoyés par M. le consul général de France à Alexandrie, dans les conditions indiquées en 1856 par la commission. Les blés provenant de la haute et de la basse Égypte se divisaient ainsi :

1° Blé de la haute Égypte, ou Saïdi.
   I. Espèce Dacca youssefi (blé dur);
   II. Espèce Ahmera (blé dur);
   III. Espèce Toale.

2° Blé de la basse Égypte, ou Béhéri.
   I. Espèce Neaede;
   II. Espèce Sebaqui.

M. le consul général d'Alexandrie, en transmettant ces échantillons, signalait une supériorité notable, sous le rapport de la qualité, des blés de la haute Égypte, ou Saïdi, sur les blés de la basse Égypte, ou Béhéri. Cette supériorité a été, en effet, constatée dans les essais de la commission.

Les échantillons de blé d'Égypte envoyés par M. le consul général de France à Alexandrie présentaient, toutefois, des signes d'altération et d'échauffement très-manifestes ; un très-grand nombre de grains étaient attaqués par les insectes, et la commission a dû tenir compte de cette circonstance dans ses appréciations.

La petite quantité de blé mise à la disposition de la commission n'a pas permis de traiter ces grains par les procédés industriels ordinaires.

Les épis ont été égrenés et vannés à la main ; la mouture a été

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

faite au moyen des petits moulins du système Boucher. Du blé fourni par la boulangerie centrale de l'Assistance publique a été moulu avec le blé d'Égyte, afin de pouvoir faire avec la farine provenant de ce blé et avec les farines d'Égypte des expériences comparatives de panification.

Les blés d'Égypte ont dégagé à la mouture une odeur analogue à celle constatée dans les précédentes opérations. Il a été également reconnu que les farines provenant de ces blés ne contenaient pas de gluten élastique, quoique leur richesse en matière azotée fût égale à celle du blé de France.

Le pain fabriqué avec les farines d'Égypte s'est trouvé dans des conditions assez peu satisfaisantes. A l'extérieur, la croûte était brunâtre, grincheuse, sillonnée de nombreuses fissures; le pain était très-compacte et très-peu développé; à l'intérieur la mie était serrée, facile à désagréger; la nuance était jaunâtre pour les blés provenant de la haute Égypte, et présentait quelque analogie avec la couleur du pain de maïs. Le pain fait avec le blé de la basse Égypte avait une nuance brune.

Tous ces pains exhalaient une odeur particulière rappelant celle de la féculerie, et avaient un goût âcre fort désagréable.

Mais ces défectuosités étaient beaucoup plus apparentes dans les pains faits avec les farines de la basse Égypte qu'avec ceux provenant des blés de la haute Égypte.

La petite quantité de blé dont disposait la commission n'a pas permis de varier les proportions de farine dans la fabrication du pain, comme elle l'avait fait dans les expériences de 1856.

En analysant les pains fabriqués dans les conditions qui viennent d'être indiquées, je constatai dans ces produits la présence d'une substance dont l'odeur, présentant une certaine analogie avec celle du sulfure de carbone, me parut de nature à communiquer au pain le goût et l'odeur qui avaient été reconnus.

Cette observation me fit penser que l'on pouvait étuver utilement la farine avant de la convertir en pain, afin de la débarrasser de cet élément d'altération.

La commission n'avait plus à sa disposition qu'une très-faible portion d'un des échantillons de blés envoyé par M. le consul général d'Alexandrie; mais cet échantillon appartenait à l'une des espèces reconnues les plus inférieures (blé de la basse Égypte,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

espèce Neaede) ; l'étuvage auquel cette farine fut soumise donna de bons résultats; après l'opération, la farine avait presque entièrement perdu son odeur caractéristique, et le pain que l'on obtint était beaucoup plus développé et beaucoup plus satisfaisant, sous le rapport du goût et de la qualité, que le pain fabriqué avec la même farine non étuvée.

Un second essai d'étuvage fut pratiqué sur un reste de farine provenant des expériences de 1856, qui se trouvait dans un état de profonde altération causée par l'échauffement et par les ravages des insectes. Ce second essai ne fut pas moins favorable que le premier: la farine perdit son odeur aromatique et putride, et la qualité du pain fut sensiblement améliorée.

D'après les résultats de cet essai, la commission a été amenée à penser que l'opération de l'étuvage pratiquée sur les farines provenant des blés d'Égypte était de nature à améliorer la qualité de ces farines, et à permettre d'obtenir un pain plus rapproché du pain de la boulangerie ordinaire.

Toutefois, la commission considère les épreuves qu'elle a faites sous ce rapport comme d'une trop faible étendue pour être entièrement concluantes : car jusqu'à présent des accidents d'expérience ou l'exiguïté des échantillons soumis à son examen n'ont pas permis de les renouveler.

La commission ne reprit qu'au commencement du mois de mai 1859 les travaux qu'elle avait interrompus à la fin de l'année 1857.

Dix quintaux de blé envoyés d'Égypte par M. le consul général d'Alexandrie furent à cette époque l'objet de son examen; ces dix quintaux, composés de blés de la basse et de la haute Égypte reconnus comme les meilleurs dans les épreuves de 1857, se divisaient ainsi, savoir : blé Saïdi 5 quintaux, blé Béhéri blanc 2 quintaux, blé Béhéri rouge 2 quintaux.

Ces blés, arrivés en grains dans des barils soigneusement conditionnés, suivant les indications de la commission, se trouvèrent dans un état de conservation beaucoup plus satisfaisant que ceux provenant des envois antérieurs, et ne présentaient aucune trace d'avarie. L'odeur caractéristique se manifestait encore quoique très-affaiblie ; elle existait surtout dans le Béhéri rouge, était moindre dans le Béhéri blanc, et était à peine sensible dans le Saïdi. Cette odeur était devenue seulement aromatique, et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

n'avait pas le caractère putride et nauséabond qui avait été observé précédemment.

La commission a soumis ces trois lots de blé à des opérations successives, consistant : 1° en un double nettoyage énergique opéré dans les appareils du moulin d'essai ; 2° en un lavage à grande eau, suivi d'une dessiccation lente accomplie par un séchage à l'air que facilitèrent des pelletages répétés; 3° enfin dans un décorticage effectué au moyen de l'appareil de M. Lefevre-Chabert.

Ces diverses opérations ont présenté des résultats favorables, et ont eu surtout pour effet de diminuer, et de faire même presque entièrement disparaître des pains l'odeur particulière constatée dans le blé ; mais la farine présentait toujours ce trait caractéristique de ne contenir qu'une faible proportion d'un gluten peu élastique.

Un accident d'expérience n'a pas permis d'employer dans des conditions convenables la farine de blé de Saïdi à la fabrication du pain.

Les épreuves de panification ont porté exclusivement sur les farines de Béhéri blanc et de Béhéri rouge; chacune de ces farines a été employée soit seule, soit après avoir été mélangée par moitié avec la farine ordinaire des hospices.

Le pain fabriqué avec les farines seules, quoique plus satisfaisant, sous le rapport de la qualité, que ceux faits dans les essais précédents, a été considéré comme tout à fait impropre à entrer dans l'alimentation de Paris. Toutefois, le pain fait avec la farine de Béhéri blanc était notablement supérieur à celui de la farine de Béhéri rouge ; l'infériorité du premier de ces produits, comparativement au pain de Paris, a paru être due principalement au peu d'élasticité de la farine.

Le pain fait avec un mélange, à parties égales, de farine ordinaire et de farine de Béhéri blanc a semblé très-acceptable, quoique d'une qualité inférieure à celle du pain de première qualité de Paris.

Mais le pain fabriqué avec la farine de Béhéri rouge mélangée par moitié avec la farine ordinaire n'a pas paru pouvoir rivaliser avec le pain de deuxième qualité de Paris; il présentait pour la saveur et l'apparence quelque analogie avec le pain de seigle.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans tous ces pains, l'odeur de terroir était presque entièrement dissipée.

Ces dernières opérations tendaient à confirmer les premières observations de la commission, en ce qui concernait la différence à établir, sous le rapport de la qualité, entre les diverses espèces de blé récoltées en Égypte.

Elles démontraient de nouveau l'efficacité et la nécessité des épurations à faire subir au blé avant la mouture.

Enfin elles constataient l'impossibilité d'employer seuls, pour l'alimentation en France, les blés de provenance égyptienne, alors même que ces blés étaient dégagés de toute cause étrangère d'altération, et se présentaient dans de bonnes conditions de conservation.

Elles tendaient, en outre, à faire supposer que l'odeur aromatique et putride précédemment observée dans les blés d'Égypte avait une double origine; que l'odeur aromatique tenait au terroir, et que l'odeur putride était seulement causée par les altérations que le grain pouvait subir, soit au moment du dépiquage, soit dans les transports.

La commission, désirant étudier sous ce dernier point de vue les blés d'une manière plus approfondie, exprima le vœu que l'on fît semer, comparativement, du blé d'Égypte en France et du blé de France en Égypte, afin d'apprécier quelle pouvait être l'influence de la nature du sol dans les deux pays sur la qualité des blés respectivement semés dans l'un et dans l'autre.

Des échantillons de blé d'Égypte furent, en effet, semés à l'École impériale de Grignon et au Conservatoire impérial des arts et métiers; malheureusement ces essais, faits d'ailleurs sur une très-petite échelle, avortèrent complétement à Grignon, par suite de causes accidentelles. Au Conservatoire des arts et métiers, une portion seulement du blé d'Égypte arriva à maturité, et l'on put constater que le blé conservait la même apparence que le blé originairement venu d'Égypte, et que la farine en provenant restait encore très-pauvre en gluten élastique; de là on peut induire que ce dernier caractère semble inhérent à l'essence même du blé actuellement cultivé en Égypte.

Des blés de France de bonne qualité moyenne, choisis par les soins de M. le directeur de la boulangerie centrale de l'Assistance publique, furent transmis par Votre Excellence à M. le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

consul général d'Alexandrie, qui les fit cultiver par un agriculteur de ce pays.

Des échantillons de blé provenant de cette culture ont été envoyés par M. le consul général, qui a transmis en même temps les observations faites sur la végétation du blé par le cultivateur qui s'était chargé de diriger l'opération.

Le blé d'Égypte avait été semé comparativement avec le blé de France; le blé d'Égypte a mûri dans de très-bonnes conditions; Il n'en a pas été tout à fait de même pour le blé de France. D'abord ce blé à son arrivée en Égypte avait déjà subi une assez notable altération; en outre, la végétation ayant été beaucoup plus lente que celle des blés d'Égypte, le grain a été saisi par les vents brûlants du pays avant la maturation complète, et il s'est trouvé *échaudé*, puis desséché.

La commission a fait examiner ces échantillons des deux récoltes comparatives du blé d'Égypte et du blé de France par la Société impériale et centrale d'agriculture. Cette assemblée a déclaré que le blé de France semé et récolté en Égypte ne valait pas mieux que les criblures de nos blés ordinaires. Quant au blé d'Égypte, elle a remarqué que les grains étaient *bossus*, ce qu'elle a considéré comme un indice d'infériorité.

M. le consul général de France à Alexandrie avait joint à ces deux premiers échantillons deux autres, savoir :

1° Du blé d'Europe cultivé en Égypte sur les propriétés de Mustapha-Pacha.

2° Du blé d'Égypte cultivé dans ce pays d'après la méthode ordinaire.

La Société d'agriculture a considéré ce dernier échantillon comme inférieur à celui du blé d'Égypte cultivé expérimentalement avec le blé de France; le grain était maigre, sale et ridé.

Quant au blé d'Europe cultivé par Mustapha-Pacha, la Société d'agriculture l'a reconnu supérieur à tous les précédents; mais elle a pensé qu'il devait laisser beaucoup de déchet au nettoyage.

La commission, de son côté, a fait aussi sur ces blés des observations importantes.

Dans leur ensemble, les échantillons de blé d'Égypte lui ont semblé beaucoup plus satisfaisants que ceux qu'elle avait encore examinés. Ce fait a paru tenir surtout à ce que le grain était très-sain, et ne présentait aucune trace d'altération.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tous les blés, même ceux de France cultivés en Égypte, présentaient une odeur légèrement aromatique; cette odeur était toutefois plus prononcée dans les blés d'Égypte cultivés d'après la méthode ordinaire du pays et dans le blé récolté par Mustapha-Pacha. La commission, ayant reçu des gerbes tout entières de chaque espèce de blé, a remarqué que la terre qui restait adhérente à la tige exhalait une odeur tout à fait analogue à celle que présente le grain. L'analyse chimique a constaté, en effet, dans cette terre la présence d'une huile essentielle et aromatique dont l'odeur est très-forte. Il y a lieu de supposer dès lors que c'est du sol que provient l'odeur que l'on remarque dans le grain [1].

Tous les échantillons de blé soumis à la commission ont été moulus à la manutention militaire du quai de Billy au moyen d'un petit moulin à bras du système Bouchon; la petite quantité

[1] Voici les résultats de l'analyse que j'ai faite avec M. Billequin de la terre adhérente aux racines des blés venus d'Égypte, représentant mieux la composition de la terre à blé de ce pays que les analyses antérieures effectuées sur le limon du Nil.

TERRE D'ÉGYPTE.

Eau et matières organiques	13,65
Silice	46,90
Alumine	11,85
Carbonate de chaux	8,33
Carbonate de magnésie	5,95
Phosphate de chaux	0,33
Oxyde de fer	13,75
Corps non dosés et perte	1,20
	100,00

100 de terre ont donné par lévigations et décantations successives. 23,90

Portion tamisée au travers des	tamis 100	2,95
	id. 90	33,00
	id. 80	29,00
Eau, matières solides et perte		9,15
		180,00

On peut remarquer que, par sa composition, cette terre correspond aux divers sols fertiles; que d'ailleurs elle se compose de particules très-fines, puisque plus du quart de son poids peut être mis en suspension dans l'eau, plus des 0,6 passent au travers d'une toile métallique du n° 90 ou présentant 8100 ouvertures entre les fils de chaîne et de trame dans un carré de 27 kilomètres de côté.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de grain dont disposait la commission n'a pas permis de recourir aux moulins ordinaires.

L'analyse chimique à laquelle les farines ont été soumises a révélé un fait capital. La farine du blé de France cultivé en Égypte contenait une proportion de gluten élastique supérieure à celle que renferment les produits des blés de France ordinaires. Cette proportion de gluten sec était de 13,80, tandis que nos blés tendres n'en contiennent guère généralement plus de 10 p. 100, et la farine du blé de Dantzig de bonne qualité, fourni par la manutention militaire et moulu avec le moulin Bouchon, en même temps que les blés envoyés d'Égypte, n'en donna que 10,36 p. 100.

Le blé d'Europe cultivé par Mustapha-Pacha avait produit une farine contenant 9,68 pour 100 parties de gluten assez élastique à l'état frais, quoique moins extensible que le gluten du blé de France.

Les blés d'Égypte ne renfermaient que 7,60 et 8,12 p. 100 de gluten, proportion beaucoup moindre que celle des précédents, et ce gluten à l'état humide était très-notablement moins souple et moins élastique que celui des échantillons.

Le tableau synoptique ci-dessous résume les données expérimentales et les observations déduites de ces essais sur les farines des blés qui s'y trouvent designés.

	Gluten humide pour 100 de farine.	Gluten sec.	Vol. de 1 gr. de gluten à + 21°. Dans un tube de D. 0m,016.	Qualités et caractères du gluten.
N° 1. Blé de France cultivé en Égypte.....	46,88	13,80	6cc,3	Extensible, grisâtre, un peu fibreux et opaque.
N° 2. Blé d'Égypte cultivé comparativement avec le n° 1.....	19,88	7,60	3 ,7	Moins extensible, jaunâtre, plus fibreux.
N° 3. Blé d'Égypte cultivé dans le pays suivant l'usage ordinaire.....	23,20	8,12	4 ,1	Jaunâtre, moins extensible, un peu plus élastique.
N° 4. Blé d'origine européenne à épis sans barbe, cultivé chez Mustapha-Pacha.....	26,20	9,68	5 ,7	Grisâtre, plus extensible que le n° 1, moins que le n° 3, moins opaque que le n° 1.
N° 5. Blé de France moulu comparativement avec le blé d'Égypte.....	28,60	10,36	6 ,0	Blanc grisâtre, de tous le plus extensible, transparent, souple et élastique.

D'après ces diverses constatations, la commission a été conduite à penser que la faible proportion de gluten observée dans les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

blés d'Égypte, lors des précédents essais, et le défaut d'élasticité de ce gluten ne devaient pas être attribués au sol même, et que ces défectuosités paraissaient être dues à l'essence même ou à la dégénérescence du blé; que, conséquemment, on pourrait corriger, au moins en partie, ces inconvénients en renouvelant les semences.

De petits essais de panification ont été faits avec les farines provenant des quatre échantillons de blé envoyés d'Égypte et avec le blé de Dantzig moulu comparativement à l'aide du moulin Bouchon.

Les farines de blé de France cultivé en Égypte et du blé de Dantzig de la manutention militaire représentaient 80 °/₀ du poids du grain.

Les farines des autres blés, quoique moulues avec le même appareil et passées dans un tamis de même numéro, représentaient un rendement beaucoup moindre, savoir :

Farine de blé d'Égypte cultivé comparativement avec le blé de France	63,03 °/₀ du poids du blé.
Farine de blé cultivé d'après les usages du pays.	66,66
Farine de blé d'Europe cultivé par Mustapha-Pacha	55,55

Ce dernier résultat confirme les appréciations dont ce blé avait été l'objet de la part de la Société impériale d'agriculture.

Tous les pains faits avec ces farines, malgré la différence de blutage, avaient l'apparence de pain bis; les pains des blés d'origine égyptienne avaient seuls la couleur jaunâtre déjà signalée dans les produits de ces blés lors des précédentes expériences.

Il y avait d'ailleurs entre ces pains des différences essentielles sous le rapport de la qualité.

Le pain du blé de France était de beaucoup supérieur; il ne présentait ni goût ni odeur particuliers. La saveur et l'odeur caractéristiques des blés d'Égypte apparaissaient au contraire dans les deux échantillons des blés d'origine égyptienne; elles existaient aussi avec une plus grande intensité dans les pains du blé d'Europe cultivé chez Mustapha-Pacha.

Quant au pain du blé de Dantzig de la manutention militaire, il était plus satisfaisant que tous les autres, quoique sa nuance fût bise et grisâtre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Après avoir présenté à Votre Excellence l'ensemble des travaux de la commission depuis son origine, je vais résumer brièvement l'ensemble des appréciations qui ressortent des études auxquelles elle s'est déjà livrée ; j'indiquerai ensuite les divers points qui lui restent à élucider, avec les moyens qu'elle propose pour arriver à ce résultat [1].

II. APPRÉCIATIONS DE LA COMMISSION.

BLÉ.

Le blé d'Égypte examiné par la commission a toujours été regardé comme d'une qualité très-inférieure au blé de France ; il répand une odeur caractéristique désagréable. Lorsque le blé est en très-bon état de conservation, cette odeur est surtout aromatique ; quand le grain a subi quelque altération par suite d'échauffement, par les attaques des insectes ou par toute autre cause, l'odeur, en restant aromatique, devient en outre putride et nauséabonde. Le blé d'Égypte se trouve d'ailleurs fréquemment dans ce dernier cas par suite des avaries qu'il subit au moment du dépiquage et dans les transports soit du lieu de production au lieu d'embarquement, soit dans la traversée sur mer.

Le blé d'Égypte est en outre généralement recouvert d'un

[1] Depuis la lecture et l'adoption de ce rapport en séance de la commission, un document d'une importance réelle est parvenu à l'un de nous ; c'est l'opinion d'un homme très-intelligent, qui a une connaissance parfaite de l'Égypte, et qui se trouve complétement d'accord avec nous sur l'état de la question.

Il nous a semblé qu'à tous égards il importait de la mentionner ici. M. Clot-Bey, inspecteur général du service de santé de l'armée égyptienne, premier médecin de S. A. le vice-roi, qui a, pendant près de vingt-cinq ans, habité l'Égypte, a dit à M. Poggiale que, suivant lui, les blés d'Égypte sont les plus mauvais blés du monde. Il affirme, en outre, que les Européens ne consomment dans ce pays que des farines provenant en grande partie de France.

Un rapport du baron Desgenettes, adressé en 1801 au général en chef de l'armée d'Égypte, présentait aussi des conclusions conformes à celles du présent rapport, quoique moins complètes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

enduit terreux qui paraît être dû à l'influence du limon du Nil. Il est aussi fréquemment mélangé de grains étrangers, principalement d'orge, ainsi que de fèves et de graines étrangères, telles que l'ivraie, etc.

La commission croit devoir faire remarquer, d'ailleurs, qu'il existe des différences très-grandes, sous le rapport de la qualité, entre les diverses espèces de blé cultivées en Égypte. D'après les renseignements qui lui ont été fournis et les constatations directes qu'elle a faites, elle est conduite à penser que les blés de la haute Égypte sont généralement supérieurs à ceux de la basse Égypte.

La commission a employé avec succès, pour atténuer ces défectuosités, divers moyens d'épuration, savoir :

1° Le lavage à grande eau. Il a paru préférable de faire sécher le grain à l'air libre, plutôt que de l'étuver, la dessiccation rapide au moyen de l'appareil Maupeou ayant eu l'inconvénient de communiquer au grain une odeur sulfureuse. Le lavage paraît, d'ailleurs, une opération indispensable pour tirer un bon parti des blés d'Égypte, notamment pour éliminer les grains creux attaqués par les insectes, enlever l'enduit terreux et faire disparaître l'odeur. Cette opération, toutefois, exige beaucoup de soins et de précautions pour éviter que le blé ne s'échauffe ultérieurement.

2° Le triage du grain au moyen du *trieur Vachon*. Cette opération est destinée à séparer des grains les matières étrangères qui y sont mélangées.

3° Le nettoyage du grain dans les colonnes verticales, tarares ou autres appareils énergiques. Cette opération est celle que l'on fait toujours subir au grain avant de le moudre et ne présente rien de spécial.

4° Le décorticage des grains. Cette opération est d'un bon effet pour atténuer l'odeur du blé; mais il faut que l'enveloppe du grain soit entièrement enlevée, et que la fente surtout soit atteinte, circonstance qui n'est qu'imparfaitement réalisée dans les appareils actuels de décortication.

FARINE.

La commission a remarqué que le blé d'Égypte produisait généralement une proportion de farine panifiable inférieure à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

celle du blé ordinaire, et qu'il donnait à la mouture une plus grande quantité de son. Ainsi, dans les derniers essais de la commission, on a obtenu un rendement de 55 à 66, 70 de farine, tandis que le blé de France cultivé en Égypte et le blé de Dantzig moulus comparativement ont donné 80 p. 100 de farine. Ce faible rendement en farine concourt encore à établir l'infériorité du blé d'Égypte; il est de nature à faire attribuer à ce grain une valeur commerciale beaucoup moindre que celle des blés ordinaires. Il paraît utile d'appeler l'attention des administrations publiques et notamment de l'administration militaire sur ce point.

Dans tous les essais de la commission, on a reconnu que la farine du blé d'Égypte était pauvre en gluten et que le gluten qu'elle contenait était peu élastique.

Lorsque le blé a subi quelque altération par les attaques des insectes ou par échauffement, le gluten extrait de la farine est presque complétement dépourvu d'élasticité; lorsque le grain est sain et bien conservé, le gluten est encore peu extensible, bien qu'il le soit beaucoup plus que dans le premier cas.

Ce défaut d'élasticité du gluten de la farine a paru à la commission constituer l'un des traits caractéristiques des blés d'Égypte.

Toutefois, il résulte des essais récemment faits, et dont il a été rendu compte ci-dessus, que du blé de France cultivé en Égypte a produit une farine qui contenait une proportion de gluten supérieure à celle que renferme habituellement le blé de France, et que ce gluten était élastique et extensible presque au même degré que le gluten des farines de France.

La commission induit de ce fait que l'absence de gluten élastique dans les farines doit être inhérente à la nature même des blés ou à leur dégénérescence, et que l'on pourrait améliorer, sous ce rapport, les blés d'Égypte en renouvelant les semences.

La farine du blé d'Égypte exhale une odeur analogue à celle des grains eux-mêmes, quoique, en général, moins forte, mais cette odeur reparaît souvent au pétrissage avec plus d'intensité

Pour améliorer la qualité de la farine d'Égypte, à ce dernier point de vue principalement, la commission a employé utilement l'opération de l'étuvage. Toutefois elle ne peut recommander ce moyen d'épuration qu'avec certaines réserves, les expé-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

riences spéciales qu'elle a faites, sous ce rapport, ayant eu encore trop peu d'étendue pour être entièrement concluantes.

PAIN.

Le pain fait avec la farine de blé d'Égypte a été reconnu généralement plat, mat, peu levé, manquant de développement; la nuance en était bise ou jaunâtre suivant les espèces de blé; il exhalait une odeur particulière et avait une saveur désagréable; la mie était friable, facile à désagréger.

Ces défectuosités ne se sont pas toujours manifestées au même degré, et la commission a signalé dans le pain des différences de qualité correspondant à celles indiquées plus haut pour les blés.

Mais les pains qui se sont trouvés dans les conditions relativement les plus satisfaisantes étaient toujours très-notablement inférieurs au pain de première qualité, et pouvaient à peine être comparés au pain de deuxième qualité; d'après l'ensemble des résultats qu'elle a constatés, la commission est autorisée à déclarer que la farine de blé d'Égypte ne peut pas être employée seule pour la fabrication d'une bonne qualité de pain acceptable par les consommateurs français.

La commission a essayé de corriger l'imperfection de la farine d'Égypte en la mélangeant avec les farines ordinaires.

Pour obtenir une qualité de pain acceptable, la commission a dû, suivant la qualité des blés d'Égypte qu'elle a expérimentés, réduire dans ces mélanges la proportion des farines d'Égypte à la moitié, au cinquième et même au dixième. La proportion la plus forte qu'elle ait pu introduire a été la moitié du poids total.

VŒUX DE LA COMMISSION.

La commission ne considère pas les conclusions et les appréciations qui précèdent comme définitives; elle pense qu'elles doivent être confirmées par de nouvelles expériences faites sur une plus grande échelle que les dernières auxquelles elle s'est livrée.

La commission croit qu'il serait plus particulièrement utile de vérifier, à l'aide de nouvelles expériences, l'influence que peuvent exercer le lavage préalable du grain et l'étuvage de la farine.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il lui paraîtrait également intéressant de pouvoir apprécier si, comme les derniers essais tendent à le faire supposer, il serait possible d'améliorer la qualité des blés d'Égypte sur les lieux mêmes de leur culture en renouvelant les semences.

Afin de pouvoir étudier expérimentalement les divers points qui viennent d'être indiqués, la commission exprime le vœu que M. le consul général de France à Alexandrie soit prié de vouloir bien inviter M. Janovitch, le cultivateur qui a procédé aux essais de culture de cette année, à continuer l'année prochaine sur une plus grande échelle les mêmes épreuves.

Dans ce but deux hectolitres de blé de France choisis, l'un parmi les blés des environs de Paris, l'autre parmi les blés du Midi, dont la nature se rapproche davantage de celle du blé d'Égypte, seraient mis à la disposition de M. le consul général.

On devrait avoir soin d'envoyer ces blés dans des barils bien conditionnés et de mélanger avant l'emballage une minime quantité de sulfure de carbone, 5 à 6 grammes par hectolitre, afin de préserver les grains de toute altération dans le transport.

M. Janovitch serait invité à suivre la végétation de ce blé comparativement avec celle du blé d'Égypte cultivé en même temps, comme il l'a fait l'année dernière.

Il devrait rendre compte de tous les phénomènes de la végétation et envoyer l'année prochaine, aussitôt après la récolte, les produits des deux essais de culture.

M. le consul général d'Alexandrie pourrait joindre à cet envoi quelques quintaux de blé d'Égypte recueilli avec soin, aussitôt après la récolte.

Ces envois devraient être faits dans des barils bien conditionnés dans lesquels on verserait du sulfure de carbone, au moment de l'emplissage.

Il serait, en outre, utile, avant d'envoyer ces blés, de les soumettre préalablement à un criblage énergique, afin de les débarrasser de la terre qui y est ordinairement adhérente.

La commission exprime encore le vœu que le présent rapport soit transmis à M. le ministre de la guerre.

La commission pense que, dans le but d'éclairer l'administration militaire sur le parti qu'il est possible de tirer des blés d'Égypte pour l'alimentation, il serait désirable que les prochaines expériences à faire sous la direction de la commission reçussent

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une assez grande extension et portassent sur les diverses variétés de blé cultivées en Égypte.

Veuillez agréer, monsieur le Ministre, l'hommage de mon respect.

Le président de la commission,

PAYEN.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

BLÉS ET FARINES

EN 1860.

PAR M. PAYEN[1].

Les temps froids et la saison exceptionnellement humide de 1860 ont amené dans la maturation et la rentrée des grains des perturbations plus ou moins considérables, suivant les localités et les soins à la récolte.

Mais de l'excès même de ce mal passager plusieurs améliorations réelles ont surgi, durables sans doute, et d'un haut intérêt.

C'est ce que nous nous proposons ici d'établir en peu de mots.

Et d'abord l'adoption générale de la méthode qui garantira désormais nos moissons contre les chances parfois désastreuses des altérations que les pluies occasionnent.

Cette méthode, qui même employée par le beau temps, permet de moissonner quelques jours avant la maturité ultime, d'assurer la plus favorable maturation du grain après la mise en moyettes et prévient les déperditions dues à l'égrenage, ne se propageait que trop lentement dans nos campagnes, malgré les pressantes incitations des sociétés d'agriculture et des cent voix de la presse agricole par ses organes les plus accrédités. Il ne fallait rien moins qu'une nécessité suprême menaçant les récoltes d'une destruction totale pour vaincre les résistances et cette force d'inertie partout opposée aux progrès. Chaque fermier sait aujourd'hui, par sa propre expérience, comment on peut sauver les récoltes au milieu des intempéries les plus redoutables, comment, en tout cas, on peut abriter instantanément les produits, et se réserver tout le temps nécessaire aux opérations ultérieures de la mise en meules ou du battage. Cette utile pratique agricole, généralement appréciée, est enfin entrée dans le domaine des faits accomplis.

[1] Notice lue dans la séance générale de rentrée de la Société impériale et centrale d'agriculture de France, le 12 décembre 1860.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Deux autres améliorations non moins importantes au double point de vue des intérêts de l'agriculture et de l'hygiène se préparent, elles seront comptées un jour parmi les conséquences heureuses d'une de ces grandes nécessités qui rendent forcément les hommes industrieux. Ce n'était pas tout, en effet, d'avoir garanti les grains contre une altération rapide et profonde : la plupart se sont trouvés, après le battage, tellement humides encore, qu'il était difficile et, dans quelques localités, impossible de les moudre. Parmi ces derniers, il s'en trouvera sans doute une certaine quantité dont on ne pourra prévenir les altérations ni tirer parti autrement qu'en les livrant aux distilleries.

Ces divers inconvénients plus ou moins graves ne pourront heureusement compromettre la subsistance publique; mais ils se traduiront, chez un grand nombre de propriétaires ou de fermiers, en pertes ou retards de mouture assez préjudiciables à leurs intérêts pour fixer l'attention générale sur les moyens de se soustraire à de pareils dommages.

La dessiccation des blés, si utile d'ailleurs au point de vue d'une longue et complète conservation, constitue la base la plus certaine de la solution du problème; mais elle exige plusieurs conditions difficiles à remplir économiquement, faute d'ustensiles ou d'appareils convenables à la portée des cultivateurs ou susceptibles d'être assez rapidement construits pour qu'on les emploie à temps cette année.

Parmi les appareils qui assurent ainsi la conservation des grains avec toutes leurs qualités alimentaires et même leur propriété germinative, tout en chassant les insectes au dehors et effectuant la dessiccation par un courant d'air froid, on peut citer en première ligne le grenier rotatif Vallery[1], puis les silos aéra-

[1] Le premier rapport sur le grenier Vallery date du 8 janvier 1838; il relate des expériences faites dans le cours des deux années précédentes. Les commissaires de l'Académie des sciences, MM. Biot, Sylvestre, Dupin et Séguier (rapporteur), après avoir rappelé les systèmes de conservation des grains proposés par Duhamel, Cadet, Devaux, Dartigues, Clément-Desormes, Delacroix, Dejeau, Ternaux, qui tous ont échoué dans la pratique, démontrent que l'appareil rotatif, en produisant avec une grande économie les effets d'un pelletage continu et perfectionné, offre la solution complète du problème; qu'en effet il satisfait aux conditions suivantes :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

teurs, vases prismatiques en tôle trouée qui sont employés en Angleterre, et dans lesquels on détermine à volonté par un tube

1° Renfermer dans un égal espace quatre fois autant de grains que par la méthode usuelle;

2° Remuer parfaitement le grain avec la plus grande facilité sans entrer dans l'appareil et en faisant usage d'une force motrice quelconque;

3° Faire passer sur un courant d'air au travers de toutes les parties de la masse en mouvement;

4° Préserver les grains des atteintes des rongeurs et des insectes;

5° Empêcher toute rentrée des insectes dans l'appareil;

6° Maintenir constamment le grain dans un état parfait de salubrité;

7° Conserver le grain des années les plus humides et sécher même du blé accidentellement pénétré d'eau;

8° Rendre aux enveloppes du blé vieux la souplesse utile au succès de la mouture en faisant traverser toute la masse par de l'air très-humide;

9° Conserver avec économie les plus petits comme les plus considérables approvisionnements (le dessin est un modèle réduit de l'appareil qui a servi aux expériences sont dans les galeries du Conservatoire impérial des arts et métiers).

Toutes ces conclusions ont été confirmées par les résultats des expériences entreprises depuis lors et publiées au nom des Sociétés royales et centrales d'agriculture, le 28 mai 1832, et d'encouragement pour l'industrie nationale, le 27 février 1839. A la suite de ce rapport se trouvent dans le *Bulletin de la Société d'encouragement* les descriptions, plans et devis du dernier modèle construit représentant l'appareil d'une capacité totale de 1,400 hectolitres, et contenant 1,000 à 1,100 hectolitres de grains outre l'espace nécessaire à ses déplacements successifs Le devis, y compris une couverture pour l'abriter, ne s'élève qu'à 6,600 fr., à Paris, ou au plus 6 fr. 60 cent. par hectolitre de contenance utilisée, tandis que pour une égale contenance utile les greniers ordinaires exigent une dépense de 8 fr. 30 cent. dans la même localité.

Les rapports adoptés par le jury de l'Exposition nationale, en 1850, et des commissions de la marine et de la guerre ont été également favorables. Une association spéciale était disposée à entreprendre la conservation des grains pour le gouvernement et les particuliers, lorsque la mort de l'inventeur est venue entraver tous ces projets.

Aujourd'hui, notre confrère M. Séguier s'occupe de faire construire pour son usage un grenier mobile, et plusieurs agriculteurs se proposent de profiter de son exemple et de ses conseils pour se munir d'un semblable appareil et se garantir à son aide des graves altérations que l'humidité peut occasionner dans leurs approvisionnents.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

central, également percé de trous, une insufflation d'air froid à l'aide d'une soufflerie mécanique[1].

L'introduction chaque jour plus étendue des moteurs économiques et des machines diverses dans nos exploitations agricoles permettra d'y installer aussi et d'y faire fonctionner les agents auxiliaires de l'épuration et de la dessiccation des céréales; mais en attendant et surtout cette année, il faudra que chacun, dans l'intérêt de sa fortune et du bien-être général, s'ingénie avec une énergique persévérance à garantir ses grains contre toute altération spontanée soit au moyen des cribles, tarares et ventilateurs, soit par de fréquents pelletages, seul procédé efficace qui soit à la portée de tous.

Quoi qu'on fasse cependant, par suite de cet état des choses, une grande quantité de grains moulus encore humides donneront et ont donné déjà des farines plus chargées d'eau qu'elles ne le sont en moyenne dans les années ordinaires. Indépendamment de quelques difficultés qui en résulteront relativement à la mouture, des inconvénients de plusieurs genres se rencontreraient dans l'emmagasinement et l'emploi des produits; ils pourraient même acquérir une certaine gravité si des dispositions nouvelles, assez promptement réalisables, ne devaient se propager et n'eussent été déjà mises en pratique avec succès.

C'est là une innovation remarquable que je me suis proposé de signaler à l'attention publique : elle est intéressante à plus d'un titre, en effet, car elle semble devoir résoudre à la fois deux des grands problèmes qui préoccupent en ce moment l'administration, ainsi que les industries de la mouture et de la boulangerie. Il s'agit non-seulement d'assurer la conservation des farines et de régulariser leur rendement à la panification.

[1] On ne peut guère dessécher favorablement par un étuvage à l'air chaud que les blés superficiellement mouillés par un lavage rapide; encore ce moyen d'étuvage laisse-t-il beaucoup à désirer.

Quant aux grains devenus très-humides par l'effet des eaux pluviales, leur dessiccation ne saurait être rapidement effectuée; car toute la masse du périsperme étant mouillée, l'eau n'arrive que lentement de l'intérieur vers la superficie du grain qui seule reçoit l'action directe des courants d'air. On ne saurait d'ailleurs élever la température au delà de 45 à 50°, sans risquer d'altérer les blés en raison même de la plus forte proportion d'eau qu'ils renferment et qui déterminerait entre 50 et 100 la coagulation du gluten.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mais encore de prévenir les déperditions et les dangers résultant de diverses altérations spontanées des farines : attaques des insectes, fermentations et moisissures qui, surtout durant les années humides, occasionnent un notable déficit dans les quantités et la valeur nutritive de cette substance alimentaire.

La dessiccation des farines susceptible de réaliser tous ces avantages n'est pas chose nouvelle : on la pratique en grand dans quelques villes maritimes pour le commerce d'exportation, et plusieurs meuniers habiles l'ont introduite dans leurs opérations habituelles.

Mais les appareils construits en vue de l'effectuer étaient trop compliqués, les procédés trop incertains ou trop limités dans leurs effets pour répondre aux nécessités présentes; d'ailleurs on n'avait pas encore songé, que je sache, à régler invariablement les proportions de substance sèche et d'eau qui seules peuvent régulariser le rendement des farines usuelles[1] en pains de première et de deuxième qualité. Voici dans quelle direction et par quels moyens simples et efficaces ces importantes questions ont été abordées et résolues par un de nos ingénieurs habiles dans la construction des machines et ustensiles appliqués à plusieurs industries agricoles.

Après avoir reconnu que l'eau hygroscopique des farines varie cette année entre 25 et 12 centièmes, ce qui doit faire osciller leur rendement en pain blanc ordinaire entre 110 et 130, ou 133 pour 100 de leur poids, M. Touaillon s'est proposé de réduire la proportion d'eau à 6 centièmes du poids total, et de la maintenir régulièrement à ce taux auquel correspondrait un rendement également fixe des farines à la panification.

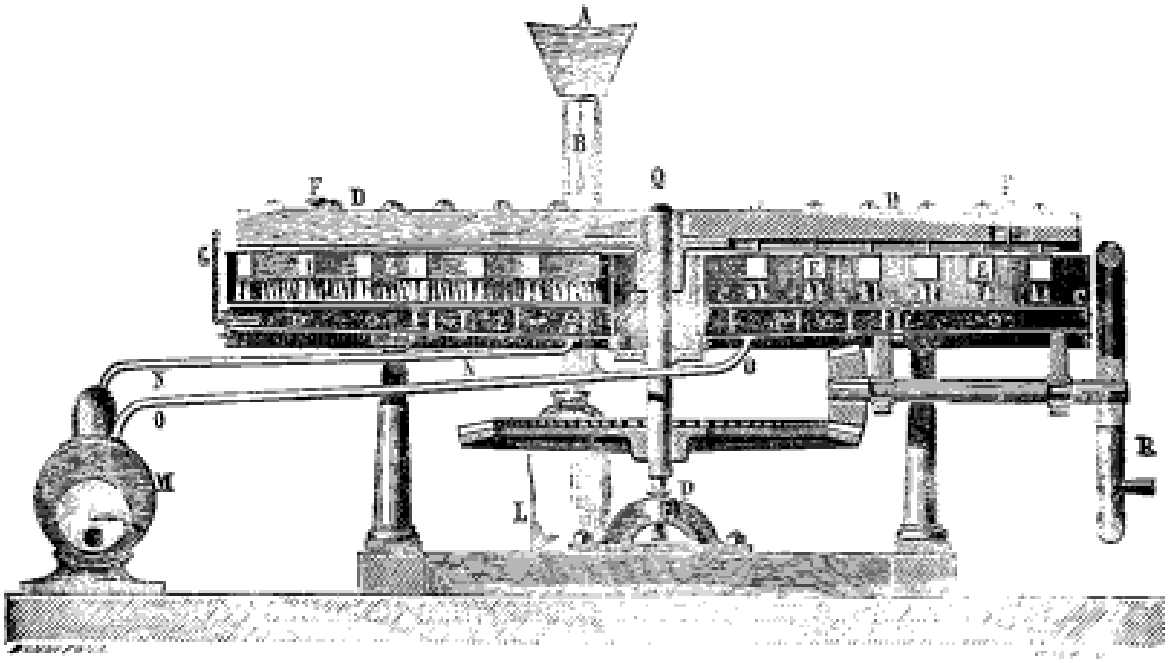
Le nouvel appareil construit pour atteindre ce but est composé d'un plateau en tôle forte de fer de 5 millim. d'épaisseur, étamé à sa superficie et bordé d'une hausse cylindrique en tôle mince intérieurement étamée.

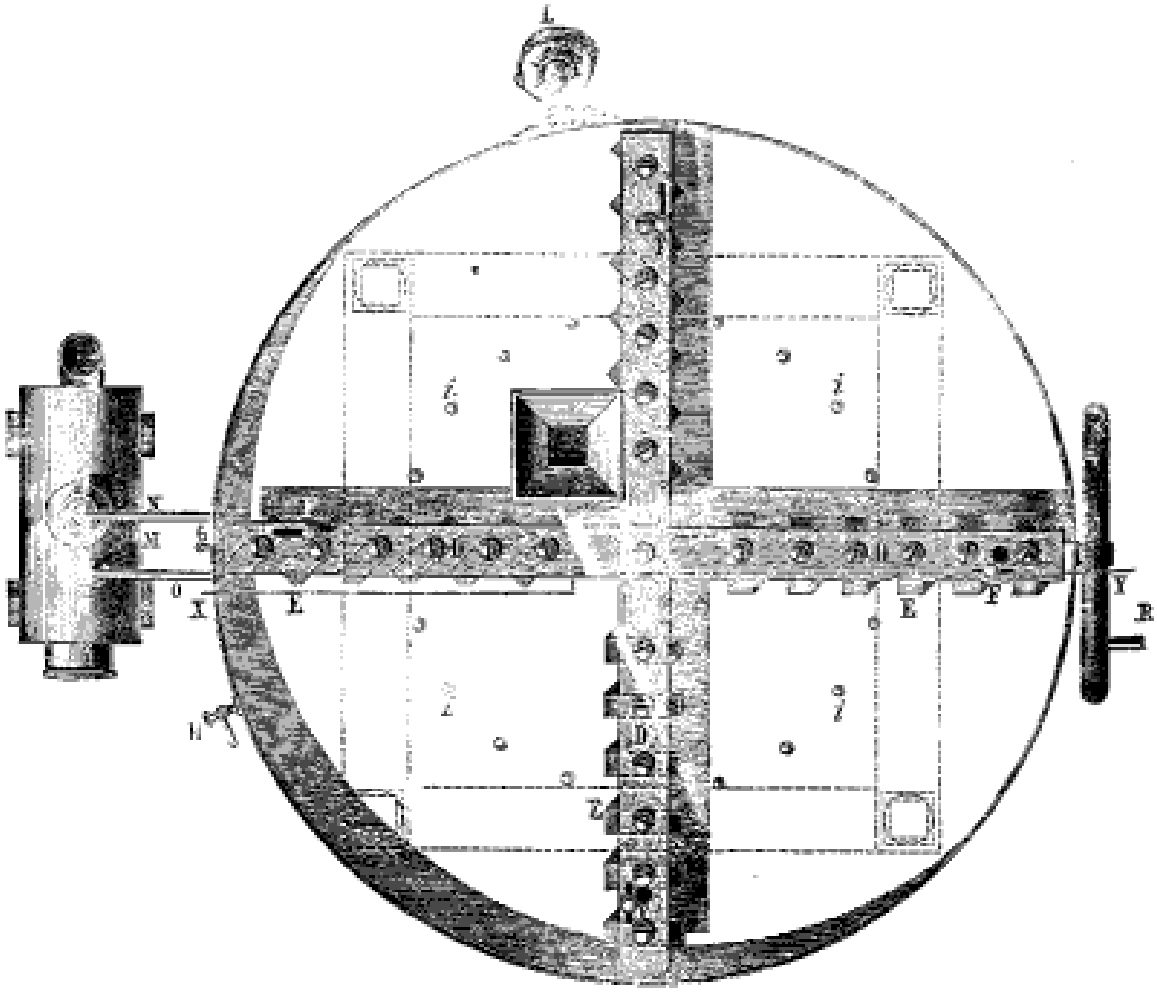
[1] Sans doute si l'on substituait aux mélanges ordinaires de blés tendres et demi-durs, employés par la meunerie, soit des blés tendres exclusivement, soit des blés durs, à siccité égale de ces grains, les rendements en pains se trouveraient par cela même tantôt amoindris, tantôt augmentés; mais toutefois entre des limites moins étendues que celles qui dépendent des variations entre les proportions de l'eau hygroscopique dans les blés ou dans les farines.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Légende des deux figures en plan et coupe verticale.

A trémie encastrée dans un plancher (non indiqué dans la figure) par laquelle on verse la farine qui tombe sur le plateau par la manche en toile B.





C face supérieure étamée du plateau.
C' double fond inférieur du plateau : entre les deux fonds circule la vapeur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lancée à l'extrémité du tube NN dans un tube ou serpentin percé de trous qui la distribue simultanément sur tous les points, mais plus abondamment près de la circonférence par le dernier tour de la spirale.

D croisillon au travers duquel passent les tiges formant l'axe vertical du mouvement des palettes.

E palettes garnies de poils de sanglier perpendiculaires au plan du plateau.

F mécanisme à l'aide duquel on change à volonté l'angle des palettes avec le rayon du cercle, sans que ces palettes cessent d'être situées parallèlement entre elles.

Gg thermomètre dont la gaine reste fixée entre les deux fonds et dont la tige graduée qui se relève verticalement au dehors montre les degrés de température.

H petit robinet servant à laisser échapper l'air confiné entre les deux fonds du plateau.

I boulons à double embase maintenant avec solidité l'écartement et augmentant la résistance à la pression intérieure.

K vanne à coulisse ou *anche* donnant issue à la farine sèche.

L sac ou forte toile imperméabilisée [1] qui reçoit la farine et permet de la transporter et de l'emmagasiner directement.

M générateur muni des appareils accessoires : soupape de sûreté; soupape de rentrée d'air, etc.

N tuyau conduisant la vapeur d'eau du générateur au serpentin qui la distribue entre les deux fonds.

O tube de retour de l'eau de condensation.

P support à vis de rappel pour régler la hauteur du croisillon et des palettes.

R manivelle sur un volant qui transmet le mouvement au pignon commandant la grande roue et qui fait ainsi tourner le croisillon avec l'arbre vertical PQ.

Formant ainsi un vase plat circulaire, large de 2 mètres, muni au-dessous d'un double fond, et chauffé à volonté par une injection de vapeur qu'un tube contourné en spirale et percé de trous, distribue entre les deux fonds [2].

[1] On parvient à rendre ces toiles imperméables et résistantes à la pluie, en les immergeant dans une solution bouillante de savon ordinaire (20 pour 100 d'eau), les tordant et les plongeant ensuite dans une solution chaude de sulfate de cuivre ou d'un mélange à parties égales de ce sulfate avec le sulfate de fer, enfin soumettant au rinçage (on emploi 20 de ces sels cristallisés pour 100 d'eau); il se forme dans le tissus un savon métallique insoluble.

[2] Il suffirait sans doute de faire cette distribution de vapeur au moyen d'un tube contourné en cercle près de la circonférence entre les deux fonds, de manière à produire l'élévation maximum de la température sur les points où la farine arrive déjà partiellement desséchée : en tout cas, la vapeur condensée revient au générateur par un tube constituant un retour d'eau direct; des boulons à double embase, disposés en cercle à 1 mètre du centre, consolident les deux fonds et leur donnent une résistance qui dépasse la pression intérieure que l'on a expérimentalement portée jusqu'à 10 atmosphères.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On règle aisément la température au moyen des robinets d'introduction de la vapeur et d'évacuation de l'air, en consultant d'ailleurs un thermomètre fixe disposé dans un étui entre les deux fonds, et qui laisse voir à l'extérieur une graduation sur le tube relevé verticalement.

La farine que l'on veut étuver est amenée par une trémie et un tuyau en toile près du centre du vase; elle est entraînée circulairement sur toute la surface du plateau par les quatre bras d'un croisillon tournant, garni de râteaux terminés par des brosses en crin, et disposés comme les lames mobiles des persiennes; de telle sorte que, faisant varier à volonté la direction en spirale de ces râteaux qui demeurent constamment parallèles entre eux, on peut accélérer ou ralentir le mouvement progressif de la farine du centre vers la circonférence, ou même alternativement la repousser vers la circonférence, puis la ramener au centre, afin de prolonger à volonté son séjour sur le plateau ainsi que l'évaporation de l'eau hygroscopique.

Dans les conditions normales où la farine ne contient que 12 centièmes d'eau, un seul parcours du centre à la circonférence suffit pour obtenir la réduction voulue à 6 centièmes; ce parcours correspond à un tour entier du croisillon en une minute, et à un produit de 100 kilog. par heure de farine étuvée à ce point.

La durée de l'étuvage dépendant des proportions d'eau qui nécessitent un plus long parcours par un séjour plus prolongé correspond aux produits respectifs de 66, 50 et 33 kilog. par heure pour des farines contenant 15, 18 ou 25 centièmes d'eau[1].

Lorsque l'on est arrivé au terme de la dessiccation, on ouvre une sorte de vanne disposée sur le cercle extérieur; la farine, poussée par les brosses, tombe dans un conduit latéral, qui la dirige vers un baril ou un sac placé au-dessous pour la recevoir.

Un seul générateur de vapeur d'eau peut transmettre la cha-

[1] Il est très-important d'éviter de porter brusquement la température à 100° et au delà sur les points où arrive la farine exceptionnellement humide à ce point ; car alors, sous la double influence de l'eau et de la chaleur, l'amidon formerait empois, le gluten serait coagulé et des grumeaux durs se formeraient que l'on ne pourrait diviser ensuite ou délayer en préparant la pâte.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

leur à un, deux ou plusieurs plateaux, et doubler ou tripler la production dans le même temps avec une économie notable lorsque les plateaux sont multiples [1].

L'auteur a pensé que les conditions les plus favorables au maintien de l'état de siccité, comme au mesurage et à l'emmagasinement économique des farines, seraient réunies si l'on recevait directement les produits de l'étuvage dans des sacs confectionnés avec des toiles imperméables semblables à celles qui depuis un certain nombre d'années sont devenues d'un usage général pour former les bâches recouvrant un très-grand nombre de voitures chargées de grains, de farines et de diverses autres productions agricoles ou horticoles.

Les farines emballées de cette manière se conserveront dans les magasins à l'abri de l'humidité de l'air extérieur et des autres causes d'altération.

Ainsi pourront disparaître les graves difficultés relatives aux approvisionnements que, dans un intérêt public, les règlements administratifs imposent aux boulangers.

Et cette solution heureuse arrivera au moment même où ces difficultés semblaient devoir s'aggraver encore par suite de l'excès d'humidité généralement répandue dans les produits de la difficile mouture des grains de la dernière récolte. On sait, en effet, que très-souvent pendant la durée des approvisionnements de la boulangerie [2], les farines exposées aux fermentations, aux attaques des insectes et des végétations cryptogamiques, se trouvent détériorées et contractent une odeur désagréable; qu'alors, en vue d'amoindrir ou de dissimuler les effets de ces altérations, on a recours à certains mélanges avec des farines plus saines, non, toutefois, sans préjudice pour les qualités nutritives de ces dernières.

Or, dès qu'en employant la méthode nouvelle on parviendrait à éliminer l'eau hygroscopique en excès, cause primitive de ces altérations spontanées, leurs développements comme leurs fâcheux effets cesseraient du même coup.

[1] Les données pratiques à cet égard, recueillies par M. Touaillon, correspondent à 6 kilog. de houille par heure pour un plateau isolé, 4 kilog. de plus pour chaque plateau ajouté au premier.

[2] Représentant trois mois de la consommation moyenne pour chaque boulangerie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En faisant exclusivement usage des farines étuvées à un degré constant, les boulangers ne seront plus assujettis à ces déperditions accidentelles, à ces dispendieux et insuffisants mélanges, ni à ces diminutions de rendement qui menaçaient de transformer leur bénéfice, déjà trop faible aujourd'hui, en un déficit réel qui les eût peut-être ruinés.

Si l'on considère à un autre point de vue les résultats de la simple et pratique méthode nouvelle d'étuvage, on peut voir que les consommateurs, de leur côté, ne sauraient manquer d'en profiter largement ; car, par cela même affranchis des chances de l'introduction des farines avariées dans les produits de la mouture, ils recevront dès lors un aliment irréprochable, plus agréable au goût et plus salubre.

Tous ces résultats, envisagés d'une manière plus générale encore, nous montrent enfin l'année 1860 avec son menaçant cortége d'intempéries exceptionnelles, stimulant de toutes parts le zèle et l'activité des agriculteurs, des meuniers et des négociants, leur inspirant le désir, et sans doute la ferme volonté, d'appliquer à l'avenir tous les procédés mis à leur disposition pour assurer la conservation des grains au moment de la récolte et après le battage, ainsi que pour préserver les farines de toute altération pendant l'emmagasinage et les exportations, en assurant d'ailleurs la constance de leur rendement et la qualité irréprochable des produits de la panification.

Si, comme nous pouvons le croire, l'année 1860 amène de tels résultats, elle méritera, en définitive, d'être comptée parmi les plus fructueuses pour les progrès de notre grande industrie agricole.

En tout cas, ces remarquables perfectionnements, en voie d'une large réalisation, nous ont semblé dignes de fixer quelques instants l'attention publique ; s'ils se propagent et se généralisent, comme on doit l'espérer, ils pourront acquérir un jour les proportions d'un véritable bienfait public.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

NOUVELLES OBSERVATIONS

SUR LA

CONSERVATION DES RÉCOLTES DE CÉRÉALES

SUIVANT LA MÉTHODE DES MOYETTES,

ET SUR LE

FAUCHAGE DES BLÉS AVANT LEUR MATURITÉ

PAR M. PAYEN.

On sait que cette méthode, généralement usitée dans les trois royaumes de la Grande-Bretagne, comme en Belgique, lentement propagée jusqu'ici en France, mais qui s'y est tout à coup répandue sous l'influence des pluies exceptionnelles en 1860, consiste à rassembler les blés à mesure qu'on les fauche, puis à les poser debout sur le sol, de façon à ce que les pieds écartés des tiges et les épis convergeant au sommet forment de petites meules coniques, composées d'une douzaine de gerbes. Chacune de ces petites meules est aussitôt coiffée avec une grosse botte fortement liée près du bas des tiges, et dont les épis écartés retombent tout autour de la meule conique.

Dès lors tous les épis sont à l'abri des altérations spontanées que pourrait occasionner la stagnation des eaux pluviales : ceux qui se trouvent réunis au centre sont garantis de la pluie par l'espèce de chaperon qui les recouvre. Quant aux épis pendants, ils laissent très-facilement égoutter tout excès d'eau, et ce qui reste à la superficie, rapidement évaporé durant les intervalles, même très-courts, entre les ondées, ne peut produire ni germination, ni fermentation, ni moisissure dans les grains.

De très-nombreuses occasions se sont offertes après la dernière récolte de vérifier la complète efficacité de cette excellente méthode; en voici l'un des plus remarquables exemples :

M. Giot de Chevry, après avoir mis en moyettes tous ses blés au moment de la moisson, les a laissés dans les champs depuis le 26 août jusqu'au 26 octobre 1860, c'est-à-dire durant deux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mois entiers. Ce fut alors que M. Pommier, membre de la Société impériale et centrale d'agriculture, remarqua la belle apparence des épis conservés de cette manière; la paille à l'intérieur des moyettes était aussi dans un parfait état de conservation; à l'extérieur, elle n'était sensiblement brunie que dans la gerbe qui formait la couverture ou le chapeau de chaque moyette.

Afin de constater l'état des grains de ce blé dont M. Pommier avait rapporté des échantillons, je les plaçai à la superficie de l'eau dans un vase plat recouvert d'une capsule, et entretenu par la chaleur constante d'une étuve à la température de 25°. Au bout de trente-six à quarante-huit heures, toutes les radicules et les gemmules avaient commencé à se développer; les grains avaient donc tous conservé leurs propriétés germinatives, indice le plus certain de l'absence absolue des diverses altérations spontanées [1].

Mais la méthode des moyettes ne borne pas son utile intervention à préserver les blés de l'action, parfois désastreuse, des pluies persistantes, elle peut souvent améliorer la qualité du grain en s'opposant à la dessiccation trop prompte des épis non encore parfaitement mûrs, et favorisant une dernière phase de la végétation après la coupe des tiges, qui permet à la séve de monter encore et de s'accumuler dans le fruit, en y complétant l'élaboration des principes immédiats et en augmentant ainsi leur poids et améliorant leur qualité alimentaire.

De cette observation très-exacte on avait déduit une pratique nouvelle, consistant à moissonner les blés plus ou moins longtemps avant la maturité ultime; les uns en suivant le nouveau précepte agricole obtinrent de très-favorables résultats, les autres éprouvèrent quelque déception, d'autres enfin constatèrent une perte assez notable.

Cette importante question, après avoir donné lieu à de longs débats entre les agriculteurs, demeurait incertaine lorsqu'il se présenta une occasion favorable de la résoudre.

Ce fut à l'époque du dernier concours des machines à moissonner, établi sur le domaine impérial de Fouilleuse (Seine-et-

[1] Vers la fin de ce séjour dans les champs, prolongé au delà des limites ordinaires, on s'aperçut que les mulots s'étaient introduits dans les moyettes et commençaient à ronger les grains. On se hâta de rentrer le blé.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Oise). La Société impériale et centrale d'agriculture de France, voulant profiter de cette circonstance, chargea une commission spéciale d'examiner et de comparer les produits de cette récolte. Les résultats de nos expériences sont consignés dans le rapport suivant, que nous lui avons soumis et dont elle a adopté les conclusions.

RAPPORT DE MM. PAYEN ET POMMIER

Sur les blés mis en moyettes à la suite du concours de Fouilleuse.

« La Société nous a chargés, M. Pommier et moi, d'aller examiner à la ferme de Fouilleuse l'état des blés récoltés par une saison d'humidité constante, et coupés à trois différentes époques : l'une huit à dix jours avant la maturité complète, pour préparer l'expérience des machines à moissonner, la deuxième cinq à six jours avant le même terme, enfin la troisième au moment même de la maturité.

« Nous nous sommes rendus à Fouilleuse, sur le domaine impérial, le 14 septembre dernier. En l'absence de M. de Corbigny, directeur général, M. le régisseur particulier du domaine nous a donné tous les renseignements utiles, et nous a remis des échantillons de ces blés mis en moyettes au moment même de la moisson, et, suivant deux procédés distincts, ayant l'un et l'autre pour but et pour résultat de maintenir les épis, et en grande partie les tiges, à l'abri de l'eau stagnant, la pluie devant s'écouler librement autour des gerbes.

« Nous nous proposions surtout, en nous conformant aux intentions de la Société, d'apprécier les effets de la méthode de récolte dite *sur le vert*, et plus ou moins hâtive, favorisée d'ailleurs par la disposition immédiate des gerbes en moyettes, disposition qui permet à la sève, restant encore dans le haut des tiges, de concourir à la nutrition du grain.

« Cette portion encore verte de la sommité des tiges était notablement plus étendue relativement aux échantillons des blés bleus et rouges récoltés huit à dix jours avant la maturité ultime, moins étendue sur les tiges des mêmes variétés de froment récoltées cinq à six jours seulement avant la maturité; enfin, parmi les échantillons récoltés complétement mûrs, on ne remarquait aucune portion des tiges qui fût demeurée verte; dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

toute leur étendue elles offraient la teinte jaune de la paille ordinaire.

« Pour apprécier le rendement des deux variétés sous les trois états, nous avons comparé le poids des grains fournis par cent épis de chacune d'elles, soit tels qu'ils se trouvaient alors, soit après les avoir soumis à une complète dessiccation, ce qui les devait ramener à des conditions égales.

« Le tableau ci-dessous des résultats de nos essais contient, en outre, l'indication des proportions d'eau dans chaque sorte de grains, le poids du litre humide, et de la même mesure après dessiccation, enfin le poids de cent grains de chacune de ces deux variétés sous les trois états de maturité.

BLÉS DE LA FERME IMPÉRIALE DE FOUILLEUSE

(ÉCHANTILLONS PRIS A LA FERME LE 14 SEPTEMBRE 1860).

	100 épis ont donné grains humides.	100 épis ont donné grains secs.	Eau pour 100 de grains.	Poids du litre humide.	Poids du litre sec.	Poids de 100 grains desséchés.	OBSERVATIONS.
	gr.	gr.		gr.	gr.	gr.	
N° 1. Blé bleu très-vert.	139,61	122,30	12,15	800,0	782,5	5,14	Blés récoltés huit ou dix jours avant la maturité et mis immédiatement en meyettes.
N° 2. Blé rouge très-vert.	146,46	129,63	12,86	759,2	752,5	3,70	
N° 3. Blé bleu moins vert.	186,80	164,18	12,11	808,0	807,0	5,47	Blés récoltés cinq ou six jours avant la maturité et mis immédiatement en meyettes.
N° 4. Blé rouge moins vert	237,50	209,45	11,81	741,2	746,2	3,82	
N° 5. Blé bleu mûr.	182,95	157,61	13,86	793,0	803,5	5,41	Blés récoltés à la maturité.
N° 6. Blé rouge mûr. . . .	196,54	170,25	13,38	760,0	785,7	4,45	

NOTA. Les blés 1, 2, 3, 4, en échantillons formant quatre gerbes, ont été gardés dans une chambre de la maison d'habitation. Les n^os 5 et 6 étaient amoncelés dans la grange.

« On voit, en comparant le produit de cent épis, même à l'état d'humidité plus grande des grains mûrs, en raison du lieu où les gerbes avaient été gardées, que le maximum du produit a été obtenu des blés rouges et bleus coupés cinq à six jours avant la maturité ultime, tandis que les blés mûrs ont fourni des quantités pondérables plus grandes que ceux dont la récolte avait eu lieu de huit ou dix jours avant le terme de la maturité complète.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« De ces expériences comparatives on doit conclure qu'il est avantageux de couper les blés un peu sur le vert, mais seulement cinq jours environ avant le terme du développement sur pied, d'autant plus qu'alors on évite les déperditions par l'égrenage.

« Mais aussi à la condition de rassembler les gerbes en moyettes, afin de faire profiter le grain de la séve restante vers la partie supérieure.

« Si en ce moment on laissait les tiges en andains exposées soit à une rapide dessiccation qui arrêterait tout mouvement de la séve, soit à une humidité dominante qui pourrait faire germer ou altérer les grains, on s'exposerait, dans les deux cas, à une perte plus ou moins grande.

« A ce point de vue, il serait intéressant de soumettre, au moment de la récolte, sous les trois états, les blés fauchés, comparativement mis en moyettes ou rapidement desséchés, ou enfin maintenus très-humides.

« Ce serait le moyen, d'ailleurs, d'apprécier plus complétement les effets utiles des moyettes ; nous nous proposons de réaliser ces conditions expérimentales lors de la récolte prochaine. »

Composition du sol.

La terre du domaine de Fouilleuse est considérée comme une des plus fertiles : les betteraves, que l'on y a cultivées autrefois pour une sucrerie expérimentale, s'y développaient en abondance et nous avons à cette époque constaté qu'elles pouvaient contenir jusqu'à 12 et même 14 centièmes de sucre pur. Les cultures diverses d'autres plantes sarclées et de céréales à l'aide des fumures ordinaires y donnent également de bons produits. Ces considérations nous ont engagé à déterminer les caractères et la composition chimique de cette terre.

Voici les données expérimentales que nous avons obtenues de nos analyses faites avec M. Billequin.

Analyse mécanique.

100 de terre ont donné par 4 lévigations et décantations successives les résultats suivants :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Matière terreuse en suspension.

Matière tamisée au travers des toiles métalliques des nos 100 à 50, ou présentant 10,000 à 25,000 ouvertures dans un carré de 27 millimètres de côté.	no 100.	14,80
	no 90.	56,69
	no 80.	9,25
	no 50.	3,45
Matière restée sur le tamis 50		4,42
Eau, matière solide et perte		6,86
		100,00

Composition chimique de la terre.

Eau	4,800
Matières organiques	4,480
Silice	70,081
Alumine	9,110
Sesquioxyde de fer	4,684
Carbonate de chaux	5,715
Phosphate de chaux	0,550
Sels solubles	0,300
Corps non dosés et perte	0,280
	100,000

On voit que les principaux éléments de fertilité se trouvent réunis dans cette terre dans des proportions convenables et que la ténuité de ses particules est assez grande pour que les 70 centièmes puissent passer au travers d'une toile métallique du no 90, et que le surplus s'y trouve en particules plus grenues et telles qu'il convient pour assurer une perméabilité suffisante du sol, condition essentielle à la pénétration de l'eau, qui charrie les aliments organiques et minéraux des plantes, comme à la circulation de l'air atmosphérique, dont l'oxygène libre est indispensable à la respiration et à l'énergie vitale des radicelles.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DES CAUSES

QUI PEUVENT INFLUENCER LA TÉNACITÉ ET LES QUALITÉS DES TISSUS,

PAR MM. ALCAN ET PERSOZ.

La fabrication des toiles est une industrie patriarcale en France ; elle a joui et jouit encore d'une réputation méritée. Celle des cotonnades, bien moins ancienne, désignée parfois à son origine sous le nom de toilerie, a bientôt pris une place plus importante encore dans l'industrie et les transactions commerciales. Des progrès de toutes sortes apportés depuis la fin du dernier siècle aux arts en général, et particulièrement à la fabrication des étoffes, il est résulté que certains vêtements considérés comme des objets de luxe sont devenus des articles de première nécessité, pour les positions même les plus modestes. Les produits de la fabrication moderne offrent, d'ailleurs, une uniformité de composition et une régularité qui les rend, sous ce rapport, bien supérieurs à ceux tissés anciennement.

Il faut reconnaître cependant qu'il s'élève de temps en temps de justes plaintes sur le peu de durée de certains tissus (toiles de lin, de chanvre et calicot); le public, au lieu de reconnaître que ces accidents sont les conséquences de l'inhabileté avec laquelle les nouveaux moyens sont parfois appliqués, est disposé à les attribuer au genre de fabrication, et à propager l'opinion que la production à la main valait mieux. Comme la persistance et le renouvellement des faits auxquels nous faisons allusion peuvent influencer d'une manière fâcheuse plusieurs de nos grandes industries, nous avons pensé qu'il serait utile de mettre en lumière quelques-unes des causes principales qui peuvent amener des perturbations dans les transformations, et amoindrir les caractères et les qualités des produits qui en résultent. Énumérons donc rapidement et successivement les diverses opérations qui concourent au travail des industries textiles dont nous nous occupons.

Le *rouissage* imparfait, c'est-à-dire insuffisant, irrégulier ou

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

poussé trop loin, peut jusqu'à un certain point trouver un correctif momentané dans le filage à la main, si la fileuse est assez habile pour constater l'imperfectiondu premier traitement. Mais quelle que soit l'habileté de l'ouvrière, il lui est matériellement impossible d'opérer le glissement des fibres (étirages) et la torsion avec la régularité mathématique obtenue par la filature mécanique. Celle-ci est donc supérieure dans les résultats, si on ne lui livre que des filaments parfaitement rouis, c'est-à-dire complétement vidés à l'intérieur et débarrassés sur tous les points de leur surface de la matière gommo-résineuse qui les recouvre et neutralise une partie de leur flexibilité et de leur élasticité. On ne saurait donc trop répéter que l'avenir de la filature du chanvre, du lin et des substances analogues dépend d'un bon procédé de rouissage qui permette d'obtenir la filasse dans l'état le plus divisé possible, sans altérer sa couleur, sa ténacité, ni aucun des caractères qui constituent sa valeur. Le rouissage à l'eau chaude, dit *rouissage manufacturier*, sans être à l'abri de toutes espèces d'objections, a cependant fait faire un pas à la question ; mais il n'est pas aussi répandu qu'il pourrait l'être en dehors des campagnes, où des obstacles sérieux s'opposent à son développement. Il reste donc encore à trouver un moyen de rouissage qui aux conditions rationnelles réunisse une facilité d'application qui permette d'en faire un procédé d'une simplicité rurale. C'est surtout à l'imperfection du rouissage campagnard et à ses résultats fâcheux, mis en présence des moyens précis de la filature moderne, que l'on peut attribuer l'infériorité de certains fils produits automatiquement, et la lenteur du progrès dans la filature mécanique du chanvre et du lin.

En effet, les fibres et fibrilles de la filasse, incomplétement débarrassées de leur matière adhérente naturelle, conservent une raideur sensible qui diminue leur propriété de glissement dans les diverses transformations qui précèdent le filage. Les fâcheuses conditions dans lesquelles celui-ci s'exerce par les pressions anormales qu'il nécessite, et la haute température de l'eau, sont encore une conséquence de l'existence plus ou moins apparente d'une quantité notable d'enduit naturel qui enveloppe la substance. Les obstacles qui en résultent sont tels, qu'ils limitent très-sensiblement la finesse des produits ; ils expliquent la nécessité de recourir au filage à la main pour obtenir des fils de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

certains numéros. Si, au contraire, au lieu d'être insuffisamment rouie, l'action a été trop prolongée, la substance perd bientôt une partie de sa ténacité qui va en s'amoindrissant encore par le passage aux machines. Par ces divers motifs, le travail mécanique, bien plus encore que le filage à la main, réclame des filaments parfaitement préparés; car s'ils étaient mal préparés, il en résulterait des conséquences plus graves pour le premier mode que pour le dernier. Cette question du rouissage, une fois résolue, changera, nous le répétons, la face de la filature mécanique du chanvre et du lin, sans qu'il soit besoin d'apporter des modifications sensibles à l'outillage actuel. Elle exercera une influence non moins marquée sur le tissage automatique de ces substances, en leur restituant des caractères et des qualités dont leurs fils sont en partie dénués actuellement, et qui sont si nécessaires pour qu'ils puissent résister convenablement aux chocs réitérés du travail mécanique.

Si de la filature on passe au tissage qui s'effectue à la main ou automatiquement, par des moyens identiques d'entrelacements, on reconnaît qu'ils n'offrent de différences dans l'exécution que par une plus ou moins grande rapidité d'action, et dans les résultats que par une apparence plus uniforme, plus régulière et plus serrée du produit tissé par les métiers automates. L'on est surpris néanmoins de rencontrer assez fréquemment une infériorité de qualité dans les tissus provenant de ces derniers métiers, et de constater que leur usure plus rapide provient principalement d'une inégalité marquée de résistance dans les deux sens des étoffes. Certaines d'entre elles, établies d'après des réductions le plus généralement usitées en pratique, offrent une ténacité qui se modifie dans des conditions déterminées et prévues : une bonne toile écrue essayée au dynamomètre présentera, en général, une résistance qui s'amoindrit bien plus rapidement dans le sens transversal que dans le sens longitudinal.

Ainsi, par exemple, tandis qu'une bonne toile d'une réduction convenable, blanchie aux trois quarts, perd en moyenne 12,5 pour 100 de sa ténacité primitive à l'état écru dans la direction de la chaîne, elle perd jusqu'à 33,5 pour 100 dans celle de la trame. Cette différence de résistance est presque généralement remarquée quoique à un moindre degré pour des étoffes tissées mécaniquement et pour des comptes généralement adoptés et considérés comme

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les plus rationnels par la pratique. Cette irrégularité dans la solidité tient évidemment à l'usage général de fils sensiblement moins tordus pour la trame que pour la chaîne, et à la fabrication spéciale de ces fils suivant leur destination.

Le producteur se borne trop à ne considérer que le degré de résistance nécessaire aux fils pour arriver à l'entrelacement, et se préoccupe trop peu de l'usage ultérieur de l'étoffe; or le fil de trame supportant relativement très-peu de fatigue au travail, on se dispense de le tordre, non-seulement autant que celui de la chaîne, mais autant que de besoin pour qu'il résiste aux actions désagrégeantes et aux fatigues ultérieures; il s'ensuit, qu'après l'enlèvement par les lessivages et les opérations du blanchiment de l'espèce de vernis naturel qui lie surtout les fibres du chanvre et du lin, la surface de la toile, d'à peu près lisse qu'elle était, devient rugueuse, présente les caractères d'un tissu plus ou moins creux; sa contexture homogène et serrée se relâche et se détend, pour ainsi dire; les fibres des fils de la trame, insuffisamment tordues, dépourvues de la matière qui les lie à l'état écru n'offrent plus assez de résistance aux glissements et aux actions diverses qui sollicitent leur désagrégation, et de là l'amoindrissement de ténacité signalé plus haut.

Si, dans les toiles dites à la main, ces faits ne se présentent pas aussi habituellement ni aussi régulièrement, c'est que les différences entre les torsions ne peuvent s'établir avec les facilités que l'on a aujourd'hui; il en résulte plus de *rondeur* dans le tissu; les inégalités et infériorités de résistance s'offrent alors aussi bien dans un sens que dans l'autre. Il suffit que ces inconvénients soient mis en évidence, pour que le remède à cet état de choses s'offre spontanément. Un changement dans l'angle de torsion ou, en d'autres termes, une torsion plus grande des fils de trame, pour les étoffes dont la ténacité doit être la qualité dominante, amènera sans contredit une amélioration importante dans les produits, et permettra d'arriver à des toiles qui à leur ancienne réputation de solidité joindront les apparences de régularité et d'uniformité auxquelles les toiles de ménage ne pouvaient prétendre. On arriverait bien plus sûrement encore à un bon résultat, si cette modification de la torsion de la trame, au lieu de s'appliquer à des fils écrus, faits avec de la filasse dans un état de préparation plus ou moins parfait, l'était plus souvent à des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fils blanchis ou crémés, c'est-à-dire blanchis en partie avant d'être tissés; on obvierait ainsi, dans une certaine mesure, aux conséquences fâcheuses résultant du blanchiment en pièces, en supposant toutefois que cette opération délicate soit pratiquée avec les soins recommandés par la science; car, irrationnellement appliquée, elle peut avoir une influence plus fâcheuse encore que les causes des imperfections précitées. Les considérations spéciales sur le blanchiment vont faire ressortir cette dernière appréciation.

Blanchiment. — L'emploi de certains agents qui entre des mains éclairées sont souvent de puissants secours pour l'industrie en raison des avantages qu'ils présentent, peut en effet occasionner les conséquences les plus nuisibles s'ils sont inhabilement appliqués.

Nos ancêtres blanchissaient en faisant subir au tissu l'action successive de lessives alcalines et d'expositions à l'air. C'étaient les seuls agents auxquels ils avaient recours [1] pour dépouiller les fibres textiles des substances étrangères qui les souillaient et les amener à l'état de blancheur exigé. Le temps employé pour blanchir variait avec la nature plus ou moins compacte du tissu, avec la température de l'atmosphère ou son état hygrométrique; mais dans les conditions les plus favorables, la durée des opérations était toujours de plusieurs semaines.

Aujourd'hui, par les procédés modernes, le blanchiment s'accomplit en quelques heures et tout au plus en quelques jours, sans qu'il y ait danger de porter atteinte à la solidité du tissu par le fait du blanchiment, si toutefois on a opéré d'après les principes rigoureux de la science.

Bien des personnes prévenues ne peuvent comprendre qu'il en soit ainsi, et cependant, si elles étaient à même de juger par comparaison, elles se convaincraient qu'il y a autant et plus d'accidents à craindre par l'emploi des anciens procédés que par l'usage rationnel des nouveaux. En effet, le séjour des toiles sur la prairie les expose aux vents, aux impuretés en suspension dans l'air et aux taches produites par les insectes et les oiseaux, sans compter les accidents qui peuvent résulter des transports de l'atelier, où elles reçoivent la lessive, au pré, et *vice versâ*,

[1] Quelques-uns employaient parfois du savon, de la résine et du lait aigri.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Par le procédé moderne que nous devons à l'illustre Berthollet, quelques heures suffisent, en général, pour blanchir les tissus les plus forts comme les plus légers.

Aux lessives de potasse et de soude de l'ancien système on a substitué, autant que possible, en totalité ou en partie, le lessivage à la chaux.

Les expositions sur le sol à l'air humide sont remplacées par l'agent décolorant par excellence, le chlore, ou un de ses composés dérivés capable de fournir à la fibre textile l'oxygène nécessaire à la destruction de la matière colorante qui la recouvre.

Au bain de lait aigri, qui n'était employé que par un petit nombre de blanchisseurs émérites, on a substitué des bains aiguisés d'acide sulfurique ou chlorhydrique, dont l'emploi rationnel contribue puissamment à enlever les substances salines dont il a été question précédemment, et qui ont été en quelque sorte incorporées plus intimement à la fibre par les opérations mécaniques de la filature et du tissage.

Par une fatalité déplorable, on ne fit pas au début, et on ne fait pas encore toujours un emploi raisonné des agents chimiques nouveaux. On se borne souvent à imiter la manière de procéder d'autrefois, et comme il était consacré par l'usage qu'il fallait faire passer les pièces du cuvier à lessiver sur la prairie et *vice versâ*, jusqu'à ce que l'on fût arrivé au blanc désiré, il fut par cela même consacré aussi que, par le nouveau procédé, on devait passer le tissu de la lessive alcaline dans un bain de chlore, et de là ces indications :

1re lessive,	1re immersion;
2e id.	2e id.;

ainsi jusqu'à douze lessives, et douze immersions.

Les conséquences forcées d'une pareille pratique sont faciles à prévoir. La constitution des toiles présente des inégalités d'autant plus marquées que la différence de torsion et de grosseur des fils, dont il a été déjà question, est plus grande. De cette cause et d'autres accidentelles, moins nettement définies, il résulte que les différentes parties du tissu sont inégalement attaquées par l'agent décolorant; les plus accessibles se blanchissent d'abord, et s'altèrent ensuite durant le temps consacré à achever le blanchiment des plus résistantes.

Heureusement que des hommes éclairés ont analysé les phéno-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mènes du blanchiment et assigné à chacun des agents employés son rôle véritable.

On a d'abord constaté ce fait important de l'existence de matières grasses, cireuses, et résineuses, qui masquent la pureté de la fibre et qui doivent au préalable disparaître complétement, sinon elles neutraliseraient l'influence des agents les plus énergiques. La constatation de ce fait a conduit à séparer les opérations du blanchiment en deux phases distinctes : 1° le *dégroissage* ou *dégorgeage*, qui a pour but de dépouiller la fibre des matières grasses ou résineuses; 2° la *décoloration*, blanchiment proprement dit, par laquelle on oxyde et détruit la substance colorante mise à nu par les lavages et les opérations du dégraissage.

Dégraissage. — Les moyens usités dans cette opération sont chimiques et mécaniques. Les premiers consistent dans des lessives alcalines, et ensuite acides, et les seconds dans l'emploi de machines perfectionnées, pour dégorger et déterger les tissus, après l'action de chacun des agents chimiques. Cette opération, espèce de rinçage de l'étoffe, d'une application si simple en apparence, est peut-être par cela même pratiquée parfois avec une certaine négligence, qui peut avoir les conséquences les plus graves, ainsi que nous le ferons ressortir plus loin. Nous nous bornons pour le moment à insister sur la nécessité d'une action de dégorgeage et de lavage intime, pour pouvoir atteindre tous les points du tissu avec la même efficacité. Or, il ne faut pas oublier qu'au point de vue du traitement qui nous occupe, l'étoffe est en quelque sorte un composé d'une série de petites *cuvettes microscopiques*, qu'il faut rincer et épurer avec le plus grand soin [1].

Les alcalis qui servent au lessivage sont : la chaux caustique, le sel de soude, le savon de résine, dont le rôle principal consiste à modifier, à délayer et à enlever les corps gras et résineux. On s'est assuré que l'action de ces corps était d'autant plus efficace qu'on les faisait réagir à une *pression plus élevée et à l'abri du contact de l'air;* attendu que des expériences directes ont démontré, dans l'emploi de la chaux, par exemple, que les fibres textiles

[1] Il est des blanchisseurs qui sont dans l'habitude de faire précéder le dégraissage d'une opération appelée dégommage, qui consiste à laisser séjourner les pièces dans l'eau tiède pour enlever la plus grande partie des matières mucilagineuses.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sont profondément endommagées toutes les fois qu'elles se trouvent au contact simultané de l'air et de la chaux. Il résulte de ces faits qu'il y a tout intérêt à se servir, pour le lessivage, de vases autoclaves qui permettent de porter la température à un degré suffisant pour accomplir promptement la saponification des corps gras, sans que les toiles soient jamais exposées au contact de l'air. A ce lessivage à la chaux, que l'on emploie toujours en premier lieu, on fait succéder un dégorgeage mécanique assez parfait pour que l'eau extraite des pièces soit tout à fait claire. C'est à ce moment qu'on donne un passage à l'acide, en vue de décomposer le savon calcaire formé sur la toile. Deux méthodes sont suivies dans ce but.

L'une consiste à immerger à froid les pièces durant un temps variable dans un bain d'acide sulfurique ou chlorhydrique à 1 ou 2 degrés AB.

L'autre, à passer immédiatement les pièces dans un bain acide beaucoup plus faible chauffé à 40 ou 50 degrés centigrades. Par le premier système on n'obtient pas toujours des résultats constants, car les premières pièces qui entrent dans la cuve sont les dernières à en sortir; il en résulte souvent des altérations produites par le contact prolongé de l'acide sur la fibre.

Dans l'usage de la seconde méthode, il suffit de déterminer, à l'avance, le degré de force et de température auquel on peut, sans inconvénient, employer l'acide, et régler l'écoulement de la quantité d'acide qui doit maintenir le bain au même degré de force.

Après ce traitement à l'acide il importe d'en faire disparaître les traces par un dégorgeage parfait, surtout si les pièces ne doivent pas rentrer immédiatement dans la lessive de soude par laquelle se termine cette première phase du blanchiment, qui se résume ainsi :

1° Lessivage à la chaux;
2° Dégorgeage;
3° Passage en acide;
4° Dégorgeage;
5° Lessivage au sel de soude[1].

[1] Pour obtenir un blanc parfait, on emploie souvent le savon de résine en même temps que du sel de soude.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Décoloration. — C'est après ces diverses opérations que la fibre étant devenue complétement accessible aux agents décolorants, on procède au blanchiment proprement dit.

A l'apparition du nouveau procédé, on fit usage du chlore gazeux, ou de solution de chlore dans l'eau; mais les graves inconvénients qui résultèrent pour les ouvriers de l'emploi de ce corps, à l'état libre, le firent généralement repousser, et, à l'heure qu'il est, on a exclusivement recours à l'emploi direct ou indirect du *chlorure de chaux*, poudre à blanchir des Anglais.

Ce composé, qui n'est pas décolorant par lui-même, ne s'emploie pas toujours directement : on lui fait quelquefois subir une décomposition, à l'aide, soit des carbonates de potasse ou de soude, pour former des *chlorures de potasse* ou *de soude*, soit du sulfate de magnésie, pour obtenir du *chlorure de magnésie*.

En supposant un tissu bien dégraissé, c'est-à-dire bien dépouillé des substances étrangères de nature à paralyser les effets de l'agent décolorant, le chlorure de chaux s'emploie de différentes manières : tel blanchisseur immergera ses toiles pendant trois ou quatre heures dans une solution de chlorure de chaux à un degré souvent indéterminé, puis retirera les pièces de ce bain pour les abandonner à l'air durant dix à vingt-quatre heures, à l'effet, dit-on, de laisser au chlore le temps d'agir. C'est là une pratique déplorable, car il est démontré par des expériences dynamométriques que l'affaiblissement d'une toile croît en raison de la durée de son contact avec le chlorure de chaux, surtout si celui-ci est concentré.

Tel autre blanchisseur lessivera ses pièces avec une solution de chlorure de chaux, comme s'il s'agissait d'un lessivage à l'alcali, c'est-à-dire qu'il introduira ses pièces dans un cuvier pour les arroser sans cesse avec le même chlorure de chaux.

Le blanchisseur éclairé chargera uniformément les pièces d'une solution suffisamment étendue de chlorure de chaux, et fera ensuite passer ce tissu dans un bain acide, qui a pour effet de déplacer le chlore, et de détruire, par suite, la matière colorante. Dans les ateliers bien dirigés, cette opération a lieu sans émanations sensibles de chlore.

C'est un dégorgeage parfait à l'eau qui doit terminer toutes ces opérations; nous répétons que l'on ne peut y porter trop d'attention, puisque des altérations latentes et à de grands inter-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

valles de temps n'ont souvent d'autre cause que la présence de traces d'acide sur le tissu.

D'après ce qui précède, les altérations des tissus peuvent provenir de causes mécaniques et de causes chimiques. Un rouissage parfait, des rapports de réductions et de torsions plus rationnels entre les fils de la chaine et de la trame peuvent faire disparaître les premières ; quant aux remèdes à apporter à celles qui proviennent du blanchiment, ils se présenteront spontanément, après le résumé succinct des trois causes principales qui déterminent ces altérations et qui sont :

1° Le manque de soins apporté à prévenir le contact simultané de l'air et de la chaux avec le tissu au moment du tissage ;

2° L'emploi immodéré et irrationnel du chlorure de chaux [1] ;

3° Le manque de soins apporté à l'emploi des acides, et surtout le défaut de précautions pour en faire disparaître les dernières traces aussitôt qu'ils ont produit leur effet.

C'est à l'action latente de ces agents qu'il faut attribuer beaucoup d'avaries dans les fibres végétales, surtout quand, par la contexture des tissus ou par leur nature complexe, les opérations du dégorgeage n'ont pu s'effectuer d'une manière parfaite. Il suffit qu'il reste une quantité même imperceptible d'acide minéral pour provoquer soit à la longue à la température ordinaire, soit instantanément par l'effet de la chaleur, une complète désagrégation des fibres.

Quelques faits industriellement constatés justifieront cette proposition.

Premier fait. — Des toiles à voiles, en apparence d'une bonne composition et de parfaite solidité, perdaient promptement ces qualités, soit qu'on les fît servir aux usages auxquels elles étaient destinées, soit qu'on leur fît subir durant quelques heures l'action d'un courant d'air chauffé à 130°. Dans des conditions identiques, des toiles de même composition et de même apparence, mais qui n'avaient point subi le contact prolongé d'un acide, ne subissaient aucune altération. En effet, en chauffant comparati-

[1] Le contact prolongé du chlore ou son emploi en quantité démesurée amène inévitablement la destruction du tissu ; aussi ne comprend-on pas les personnes qui achètent des étoffes répandant l'odeur du chlore, ni celles qui tolèrent l'emploi abusif de cet agent dans le blanchissage domestique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vement ces toiles, puis en les exposant à l'air humide pour leur faire recouvrer toute leur élasticité, on constatait au dynamomètre que les premières avaient perdu jusqu'à 30 kilogrammes de leur ténacité, tandis que celle des secondes n'avait pas sensiblement changé. En un mot, la chaleur réalisait rapidement l'effet produit par le temps.

Deuxième fait. — Des valencias (chaîne coton) étaient livrés par un fabricant à un imprimeur. Celui-ci appliquait ses couleurs sur une variété de pièces blanches ou teintes à fond clair uni, et soumettait ensuite les tissus à l'action de la vapeur pour déterminer la fixation des matières colorantes. Après l'action de cet agent, certaines pièces, parmi lesquelles il s'en trouvait de blanches et de teintes à fond clair uni, tombaient en lambeaux. Ces accidents donnèrent lieu à de vives réclamations de la part du fabricant à l'imprimeur; ce dernier était-il coupable? Il se justifiait en prouvant qu'ayant imprimé une même couleur avec la même gravure, et l'ayant fixée dans les mêmes conditions à l'aide de la vapeur sur les divers tissus, les uns ressortaient plus ou moins altérés, les autres complétement intacts. Il fallut donc remonter plus haut et mettre en cause :

1° Le blanchisseur du fil de coton qui avait servi à la chaîne des valencias.

2° Le blanchisseur des tissus mêmes.

3° Enfin le teinturier des pièces en fonds unis.

Le premier blanchisseur faisait observer qu'ayant fourni une partie de fils de coton uniforme, les altérations des tissus ne pouvaient lui être imputées, puisqu'il y en avait de parfaitement intacts.

Le blanchisseur des tissus était plus embarrassé pour se justifier. On constatait, en effet, que son mode de dégorgeage, appliqué à des étoffes à comptes serrés, laissait beaucoup à désirer; qu'ayant blanchi les valencias au gaz sulfureux, il avait négligé la précaution indispensable de faire disparaître cet acide, qui avait séjourné sans inconvénient pour la fibre animale dans les pores de la laine, et avait fini, en se transformant en acide sulfurique, par détruire le fil de coton de la chaîne. Enfin, une certaine responsabilité pesait aussi sur le teinturier, à cause d'un dégorgeage imparfait; il fut constaté que les pièces en état d'altération étaient toujours celles dont la teinture avait impérieusement réclamé la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

composition d'étain, préparation extrêmement acide, qui ne peut rester sans inconvénient sur les fibres végétales.

Le mal connu, il fallait tâcher de tirer le meilleur parti possible de la marchandise, et faire le choix des pièces qui pouvaient recevoir sans danger l'impression. On arriva à faire ce triage en chauffant des échantillons de chaque pièce à 130°, température à laquelle les tissus en état d'altération tombaient en lambeaux.

Troisième fait. — Voici un dernier exemple, puisé dans une cause judiciaire. Un tissu chaîne coton, teint, trame fil blanc, avait été fabriqué, apprêté et expédié outre mer, sans qu'au moment de l'expédition, c'est-à-dire lorsqu'il venait d'être apprêté, on pût se douter qu'il dût se modifier en aucune manière. Arrivé à sa destination, on constata que ce tissu était invendable, que sa trame était profondément altérée; il fut retourné à l'expéditeur, qui, à son tour, réclama auprès de l'apprêteur; mais celui-ci prouvait avec raison que si son apprêt eût été la cause de ces avaries, celles-ci ne se manifesteraient pas seulement sur la trame, mais aussi sur la chaîne, bien plus fine, plus délicate, et qui était cependant restée intacte. Bien des suppositions furent mises en avant pour expliquer l'accident, et, après un examen attentif, on finit par reconnaître que le fil de la trame n'avait pas été également dégorgé à fond, qu'ainsi de très-faibles proportions d'acide étant restées adhérentes sur certaines parties avaient déterminé la détérioration du tissu. Ici encore il a suffi d'exposer une de ces pièces pendant vingt-quatre heures à l'action d'un courant d'air chauffé à 130°, pour provoquer rapidement ces altérations qui n'avaient lieu autrement que d'une manière lente et pour pouvoir découvrir toutes les passes où la trame se trouvait endommagée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

AU CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS

SUR CINQ BARREAUX DE FONTE ALLIÉE DE TUNGSTÈNE.

On s'est beaucoup préoccupé en Allemagne, depuis quelque temps, des propriétés que le tungstène peut communiquer à l'acier avec lequel il est allié en très-minime proportion.

Le *Bulletin de la Société d'encouragement* du mois de mai dernier a donné une traduction fort intéressante d'un travail de M. le docteur Koëller et de M. Sperl sur ce sujet. Non-seulement cet acier se travaille plus facilement que les autres, mais sa résistance à la rupture est augmentée dans une notable proportion ; il se soude mieux, et sa cassure présente ce beau grain, fin et nacré, des meilleurs aciers anglais.

Le *wolfram*, qui sert au mélange, est un tungstage de fer et de manganèse, dont on expulse par un grillage les arseniures et les sulfures qu'il contient. On le lave ensuite avec de l'acide chlorhydrique, et après l'avoir pulvérisé, on le réduit, en l'exposant dans un creuset brasqué et en mélange avec du charbon, à une très-haute température ; le produit de ces opérations est alors formé de tungstène métallique, avec des carbures de fer et de manganèse.

Quelques doutes se sont élevés sur la présence réelle du tungstène dans l'acier au wolfram, comme on l'appelle en Allemagne ; mais il est difficile d'expliquer autrement que par la présence de ce métal les modifications importantes qui ont été reconnues dans l'acier, dans lequel on a introduit pendant la fusion une très-petite proportion de tungstène ; des analyses directes ont d'ailleurs levé depuis quelque temps toute incertitude à cet égard.

Quoi qu'il en soit, M. Dubreuil fait exploiter en France un gisement de wolfram, qu'il possède à la mine de Puy-les-Vignes, près de Saint-Léonard (Haute-Vienne), et ce minerai entre déjà dans la fabrication de certains aciers français. M. Koëller lui-même s'occupe sur les lieux de cette question, et M. Talabot livre déjà

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

au commerce des limes, des aciers dans lesquels on introduit jusqu'à 5 pour 100 du nouveau métal. M. Dubreuil, désireux de connaître exactement l'influence du tungstène sur la fonte, a demandé au Conservatoire que des expériences fussent faites sur cinq barreaux de fonte, de même provenance et de même échantillon, dans lesquels la proportion de tungstène variait de 1/8 p. 100 à 1 p. 100.

Ces barreaux ont été soumis à des expériences de flexion, dans lesquelles on a observé les flèches de courbure pour des charges variant de 8 en 8 kilog., qui ont été poussées jusqu'à 48 kilog.; les observations ont été faites de la même façon, en chargeant et en déchargeant les barres, et l'on en a conclu pour chaque barre la flexion moyenne pour une charge au milieu de 10 kilog. La distance entre les points d'appui était de $2^m,10$, et la section était pour toutes les pièces de $0^m,033$ en hauteur sur 0,032. Le moment d'inertie pour chacune d'elles était $I = 0,0000000958$ et les coefficients d'élasticité ont été calculés par la formule ordinaire $E = \frac{PC^3}{3fI}$.

Les résultats des calculs, ainsi que les données directes des expériences, sont inscrits dans le tableau suivant :

Tableau des expériences de flexion faites sur cinq barreaux de fonte alliée de tungstène.

DÉSIGNATION DES BARREAUX.	Flexion totale pour 48 kil.	Flexion moyenne pour 10 kil.	Valeurs de E.
	mill.	mètres.	
Fonte naturelle.	11,64	0,0023230	8,770000000
Fonte alliée de 1/8 0/0 de tungstène.	11,18	0,0021937	9,180000000
Fonte alliée de 1/4 0/0 de tungstène.	10,84	0,0021235	9,484000000
Fonte alliée de 1/2 0/0 de tungstène.	9,76	0,0019410	10,376000000
Fonte alliée de 1 0/0 de tungstène. .	9,18	0,0019170	10,500000000

On voit par ces chiffres que la fonte employée n'est pas très-résistante, puisque, d'après les données antérieures, le coefficient d'élasticité de la fonte non alliée est souvent plus considérable que le dernier chiffre du tableau. Mais on voit aussi que cette

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

résistance croît d'une manière constante avec la proportion de tungstène, et qu'ainsi l'addition, à faible dose, de ce métal, a sur les propriétés de la fonte une influence marquée. Le grain de cette fonte était d'ailleurs d'une grande régularité, fin et grisâtre, et la cassure dénotait une grande homogénéité.

Le wolfram employé pour le mélange avait été seulement pulvérisé et grillé, afin de le débarrasser de la plus grande partie de l'arsenic et du soufre qu'il renfermait.

Il serait d'autant plus désirable que ces faits fussent confirmés par la pratique que de grandes quantités de wolfram sont jusqu'ici restées sans emploi, soit en Allemagne, soit ailleurs.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers.

Paris, le 7 septembre 1860.

Vu : Général Morin. H. Tresca.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

SUR UNE POMPE A FORCE CENTRIFUGE, A AUBES COURBES,

de M. GWYNE, de Londres.

M. Malo, constructeur à Dunkerque, cessionnaire en France de M. Gwyne pour les applications de ses pompes à force centrifuge, a désiré que des expériences fussent faites au Conservatoire impérial des arts et métiers sur l'un de ces appareils.

Cette machine diffère notablement de celle qui a été expérimentée à l'Exposition universelle de Londres en 1851. Les aubes, au nombre de six, ne sont planes que sur une partie de leur longueur, et elles se terminent par une partie courbe très-prononcée, dont le dernier élément est presque tangent à la circonférence.

Les deux turbines essayées successivement dans la même enveloppe ont un diamètre de $0^m,460$; la plus grande largeur des aubes, dans le sens de l'arbre sur lequel les turbines sont établies est de $0^m,146$ à la naissance, et seulement $0^m,065$ à l'extrémité; la section de la nappe d'eau reste par suite de cette circonstance à peu près constante à toutes les distances de l'axe. Les aubes sont en fonte; elles ont 14 millimètres d'épaisseur à la naissance, mais cette épaisseur va rapidement en diminuant dans les parties courbes, et elle n'est plus que de 1 millimètre à l'extrémité. Elles sont d'ailleurs consolidées par des nervures qui les réunissent les unes aux autres par le milieu de leur largeur, et qui sont évasées de manière à guider l'eau lors de son entrée dans les aubes; celles-ci sont elles-mêmes arrondies en dos d'âne à l'entrée, aux dépens de leur épaisseur, qui, sur les bords, se trouve réduite jusqu'à 4 millimètres.

Trois aubes entières sont ainsi faites; les trois aubes intermédiaires ne prennent naissance qu'à la circonférence moyenne de la turbine, mais elles ont d'ailleurs même forme que les autres.

L'eau arrive par le centre au moyen d'un tuyau vertical qui plonge dans le réservoir inférieur et qui est fermé par un clapet de retenue.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'enveloppe en fonte est d'un diamètre plus grand que celui de la turbine de 2 centimètres seulement, et une petite cloison placée à l'entrée du tuyau d'échappement isole cet espace annulaire du côté seulement où il serait à craindre que les aubes entraînassent une partie de l'eau qu'elles doivent déverser dans ce tuyau, en passant devant lui. Comme dans toutes les machines de ce genre, le tuyau d'échappement est convenablement raccordé avec cette enveloppe annulaire.

La machine puisait l'eau à $0^m,80$ seulement au-dessous du centre des disques, dans un grand bassin dont le niveau est un peu variable; le refoulement avait lieu dans un tuyau vertical en zinc de $0^m,24$ de diamètre, soutenu latéralement par un échafaudage disposé à cet effet; l'eau débitée était recueillie chaque fois dans un canal en fonte présentant $30^m,315$ de section, et dans lequel les niveaux étaient observés avant et après chaque expérience au moyen de pointes mises en contact avec la surface du liquide.

On a dans chaque expérience augmenté la quantité mesurée de 100 litres pour tenir compte des pertes faites par le réservoir en bois dans lequel l'eau tombe au sortir du tuyau d'élévation.

Le travail dépensé par la machine était mesuré à l'aide du grand dynamomètre de rotation du Conservatoire, dont les lames fléchissent de 1 millimètre pour une charge de $8^k,84$. La poulie motrice de ce dynamomètre avait un diamètre de $0^m,82$, alors que celui de la poulie motrice de la pompe était seulement de $0^m,245$.

Des expériences faites à une aussi grande hauteur, avec tous les moyens de détermination convenables, présentaient un grand intérêt.

Le tableau suivant reproduit toutes les données de ces expériences.

Les six premières expériences ont été faites avec une force motrice insuffisante; la pression baissait sensiblement dans la chaudière pendant le fonctionnement de la pompe, et la vitesse ne pourrait être regardée comme suffisamment uniforme.

Dans les expériences numérotées sept à vingt, on a employé une turbine dont les aubes étaient moins recourbées, et qui, suivant le représentant de M. Gwyne, était plus spécialement destinée à élever l'eau à une hauteur de 10 à 12 mètres. Lors du démontage de cette turbine, on s'est aperçu que deux aubes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Numéros des expériences.	Ordonnée moyenne de la courbe.	Effort moyen correspondant.	Nombre de tours du dynamomètre par minute.	Nombre de tours du dynamomètre par seconde.	Travail par tour du dynamomètre.	Travail par minute.	Travail par seconde.	Travail moteur en chevaux.	Durée de l'expérience.
	mill.	kil.			kil^{m}.	kilogrammèt.			
1	18,70	165,3	200	3,33	423,8	85160	1419	18,9	192
2	17,32	134,8	208	3,47	398,8	82950	1382	18,4	200
3	20,00	176,8	210	3,50	455,4	95634	1594	21,2	113
4	18,80	166,1	214	3,57	427,9	91571	1526	20,3	110
5	18,53	163,9	230	3,83	422,2	97106	1618	21,6	112
6	17,45	154,2	216	3,60	397,2	85795	1430	19,0	120
7	20,00	176,8	208	3,47	455,4	94723	1579	21,0	99
8	18,92	167,0	200	3,33	430,2	86040	1434	19,1	111
9	19,00	167,9	197	3,28	432,5	85202	1420	18,9	125
10	20,05	177,2	200	3,33	456,3	91300	1522	20,3	105
11	18,32	161,7	196	3,27	416,5	81634	1360	18,1	127
12	15,33	135,5	196	3,27	349,0	68404	1140	15,2	130
13	18,93	167,3	194	3,23	431,0	83614	1393	18,6	137
14	13,02	132,6	188,5	3,14	341,6	64392	1073	14,3	160
15	28,65	253,2	218	3,63	652,2	142179	2370	31,6	85
16	27,10	239,5	212	3,53	617,0	130804	2180	29,1	95
17	25,25	223,2	206	3,43	575,0	118450	1974	26,3	97
18	25,85	228,5	210	3,50	586,6	123606	2060	27,49	82
19	30,75	271,8	228	3,80	700,0	159600	2660	35,9	70
20	26,80	236,9	215	3,58	610,0	131150	2186	29,1	78
21	25,35	224,1	212	3,53	577,0	122324	2039	27,1	90
22	22,30	197,1	250	4,16	507,0	126950	2116	28,2	100
23	24,00	212,2	205	3,41	546,0	112032	1867	24,9	97
24	22,50	198,9	204	3,40	512,4	104530	1742	23,2	121
25	23,65	209,0	207	3,45	538,0	111366	1856	24,7	106
26	22,80	201,5	202	3,37	518,0	104636	1744	23,2	113
27	27,75	245,3	234	3,98	631,0	147654	2461	32,8	90
28	26,30	232,5	235	3,91	598,0	140330	2342	31,2	91
29	23,30	206,0	234	3,90	531,0	124254	2071	27,6	100
30	23,43	207,3	220	3,66	533,0	117260	1954	26,0	106
31	21,71	192,9	208,5	3,48	594,0	123849	2064	27,5	122
32	23,57	208,3	215	3,58	536,0	115240	1921	35,6	106

Poids de la pompe, 300 kilog. — Prix, 1,000 à 1,200 francs.
Tare des lames du dynamomètre employé, 8^{k},84 par millimètre de flexion.
La superficie du bassin recevant l'eau = 30^{mq},315.
Dans toutes les expériences on a évalué à 100 litres la quantité d'eau perdue par suite

étaient brisées à leur extrémité et que la cloison existant dans l'enveloppe à l'entrée du tuyau d'échappement avait également été arrachée, sans doute par suite de la présence de quelque fer-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Volume d'eau élevée.	Hauteur d'élévation	Travail total en eau élevée.	Travail produit en une seconde.	Rendement brut.	Nombre de tours total indiqué par le compteur.	Nombre de tours total théorique.	Rendement de la pompe en tenant compte des glissements de la soupape.	Volume d'eau élevé par tour de la pompe.	Nombre de tours de la pompe par minute.
litres.	mètres.	kilogmètr.						litres.	
9194	9,50	87343	454,9	0,32	2066	2131	0,33	4,45	612
9194	9,50	87343	436,7	0,32	2147	2318	0,35	4,28	644
6163	9,50	58549	518,1	0,33	1232	1321	0,35	5,00	654
6163	9,50	58549	532,3	0,35	1200	1311	0,38	5,14	654
6163	9,50	58549	527,7	0,33	1220	1432	0,39	5,05	653
6163	9,50	58549	487,9	0,34	1325	1440	0,37	4,63	662
				moyenne 0,330					
6163	9,50	58549	391,4	0,37	1104	1147	0,39	5,58	683
6163	9,50	58549	527,5	0,37	1213	1221	0,37	5,08	635
6163	9,50	58549	468,4	0,33	1380	1370			662
6163	9,50	58549	557,6	0,37	1182	1153		5,21	
6163	9,50	58549	461,0	0,34	1375	1387	0,34	4,48	649
6163	9,50	58549	450,4	0,47	1408	1420	0,47	4,38	650
6163	9,50	58549	427,4	0,31	1460	1478	0,31	4,22	637
6163	9,50	58549	365,9	0,34	1680	1726	0,35	3,67	630
9194	9,50	87343	1027,6	0,43	987	1030	0,43	9,31	696
9194	9,50	87343	919,4	0,42	1071	1120	0,44	8,58	676
9194	9,50	87343	900,4	0,46	1100	1112	0,46	8,36	680
9194	9,50	87343	1065,2	0,32	930	958	0,34	9,89	680
9194	9,50	87343	1247,8	0,47	820	888	0,51	11,21	703
9194	9,50	87343	1119,7	0,31	894	933	0,33	10,28	688
				moyenne 0,408					
9194	9,50	87343	970,5	0,48	1040	1062	0,49	8,84	693
9194	9,50	87343	873,4	0,41	1113	1339	0,50	8,26	668
9194	9,50	87343	900,4	0,48	1105	1107	0,48	8,32	683
9194	9,50	87343	721,8	0,41	1279	1375	0,44	7,19	634
9194	9,50	87343	824,0	0,44	1218	1221	0,44	7,55	660
9194	9,50	87343	773,0	0,44	1260	1272	0,44	7,30	669
9194	9,50	87343	970,0	0,40	1040	1172	0,45	8,84	703
9194	9,50	87343	960,0	0,41	1060	1188	0,46	8,67	699
9194	9,50	87343	873,0	0,42	1127	1302	0,49	8,16	676
9194	9,50	87343	824,0	0,42	1198	1296	0,45	7,68	678
9194	9,50	87343	716,0	0,35	1355	1418	0,37	6,78	667
9194	9,50	87343	824,0	0,43	1200	1268	0,45	7,66	679
			moyenne.	0,466					

des jaillissements ou des fuites du déversoir, et l'on a tenu compte de ce chiffre dans les calculs.

La hauteur du centre de la pompe au niveau moyen de l'eau dans le bassin inférieure était de 0m,80.

raille, qui était tombée dans l'intérieur de la turbine pendant la pose des tuyaux.

C'est pour se mettre autant que possible à l'abri de l'influence

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de ces accidents que l'on a fait une troisième série d'expériences, en substituant à la turbine ainsi détériorée une autre turbine à aubes plus courbes, plus spécialement destinée à des hauteurs de 12 à 14 mètres. Cette turbine était faite pour entrer dans la même enveloppe; elle en a été retirée intacte; mais la cloison brisée lors de la deuxième série d'expériences n'a pu être rétablie, et sous ce rapport la troisième série de résultats laisse encore à désirer.

Les titres des premières colonnes du tableau s'expliquent d'eux-mêmes : le nombre des tours du dynamomètre était compté avec le plus grand soin, et c'est en appliquant l'effort moyen au chemin parcouru par un point de sa circonférence que l'on a calculé le travail moteur dépensé par seconde, et par suite le rendement brut, c'est-à-dire celui qui résulte immédiatement des données de l'expérience, savoir : le travail réellement dépensé et le travail produit en eau élevée.

Mais dans la transmission par courroie, du dynamomètre à la poulie de la pompe, on ne saurait absolument éviter les glissements, surtout lorsque la poulie est, comme dans le cas actuel, d'un petit diamètre, $0^m,245$. La courroie avait une longueur totale de $16^m,50$, une largeur de $0^m,15$; une épaisseur de $0^m,005$; elle était suffisamment tendue et placée dans de bonnes conditions pratiques; on doit donc admettre que dans le travail courant d'un appareil de cette nature, les glissements observés se reproduiront au moins dans la même proportion, et qu'ainsi les chiffres de rendement brut doivent être considérés comme les véritables chiffres pratiques. La première turbine aurait donc fourni un effet utile moyen de $0^m,408$, malgré l'accident survenu à deux de ses aubes.

La deuxième, qui était intacte, a donné en moyenne un rendement beaucoup plus considérable, de $0^m,466$. Quoique ces chiffres répondent suffisamment aux conditions pratiques de la machine, il était intéressant de voir quelle était la valeur maxima du rendement dans les circonstances où le glissement avait été le plus faible : c'est dans ce but que l'on a calculé le nombre total des tours qu'aurait dû faire la pompe pendant la durée de chaque expérience, s'il n'y avait eu aucun glissement de la courroie. En comparant ce nombre de tours théoriques avec celui des tours réels, tel qu'il était indiqué par le compteur monté sur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'arbre de la pompe, on voit que les expériences numéros 8, 12, 13 et 17, sont les seules parmi celles de la deuxième série qui satisfont à cette condition. Dans la troisième série, les numéros 21, 23, 25 et 26 sont dans le même cas.

Les résultats de ces expériences peuvent être ainsi groupés :

Numéros des expériences.	Nombre de tours de la pompe par minute.	Rendement.
13	637	0,31
8	655	0,37
17	680	0,46
12	650	0,47

La pompe de la deuxième série, pour une vitesse comprise entre 650 et 680 tours par 1′, rend donc de 0m,46 à 0m,47, dans le cas où il n'y a pas de glissements.

25	660	664	0,44
26	669		0,44
21	693	688	0,48
23	683		0,48

d'où il résulte que l'effet utile est dans la troisième série de 48 p. °/₀, et que dans tous les cas où il n'y a pas de glissements, il paraît augmenter lorsque le nombre des tours de la pompe par minute s'élève de 664 à 688.

Lorsqu'on a voulu marcher à des vitesses plus grandes, les glissements ont toujours été plus grands. Lorsque cette circonstance se présente, on peut encore obtenir une évaluation du rendement, approchée par excès. Si nous considérons, par exemple, l'expérience n° 17, pour laquelle le nombre des tours de la pompe, calculé d'après celui des tours du dynamomètre, aurait dû être de 958, et pour laquelle cependant il ne s'est élevé qu'à 930, on pourrait réduire le travail moteur effectif dans la proportion de 930 à 958, ce qui reviendrait à supposer que le même effort était transmis soit pour faire fonctionner la pompe, soit pour faire seulement glisser la courroie; au moyen de cette transformation, l'effet utile de 52 p. °/₀ que donnerait le calcul direct s'élèverait à 54 p. °/₀.

On a réuni dans une colonne spéciale les rendements ainsi calculés sous le titre de : *Rendement de la pompe en tenant compte des glissements de la courroie.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le maximum, dans la seconde série, s'élève alors à 54 p. %; dans la troisième, à 50 seulement.

Les pompes actuelles de M. Gwyne produisent donc un effet utile pour une élévation d'eau à 9m,50 de hauteur totale, qui peut s'élever de 0m,50 à 0m,54 p. % dans les conditions des expériences.

L'emploi de plus grands diamètres de turbines a permis à ce constructeur d'atteindre ces grandes hauteurs d'élévation avec une vitesse relativement faible, et l'on doit le féliciter d'avoir profité des enseignements de l'Exposition de 1851, qui avaient manifestement prononcé en faveur des aubes courbes, que M. Gwyne n'employait pas encore à cette époque. Les turbines à aubes courbes d'Appold avaient donné, lors des expériences du jury, des résultats beaucoup plus favorables que les siennes.

Ces machines sont surtout intéressantes par la simplicité de leur construction et par leur faible volume. Celle qui fait l'objet de ce procès-verbal ne pèse que 300 kilogrammes, sans les tuyaux, et peut élever par heure 460 mètres cubes d'eau à 10 mètres de hauteur.

En comptant sur un rendement pratique de 45 p. %, elles exigeraient, dans ces conditions, un travail moteur de plus de 30 chevaux-vapeur. Dans les expériences dont on vient de rendre compte le travail moteur s'est élevé jusqu'à 31,6 chevaux dans l'expérience n° 15.

Paris, le 12 juin 1860.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers, H. TRESCA.

Vu : Général MORIN.

Les procès-verbaux des expériences du Conservatoire étant rédigés d'une manière sommaire et au point de vue spécial des résultats constatés, il nous arrivera fréquemment de les compléter soit par quelques considérations générales, soit par la description et les dessins des appareils.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La pompe de Gwyne essayée à l'exposition universelle de Londres comparativement avec celle d'Appold était essentiellement à aubes planes, et à cette époque on avait déjà prétendu qu'elle donnait un résultat tout aussi favorable que les turbines à aubes courbes. On peut voir dans le rapport du jury de Londres (*Head juries*, pages 182), que cette prétention n'a pas été justifiée.

Quant à la machine actuelle qui est, comme la pompe d'Appold, à aubes courbes, les dessins de la planche IV la représentent dans tous ses détails.

La poulie motrice E calée sur l'arbre horizontal de la machine met directement en mouvement la roue à force centrifuge F, qui est enveloppée dans un coffre en fonte, épousant aussi exactement que possible la forme des palettes.

Celles-ci sont au nombre de six, mais trois d'entre elles seulement sont prolongées jusqu'à l'axe. De forme rectangulaire sur la moitié environ de leur longueur, elles sont terminées par une portion de largeur décroissante, d'abord plane, puis recourbée de manière que le dernier élément de la courbure soit presque tangent à la circonférence. Un diaphragme G, placé au bas du tuyau de refoulement, arrête l'eau dans son mouvement de rotation, et empêche son entraînement dans l'espace annulaire concentrique qui entoure la roue à force centrifuge sur toute sa circonférence.

L'eau arrive en H, au-dessous du plan de fondation de la machine; elle se divise en deux colonnes montantes H′ et H″, est aspirée par le centre K′, K″, de l'enveloppe de la roue, renvoyée par cette roue vers la circonférence de l'enveloppe, et enfin s'échappe par le tuyau vertical Z, sur lequel est directement assemblé le tuyau d'ascension.

Les parcours de l'eau sont ainsi très-limités, mais on remarquera sans doute que les contours ne sont pas arrondis autant qu'ils pourraient l'être, et qu'ainsi l'influence des tourbillonnements et des différences de section n'est pas atténuée autant que dans les pompes à force centrifuge d'Appold. Ce défaut de construction expliquerait en partie la différence entre les résultats observés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

SUR LA TURBINE ÉLÉVATOIRE

DE M. GIRARD.

M. Girard a présenté au Conservatoire impérial des arts et métiers une turbine à force centrifuge, composée de plusieurs couronnes superposées, mobiles avec l'arbre vertical sur lequel elles sont calées.

Au moyen de directrices disposées à cet effet, l'eau qui s'échappe de la première couronne, après avoir été aspirée par elle, est conduite au centre de la seconde, pour être de nouveau soumise à l'action de la force centrifuge, et ainsi de suite jusqu'à la cinquième couronne, qui est en communication directe avec le conduit de refoulement.

Pour soumettre cet appareil, dont la construction a été confiée à M. Froment, à des expériences dynamométriques, on a dû plonger un tuyau d'aspiration dans le bassin en maçonnerie de la salle des machines en mouvement et mettre la buse de refoulement de la machine en communication avec une des conduites qui desservent les bassins supérieurs, placés dans la tour qui avoisine cette salle.

La turbine est fixée sur un bâti en bois, et elle est disposée de manière à recevoir par une courroie le mouvement d'un arbre vertical, établi sur un beffroi mobile, qui porte en même temps le dynamomètre de rotation à arbre horizontal, auquel on transmet, également par une courroie, le travail fourni à la transmission générale par une machine à vapeur.

Quant à la transmission entre le dynamomètre et l'arbre vertical du beffroi, elle est établie par deux roues d'angle, du diamètre de $0^m,430$, comptant chacune 50 dents.

La turbine étant installée sur un bâti reposant sur le dallage de la salle, la première couronne était nécessairement à une certaine hauteur au-dessus du niveau de l'eau dans le bassin infé-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rieur ; cette hauteur d'aspiration a été d'environ 1m,74 pour toutes les expériences, et pour éviter que la turbine ne se vide après chaque opération, il a été nécessaire de placer à l'extrémité du conduit d'amenée une soupape de retenue ; les dimensions de ce conduit cintré étaient d'ailleurs de 0m,30 sur 0m,14 à l'entrée dans la turbine, et celle d'un cercle de 0m,27 de diamètre à sa naissance. Le tuyau général de refoulement avait seulement un diamètre de 0m,20, et son développement, avant d'atteindre le sol de la tour, n'était pas moindre que 20 mètres ; ce parcours, qui s'ajoutait dans tous les cas à celui de l'eau dans les tuyaux verticaux, comprenait d'ailleurs quatre coudes, dont un à angle droit, les trois autres suivant un quart de circonférence de 50 centimètres de rayon. Cette disposition particulière de la canalisation déterminait certainement un accroissement de résistance qu'il importait de signaler, l'eau refoulée par la turbine étant ainsi obligée de descendre dans le col de cygne pour remonter ensuite jusque dans le bassin dans lequel l'eau affluente était directement jaugée.

Par suite de cette disposition, le haut de la turbine formait un point culminant du parcours général, et l'expérience prouva bientôt que l'air s'y accumulait au point de gêner le fonctionnement de la machine ; pour obvier à cet inconvénient, on a établi un robinet de purge au point le plus élevé, et il a suffi, dans le cours des expériences, d'ouvrir de temps en temps ce robinet pour chasser la totalité de l'air emprisonné.

Afin de pouvoir remplir exactement la conduite d'aspiration, on l'a mise en relation par un tuyau de 0m,02 de diamètre avec le sommet de la turbine, et l'on pouvait alors vider, par le tuyau latéral, momentanément ouvert, le tuyau de refoulement ou l'un des bassins au profit de cette conduite d'aspiration. Dans quelques expériences, le robinet de communication est resté ouvert pendant le fonctionnement de la turbine ; on a eu soin de noter cette circonstance anormale dans le tableau général des observations.

Pour apprécier les résistances déterminées par la conduite de refoulement, on a placé un manomètre à air libre à côté de la machine, et après avoir mis l'une de ses branches en communication avec le sommet de la turbine, on a chaque fois observé les variations du niveau pendant le refoulement ; les oscillations

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de la colonne étaient en général d'une grande amplitude, et l'on a dû apprécier le niveau moyen, avec les erreurs que comportent nécessairement de pareilles estimations.

Un observateur placé au dynamomètre traçait deux ou trois diagrammes pendant chaque expérience ; il annonçait par un premier coup de sifflet, donné par la chaudière à vapeur, que l'expérience allait bientôt commencer, puis, quand la vitesse de régime lui paraissait atteinte et au signal donné par un second coup de sifflet, un autre observateur placé dans la tour notait sur une règle divisée le niveau de l'eau dans le réservoir supérieur, et s'apprêtait à faire sur cette même règle un second repère au moment où un troisième coup de sifflet annoncerait la fin de l'expérience.

Le nombre des tours du dynamomètre était exactement compté, et dans quelques cas un compteur de tours, établi sur l'arbre même de la turbine, indiquait à quelle vitesse de régime on avait fonctionné pendant tout le temps écoulé entre le deuxième et le troisième signal. C'est aussi dans cet intervalle que les observations manométriques étaient faites, en tenant compte autant que possible de l'augmentation de pression à mesure que le niveau s'élevait dans le réservoir ; le chiffre donné par chaque lecture a été ensuite transformé en hauteur de colonne d'eau, en multipliant la pression en atmosphère par $10^{m}.33$, et en ajoutant la hauteur comprise entre le niveau inférieur du mercure et le niveau de l'eau dans le réservoir alimentaire ; les chiffres inscrits au tableau sous le titre de pressions indiquées par le manomètre expriment donc la pression totale à partir du niveau d'aspiration.

Il ne sera pas inutile d'ajouter que la branche du tube manométrique qui établissait la communication avec la chambre supérieure de la turbine était fixée perpendiculairement à la paroi de cette chambre et perpendiculairement aussi à la direction du courant.

Le phénomène d'aspiration qui a pu être déterminé par cette disposition ne saurait avoir une grande influence sur la pression, et cette différence serait absolument du même ordre que les erreurs d'observations, inévitables dans l'appréciation du niveau d'une colonne soumise à de brusques et fréquentes variations.

Le tableau suivant fait connaître tous les éléments des expé-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLEAU DES EXPÉRIENCES FAITES SUR LA TURBINE

A CINQ COURONNES DE M. GIRARD.

Dates des expériences.	Numéros des expériences.	Durée des expériences.	Hauteur moyenne à laquelle l'eau est élevée	Variation de niveau dans le réservoir récepteur.	Volume d'eau correspondant.	Travail réel en eau élevée.	Travail en eau élevée par 1 minute.	Nombre total des tours de la turbine	Nombre théoriq. des tours de la turbine d'après la transmission.	Rapports entre les chiffres des deux dernières colonnes.	Nombre de tours du dynamomètre par minute.	Chemin parcouru par l'effort moteur par minute.	Ordonnée moyenne des diagram.	Effort moyen.	Travail transmis au dynamomètre par minute.	Pression indiquée sur le manomètre en colonne d'eau.	Rapport entre les chiffres de la colonne précédente et la hauteur réelle.
1859.		minut.	mètres.	mètres.	litres.							mètres.	millim.	kil.	kil^{m}.	mètres.	
7 sept.	1	5	4,105	1,080	10596	43495	8699	1255	1278	0,98	116,2	298,6	11,44	101,13	30197	»	»
id.	4	5	4,106	1,090	10694	43910	8782	1275	1287	0,99	117,0	300,7	10,92	96,53	29026	»	»
id.	5	5	4,080	1,070	10497	42725	8545	1250	1261	0,99	114,6	294,5	11,36	100,40	29568	»	»
10 sept.	1	5	4,095	1,130	11087	45400	9080	1284	1318	0,97	119,8	307,9	11,00	97,24	29940	»	»
id.	2	5	4,210	1,140	11185	47090	9418	1286	1315	0,97	119,6	306,4	11,70	103,43	31691	»	»
15 sept.	1	4	4,145	1,000	9826	40728	10182	1010	1102	0,91	125,2	321,8	14,16	125,17	40284	5,94	1,43
id.	2	5	4,055	1,180	11595	47015	9403	1300	1348	0,96	122,6	315,1	13,89	122,74	38675	5,77	1,42
27 sep.*	1	4	4,020	0,920	9040	36340	9085	»	»	»	128,0	328,9	14,39	127,21	41840	5,89	1,46
id. *	2	4	4,085	0,950	9335	38136	9534	»	»	»	128,5	330,0	14,10	124,64	41131	5,75	1,41
10 sept.	2	4	7,240	1,155	11349	82060	20540	1305	1329	0,98	151,0	388,1	17,65	156,03	60655	»	»
id.	3	4	7,240	1,137	11152	80740	20185	1306	1342	0,97	152,5	391,9	19,43	171,76	67316	»	»
14 sept.	2	4,7	7,110	1,009	9908	70558	17114	1268	1301	0,97	143,6	369,0	16,41	145,50	53689	8,97	1,21
id.	3	4	7,380	1,239	12168	89800	22450	1375	1430	0,96	162,5	417,6	20,32	181,40	75753	10,24	1,39
id.	4	4	7,400	1,219	11971	88592	22148	1360	1430	0,95	162,5	417,6	19,79	174,90	73038	10,24	1,38
id.	5	2	7,230	0,909	8925	64527	21509	1016	1066	0,95	161,6	415,3	19,71	174,20	72345	10,16	1,40
31 oct.	1	2,30	10,000	0,780	7664	76625	30650	»	»	»	160,0	411,2	27,40	242,20	99593	12,10	1,21
id.	2	2,30	10,230	0,750	7369	73924	29568	905	1109	0,81	201,6	518,1	24,60	217,40	112635	12,08	1,20

* Dans les expériences du 27 septembre, le robinet de purge était resté ouvert; il est probable que le même oubli a eu lieu pour les expériences du 15 septembre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

riences dans lesquelles les tracés dynamométriques ont été assez continus pour offrir le caractère de netteté convenable ; les autres observations ont été considérées comme nulles.

Les nombres de ce tableau se composent de deux parties bien distinctes. Les données directes de l'expérience ont été chaque fois estimées contradictoirement avec M. Girard. Les nombres calculés en ont été déduits en partant des indications qui suivent :

1° Pour apprécier le volume d'eau élevé, on a cubé les réservoirs dans lesquels l'eau était reçue ; ce sont de grands vases rectangulaires en tôle (largeur, $3^m,95$; longueur, $3^m,20$) dont la surface est par conséquent $9^m,9040$.

Chacun de ces réservoirs est traversé dans toute sa hauteur par deux tuyaux de 0,20 de diamètre, ensemble.	0,0628
et 1 tuyau de trop-plein de 0,14.	0,0153
	0,0781

De sorte que la surface libre est seulement de $9^{mq},8259$.

C'est cette évaluation qui nous a servi à déterminer, dans chaque cas, le volume d'eau élevé.

2° Le nombre de tours de la turbine peut être déduit du nombre des tours du dynamomètre par la considération des diamètres des transmissions.

Les deux roues d'angle étant d'égal diamètre transmettent à l'arbre vertical le même nombre de tours que celui du dynamomètre.

Diamètre de la poulie montée sur l'arbre vertical.	$0^m,988$
Diamètre de la poulie de commande de la turbine.	$0^m,449$

Le rapport théorique des vitesses est donc celui de 988 à 449, ou de 2,20.

La colonne qui indique le rapport réel permet de voir que les glissements ont été peu considérables, si ce n'est seulement dans les deux dernières expériences qui sont relatives à une élévation à 10 mètres, et dans lesquelles on dépensait une quantité de travail qui n'était pas inférieure à 22 chevaux-vapeur. Le calcul précédent ne tient pas compte d'ailleurs de l'épaisseur de la courroie, et par son introduction dans la formule on arriverait à une concordance bien plus parfaite entre les chiffres de l'observation et les chiffres calculés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3° Pour apprécier dans le travail dépensé le chemin parcouru par l'effort moteur, il a suffi de multiplier le nombre des tours par la circonférence développée de la poulie du dynamomètre, soit $2\pi \times 0^m.82 = 2^m,57$.

4° La tare de cet instrument étant de $8^k.84$ par millimètre de flexion, il a suffi de multiplier par ce coefficient la flexion moyenne en millimètres pour avoir la mesure de l'effort moteur.

En rapprochant les chiffres du tableau qui donnent la mesure du travail on peut grouper les résultats de la manière suivante :

Résultats calculés des expériences sur la turbine élevatoire à cinq couronnes de M. Girard.

Dates des expériences.	Numéros des expériences.	Hauteur à laquelle l'eau est élevée.	Nombre de tours de la turbine par minute.	Volume d'eau élevée par minute.	Travail produit en eau montée par minute.	Travail produit, estimé d'après la pression manométrique.	Travail dépensé.	Rapport entre le travail en eau montée et le travail dépensé.	Rapport entre le travail estimé au manomètre et le travail dépensé.	Travail dépensé en chevaux vapeur.
1839.		m.		lit.	kil.					
7 sept.	1	4,105	251,0	2119	8699	»	30197	0,29	»	6,71
id.	4	4,106	255,0	2139	8782	»	29026	0,30	»	6,45
id.	5	4,080	250,0	2094	8545	»	29568	0,29	»	6,57
10 sept.	1	4,095	256,8	2217	9080	»	29940	0,30	»	6,66
id.	2	4,210	257,2	2237	9418	»	31691	0,29	»	7,04
15 sept.	1	4,143	252,5	2456	10182	14588	40234	0,25	0,36	8,35
id.	2	4,055	260,0	2319	9403	13380	38675	0,24	0,35	8,59
27 sept.	1	4,020	»	2260	9085	13311	41840	0,21	0,32	9,29
id.	2	4,085	»	2334	9534	13420	41131	0,23	0,32	9,14
10 sept.	2	7,240	325,0	2837	20540	»	66653	0,31	»	14,81
id.	3	7,240	325,2	2788	20185	»	67316	0,29	»	14,96
14 sept.	2	7,110	308,0	2407	17114	21591	53689	0,32	0,40	11,93
id.	3	7,380	343,7	3042	22450	31150	75753	0,29	0,41	16,83
id.	4	7,400	340,0	2993	22148	30643	73038	0,30	0,42	16,23
id.	5	7,230	338,6	2975	21509	30226	72345	0,29	0,41	16,07
31 oct.	1	10,000	»	3065	30650	37086	99503	0,30	0,38	22,13
id.	2	10,030	»	2948	29568	35611	112635	0,27	0,31	25,03

On voit par ce tableau que les résultats sont très-concordants, et qu'en ce qui concerne l'élévation à 4.00 environ, la turbine a donné seulement 29 p. 100 d'effet utile en eau montée dans les conditions de l'expérience.

Pour la hauteur de 7 mètres, l'effet utile s'est élevé à 30 p. 100, et si l'on pouvait accorder confiance aux expériences faites à une élévation de 10 mètres, on aurait encore un rendement de $0^m.285$ environ.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le nombre des tours de la turbine par minute a été, relativement, très-faible, puisqu'il a été de

255 pour 4 mètres.
330 pour 7
et seulement de 420 pour 10.

Si, faisant abstraction des conditions particulières de la conduite de refoulement, on veut se rendre compte du rendement maximum que l'on pourrait obtenir de la machine, on pourra utiliser à cet effet le travail en quelque sorte théorique représenté par la pression observée à la naissance de cette conduite ; l'effet utile augmente alors de la manière suivante :

Pour 5,77	d'élévation.	0,32
Pour 10,20	—	0,41
Pour 12,00	—	0,34

et dans la pratique l'on approchera d'autant plus de ce maximum que la conduite sera disposée dans des conditions plus favorables.

On doit donc considérer le chiffre maximum de 0m,41 p. 100 comme la limite de ce que peut atteindre l'effet utile de la machine.

Malgré ce faible rendement, elle est cependant intéressante en ce qu'elle permet d'élever l'eau à des hauteurs relativement grandes, avec des vitesses de marche beaucoup moindres que celles exigées par les appareils à force centrifuge ordinaires, bien que les complications qu'entraîne la nécessité des grandes vitesses soient toujours un grand inconvénient pour ces sortes de machines.

Cette circonstance ayant engagé M. Girard à commander ultérieurement la turbine par une machine à vapeur à action directe et à grande vitesse, les moyens d'expérimentation dont nous disposions nous ont permis de mesurer exactement l'avantage qu'il est permis d'attendre d'une pareille disposition. Il suffisait, en effet, pour s'en rendre compte, de déterminer avec exactitude la quantité de travail dépensée par la transmission intermédiaire entre le dynamomètre et la turbine. On a donc établi un frein sur l'arbre vertical du beffroi, et l'on a successivement chargé cet arbre comme il l'était dans les expériences faites avec la turbine ; on lui a fait faire les mêmes nombres de tours que dans les premières expériences, et l'on a constaté, comparativement avec la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

puissance mesurée au frein, la quantité de travail moteur mesurée au dynamomètre.

Ces rapprochements peuvent avoir quelque intérêt pour établir la précision que l'on peut atteindre dans des expériences dynamométriques bien faites, alors même que la vitesse de l'instrument dépasse les limites habituelles ; les difficultés du tracé sont déjà grandes lorsque cet appareil fait 100 révolutions par 1' et nous avons ici dépassé 200 tours.

Le dynamomètre recevait le mouvement par une courroie montée sur sa poulie motrice de $0^m,82$ de diamètre, et il le transmettait à l'arbre vertical du frein par deux roues d'angle portant chacune 30 dents et d'un diamètre de $0^m,44$; on a vu, par les résultats de l'expérience, que ces engrenages peuvent sans gripper transmettre un travail de 25 chevaux. Ce sont ces mêmes engrenages qui ont servi dans toutes les déterminations faites sur la turbine de M. Girard.

Quant au frein dont le bras du levier avait une longueur de $2^m,61$, il était établi sur une poulie horizontale de $0^m,988$, calée sur l'arbre vertical, et tenue en équilibre au moyen de contre-poids placés sur un petit plateau de balance dont la corde passait sur une poulie de renvoi.

Tableau des expériences comparatives, au frein et au dynamomètre, faites pour apprécier les pertes de travail pour la transmission (22 novembre 1859).

Numéros des expériences.	Durée des expériences.	Nombre de tours du dynamomètre.	Chemin correspondant.	Flexions moyennes des lames.	Effort moyen.	Travail dépensé au dynamomètre.	Charge à l'extrémité du bras du frein.	Travail mesuré au frein.	Rapport entre les deux quantités de travail.	Perte en chevaux correspondant au travail dépensé.
			m.	mm.	kil.	km.		km.		
1	3'	535	1374,95	18,72	165,48	227527	24,65	214914	0,94	16,8
2	1'	240	339,70	18,96	166,51	89865	24,65	84842	0,94	19,5
3	1'	160	411.20	17,16	151,69	62375	21,65	56775	0.91	13,8
4	1'	166	426,62	16,70	147,63	62982	21,65	58904	0,93	14,0
5	1'	117	300,69	12,23	108,11	32508	16,65	31929	0,98	7,2

Dans le tableau précédent, on a pris soin d'indiquer la concordance entre les conditions dans lesquelles ces expériences spéciales ont été faites, et celles de quelques-unes des expériences de la première série :

Pour 7 chevaux et 117 tours, le rapport a été 0.98

Pour 14 chevaux et 160 tours, 0.925

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour 20 chevaux et 210 tours, 0,940

Dans les expériences faites précédemment sur la turbine, on peut donc admettre que pour l'élévation à 4 mètres, la transmission intermédiaire a dépensé 2 p. 100, et à 7 et 10 mètres 6 à 7 p. 100 du travail moteur.

En tenant compte de ces nouveaux éléments, les rendements maxima de la turbine de M. Girard pourraient théoriquement atteindre les chiffres de $\frac{0.32}{0.98} = 0.33$ pour 4 mètres, et de $\frac{0.41}{0.93} = 0.44$ pour 10 mètres.

En résumé, l'application qui vient d'être faite par M. Girard du principe des turbines superposées, déjà proposé par Gwyne pour les appareils à force centrifuge, ne permet pas d'atteindre avec les tracés actuels un rendement supérieur à 0.44, en supposant nulle la résistance des conduites, et en supposant nulles aussi les pertes de travail par les transmissions.

En pratique, il ne faudra pas compter sur plus de 35 p. 100 du travail moteur; d'autres expériences seront nécessaires pour établir l'influence des nouveaux tracés que M. Girard se propose de substituer aux tracés actuels.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers.

Paris, le 20 mai 1860.

H. TRESCA.

Vu : Le directeur, Général MORIN.

M. Girard a modifié le tracé de ses premières couronnes, comme l'indiquent les figures de la planche V. Ces nouvelles couronnes n'ont pu être montées avant le commencement de juillet, et quelques séries d'expériences ont été reprises dès le 17 de ce mois. L'eau a été portée à 4^m et à 7^m de hauteur, mais une fuite qui se faisait autour de l'axe amenait constamment de l'eau sous le pivot, de sorte que l'huile en était expulsée et que les parties frottantes étaient constamment plongées dans l'eau. Ces expé-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

riences n'ont pu être terminées par suite d'un grippement considérable qui s'est déterminé sur le pivot, et leurs résultats ne présentent pas le même degré de confiance que les précédents.

Nous les avons toutefois résumés dans un tableau spécial, qui semble démontrer que les modifications apportées dans les courbures des canaux n'ont pas à beaucoup près l'influence que leur attribuait l'auteur de la machine. Toutefois les vitesses étant notablement différentes de celles obtenues dans la première série d'expériences, une comparaison trop absolue ne présenterait pas toutes les conditions de garantie nécessaires pour motiver des conclusions précises.

Tableau des expériences du 17 *juillet* 1860 *sur la turbine élévatoire de M. Girard.*

Numéros des expériences.	Durée de l'expérience.	Quantité d'eau élevée par minute.	Hauteur à laquelle l'eau est élevée.	Travail en eau montée par minute.	Tours de la turbine par minute.	Tours du dynamomètre par minute.	Chemin parcouru par minute.	Ordonnée moyenne.	Effort moyen.	Travail dépensé par minute.	Rapport entre le travail en eau montée et le travail dépensé.	Pression indiquée au manomètre.	Hauteur d'eau correspondante à cette pression.	Travail calculé d'après cette hauteur.	Rapport entre ce travail et le travail dépensé.
	m	lit.	m.	kil.			m.	mill.	kil.	kil.		atm.	m.		
1	2	2790	4,00	11160	300	142,5	360,22	15,69	134,23	49158	0,22	0,698	6,28	17521	0,36
2	2	3387	4,08	13780	330	153	393,21	18,62	159,20	62598	0'22	0,682	7,04	23844	0,37
3	2	3720	4,17	15513	375	170	436,90	21,10	180,40	78816	0,19	0,737	7,61	28409	0,36
5	2	4160	4,24	17641	400	184	472,88	23,92	221,62	104769	0,17	0,869	8,97	37309	0.35
6	2	3671	7,09	26029	403	186,5	479,30	26,51	226,75	108677	0,24	9,114	11,74	43107	0,39

A la suite de ces expériences incomplètes on a remplacé le pivot par un autre, d'un diamètre plus grand, afin de diminuer la pression par centimètre carré qui était précédemment trop considérable.

Les expériences recommencées dans ces nouvelles conditions ont été très concordantes, et elles justifient, ainsi qu'on peut le voir par le tableau suivant, les conclusions qui précédent.

Le rendement calculé d'après la pression du manomètre a été pour le premier bassin de 0,352 et pour le second de 0,396. L'augmentation est peu considérable et semble prouver pour nous que le second tracé n'a pas modifié d'une manière bien sensible les résultats économiques du système.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tableau des expériences du 10 octobre 1860 sur la turbine élévatoire de M. Girard.

(Après réparation du pivot.)

Numéros des expériences.	Durée de l'expérience.	Quantité d'eau élevée par minute.	Hauteur à laquelle l'eau est élevée.	Travail en eau montée par minute.	Tours de la turbine par minute.	Tours du dynamomètre par minute.	Chemin parcouru par minute.	Ordonnée moyenne.	Effort moyen.	Travail dépensé par minute.	Rapport entre le travail en eau montée et le travail dépensé.	Pression indiquée au manomètre.	Hauteur d'eau correspondante à cette pression.	Travail calculé d'après cette hauteur.	Rapport entre ce travail et le travail dépensé.
	m	lit.	m.	kil.			m.	mill.	kil.	kil.		atm.	m.		
1	1	2937	3,78	11104	313	142	182,5	16,49	141,07	51490	0,21	0,621	6,41	18826	0,36
2	3	2415	4,08	9853	277	128	329	14,16	121,32	39910	0,25	0,646	6,67	16108	0,40
3	2	2888	3,93	11407	315	142	365	16,12	137,91	50337	0,22	0,621	6,41	18512	0,36
4	1	3720	3,91	14545	374	170	436,9	22,17	189,55	86814	0,17	0,746	7,70	28644	0,30
2	2	3671	7,05	25880	392	183	470,3	25,69	219,73	103339	0,25	1,116	11,53	42326	0,41
3	2	3818	7,17	27375	404	187	480,6	27,29	233,41	112174	0,24	1,171	12,10	46198	0,41
4	2	3133	7,00	21931	361	161	413,8	21,71	185,70	76833	0,28	1,011	10,44	32708	0,42

Enfin pour compléter cette série de déterminations on a dans une expérience spéciale mesuré le travail dépensé par la transmission et par les turbines fonctionnant à vide.

La flexion moyenne a été de 2 millim. 13; elle correspond à un effort de $2{,}13 \times 8{,}55 = 18^{km}.21$. Le dynamomètre fait 134 révolutions par minute : le chemin parcouru par le point d'application de l'effort était donc de $\frac{133}{60} \times 2{,}57 = 5{,}73$ mètres, et le travail consommé doit se calculer par le produit $18^{k}.21 \times 5{,}73 = 95{,}44$ kilogrammètres ou 1,27 cheval. Ce travail représente un vingtième environ de celui dépensé par la machine en fonction, et il indique suffisamment que l'appareil était installé dans d'excellentes conditions.

Dans l'état actuel des choses la machine élévatoire de M. Girard à disques superposés ne saurait donc promettre 40 % d'effet utile, et ce rendement étant calculé d'après la pression au bas des tuyaux devrait encore dans la pratique être diminué de tout le travail perdu par les frottements dans la canalisation.

Paris, le 17 novembre 1860.

L'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers, H. TRESCA.

Vu : Le directeur, Général MORIN.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DESCRIPTION DE LA MACHINE.

La figure 1, planche V, représente la turbine à cinq couronnes superposées, qui a fait l'objet des expériences qui précèdent.

L'eau, arrivant par le tuyau d'aspiration A, reçoit dans son parcours, à travers les directrices fixes B, au nombre de 36, la direction convenable pour entrer dans les canaux des couronnes mobiles C, au nombre de 12 seulement.

La figure 2 donne à la fois l'indication de la forme des directrices en fer, qui ont à peine 1 millimètre et demi d'épaisseur, et celle des 12 aubes du premier tracé.

Le second tracé est représenté figure 3; on voit qu'il ne diffère du précédent qu'en ce que les canaux ont été rétrécis et les angles plus arrondis.

L'eau en s'échappant des aubes de la première couronne parcourt le canal D, formé par l'intervalle compris entre les deux parois en fonte de ce premier étage de la machine, et est ainsi ramenée vers le centre, en E, sous l'action des nouvelles directrices B' et des nouvelles aubes C', en tout semblables à celles du premier étage. Cette eau arrive à la partie supérieure et à la bouche F de la machine avec la vitesse convenable pour atteindre la hauteur à laquelle elle doit parvenir.

L'enveloppe en fonte est exécutée en cinq parties distinctes, assemblées deux à deux par quatre boulons; on ne voit sur le dessin que les boulons de deux de ces assemblages, parce que les autres se trouvent à 45° de ceux-ci par rapport à l'axe de la turbine.

A la base de l'arbre commun aux cinq couronnes, M. Girard a disposé une pièce de fonte MN, dont la forme est celle qui convient pour offrir le moins de résistance au courant d'eau affluent, et pour le diriger le plus convenablement possible et avec peu de tourbillonnements dans le canal d'arrivée des premières directrices.

Le mouvement est transmis à la machine au moyen de la poulie R, enfermée dans la cage S, qui sert de support général à l'appareil, et qui porte à la partie inférieure la crapaudine et le pivot.

Ce pivot est établi dans des conditions toutes particulières : il est guidé à une certaine hauteur entre trois coussinets en cuivre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dont le serrage se fait avec trois vis latérales. Le fond de la crapaudine est garni d'une rondelle en bronze qui baigne constamment dans l'huile, et sur laquelle pivote le cylindre d'acier qui forme le pivot proprement dit. M. Girard avait proposé de percer, sous un certain angle, ce pivot d'un petit canal aboutissant au centre, et qui aurait, par la force centrifuge, fait circuler l'huile d'une manière constante, et l'aurait par conséquent renouvelée sous les parties frottantes pendant la marche. Il serait certainement utile d'employer cette disposition sur les pivots qui, comme celui-ci, fonctionnent à grande vitesse, sous une forte charge.

L'interposition d'un corps étranger pouvant déranger sous ces grandes vitesses les directrices, il importe d'abriter l'appareil contre ces accidents : c'est là le but de la crépine conique T placée à l'extrémité de la conduite d'amenée. Il ne serait pas prudent d'employer ces sortes de machines sans cette précaution indispensable.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHALEURS SPÉCIFIQUES

DES GAZ ET DES VAPEURS

PAR M. CH. LABOULAYE.

EXPÉRIENCES NOUVELLES DE M. REGNAULT. — APPLICATION DE LA THÉORIE DYNAMIQUE DE LA CHALEUR.

La capacité des corps pour la chaleur, la quantité de chaleur dite spécifique, variable pour chacun d'eux, nécessaire pour élever leur température d'un degré, a été l'objet de bien des travaux intéressants depuis que Black, dans ses cours de chimie (de 1760 à 1765), eut annoncé la découverte des grandes différences que présentent les divers corps à ce point de vue. C'est surtout parce que la chaleur spécifique est intimement liée avec la nature intime des éléments des corps, que son étude offre un grand intérêt, en permettant de pénétrer dans le monde presque insaisissable des premiers éléments. Pour le prouver, il suffit de rappeler la constatation de sa variation, pour un même corps, produite par l'écrouissage et la cristallisation, et aussi la célèbre loi de Dulong sur la constance du produit des poids atomiques élémentaires par la chaleur spécifique, un des plus curieux résultats de la physique expérimentale moderne, loi limitée jusqu'à ce jour aux liquides et aux solides. Nous verrons plus loin ce qu'elle devient pour les gaz et vapeurs, dont nous nous proposons d'étudier ici les chaleurs spécifiques.

Le procédé expérimental le plus naturel et celui susceptible de la plus grande précision pour la détermination des chaleurs spécifiques se rapporte à la méthode des mélanges, modifiée en raison de la nature spéciale des gaz, c'est-à-dire consistant à leur faire parcourir un serpentin métallique plongé dans de l'eau réchauffée par leur refroidissement.

C'est ainsi qu'opérèrent Lavoisier et Laplace pour l'air et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'oxygène, en remplaçant un liquide par de la glace; ce fut la méthode suivie par Delaroche et Bérard, dans un mémoire couronné en 1812 par l'Académie des sciences de Paris, et dont l'analyse se trouve dans tous les bons traités de physique. Bien qu'opérant sur de petites quantités de gaz, par répétition, beaucoup de leurs résultats, quant au rapport des chaleurs spécifiques des divers gaz, ont été vérifiés par les recherches faites récemment avec une plus grande précision par le physicien de notre temps le plus capable de surmonter les difficultés de toute nature qui se rencontrent dans ces expériences fort délicates.

Nous voulons parler ici de M. Regnault qui, dès le début de sa carrière de chimiste et de physicien, a compris l'utilité de déterminer exactement les chaleurs spécifiques des corps. Ayant adopté et notablement amélioré la méthode des mélanges, l'ayant amenée à un haut degré de précision et rendue applicable aux vapeurs, on doit, sinon au point de vue historique, au moins au point de vue scientifique, se borner aujourd'hui à son étude détaillée, et il est inutile de citer les expériences tentées par la méthode de refroidissement, de mélange de gaz, etc., qui sont d'une valeur infiniment moindre.

Bien que remontant déjà à plusieurs années, la belle série de recherches dont nous parlons est encore trop peu connue, et cela parce que sa description n'a été rendue publique que partiellement, en attendant la publication du volume des *Mémoires de l'Académie des sciences* dont elle fait partie. On nous saura donc gré de décrire avec quelques détails ces expériences modèles, avant de discuter les conséquences que l'on peut déduire des résultats obtenus, pour tenter de faire faire quelque nouveau progrès à l'une des plus importantes théories de la physique. Ce n'est que par une analyse un peu complète que nous pouvons faire apprécier la précision des chiffres que résume cette belle série de recherches sur un sujet difficile.

I. EXPERIENCES DE M. REGNAULT.

La description des appareils se divise nécessairement en trois parties; car, pour obtenir une grande précision, il fallait résoudre trois, ou au moins deux problèmes très-différents : 1° obtenir un courant de gaz à pression et vitesse constante, afin

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'éviter toute compression ou dilatation dans l'intérieur de l'appareil, cause de production ou de consommation de chaleur par action intérieure; 2° échauffer le gaz dans un bain à une température bien fixe; 3° le refroidir dans un calorimètre pour le ramener à une température parfaitement constatée.

1° *Moyens de produire un courant constant.* — A l'aide d'une pompe spéciale, le gaz était aspiré à la sortie des appareils, d'où il sortait purifié et desséché, et conduit par le tube I dans un grand réservoir V très-résistant, où il s'accumulait en quantité suffisante (fig. 1).

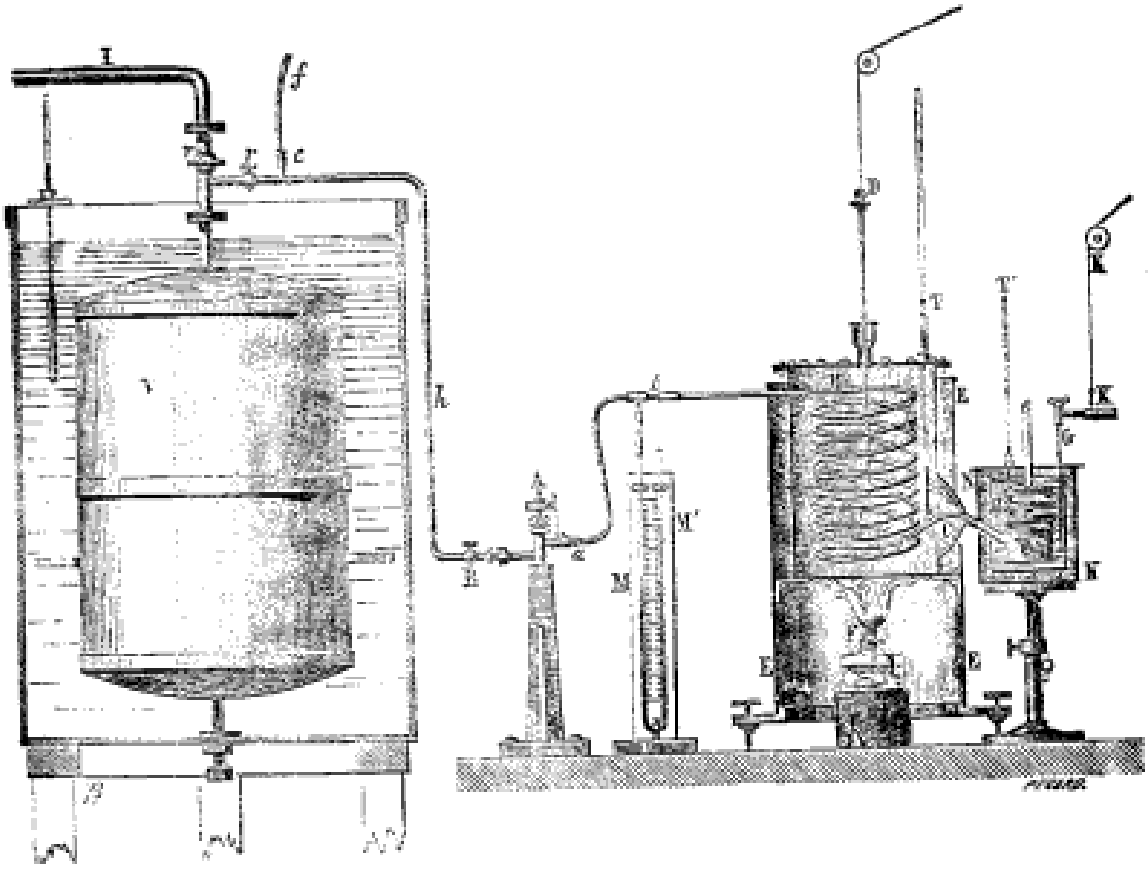


Fig. 1.

Le gaz était dans le réservoir V à une pression mesurée par un manomètre à air libre, communiquant avec le tube *cf*, et à la température de l'eau qui entourait le réservoir; de là il s'écoulait par le tube *h* lorsqu'on ouvrait le robinet R. Comme la pression va toujours en diminuant à mesure que le gaz s'écoule, M. Regnault a disposé un petit appareil pour régulariser la vitesse, une espèce de modérateur permettant de prévenir un changement de vitesse d'arrivée dans l'appareil calorimé-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trique (fig. 2). Le gaz arrivant par le tube B R s'échappait par l'espace laissé libre par l'extrémité d'une vis C D A, pour se rendre dans le tube C G. La vis traversant une boîte à étoupes D était terminée par une large tête divisée E. En faisant tourner cette vis à mesure que la pression baissait, on augmentait l'orifice de sortie C, et par suite la quantité de gaz traversant le tube pouvait rester la même malgré une diminution de pression. On en jugeait en consultant un manomètre à eau M M'; communiquant avec un large conduit *at*, par lequel arrive le gaz, conduit qui se termine par un tube très-étroit *t*. Par l'effet de ce rétrécissement suivi de parties d'un plus grand diamètre en libre communication avec l'atmosphère, le gaz conservait en *at* un excès de pression qui était indiqué par le manomètre M M'. En relevant progressivement la vis A, il était facile de rendre cet excès de pression uniforme pendant toute la durée d'une expérience, et par suite, relativement au rétrécissement *t* qu'on peut considérer comme l'origine de l'appareil calorimétrique, tout se passe comme si le gaz eût été fourni par un réservoir où sa pression eût été constante et égale à celle qu'il possède dans l'espace *at* et qui est mesurée par le manomètre M M'. Il n'y a pas à tenir compte du refroidissement produit par la détente avant l'appareil régulateur, la température du gaz n'étant considérée que plus loin, et le seul effet qui en résulte étant quelque variation dans l'écoulement, corrigée par le déplacement de la vis.

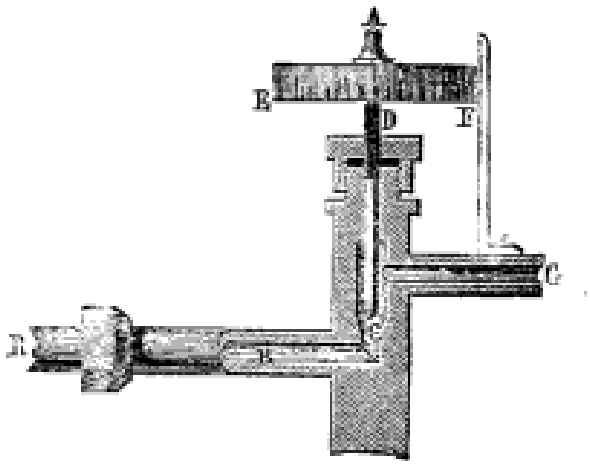


Fig. 2.

L'observation de la pression dans le réservoir V fournissait directement le volume du gaz dépensé, en admettant l'exactitude de la loi de Mariotte et la constance du volume du réservoir, lorsqu'il est soumis à des pressions intérieures différentes. L'écart entre le volume ainsi mesuré et le volume réellement dépensé n'eût pas été assez grand pour qu'une mesure ainsi prise ne pût paraître satisfaisante, surtout en tenant compte, s'il y a lieu,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de l'accroissement de volume du réservoir V par le niveau du liquide dans lequel il baigne; toutefois, M. Regnault a voulu obtenir une plus grande précision en représentant par une formule empirique le poids du gaz à zéro écoulé, en fonction de la pression, sans se borner à la première puissance de celle-ci, à savoir :

$$P = Ah + B h^2 + C h^3.$$

A cet effet, il détermine le poids du gaz qui pénètre dans un ballon vide, de volume connu, lorsqu'il passe, par suite de cet écoulement, de la pression h à la pression h', ce qui lui donne une valeur de l'équation :

$$\pi = A (h - h') + B (h^2 - h'^2) + C (h^3 - h'^3)$$

Par trois opérations semblables, à trois pressions différentes, il obtient les trois constantes A, B, C lui permettant de calculer le poids P du gaz écoulé, pour toute différence de pression $h - h'$.

Par une table calculée à l'aide d'expériences préliminaires, on obtient ainsi facilement une mesure très-exacte de la quantité de gaz dépensé, dans chaque cas, à l'aide des indications fournies par le manomètre placé sur le réservoir.

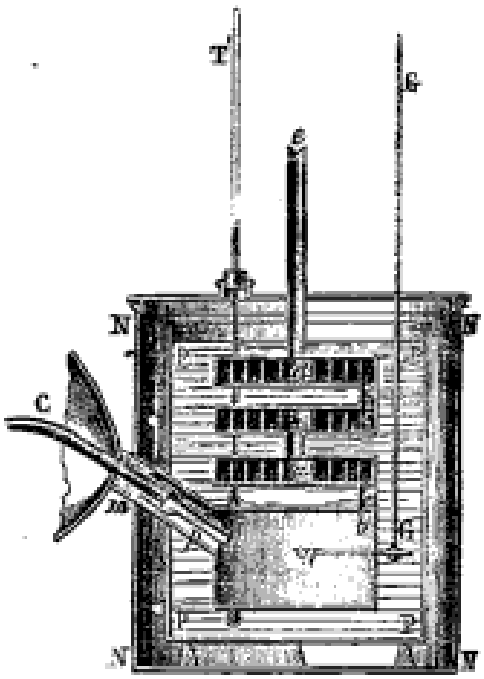
2° *Échauffement du gaz.*— A la sortie du tube t, le tube pénétrait dans un serpentin BC qui était formé d'un tube de 10 mètres de longueur, et de huit millimètres de diamètre, qui était plongé dans un bain d'huile (fig. 1). Un agitateur D D', mis en mouvement mécaniquement, assurait l'uniformité de la température, qu'il fallait prendre assez élevée pour rendre notables les quantités de chaleur à mesurer, la masse du gaz étant minime. Un thermomètre T mesurait cette température (ramenée à celle d'un thermomètre à air par une comparaisou antérieure avec les indications fournies par l'emploi de celui-ci dans les mêmes conditions), et une lampe à alcool placée sous le bain en F la maintenait fixe pendant l'opération, fournissait la quantité de chaleur dissipée extérieurement et celle enlevée par le passage du gaz dans le serpentin. La grande longueur, le faible diamètre et le peu d'épaisseur du serpentin étaient combinés en vue d'assurer l'égalité de température du gaz et du bain d'huile. M. Regnault s'assura de la bonté du système en adaptant un tube à l'extrémité du conduit, et y plaçant un thermomètre qui indiqua exactement la température du bain.

Pour diriger le gaz dans le calorimètre en amoindrissant les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

causes de perturbation, le vase contenant l'huile portait un renflement extérieur qui accompagnait et garantissait le conduit C, jusqu'à la paroi de l'enveloppe (fig. 3). A partir de là, ce tube C, entouré par un bouchon de liége peu conducteur *mm*, se continuait par un petit tube de verre *p*, et s'engageait dans le calorimètre W. L'interposition du liége et du verre diminue, autant qu'on peut le faire, la propagation de la chaleur par les parois, principale cause d'erreur dans ces expériences.

Fig. 3.



3° *Calorimètre.* — Pour multiplier beaucoup les surfaces, sans avoir besoin d'employer un volume de liquide trop considérable, M. Regnault forma son calorimètre de boîtes plates en laiton, divisées à l'intérieur par des cloisons en spirales, de manière à faire parcourir au gaz un long chemin en passant successivement de la première à la dernière. Ces boîtes sont plongées dans le calorimètre PP, renfermant un poids connu d'eau (fig. 3 et 4). Il pose sur trois cales en bois, et il est entouré d'une caisse de sapin NN destinée à prévenir son refroidissement. Un thermomètre fixe T' indique les variations de la température qu'on lit de loin avec un cathétomètre à lunette; enfin un agitateur, guidé le long d'une tringle verticale, est mis en mouvement au moyen d'un fil KK, l'agitation étant une condition essentielle lorsqu'il faut mesurer des échauffements de liquides.

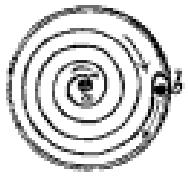


Fig. 4.

On s'assura d'avance, en plaçant un thermomètre dans le tube *e*, que le gaz avait à sa sortie du calorimètre exactement la même température que l'eau.

Ce qu'il importait beaucoup de savoir, c'est si le gaz éprouve

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des changements notables de tension dans son trajet de *t* en *e*. Dans le serpentin, ils n'auraient d'influence que sur la quantité de chaleur fournie au gaz pour l'amener à une température fixe, ce qui est de nulle importance; mais s'il se détendait dans le calorimètre, il absorberait de la chaleur, et la mesure de la capacité serait inexacte. Or, en plaçant deux manomètres à eau en communication avec les tubes *c* et *e*, et dans les cas où la vitesse d'écoulement était la plus grande, la différence des pressions du gaz à son entrée et à sa sortie du calorimètre atteignait à peine 1 millim. d'eau. C'était une cause d'erreur absolument insensible.

La manière dont les pressions se succèdent dans l'appareil a été bien indiquée par une expérience de M. Regnault. Voici son observation : « Après avoir placé deux manomètres à mercure,
« l'un placé sur le serpentin en avant du bain d'huile chauffé, et
« le second disposé sur une tubulure à trois branches, interposé
« entre le serpentin du bain d'huile et les boîtes du calorimètre,
« on faisait écouler le gaz avec une grande vitesse. Lorsque le

« premier manomètre marquait. .	50mm.	100mm.	150mm.
« le second indiquait	12	25	47 »

On voit que le serpentin offrait une résistance bien plus grande que le calorimètre; l'échauffement du gaz était la cause évidente de la résistance, de la pression qui s'y produisait[1].

EXPÉRIMENTATION.

Décrivons maintenant la manière d'observer.

Le réservoir V renfermant une quantité suffisante de gaz comprimé, on échauffait le bain d'huile jusqu'à une température T qu'on maintenait constante en réglant convenablement la lampe; puis on remplissait d'eau le calorimètre, et tout étant ainsi disposé, on commençait les opérations.

[1] Cette conséquence nécessaire de l'accroissement de volume du gaz par l'action de la chaleur est vérifiée par des expériences directes de M. Peclet, qui, ayant disposé un canon de fusil susceptible d'être chauffé à la suite d'un tube traversé par un courant de gaz sortant d'un gazomètre, a constaté que le même volume qui s'écoulait en 620" quand le tuyau de fer était froid, s'est écoulé en 650" quand le tuyau était porté au rouge sombre. Dans une autre expérience, pour un autre diamètre, il a trouvé les nombres 615" et 648". (Peclet, *Traité de la chaleur*, 2e édit. t. I, p. 199.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Elles se divisent en trois phases :

I. On observe pendant dix minutes le réchauffement qu'éprouve le calorimètre sous l'action des causes perturbatrices extérieures ; ces causes sont :

1° Le réchauffement par l'air ambiant. Il est proportionnel à la différence $t_0 - \theta_0$ de l'air et du calorimètre ; il est égal à $A(t_0 - \theta_0)$.

2° Le rayonnement des écrans.

3° La conductibilité du tube de jonction C.

Ces deux dernières causes sont constantes, car la différence de température entre le bain d'huile et le calorimètre est très-grande et sensiblement invariable. En réunissant les deux effets en un seul, appelons K le réchauffement qu'ils produisent en une minute.

Soit $\Delta\theta_0$ le dixième de la variation de température observée pendant les dix minutes, c'est-à-dire le réchauffement que le calorimètre éprouve pendant une minute, on a :

$$\Delta\theta_0 = A(t_0 - \theta_0) + K. \qquad (1)$$

t_0 et θ_0 sont les températures moyennes de l'air et du calorimètre pendant la durée de l'observation.

II. A la fin de la dixième minute, on fait passer le gaz dans l'appareil ; la température du calorimètre varie par la chaleur communiquée par le gaz et l'action des causes perturbatrices, effet qu'il faut calculer et retrancher du résultat total. Pour cela on observe de minute en minute les températures moyennes t, t', t''... de l'air, et θ, θ', θ''... du calorimètre. D'après cela, les réchauffements perturbateurs sont pendant chaque minute

$$\Delta\theta = A(t - \theta) + K.$$
$$\Delta\theta' = A(t' - \theta') + K.$$
. . . . . .

Quand l'action a été suffisamment prolongée, on ferme le robinet d'écoulement, et l'on continue pendant trois minutes à observer le calorimètre, pour être bien assuré qu'il a absorbé toute la chaleur du gaz. Alors, en faisant la somme de toutes les valeurs de $\Delta\theta$, on a :

$$\Delta\theta + \Delta\theta' + \ldots = A(t + t' + t'' \ldots - \theta - \theta' - \theta'' \ldots) + nK = r. \qquad (2)$$

Cette somme r est le réchauffement total que les actions perturbatrices ont fait subir au calorimètre pendant les n minutes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qu'a duré l'observation. Il faudra la retrancher de la température finale observée θ_n pour avoir celle que le calorimètre aurait prise s'il n'avait reçu que la chaleur cédée par le gaz.

III. Le gaz cessant d'arriver dans l'appareil, le calorimètre recommence à n'être plus soumis qu'aux actions perturbatrices, et les variations de température ne sont dues qu'à cette cause. On observe encore pendant dix minutes, t_1 et θ_1, étant les températures moyennes de l'air et du calorimètre pendant ce temps et $\Delta\theta_1$ le dixième du réchauffement observé, on a :

$$\Delta\theta_1 = A(t_1 - \theta_1) + K. \quad (3)$$

Les équations (1) et (3) permettant de calculer les valeurs A et K, on a, en les introduisant dans l'équation (2), la valeur de r, et la chaleur spécifique x du gaz sera obtenue par l'équation suivante, qui indique qu'il y a égalité entre la chaleur perdue par le gaz dans le calorimètre et le réchauffement de celui-ci par cette cause :

$$Px\left[T - \left(\frac{\theta + \theta_n}{2}\right)\right] = p\left[(\theta_n - r) - \theta\right].$$

P est le poids du gaz, T la température moyenne du bain d'huile, θ et θ_n les températures du calorimètre au commencement et à la fin de la seconde période, $\theta_n - r$ cette dernière diminuée de l'effet des actions perturbatrices, p le poids total du calorimètre en eau.

Cas particuliers. — Pour opérer à des pressions plus grandes que celles de l'atmosphère, il suffisait de supprimer la diminution de la section du tube en t et de terminer le tube e par un étranglement, enfin de remplacer le manomètre à eau MM' par un manomètre à mercure. Le gaz conservait dans l'intérieur de l'appareil une pression intermédiaire entre celle qu'il avait dans V et celle de l'atmosphère.

Nous n'entrerons pas dans plus de détails sur les méthodes d'expérimentation employées par l'habile physicien dont nous analysons le travail. C'est dans son savant mémoire qu'il faudra lire la description des précautions prises dans chaque cas particulier, les soins apportés à la préparation de chaque gaz notamment, voir les résultats des séries d'expériences dont sont déduites les valeurs moyennes adoptées après discussion; en un mot, c'est dans le travail original qu'il faut chercher un modèle par-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fait d'expérimentation physique qui ne le cède en rien aux travaux si justement célèbres du même savant.

Nous dirons seulement un mot de la méthode qu'il a employée pour déterminer la chaleur spécifique des gaz qui attaquent le laiton, ce qui rend impossible l'emploi des appareils précédemment décrits, et surtout du réservoir à gaz, car les autres parties de l'appareil se remplaçaient aisément par des serpentins en platine.

Le réservoir à gaz étant supprimé, la régularité des pressions n'étant plus obtenue, on ne pouvait plus opérer tout à fait comme il vient d'être dit, mais la multiplicité des observations permettait de traiter chaque expérience comme formée d'une somme d'écoulements à pression constante. Nous allons dire comment on a opéré dans ce cas, c'est-à-dire lorsqu'on faisait passer directement les gaz de l'appareil chimique où ils prenaient naissance dans le serpentin du bain d'huile, par suite, en n'ayant plus des courants gazeux de vitesse constante. L'expérience répétée avec l'air a prouvé qu'on pouvait arriver à un résultat exact, avec une vitesse variable, en admettant que, pendant chaque minute, la quantité de gaz qui traversait l'appareil était proportionnelle à l'élévation de température que l'on avait observée pendant cette minute sur le thermomètre du calorimètre, et que le nombre de degrés dont ce gaz s'était refroidi était représenté par la différence qui existe entre la moyenne des températures du bain d'huile, au commencement et à la fin de cette minute, et la moyenne des températures indiquées, aux mêmes instants, par le thermomètre du calorimètre. On faisait donc la somme des produits des élévations de température du calorimètre, pendant chaque minute, par les différences correspondantes entre les températures du bain d'huile et celles du calorimètre. On divisait cette somme par l'élévation totale de température que le calorimètre avait subie pendant l'écoulement; le quotient était considéré comme représentant l'abaissement moyen de température que la totalité du gaz avait subie pendant son passage dans le calorimètre.

La vérification trouvée pour l'air, avec des vitesses de courant très-différentes, a montré que cette méthode pouvait donner de bons résultats dans son application au gaz sulfureux, au chlore, etc., et aux vapeurs de toute sorte auxquelles elle s'ap-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plique également. Elle est évidemment d'une pratique plus délicate et peut plus difficilement fournir le même degré de précision que celle précédemment décrite.

Résultats des expériences.

1° *Chaleurs spécifiques des principaux gaz.* — Nous rapportons dans le tableau suivant les chiffres déterminés en opérant ainsi qu'il vient d'être dit.

CHALEURS SPÉCIFIQUES DES GAZ RAPPORTÉES A L'EAU.

Gaz simples.

Air.	0,23741	Azote.	0,24380
Oxygène	0,21751	Chlore	0,12099
Hydrogène	3,4090		

Gaz composés.

Acide carbonique	0,20246	Hydrogène bicarboné . . .	0,4040
Oxyde de carbone.	0,24500	Acide sulfureux.	0,15531
Protoxyde d'azote.	0,3447	Acide chlorhydrique. . . .	0,1852
Bioxyde d'azote.	0,23173	Hydrogène sulfuré.	0,24318
Hydrogène protocarboné. .	0,50295	Ammoniaque	0,50836

2° *Influence de la pression.* — La chaleur spécifique des gaz est indépendante de leur pression. Nous en donnerons pour preuve les chiffres suivants qui se rapportent à deux séries d'expériences distinctes dans lesquelles on ne s'est point attaché à faire disparaître les causes d'erreur, mais seulement à les rendre constantes ; c'est pourquoi ils diffèrent entre eux et de ceux rapportés plus haut :

Air.

Pression	Capacité.	Pression.	Capacité.
de 3674^{mm} à 4019	0,22546	3000^{mm}	0,23236
760	0,22616	760.	0,23301

De semblables expériences faites avec l'hydrogène et l'acide carbonique, gaz dont la compression ne suit pas la loi de Mariotte, conduisent à des résultats semblables.

« La loi que je viens d'énoncer, dit M. Regnault {*que la chaleur spécifique des gaz permanents ne dépend que de leur poids et est indépendante du volume qu'ils occupent*}, est remarquable, « parce qu'elle démontre que la capacité calorifique des gaz dépend principalement des particules matérielles qui les com-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« posent, et qu'elle est indépendante de la distance plus ou « moins grande qui les sépare. On explique ainsi la constance « que nous avons reconnue à la capacité calorifique des gaz qui « suivent sensiblement la loi de Mariotte (voir 4°); mais on se « rend compte difficilement de l'accroissement rapide que subit « la chaleur spécifique de l'acide carbonique (avec la tempéra- « ture, voir 3°). Il faut admettre que ce gaz subit, dans la posi- « tion relative de ses particules, des changements successifs qui « absorbent des qualités notables de chaleur, sans déterminer « des accroissements correspondants de volume. »

3° *Influence de la température.*— En faisant arriver les gaz dans le calorimètre, après les avoir refroidis ou réchauffés dans un serpentin entouré soit d'un mélange réfrigérant, soit d'un bain d'huile, M. Regnault a obtenu les nombres suivants :

AIR.		ACIDE CARBONIQUE.	
Température.	Chaleur spécifique.	Température.	Chaleur spécifique.
De — 30° à + 10°. . . .	0,23771	De — 30 à + 10°	[1] 0,18427
De 0° à + 100°. . . .	0,23741	De 10 à + 100°	0,20246
De 0° à + 200°. . . .	0,23751	De 10 à + 200°	0,21692

[1] Je prendrai la liberté d'attirer l'attention de M. Regnault sur la valeur de la chaleur spécifique de l'acide carbonique à basse température qui ne me paraît pas bien certaine, (ce qui, au reste, n'infirme en rien la loi qu'il établit, et que démontrent bien nettement les deux autres valeurs de cette capacité). En effet, si l'on compare trois expériences prises parmi les trois séries qui servent à établir les chiffres ci-dessus, on trouve :

	I	II	III
Pression initiale du gaz en colonne de mercure. à 0°	9602^{mm},13	5351^{mm},84	4868^{mm},65
Pression finale.	4269^{mm},38	1811^{mm},58	3585^{mm},12
Poids du gaz écoulé.	458^{gr},56	280^{gr},95	119^{gr},14
Poids du gaz écoulé par minute .	38^{gr},21	40^{gr},04	19^{gr},86
Excès moyen de température du gaz entrant dans le calorimètre. . .	37°,041	86°,07	194°,07
Chaleur spécifique.	0,18459	0,20259	0,21416

Dans le premier cas, avec des différences de température bien moindres que dans les deux autres, avec — 30° au lieu de + 100 ou 200, 37° au lieu de 86 ou 194, il est possible que le refroidissement comme le réchauffement du gaz n'aient pas été complets.

Cela est d'autant plus probable que le mode spécial d'opérer employé dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La chaleur spécifique de l'air, d'un mélange de gaz simples qui suivent la loi de Mariotte, est donc parfaitement constante ; elle est au contraire croissante avec la température, comme on l'a trouvé pour les corps solides, pour l'acide carbonique, pour un gaz à molécules complexes, dont la compression est plus rapide que celle indiquée par la loi de Mariotte. Les déterminations des chaleurs spécifiques des vapeurs faites, comme nous le verrons plus loin, à des températures peu éloignées de leur point de liquéfaction, doivent probablement, d'après cela, conduire à des nombres sensiblement plus petits que ceux qu'on obtiendrait si l'on mesurait ces capacités à des températures plus élevées.

4° *Relations entre les chaleurs spécifiques des fluides élastiques et leurs densités ou leurs poids atomiques.* — Delaroche et Bérard avaient annoncé que les capacités des gaz simples, à volume égal, étaient les mêmes. C'est ce que confirment les expériences de M. Regnault, pour l'oxygène, l'hydrogène et l'azote, mais non pour le chlore et le brome. Cela ressort bien du tableau ci-après :

GAZ SIMPLES.

	CHALEUR SPÉCIFIQUE		
	à poids égal C.	à volume égal C/.	atomique AC.
Oxygène.	0,21751	0,24049	21,75
Azote.	0,24380	0,23680	20,33
Hydrogène.	3,40900	0,23590	21,32
Chlore	0,12099	0,29645	26,80
Brome	0,05552	0,30400	27,6

ce cas change les effets dynamiques qui se produisent dans les appareils. On a remplacé l'huile du bain qui donnait au gaz sa température initiale par un mélange réfrigérant de chlorure de calcium cristallisé et de glace pilée, et le gaz, refroidi par son passage à travers le serpentin, vient se réchauffer dans le calorimètre. Il résulte de là un système très-différent du premier relativement aux pressions intérieures qui naissent alors dans l'intérieur de l'appareil, par suite des effets de la chaleur. Au lieu d'augmenter de volume dans le serpentin, le gaz y prend un volume moindre, qui croît

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. Regnault, en discutant ces résultats, fait observer qu'il a été forcé d'admettre pour plusieurs corps les *densités théoriques*, telles qu'on les déduit de considérations chimiques et des équivalents adoptés pour ces corps; et c'est à l'aide de ces densités théoriques qu'il a transformé les chaleurs spécifiques en poids trouvées expérimentalement en chaleurs spécifiques au volume.

« Il est possible, ajoute-t-il, que les densités réelles, dans les « conditions où nous avons expérimenté, soient très-différentes « de ces densités théoriques; mais il est probable, d'après ce « que nous savons jusqu'ici sur les fluides élastiques qui s'écar- « tent beaucoup de la loi de Mariotte, que les densités réelles « sont plus fortes que les densités théoriques, et alors les ano- « malies que nous avons constatées dans les chaleurs spécifiques « du chlore et du brome gazeux (par exemple), par rapport à « celles des gaz permanents, hydrogène, azote et oxygène, seraient « plus considérables encore que nous ne l'avons indiqué.

« Je crois donc pouvoir conclure que la loi énoncée par plu- « sieurs physiciens, d'après laquelle *les chaleurs spécifiques des « gaz simples rapportées au même volume seraient identiques*, ne peut « être considérée que comme une loi idéale, qui s'appliquerait, « peut-être, à des gaz suivant des lois uniformes de compres- « sibilité et de dilatation, mais qui, par le fait, ne se vérifie pas « pour les gaz constitués comme ils le sont réellement dans les « circonstances où nous sommes obligés de les étudier. Or, cette « loi est une extension naturelle de la loi énoncée par Dulong et « Petit sur la chaleur spécifique des corps simples solides; et « les idées que l'on s'était faites généralement sur la constitution « des fluides élastiques devaient faire supposer que cette loi se « vérifierait avec une bien plus grande précision sur ces der- « niers corps. Nous venons de voir qu'il n'en est rien... »

Nous reviendrons bientôt sur cette grave conséquence; mais auparavant nous dirons quelques mots des lois qui avaient été proposées relativement aux chaleurs spécifiques des gaz composés.

Dulong, qui avait fait sur les chaleurs spécifiques des gaz des

très-peu dans le calorimètre et près de l'orifice de sortie dans l'atmosphère; les résistances sont donc tout autres que celles qui existent dans le cas où un notable accroissement de volume se produit dans le serpentin.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

recherches qui n'ont jamais été publiées, avait énoncé les deux lois suivantes :

1° Quand deux gaz simples se combinent sans condensation, le composé qui en résulte possède à volume égal la même capacité que les gaz simples.

2° Les gaz composés formés par des gaz simples qui éprouvent une condensation égale en se combinant possèdent sous le même volume des chaleurs spécifiques égales entre elles, mais différentes de celles des gaz simples.

La première de ces lois paraît se vérifier et les gaz étudiés ont sensiblement, à volume égal, la même chaleur spécifique que les gaz simples, mais non la seconde; c'est ce que montrent les tableaux suivants :

Gaz composés, sans condensation.

		C	Cd	AC
Bioxyde d'azote.	AzO	0,2317	0,2406	28,75
Oxyde de carbone.	CO	0,2450	0,2370	20,33
Acide chlorhydrique.	H^2Cl^2	0,1852	0,2352	21,09

Gaz formés de 3 volumes condensés en 2.

		C	Cd	AC
Acide carbonique.	CO^2	0,2169	0,3307	18,87
Protoxyde d'azote.	Az^2O	0,2262	0,3447	20,89
Vapeur d'eau.	H^2O	0,4803	0,2989	17,76
Acide sulfureux.	SO^2	0,1544	0,3424	20,63
Hydrogène sulfuré.	SH^2	0,2432	0,2857	17,28
Sulfure de carbone	SC^2	0,1569	0,4122	18,25

Les variations des chaleurs spécifiques sont, on le voit, considérables dans ce second cas et infirment la seconde loi indiquée.

Revenant à la question du rapport qui peut exister entre les chaleurs spécifiques et les poids atomiques, on remarquera que les dernières colonnes annexées aux tableaux précédents viennent à l'appui des considérations rapportées plus haut, et montrant que le produit AC s'éloigne beaucoup de la valeur moyenne 40 qu'il prend, par atome élémentaire, dans le cas des solides et des liquides, ce qui semble encore indiquer que la loi de Dulong, malgré sa généralité probable, est inapplicable aux gaz. Nous allons voir bientôt ce qu'il en est; mais il y a là en apparence

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

un obstacle insurmontable. Comme le remarque avec raison M. Jamin dans son excellent *Cours de physique* que nous avons mis souvent à contribution dans le résumé précédent, il y a sous ce rapport un premier point très-saillant : c'est qu'en multipliant la capacité de l'oxygène qui est 0,21751, par son équivalent qui est 100, on trouve 21,75, nombre sensiblement égal à la moitié du produit trouvé pour les autres corps simples; or il n'y a pas à penser ici à un expédient quelquefois employé dans des cas analogues; il est impossible de songer à modifier l'équivalent de l'oxygène qui est le point de départ de la détermination des équivalents de tous les corps.

II. DES EFFETS MÉCANIQUES

PRODUITS PAR L'ÉCHAUFFEMENT DES GAZ.

Bien que préoccupé de la théorie dynamique dont il parle plusieurs fois dans son Mémoire, M. Regnault n'a pas osé en tenir compte dans ses conclusions. Il paraît ne pas vouloir s'avancer sur ce terrain, qui ne lui paraît peut-être pas encore assez solide, bien que ses idées soient déjà, nous croyons, très-arrêtées sur la vérité de cette théorie, au moins dans son principe, sinon dans ses détails. C'est un complément que je prendrai la liberté de proposer pour son beau travail; l'application des principes fondamentaux de cette théorie m'ayant conduit à quelques conséquences du plus haut intérêt, au double point de vue de la théorie et des applications.

Lorsqu'un gaz s'échauffe, il se dilate sous la pression atmosphérique d'une quantité notable, égale à $V \times 0{,}00365$ par chaque degré. Il y a là, du fait de la chaleur communiquée au gaz, un travail mécanique produit égal à PDV, P étant la pression, D étant la dilatation, V le volume. Pour faire apprécier combien cet effet est considérable, il suffit de calculer, par exemple, le travail produit par un mètre cube d'air chauffé de zéro à 100°, sous la pression atmosphérique, dans un corps de pompe fermé par un piston mobile : on trouve dans ce cas,

$$PDV = 10330 \times 0{,}365 \times 1 = 3770^{km}.$$

La quantité de chaleur produisant cet effet pourrait, à pre-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mière vue, être considérée comme égale à cVd, c étant la chaleur spécifique égale à 0,2377, d la densité $= 1^k,290$ ou en calories $31^c,66$.

Il est facile de voir que l'on commettrait, en raisonnant ainsi, une erreur manifeste, et que l'on confondrait deux choses distinctes, l'échauffement du gaz manifesté par sa chaleur sensible, et l'effet mécanique produit en même temps. En effet, si l'on fait passer dans un calorimètre, comme nous l'avons vu faire dans les expériences qui précèdent, la chaleur sensible du gaz, celui-ci revient à sa température primitive, et la chaleur qu'il renfermait, passée tout entière dans un récipient, est disponible pour échauffer d'autres corps; la différence de température entre le calorimètre et le corps chaud pouvant même être supposée aussi petite que l'on voudra, la masse du premier, agissant par déplacement, étant suffisamment grande. Toute la chaleur ainsi recueillie dans le calorimètre redevient donc disponible, tout se retrouve comme au point de départ, sauf un travail mécanique considérable qui a été produit; et s'il n'y avait pas eu d'autre chaleur dépensée que celle qui se retrouve dans le calorimètre, ce travail serait un effet sans cause, n'aurait rien coûté.

On arrive donc ainsi à une impossibilité, au mouvement perpétuel, et l'on reconnaît par suite l'absolue nécessité de modifier le mode de raisonnement.

Le travail mécanique constaté par la dilatation des corps qui a lieu malgré les pressions qui s'y opposent, est évidemment un effet de la chaleur que l'on ne saurait jamais négliger. Dans le cas actuel, la nature des corps gazeux est telle, que leur échauffement engendre, à pression constante, un accroissement de volume considérable, et par suite un travail mécanique important. Celui-ci, effet direct de la chaleur, forme que prend partie de celle-ci, n'est nullement compté dans ce qu'on a appelé jusqu'ici la chaleur spécifique des gaz, qui ne répond qu'à la quantité de chaleur qu'ils cèdent par refroidissement aux parois d'un calorimètre. Dans le mode d'expérimenter ci-dessus décrit, cet accroissement de volume se traduit en production de travail, en variation de la force vive du gaz chauffé avant d'entrer dans le calorimètre; il y a donc consommation de chaleur en raison des deux effets produits de travail mécanique et d'échauffement. La seconde quantité est seule retrouvée dans le calorimètre; la pre-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mière ne pourrait être mesurée expérimentalement que sous forme de travail mécanique, de force vive.

Il ne faudrait pas croire l'effet mécanique détruit par le refroidissement du gaz dans le calorimètre ; la réduction de son volume n'engendre pas une diminution de vitesse, par suite de la constitution des gaz dont les molécules agissent toujours les unes sur les autres comme par répulsion mutuelle, et seulement ainsi ; cette répulsion diminue par le refroidissement, ce qui ne peut produire dans l'appareil qu'une diminution de résistance au passage du gaz, sans modifier la vitesse acquise de son écoulement, celle qu'il possède à son entrée dans le calorimètre.

J'espère avoir bien fait comprendre le principe de la modification capitale qu'il faut apporter à la théorie des chaleurs spécifiques des gaz, qui est tout à fait évident lorsque l'on considère la chaleur comme un accroissement de forces vives moléculaires, et l'action dite répulsive des gaz comme due au choc des molécules gazeuses contre les parois des vases qui les contiennent. Sans entrer en ce moment dans l'étude du mode de constitution des corps gazeux, ce qui précède suffit, ce me semble, pour faire définir la chaleur spécifique à pression constante d'un gaz la somme de celle déterminée par les expériences ordinaires de calorimétrie, plus celle capable d'engendrer le travail mécanique qui apparaît simultanément.

Indépendamment du fait expérimental fréquemment constaté, du refroidissement produit lors de la détente des gaz, et par suite quand ils engendrent un travail mécanique, on sait très-bien, toutes les fois que l'on emploie la chaleur à produire la ventilation, le tirage par une cheminée, que le travail mécanique qui accompagne l'échauffement du gaz est en quantité considérable, et est sûrement produit par la chaleur ; mais avant la théorie dynamique, on ne pouvait établir de relation entre des quantités qui paraissaient, à première vue, hétérogènes, d'espèces différentes, et que l'on sait aujourd'hui pouvoir se convertir l'une dans l'autre, suivant un rapport défini par l'*équivalent mécanique de la chaleur*.

Si donc on appelle C cette chaleur spécifique totale, c celle déterminée au calorimètre, T le travail mécanique engendré, E l'*équivalent mécanique de la chaleur*, la quantité de travail mécanique pouvant être théoriquement engendrée par la consomma-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tion d'une calorie, le travail T sera évalué en chaleur x en posant $x \times E = T$; d'où la relation $C = c + \frac{T}{E}$. (a)

La quantité T est connue par les coefficients de dilatation à pression constante; j'ai trouvé pour la valeur de E le nombre 140, et crois avoir prouvé que le nombre 420, proposé par M. Joule, n'est pas admissible[1]. Nous partirons du nombre 140 dans les calculs suivants, et les vérifications ou contradictions auxquelles j'arriverai prouveront ou infirmeront cette valeur de E. On pourra donc calculer C pour tous les gaz pour lesquels on a déterminé la valeur de c, remarquant que pour l'unité de poids pour laquelle $Vd = 1$ ou $V = \frac{1}{d}$, le travail T sous la pression atmosphérique est $T = \frac{10330 \times 0{,}00365}{d}$, d étant la densité[2]. Nous admettrons pour les calculs le nombre 0,00365 pour coefficient de dilatation des gaz dont le coefficient de dilatation n'a pas été déterminé par expérience directe.

Pour tous les gaz dont on connaît les chaleurs spécifiques d'échauffement, je puis donc dresser le tableau suivant des va-

[1] Voir l'article ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA CHALEUR dans le complément du *Dictionnaire des arts et manufactures*.

[2] On exprime analytiquement, d'une manière générale, le principe fondamental de la théorie dynamique de la chaleur par l'équation différentielle

$$dQ = dU + \frac{1}{E} p dv,$$

dQ étant l'accroissement de chaleur totale, dU l'accroissement de chaleur sensible, p la pression, dv l'accroissement du volume: ce qui, pour un accroissement de chaleur entre deux limites U_1 et U_2, correspondant à deux volumes v_1 et v_2, donne l'intégrale

$$Q = U_2 - U_1 + \frac{1}{E} \int_{v_2}^{v_1} p dv$$

$U_2 - U_1$ est la chaleur spécifique dans le cas où l'accroissement de température n'est que d'un degré, et pour un gaz chauffé à pression constante P, l'expression générale donne lieu, comme je l'ai indiqué :

$$Q = c + \frac{PVD}{E},$$

D étant la dilatation pour un degré du volume V correspondant à l'unité de poids.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

leurs de C. J'y joins le produit de cette chaleur spécifique totale par le poids atomique dans une dernière colonne.

GAZ.	Poids d'un mètre cube.	Dilatation de 0 à 100 degrés.	C chaleur spécifique déterminée par M. Regnault.	C somme de la chaleur spécifique et de la chaleur consommée à produire un travail.	Poids atomique A.	Produit AC.	Par atome.
	kil.						
GAZ SIMPLES.							
Oxygène	1,43	0,366	0,2182	0,4052	100	40,52	»
Azote.	1,268	0,3668	0,2440	0,4560	88,51	40	»
Hydrogène	0,089	0,3661	3,4090	6,4432	6,25	40,27	»
Chlore.	3,172	»	0,1209	0,2057	221,32	44,36	»
GAZ COMPOSÉS.							
CO oxyde de carbone.	1,243	0,3669	0,2479	0,4659	175	81,45	40,72
CO^2 acide carbonique	1,977	0,3710	0,21692	0,3354	275	97,75	32,58
H^2Cl^2 acide chlorhydrique.	1,622		0,1845	0,3405	455	154,7	38,65
SO^2 acide sulfureux.	2,849	0,3903	0,1553	0,2563	401	102,77	34,25
Az^2O protoxyde d'azote.	1,977	0,3719	0,2238	0,3691	277	102,1	34
AzO bioxyde d'azote.	1,347		0,23140	0,43146	188,50	81,31	40,65
H^2S hydrogène sulfuré.	1,547		0,24318	0,4294	213,64	91,75	30,25
AzH^3 ammoniaque. ,	0,776		0,50836	0,85536	212,50	184,70	45,11

Observations. — *Gaz simples.* — Les résultats consignés ci-dessus pour les gaz simples me paraissent du plus haut intérêt, en fournissant une vérification de la loi trouvée par Dulong et Petit pour les autres corps simples et en montrant que si on ne l'avait pas reconnue jusqu'ici, c'était parce qu'on négligeait une partie importante de l'effet de la chaleur. La généralité si probable de cette loi s'accorde donc parfaitement avec le principe posé et vient le confirmer. La constance nécessaire de la valeur moyenne du produit de la chaleur spécifique par le poids atomique déjà trouvée pour tant de corps simples, paraît également une vérification du nombre 440 admis pour l'équivalent mécanique de la chaleur. Le nombre 420 ne conduirait qu'au produit 24,8 pour l'oxygène, et à des nombres analogues pour les autres gaz, complétement inadmissibles. Nous rencontrerons plus loin une confirmation plus positive du nombre admis, fondée

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sur la détermination expérimentale de toutes les quantités qui entrent, avec l'équivalent de la chaleur, dans l'équation (*a*).

Gaz composés. — La vérification que l'on trouve pour les gaz composés n'est plus aussi frappante que pour les gaz simples; mais on remarque de suite que les variations notables que l'on rencontre, quand on compare leurs chaleurs spécifiques à celles qui satisferaient à la loi Dulong, sont absolument de même ordre que celles que l'on trouve en examinant les chaleurs spécifiques des corps solides composés, variation qui est probablement en rapport avec les quantités de chaleur dégagées lors des combinaisons. Ainsi les chlorures R^2Cl^2 donnent pour valeur du produit moyen 158, et nous trouvons pour l'acide chlorhydrique, qui a une composition semblable, 154. D'un autre côté, dans l'impossibilité d'admettre que les molécules gazeuses, c'est-à-dire parfaitement libres, n'obéissent pas complétement aux actions calorifiques, on en arrive presque nécessairement, il nous semble, à considérer les variations comme uniquement dues à l'action de la chaleur sur la molécule complexe élémentaire, formée par la réunion des atomes constituants et qui forme un véritable petit solide soumis aux lois des corps solides.

M. Regnault paraît se rapprocher de cette manière d'interpréter les résultats de ses expériences sur les variations des chaleurs spécifiques des liquides, auxquels s'applique également l'observation précédente :

« La chaleur nécessaire pour porter un liquide de t^o à $(t+1)^o$ « peut être considérée, dit-il, comme se composant de deux par- « ties distinctes :

« 1° De la chaleur nécessaire pour élever la température de « l'atome de 1°, ou, autrement, de la chaleur qui élève l'unité « de masse du corps de 1°, lorsque son volume et la disposition « relative de ses molécules restent invariables ;

« 2° De la chaleur absorbée pour opérer la dilatation, les « changements de consistance et de disposition moléculaire ; « elle doit être proportionnelle au travail mécanique dépensé à « cet effet, mais qui ne se manifeste pas extérieurement. »

On voit que nous ne faisons qu'appliquer aux gaz, au cas où le travail mécanique engendré par la chaleur est facilement mesurable, le principe admis ici par M. Regnault. Quant aux effets de disposition moléculaire, nous les rapportons aux modifica-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tions produites dans les molécules composées, là où seulement ils peuvent être sensibles pour un corps gazeux, ainsi qu'il a été établi précédemment à propos des variations de capacité du gaz acide carbonique avec la température d'une manière incontestable.

Applications. — Des considérations théoriques de cette importance doivent se traduire en applications d'un haut intérêt dans la pratique. En effet, on voit que toutes les fois que l'on mesure la quantité de chaleur dépensée à échauffer un gaz libre de produire une action mécanique, on commet une erreur notable en multipliant par les valeurs de c rapportées ci-dessus le produit du poids du gaz par le nombre de degrés d'échauffement; c'est la valeur C qu'il faut employer, qui est presque double en moyenne de la première. C'est le cas qui se présente dans le tirage des cheminées, dans la mesure de l'effet des combustibles, dans la ventilation, etc., et il est à espérer que l'introduction de ce nouvel élément dans l'étude de ces questions permettra d'élucider bien des obscurités qui y subsistent encore aujourd'hui.

III. CAPACITÉS DES VAPEURS.

Par la même méthode que celle employée pour les gaz qui attaquent le cuivre, M. Regnault a mesuré la chaleur spécifique des vapeurs. La marche de l'opération était très-régulière quand la distillation se produisait facilement; dans le cas contraire, il fallait quelques précautions particulières.

On faisait arriver la vapeur dans le bain d'huile où on la surchauffait jusqu'à T, à 10 ou 15 degrés au-dessus de la température d'ébullition du liquide. Elle passait ensuite dans le calorimètre, où elle perdait :

1° La chaleur qui est nécessaire pour l'élever depuis le point d'ébullition τ jusqu'à T; 2° sa chaleur latente λ; 3° la chaleur nécessaire pour l'élever, à l'état liquide, depuis la température θ du calorimètre jusqu'à τ. C'était cette somme de pertes que l'on mesurait, et en y ajoutant la chaleur nécessaire pour élever le liquide depuis zéro jusqu'à θ_0 et qui peut se calculer si l'on connaît la chaleur spécifique de ce liquide, on avait le total Q des chaleurs absorbées par le corps quand il passe de l'état liquide à zéro à l'état de vapeur à T degrés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On recommençait ensuite l'expérience en portant la vapeur à une température T′ très-supérieure au point d'ébullition; on obtenait de même la chaleur Q′ correspondante, comprenant tous les éléments indiqués ci-dessus, et la différence entre Q et Q′ divisée par T′-T donnait la chaleur spécifique moyenne de la vapeur entre T et T′.

On conçoit que dans ces expériences la chaleur abandonnée de T′ à T degrés est très-petite, tandis que la chaleur latente est très-considérable. Q′ et Q sont donc deux quantités très-grandes, presque égales entre elles; et, par suite, toutes les erreurs des mesures peuvent affecter d'une inexactitude notable leur différence, qui est la seule quantité que l'on veuille conclure. Les déterminations obtenues par cette méthode ne doivent donc pas être considérées comme d'une très-grande précision. A cela s'ajoute l'observation déjà faite.

« Nous avons vu, dit M. Regnault, que la chaleur spécifique « du gaz acide carbonique augmente continuellement avec la « température dans toute l'étendue de l'échelle thermométrique « accessible à nos moyens d'observation, et néanmoins aux tem- « pératures les plus basses où nous l'ayons observé, ce gaz est « encore loin de son point de liquéfaction. Il est très-probable « que des variations analogues se présentent pour les vapeurs, « et qu'elles sont surtout très-sensibles dans les premiers degrés « au-dessus de leur point de liquéfaction. Quelques vapeurs, « notamment celle de l'acide acétique, changent encore de den- « sité à plus de 100 degrés au-dessus de leur point d'ébullition; « or, il est peu probable que des variations aussi considérables « dans la densité des fluides élastiques ne soient pas accompa- « gnées de variations analogues dans leur capacité calorifique. « Mais il est difficile de constater ces variations de capacité par « l'expérience, parce qu'on ne connaît qu'un petit nombre de « vapeurs que l'on puisse étudier entre des limites de tempéra- « ture suffisamment étendues.

« On ne doit donc pas considérer la capacité calorifique d'une « vapeur comme un élément constant, et la valeur qui en est « donnée par l'expérience doit être regardée comme une « moyenne, qui n'est exacte qu'entre les limites de température « pour lesquelles on l'a déterminée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

IV. TRAVAIL MÉCANIQUE DES VAPEURS.

En raisonnant pour les vapeurs comme je l'ai fait pour les gaz, on arrive à une confirmation bien nette des principes précédemment établis, ainsi que de la valeur admise pour E, qui paraît la rendre bien probable, indépendamment des autres vérifications que j'ai pu rencontrer.

A l'état solide, l'action de la chaleur sur les molécules a une relation nécessaire avec les forces qui les réunissent; mais à l'état liquide ou gazeux où elles sont en liberté, l'action de la chaleur doit être nécessairement la même pour des molécules identiques; on ne voit pas pourquoi les chaleurs spécifiques seraient différentes. (Nous revenons plus loin sur cette question.) Celles des vapeurs qui figurent dans les tableaux d'expériences sont cependant bien inférieures à celles des liquides (celle de la vapeur d'eau n'est pas égale à la moitié de celle de l'eau liquide); mais il y a lieu de faire la même observation que ci-dessus, et la différence résulte de ce que l'on opère comme pour les gaz, c'est-à-dire qu'on néglige la partie de l'effet de la chaleur qui prend la forme de travail mécanique, qui cesse de pouvoir être recueillie par refroidissement. Cette quantité, négligeable dans le cas du liquide, est considérable pour la vapeur dont le volume est bien plus grand. En réunissant, au contraire, les deux effets, l'égalité devient nécessaire, c'est-à-dire en appelant C la capacité à l'état liquide, c la chaleur sensible de la vapeur, celle qui est constatée au calorimètre, T le travail mécanique de la vapeur pour un échauffement de 1°, E = 140 l'équivalent mécanique de la chaleur, on doit avoir encore la relation :

$$C = c + \frac{T}{140}.$$

Les quantités C, c, c'est-à-dire les nombres qui entrent dans cette équation, peuvent être déterminées simultanément dans nombre de cas; T est d'ailleurs connu par la détermination du volume de la vapeur et l'observation de son coefficient de dilatation; par suite, la valeur de E, ou la vérification expérimentale du nombre 140, résulte de cette équation. On peut encore s'en servir pour calculer la valeur de c, C étant connu.

Prenons pour exemple l'eau, C = 1, le volume de 1 kil. de va-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

peur d'eau à 100°, à une atmosphère, est sensiblement de $1^m,7$; le coefficient de dilatation est bien probablement peu différent de 0,0039, chiffre de dilatation d'un gaz facilement liquéfiable comme l'acide sulfureux. On a donc pour la capacité spécifique de la vapeur d'eau :

$$c = 1 - \frac{1,700 \times 10,330 \times 0,0039}{1\,40} = 1 - 0,489 = 0,511.$$

M. Regnault a trouvé 0,480. La différence est minime, comme l'on voit, quand on tient compte du nombre des éléments divers qui entrent dans le calcul; l'on ne pourrait y introduire le nombre 420 pour la valeur de E, qui conduirait à $c = 0,83$, valeur presque double de celle trouvée par expérience directe.

La vérification obtenue par de semblables calculs pour divers corps est satisfaisante dans les cas où l'on possède des éléments du calcul déterminés dans des conditions convenables, lorsque les valeurs employées dans le calcul sont d'une rectitude suffisante. On peut donc considérer ce mode d'opérer comme un moyen d'obtenir, approximativement au moins, les chaleurs spécifiques de toutes les vapeurs; malheureusement on est forcé d'employer le plus souvent, comme nous le faisons dans plusieurs des calculs insérés dans le tableau suivant, les densités théoriques déduites de considérations chimiques, par suite évaluées à des températures très-différentes de celles du liquide; ce qui conduit alors à des résultats imparfaits, les molécules complexes étant modifiées d'une manière toute différente par la chaleur dans les deux cas.

On trouverait, par exemple, une valeur plus élevée pour la capacité de la vapeur d'eau en partant de la densité fournie par sa composition chimique, que celle déterminée par le calcul pour lequel on emploie le volume connu de cette vapeur vers 100 degrés.

Nous réunissons dans le tableau ci-après les déterminations expérimentales de M. Regnault et celles obtenues par le mode de calcul qui vient d'être indiqué.

On a admis pour faire ces calculs que le coefficient de dilatation des vapeurs était celui du gaz sulfureux facilement liquéfiable et égal à 0,0039, tandis qu'il serait nécessaire de le déterminer par expérience dans chaque cas, et l'on a employé le plus souvent les volumes théoriques des vapeurs, applicables à des températures variables; on ne peut donc obtenir ainsi que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CORPS.	Densités		Volume de 1 kil. de vapeur en litres.	Chaleurs spécifiques à l'état liquide.	Chaleurs spécifiques des vapeurs		Différences.
	du liquide.	de la vapeur.			d'après M. Regnault	Calculées.	
	gr.	gr.	litres.				
Eau	1000	0,588	1689	1,000	0,48051	0,511	+0,031
Brome.	3180	6,00	166	0,1070	0,055518	0,0593	+0,004
Alcool	815	2,09	478,6	0,652	0,4534	0,5144	+0,061
Éther	736	3,39	294,97	0,546	0,47966	0,4615	—0,018
Protochlor. de phosphore. . .	1616	6,35	159	0,2092	0,13473	0,1607	+0,026
Protochlor. d'arsenic	2204	8,18	123	0,17604	0,11224	0,1409	+0,028
Éther chlorhyd.	921	2,88	423,45	0,4276	0,27376	0,2986	+0,025
Sulfure de carbone	1293	3,43	292	0,24257	0,13696	0,15857	+0,0016
Benzine	850	3,10	325	0,42602	0,3754	0,34201	—0,033
Esprit de bois.	798	1,30	769	0,670	0,45802	0,4488	—0,010
Éther sulfhydr.	825	4,089	245	0,47853	0,40081	0,3908	—0,010
Éther acétique.	907	3,05	327,9	0,52741	0,40082	0,433	+0,033
Acétone	792	2,62	384,9	0,53022	0,41246	0,4195	+0,007
Liqueur des Hollandais	1280	4,48	221,3	0,318	0,22931	0,253	+0,024
Chlorure de silicium.	1523	5,939	171	0,1904	0,1322	0,1412	+0,011

des approximations. Dans ces conditions, il nous semble que les vérifications que présente le tableau précédent sont vraiment remarquables. Les déterminations calculées ne diffèrent pas en moyenne d'un vingtième de celles trouvées par expérience; elles confirment donc la manière de raisonner proposée, qui n'est autre que l'application du principe fondamental de la théorie dynamique de la chaleur.

V. OBSERVATIONS.

Je terminerai par quelques considérations qui me paraissent compléter le présent travail.

1. Comparaisons des chaleurs spécifiques d'un même corps a l'état solide, liquide ou gazeux.

La comparaison des chaleurs spécifiques que possède un même corps à divers états paraît très-propre à confirmer le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

principe énoncé plus haut, que les chaleurs spécifiques totales des liquides et des vapeurs en provenant doivent être les mêmes et que leurs variations proviennent des modifications que subit la molécule élémentaire.

Indiquons d'abord le point atteint par la science la plus avancée.

« De toutes les substances que nous avons soumises à nos « études, dit M. Regnault, il n'y en a que deux, l'eau et le « brome, dont nous connaissions la capacité calorifique sous les « trois états : solide, liquide et gazeux. Pour les autres, nous ne « possédons encore que leur chaleur spécifique à l'état de liquide « ou de vapeur.

Eau.

A l'état solide.	A l'état liquide.	A l'état de vapeur.
Entre — 78° et 8°. 0,4740	à 10°. . . . 1,000	de 128° à 220°. 0,4815
— 20° et 0°. 0,5040	de 10° à 100° 1,000	

« La capacité calorifique de l'eau liquide est donc le double « de celle que l'eau possède à l'état de glace ou à l'état de va- « peur, et la capacité calorifique de celle-ci en poids *est sensible- « ment égale à celle de la glace*. Ce résultat est certainement très- « curieux; s'il était isolé, il tendrait à prouver que l'eau liquide « présente un groupement moléculaire différent de celui qui « existe dans l'eau solide et dans la vapeur. On pourrait d'ailleurs « invoquer à l'appui de cette hypothèse l'anomalie exceptionnelle « que l'eau liquide montre dans sa dilatation au-dessus de son « point de fusion, et même la grande divergence que sa chaleur « spécifique présente, au point de vue de la loi des chaleurs spéci- « fiques des corps composés, par rapport aux composés de « même formule chimique. »

Brome.

« J'ai trouvé pour la chaleur spécifique *moyenne* de brome :

A l'état solide.	A l'état liquide.	A l'état de vapeur.
de — 77°,8 à — 25°. 0,833	de — 7°,3 à + 10°. 0,1060	entre 83° et 228°. 0,0555
	+ 13° à + 58°. 0,1129	

« La chaleur spécifique en poids du brome liquide est encore « sensiblement le double de celle du brome gazeux; mais elle « n'est pas beaucoup plus forte que celle du brome solide. »

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

C'est une loi expérimentale bien certaine que les chaleurs spécifiques des corps solides sont moindres que celles des mêmes corps liquides, et que ces capacités vont en diminuant à mesure que la dureté, la roideur de l'état solide augmente. C'est ainsi que l'on trouve pour le cuivre recuit, 0,9504, et pour le cuivre écroui, 0,93. Pour le charbon à divers états : charbon de bois, 0,24150; graphite, 0,20187; diamant, 0,14687. Pour le soufre fondu, 0,1844; pour le soufre naturel cristallisé, 0,1776.

Puisqu'il est bien certain que l'accroissement des cohésions moléculaires est la cause des diminutions des chaleurs spécifiques dans les solides, il est naturel de conclure que c'est dans cette cohésion qui constitue l'état solide que se trouve la cause de la différence des chaleurs spécifiques pour un même corps, à l'état solide et à l'état liquide. Cette conséquence nécessaire, tout à fait conforme à la théorie dynamique de la chaleur, vu la facile production de vibrations très-rapides mais de petites amplitudes dans les corps solides, et surtout chez ceux qui ont de la roideur, ne s'applique en rien aux corps gazeux. Dans ceux-ci, les molécules élémentaires, aussi libres, tout au moins, que dans les corps liquides, ne peuvent avoir un groupement analogue à celui existant dans les solides. Il est impossible d'admettre que le groupement existant dans le corps solide, qui a été détruit lorsque, par l'action de la chaleur, le corps est passé de l'état solide à l'état liquide, évidemment par suite d'un écartement des molécules produit par cette action, d'admettre, dis-je, que le groupement initial ou un autre analogue capable de diminuer de moitié la chaleur spécifique, comme le fait parfois la cristallisation, puisse se produire par l'action plus énergique, c'est-à-dire plus opposée à tout groupement, de cette même chaleur, lorsqu'elle fait passer le corps de l'état liquide à l'état gazeux.

Il me semble qu'en écartant cette explication inadmissible des faits, celle proposée ci-dessus devient en quelque sorte nécessaire, et qu'on ne doit pas être étonné de la voir se vérifier par des chiffres conformes aux résultats de l'expérimentation directe. Elle consiste à admettre, ou plutôt à reconnaître que le groupement moléculaire produisant la cohésion disparaît par la liquéfaction; que la molécule liquide est libre, comme la molécule gazeuse, et par suite que la chaleur spécifique du même corps, sous ces deux états, est nécessairement la même, pourvu que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les différences de température ne soient pas considérables. C'est le principe admis dans ce qui précède, il conduit seul à faire comprendre les résultats que fournit la curieuse comparaison des chaleurs spécifiques d'un même corps aux trois états sous lesquels il peut se rencontrer.

Son extension naturelle conduit à admettre que les variations des chaleurs spécifiques des corps liquides ou gazeux sont dues, comme il a été dit précédemment, « à des changements successifs dans la position relative des particules (formant la molécule élémentaire complexe), qui absorbent des quantités notables de chaleur, sans déterminer des accroissements correspondants de volume. » Cette conséquence à laquelle les vérifications précédentes me paraissent donner un bien grand degré de probabilité, tout au moins me paraît le plus grand progrès qui puisse être encore accompli pour simplifier et élucider singulièrement toute la théorie des chaleurs spécifiques.

2. Théorie de la machine a vapeur.

Je terminerai par une observation capitale pour la théorie de la machine à vapeur, lorsqu'on veut comparer la quantité de chaleur consommée au travail produit, qui est une conséquence de ce qui précède. C'est que la surchauffe de la vapeur d'eau dans un vase fermé, consommant 0,48 de calorie par kilogramme pour un accroissement de température de 1 degré, consommera en réalité une calorie, si cette vapeur peut sortir de la capacité où elle se forme, si elle engendre un travail mécanique dans l'intérieur du cylindre de la machine à vapeur.

J'étais arrivé déjà, par une autre route, à la nécessité d'ajouter l'effet mécanique à l'effet calorifique pour mettre d'accord les résultats des progrès accomplis dans l'établissement des machines à vapeur avec la théorie de la chaleur. Je rapporterai ici ce que j'ai publié sur ce sujet dans un autre ouvrage, pour montrer surabondamment l'utilité, la nécessité d'adopter le principe indiqué ci-dessus, et indiquer les importants résultats qui s'en déduisent.

Erreur commise par les physiciens. — Les savants, et notamment M. Regnault, ce physicien éminent auquel la théorie de la chaleur doit tant d'excellents travaux, ont confirmé en la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

répétant une proposition formulée préalablement, je crois, par M. Joule, sur la théorie de la machine à vapeur, qui est manifestement erronée et qui, à cause même de la juste autorité de son auteur, a eu une fâcheuse influence, en excitant de malheureux inventeurs à s'obstiner dans des recherches de machines impossibles, propres à donner des résultats bien plus avantageux que la machine à vapeur.

D'après M. Regnault (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXXVI), dans une machine à détente sans condensation, fonctionnant à 5 atmosphères et détendant jusqu'à une atmosphère, la vapeur possède à son entrée 653 calories, elle en conserve 637 à sa sortie, c'est-à-dire qu'elle n'a perdu que 16 calories; $\frac{1}{40}$ de sa chaleur ou 0,03. Dans une machine à condensation à 5 atmosphères, avec détente jusqu'à un quart d'atmosphère, la chaleur utilisée est de 34 calories, $\frac{1}{20}$ ou 0,05 de la chaleur fournie par la chaudière.

De là il conclut que ces machines ne rendraient, la première que 3 p. 100 et la seconde que 5 p. 100 du travail utile que la chaleur peut engendrer, résultat que se sont toujours refusés à admettre les mécaniciens qui ont vu doubler plusieurs fois les quantités de travail obtenues avec une même quantité de chaleur, et qui ne peuvent croire que les inventions successives de tant d'ingénieurs éminents n'aient conduit qu'à de si minimes résultats.

Il y a en effet ici une erreur qui consiste à ne considérer que ce qui se passe dans le cylindre et à négliger ce qui se passe dans la chaudière. D'après la manière de raisonner adoptée, une machine sans détente, dans le condenseur de laquelle on retrouve exactement toute la chaleur renfermée dans la vapeur qui sort de la chaudière, n'entraînerait aucune consommation de chaleur. Elle produit cependant un travail considérable; ce serait donc un effet sans cause, une impossibilité. Or le fait de la non-consommation de chaleur dans ce cas a été constaté directement par M. Hirn par de nombreuses expériences, et on ne voit pas, en effet, de différence entre la vapeur qui agit par pression pleine et celle qui, dans les expériences de physique, se rend dans le calorimètre où l'on mesure sa chaleur latente.

Si l'on suppose l'action du foyer brusquement arrêtée, n'est-il pas évident qu'au moment où la communication entre la chau-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dière et le cylindre venant à s'établir la vapeur est lancée dans ce dernier, il se produit une détente de la masse considérable de vapeur contenue dans la chaudière, dont le refroidissement deviendra sensible par suite de la consommation de chaleur qui correspond au travail produit. C'est ainsi que le travail à pression pleine, bien que n'étant pas dans la pratique manifesté par un abaissement sensible de température de la vapeur qui entre dans le cylindre et qui n'est qu'une petite fraction de la vapeur totale renfermée dans la chaudière, consomme une quantité de chaleur considérable (effet que le rechauffement dû à l'action incessante du combustible empêche d'apercevoir).

Le travail d'un kilogramme de vapeur à pression pleine est $PV = 10330 \times 1{,}675 = 17300$, ce qui, en admettant $E = 140$, correspond à la consommation de 123,5 calories. C'est cette quantité de chaleur dont on doit tenir compte, aussi bien que de celle consommée par la détente dans l'intérieur du cylindre, et par suite, la vapeur à sa sortie contenant les quantités de chaleur indiquées par M. Regnault, la machine utilise cependant une fraction de la chaleur fournie par le combustible plus grande que celle qu'il indique. Ainsi, dans le second exemple ci-dessus, la vapeur entre dans le cylindre de la machine avec 653 calories, mais elle y est de plus lancée par l'effet de la tension de la vapeur dans la chaudière, de manière à produire un travail par action directe qui correspond à 123 calories. En réalité, les choses se passent comme si elle possédait $653 + 123 = 776$ calories. Elle en conserve 619 à sa sortie; la consommation, l'utilisation de chaleur est donc de $123 + 34 = 157$ calories, et le rapport de la chaleur utilisée à celle fournie à la chaudière par le foyer est $\frac{157}{776}$ ou un peu plus du cinquième. C'est là une machine inférieure à des machines plus parfaites, mais ce n'est pas une machine absurde comme elle le serait si les résultats indiqués plus haut étaient exacts.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ÉTUDES

SUR LES

MACHINES ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES

ET

MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES

PAR M. F.-P. LEROUX.

I

Introduction du principe de la conservation du travail dans l'étude des phénomènes d'induction ; application aux phénomènes de l'établissement et de la cessation d'un courant électrique.

La notion des courants d'induction peut dans un grand nombre de cas suffire à expliquer les phénomènes qui ont lieu soit dans le mouvement relatif des aimants et des courants, soit dans l'établissement ou la cessation des courants. Cependant cette notion ne peut pas à elle seule faire prévoir toutes les circonstances des phénomènes; car si d'après les considérations habituelles on peut se rendre compte du sens des courants d'induction, il n'en est pas de même de leurs durées relatives, de leurs intensités, et de leurs réactions mutuelles.

Il est d'ailleurs des cas où l'existence des courants d'induction me paraît être une fiction plutôt qu'une réalité. Prenons l'exemple suivant : quand on fait passer un courant dans une bobine qui entoure un fer doux, il se produit des effets que nous analyserons tout à l'heure en détail, et dont le premier est l'affaiblissement du courant, pendant le temps de ce que l'on appelle son *établissement*. On explique ce fait en disant que le courant aimante le fer de la bobine, et que l'aimantation commençante développe dans le circuit même de la pile un autre courant d'induction. Cette explication est en apparence très-simple; mais, à y regarder de près, elle est loin de satisfaire l'esprit qui vient ici se heurter à des difficultés insurmontables; et pour n'en citer qu'une, comment comprendre que deux choses, le courant et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'aimantation, dont l'une est nécessairement postérieure à l'autre, jouent simultanément, et l'une par rapport à l'autre, les rôles de cause et d'effet ?

On pourrait discuter d'autres exemples qui prouveraient que l'idée de courant d'induction n'est que l'expression d'un fait d'expérience, fait complexe, qui n'est que la résultante de plusieurs autres. Une telle notion peut servir à classer et à dénommer un certain nombre d'effets du même genre, elle ne peut servir à les expliquer ni en faire découvrir les lois; pour pénétrer plus avant dans cette étude, il faut avoir recours à un principe plus fécond.

Ce principe est celui de la conservation du *travail*. Il n'en faut pas demander la démonstration, c'est pour notre esprit une *idée nécessaire*, pour parler le langage de la philosophie; un *axiome*, pour parler celui de la géométrie.

Si nous laissons de côté les mots vagues de *fluides* et autres, qui, imaginés d'abord pour abréger le langage en faisant image à l'esprit (image trop souvent fausse), viennent dans la suite enchaîner notre jugement sous la tyrannie de l'habitude, si nous voulons ne voir dans l'électricité qu'un mouvement, soit des molécules intégrantes des corps, soit de l'éther qui les baigne, ou de ces deux espèces de molécules à la fois, nous pouvons appliquer le principe que nous venons de citer et arriver à des conclusions qui paraissent plus satisfaisantes pour l'esprit.

Pour prendre un exemple, raisonnons sur l'expérience suivante qui est l'une des plus simples que l'on puisse faire sur le sujet qui nous occupe, et par cela même des plus démonstratives.

Prenons un galvanomètre très-sensible, à fil assez court, une hélice de fil isolé et un élément de Bunsen, et supposons qu'on ait déterminé les résistances relatives du galvanomètre, de la pile et de l'hélice, de manière que les variations d'intensité produites par ce qui peut se passer dans cette dernière soient le plus sensibles possible, c'est-à-dire que la résistance du galvanomètre soit égale à celle de l'hélice. Faisons en sorte de pouvoir former et rompre le circuit presque instantanément [1].

[1] Un moyen très-commode pour arriver à ce résultat d'une manière sûre est de mettre dans le circuit une batterie de fusil dans laquelle on a rem-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Voici ce que nous pourrons observer. Si l'on fait passer le courant en l'interrompant presque aussitôt, l'hélice étant vide, l'aiguille du galvanomètre subit une impulsion d'un certain nombre de degrés. Mettons-nous dans l'hélice une tringle d'acier, l'impulsion se trouve notablement diminuée. Si c'est une tringle de fer, la diminution est plus considérable. Dans les mêmes circonstances, une tige de cuivre ne produit qu'une différence presque insensible.

Voici quelques nombres, moyennes de plusieurs expériences convenablement alternées. — Les tiges des diverses matières étaient toutes de même grosseur et de même longueur.

Matières placées dans l'hélice.	Déviation impulsive de l'aiguille du galvanomètre.
Rien.	61°,8
Cuivre.	61°,0
Acier.	50°,6
Fer	28°,6

Comment explique-t-on ces phénomènes?

Quelle que soit l'explication que l'on adopte, on devra distinguer dans l'effet observé, qui est un effet total ou résultant, trois parties :

1° Effet du courant pendant qu'il s'établit; 2° effet du courant pendant le temps qu'il est dans son complet établissement (ce temps pouvant être nul et même négatif); 3° enfin, effet du courant pendant qu'il cesse.

Interrogeons la théorie actuelle de l'induction.

Elle nous répond qu'au moment où le courant s'établit, il se produit dans le fil, par suite de la présence du fer qui s'aimante, un courant de sens contraire à celui de la pile, puis au moment où le courant cesse, un courant de même sens.

Ces deux courants sont-ils égaux? Ils sont égaux, dit-on, en quantité, mais non en durée.

On peut aussi se poser la question suivante : en appelant t la

placé le chien par un bras de levier en fer de 15 ou 20 centimètres de longueur. On fait saillir à l'extrémité de ce levier un petit morceau de cuivre qui doit venir rencontrer une autre petite surface conductrice au moment où, la détente étant lâchée, le levier s'abaisse. En guidant le levier par une fourchette et en ayant soin d'amalgamer les surfaces, on peut obtenir des résultats assez constants.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

durée du contact qui permet au courant de se propager, les courants induits, inverse et direct, ajoutés au courant de plein établissement qui a pu exister, forment-ils une somme égale au moins *en quantité* au courant qui aurait existé pendant ce même temps *t*, s'il n'y eût pas eu de fer dans l'intérieur de la bobine?

On ne trouve nulle part la réponse explicite à cette question : celle qui résulte implicitement des idées généralement admises est affirmative, et on explique les phénomènes du genre de celui que nous venons de signaler, en disant qu'ils sont dus à l'inégalité de durée des deux courants induits, inégalité qui fait que la même quantité d'électricité se mouvant avec des vitesses différentes influe inégalement sur le galvanomètre. C'est là sans doute une des causes du phénomène, mais ce ne doit pas être la seule.

On reconnaît en effet, lorsque l'on dirige l'expérience vers ce point de vue, qu'il n'en est pas ainsi, et que la présence du fer doux occasionne une diminution dans les effets, non-seulement magnétiques, mais encore chimiques et autres du courant [1].

Quant à la différence de durée, et par suite d'intensité, ou de tension, comme on dit encore, qui est attribuée aux deux extra-courants, on est réduit à en faire des propriétés spéciales, et, pour ainsi dire, mystérieuses des courants d'induction.

Si maintenant nous voulons considérer non plus le sens des effets, mais le rapport qui existe entre ces effets et la cause qui leur donne naissance, nous ne trouvons rien dans la théorie actuelle de l'induction qui puisse nous éclairer sur ce sujet.

[1] Parmi les expériences que l'on peut invoquer à ce sujet, on peut citer les deux suivantes rapportées par MM. Soret.

« On a formé un circuit composé d'une pile, d'un interrupteur à mouvement d'horlogerie, et d'une hélice dans laquelle on pouvait à volonté introduire un cylindre de fer doux. Une aiguille aimantée, placée au-dessus d'une portion du courant se déviait de 32 degrés quand le fer n'était pas placé dans l'hélice; mais dès qu'on l'introduisait, la déviation tombait à 25 degrés.

« On a fait marcher à l'aide d'une pile une machine électro-magnétique dont le mouvement résulte de l'aimantation et de la désaimantation d'un seul électro-aimant. Le courant traversait en outre une hélice d'une assez grande résistance. Au moment où l'on introduisait un cylindre de fer doux dans cette hélice, le mouvement de la machine se ralentissait notablement. » (*Comptes rendus*, 31 août 1857.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Peut-être serons-nous plus heureux en nous plaçant à un autre point de vue.

Admettons que la cause des phénomènes électriques soit un mouvement, tout comme la lumière. Le mouvement électrique se dissipe en subissant des transformations diverses, travail mécanique appréciable à nos sens, chaleur, lumière, actions chimiques, etc. Outre la différence qu'il doit y avoir entre les modes de déplacement des molécules, le mouvement électrique paraît affecter surtout des molécules d'une masse plus grande que celles dont le mouvement constitue la lumière, ou les animer d'une force vive plus considérable, de telle sorte que l'équivalent mécanique de l'électricité nous est plus facilement appréciable que celui de la lumière. Sans pousser plus loin le développement de cette idée, il suffit de dire que si l'électricité est un mouvement, la force vive de ce mouvement doit se retrouver dans toutes les transformations qu'il peut subir.

Dans cet ordre d'idées, comment nous représenterons-nous l'établissement d'un courant?

Électriser un corps, c'est établir dans ses molécules, ou dans des systèmes de ses molécules, un certain état de mouvement. Suivant la nature ou plutôt la structure du corps, ce mouvement se communique plus ou moins facilement d'une molécule à l'autre, le corps est *bon* ou *mauvais conducteur*. Si les particules du corps conducteur forment une suite non interrompue, et que, à mesure que le mouvement se dissipe dans une partie du circuit, la même cause qui l'a produit vienne le restituer, il y a ce qu'on appelle un *courant*.

Avant que le *courant* soit établi, il faut donc emmagasiner dans les molécules des corps une certaine quantité de travail; il faut opérer la *mise en train* du circuit, comme dans une machine pour les divers organes qui la composent.

La puissance qui agit est finie; il faut donc un temps fini pour établir l'état de mouvement qui nous occupe, cet état que Faraday, partant d'un autre point de vue, appelait *électro-tonique*.

Une remarque importante à faire, c'est que cet état n'est pas borné aux seules molécules de ce que l'on appelle ordinairement le *circuit*, il faut comprendre qu'il s'étend aussi aux corps environnants. Ces corps, suivant leur nature, doivent *s'imbiber* d'une plus ou moins grande quantité de travail avant de parvenir à cet

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

état : le courant sera donc plus ou moins long à s'établir suivant qu'il se trouvera en présence de corps de telle ou telle nature.

Cherchons maintenant à établir une liaison entre cet ordre d'idées et les termes par lesquels on est dans l'habitude de définir les diverses circonstances d'un courant électrique. Tout d'abord, précisons la signification du mot *intensité*, que l'on emploie à chaque instant dans l'étude de l'électricité dynamique. L'idée d'intensité comporte nécessairement celle de temps : ainsi l'intensité d'un certain effet E sera le rapport $\frac{dE}{dt}$. Si l'idée de temps semble souvent omise, ce n'est qu'en apparence; par exemple, dans la comparaison des courants par leur effet sur l'aiguille aimantée, lorsqu'on mesure la déviation permanente de l'aiguille, on sous-entend qu'il n'y a pas à tenir compte du temps, puisqu'on considère un phénomène d'équilibre.

Les lois de l'électricité, telles qu'elles sont déduites de l'observation, sont fondées sur la considération de l'intensité des courants telle qu'on la mesure par leur action sur l'aiguille aimantée. En appelant i cette intensité et C l'action chimique correspondante produite dans la pile pendant l'unité de temps, on sait que l'on a $i = MC$. Mais à l'action chimique correspond, comme on le sait aussi, une quantité déterminée de chaleur qui se répartit dans le circuit sous une forme ou sous une autre; en appelant Q cette quantité de chaleur, on pourra écrire $C = M_1 Q$, d'où $i = M M_1 Q$. Si nous représentons par A l'équivalent mécanique de la chaleur, et par T un certain nombre de kilogrammètres, on aura $Q = \frac{T}{A}$, d'où $i = \frac{M M_1 T}{A} = KT$. En substituant cette valeur de i dans la formule $i = \frac{e}{\Sigma R}$, dans laquelle e représente la force électromotrice du système et ΣR la somme des résistances du circuit, on aura $KT = \frac{e}{\Sigma R}$, ou encore $T = \frac{T_0}{\Sigma R}$, en appelant T_0 la valeur de T correspondante à $\Sigma R = 1$, et posant $K = 1$, ce qui est permis, puisque ce coefficient dépend du choix des unités.

On peut donc dire que pour une source d'électricité déterminée, caractérisée par la valeur de T_0, la quantité de travail mise en jeu pendant l'unité de temps est proportionnelle à l'intensité

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du courant, ou inversement proportionnelle à la résistance du circuit.

On voit aussi que la *force électromotrice* d'une source d'électricité peut être représentée par un nombre de kilogrammètres. Il me semble même que l'unité de travail serait l'unité *absolue* la plus convenable pour la mesure des forces électromotrices [1].

Il nous reste à faire voir comment dans l'ordre d'idées où nous nous sommes placé, on peut se rendre compte de la diminution d'intensité du courant produite pendant le temps de son établissement.

L'établissement d'un courant ne doit pas se concevoir comme se faisant successivement d'une manière complète dans chacune des portions du circuit, de telle sorte que le courant soit complétement établi dans une portion du circuit avant d'en avoir seulement affecté une autre. L'électricité ne chemine pas dans

[1] On peut arriver à la même conclusion d'une autre manière, qui est pour ainsi dire naturellement amenée par les derniers travaux des physiciens sur le sujet. J'emprunte à M. Ed. Becquerel (Mémoire sur les forces électromotrices, *Ann. de chim. et de phys.*, 3e série, t. XLVIII) les quelques lignes suivantes qui résument la question :

« Si on appelle i l'intensité du courant d'un couple dont la force électromotrice est e, r la résistance de ce couple et du circuit, et t le temps pendant lequel un équivalent d'électricité fourni par le couple passe dans le circuit, on aura, en appelant a une quantité constante :

$$i = \frac{e}{r} \text{ et } ti = a, \text{ d'où } t = \frac{ar}{e}.$$

« Or, si l'on nomme Q la quantité de chaleur dégagée pendant ce temps t, par suite du passage de l'électricité dans le circuit r, on sait que la quantité de chaleur produite dans l'unité de temps est proportionnelle au carré de l'intensité du courant et à la résistance du circuit. On aura donc :

$$Q = \frac{e^2}{r^2} rt, \text{ d'où, en réduisant, } Q = ae. »$$

Si maintenant nous observons que Q est un nombre concret, représentant des unités de chaleur ; il faut que le second nombre de la dernière égalité contienne des quantités tellement combinées que leur produit représente des unités de chaleur ; il faut donc que e soit lui-même un nombre d'unités de chaleur, a étant un nombre abstrait, ou bien que e soit un nombre de kilogrammètres, a étant un nombre de la forme $\frac{m}{A}$, A étant l'équivalent mécanique de la chaleur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

un circuit comme une balle dans le canon d'un fusil. Il faut concevoir, au contraire, que dès l'instant de sa fermeture le circuit est presque immédiatement parcouru par un courant infiniment faible, dans l'instant suivant par un courant un peu plus fort, et ainsi de suite jusqu'à l'entier établissement du courant. La vitesse avec laquelle les impulsions élémentaires se propagent est la *vitesse de l'électricité* proprement dite. On peut même dire, je crois, que la vitese de l'électricité est très-grande par rapport à la vitesse d'établissement du courant. Comme nous ne pouvons mesurer les courants que par leurs effets, et leurs effets finis, toutes les mesures de la vitesse de l'électricité, comme nous venons de la définir, sont plus ou moins compliquées de celle de la vitesse d'établissement du courant.

Pour se rendre compte de la manière dont s'établit le courant, il faut ne pas perdre de vue qu'il doit exister entre les molécules non-seulement d'un corps seul, mais encore d'un système de corps, des liaisons qui font que l'une d'elles ne peut recevoir un ébranlement sans que toutes les autres s'en ressentent. Comme, d'ailleurs, la cause qui agit est une cause finie, il faut un temps fini pour que les molécules soumises à l'influence de cette cause acquièrent un certain état de mouvement ; mais en vertu des liaisons dont nous avons invoqué l'existence, la manifestation de la cause elle-même dépend du mouvement même dont sont animées les molécules du circuit. La manifestation de la cause, c'est le travail qu'elle fournit à chaque instant ; en appelant T ce travail, on peut donc dire que le rapport $\frac{dT}{dt}$ variera depuis $t = o$ jusqu'à $t = t_1$, $_1t_1$ étant ce qu'on appelle le temps de l'établissement du courant, et passera d'une manière continue de la valeur zéro à une certaine valeur qui mesure l'intensité du courant dans son plein établissement.

Pour bien faire comprendre le sens de ce qui précède, il n'est pas inutile, je crois, d'avoir recours à la comparaison suivante. Représentons-nous le système formé par une machine à vapeur et les outils qu'elle met en mouvement, le tout à l'état de repos ; au moment où l'on ouvre le robinet d'admission de la vapeur sous le cylindre, la vitesse des diverses parties du système augmente graduellement, mais avec elle augmente aussi la dépense de la vapeur, et aussi le travail fourni pendant l'unité de temps

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par le générateur à tout le système, et cela jusqu'à ce que celui-ci ait atteint un mouvement uniforme, c'est-à-dire qu'il y ait égalité à chaque instant entres ses pertes et ses acquisitions de force vive. Ici la source de force, c'est la chaudière.

On peut dire en quelques mots que nous retrouvons là, à propos de l'établissement des courants, cette propriété mystérieuse mais fondamentale de la matière, que l'on désigne par le mot d'*inertie*. C'est elle qui fait qu'un corps en mouvement diffère du même corps en repos par quelque chose d'indéfinissable en soi, mais qui pourtant existe, par du *travail*.

Il en est de l'établissement d'un *courant* comme de celui de tout mouvement; jusqu'à ce que le système à mouvoir ait acquis un régime permanent, il faut vaincre une certaine *résistance* qui absorbe ou plutôt dissimule un certain travail. Ce mot de *résistance* que nous venons d'employer d'une manière générale a, dans l'étude de l'électricité dynamique, une signification spéciale appliquée à un cas particulier, mais qu'il est tout naturel de généraliser. Nous voilà donc amenés à dire que, pendant le temps θ de l'établissement d'un courant, l'intensité de ce courant varie à chaque instant, par suite de la variation de résistance offerte par l'inertie des molécules qu'il doit ébranler. Or, quelle que soit la loi de variation du courant pendant son établissement, nous pourrons toujours lui substituer un courant uniforme équivalent au point de vue du travail produit dans le même temps; par exemple, un courant défini par la même valeur de e que le courant définitif, mais qui aurait à vaincre une *résistance moyenne* r, cette quantité étant définie par l'équation

$$\frac{1}{\Sigma R + r} = \frac{1}{n}\left(\frac{1}{\Sigma R + r_1} + \frac{1}{\Sigma R + r_2} + \ldots + \frac{1}{\Sigma R + r_n}\right)$$

dans laquelle ΣR représente les résistances à la conductibilité, n le nombre d'intervalles dans lesquels on suppose partagé le temps de l'établissement du courant, et r_1, r_2, etc., les résistances résultant de l'inertie qui correspondent à ces divers intervalles.

Ainsi les choses se passeront au point de vue du travail mis en jeu par le courant comme si, pendant ce temps, il y avait dans le circuit *une résistance additionnelle moyenne* r. Cette résistance, nous l'appellerons la *résistance dynamique* du système, pour la distinguer des résistances que l'on considère ordinairement, et que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nous appellerons les *résistances statiques*. Ce sont celles que l'on mesure ordinairement au moyen du rhéostat.

La quantité r étant ainsi définie, nous pourrons dire que les effets d'un courant, pendant le temps θ de son établissement, seront les mêmes que s'il eût eu pendant ce temps une intensité uniforme $i = \frac{e}{\Sigma R + r}$, ΣR représentant les résistances statiques du système.

Si donc nous voulons considérer la quantité de travail T_1 mise en jeu pendant le temps θ_1 de l'établissement du courant, elle sera, d'après ce que nous avons dit plus haut, $T_1 = \theta_1 \cdot \frac{T_0}{\Sigma R + r}$.

D'après la manière même dont nous avons défini r, nous devons l'assimiler dans tous les calculs aux résistances que l'on a l'habitude de considérer, et auxquelles nous avons donné le nom de *résistances statiques*. De nombreuses expériences ont démontré, comme on le sait, qu'un conducteur s'échauffe proportionnellement à sa résistance. Ce dégagement de chaleur n'est qu'une des manifestations du travail mis en jeu dans le circuit. Or, d'après l'idée même que fait naître le mot de *résistance*, on saisit facilement que ce n'est pas seulement à un travail calorifique, mais à un travail d'une nature quelconque que cette loi doit s'appliquer. On peut donc dire que c'est un principe résultant du sens même des mots; que *si l'on considère le travail mis en jeu dans un système quelconque, ce travail se partage entre les diverses parties du système proportionnellement à la résistance de chacune d'elles*. Ce n'est autre chose que la définition du mot *résistance* pris dans son sens le plus général.

Nous dirons donc que, pendant le temps θ_1 de l'établissement du courant, la source fournissant le travail $T_1 = \frac{T_0}{\Sigma R + r}$, une portion donnée du circuit prend, en vertu de sa résistance dynamique r, une fraction du travail total représentée par $\frac{r}{\Sigma R + r}$; le travail pris par cette portion du circuit sera donc

$$\theta_1 \cdot \frac{T_0}{\Sigma R + r} \cdot \frac{r}{\Sigma R + r} = \theta_1 \cdot \frac{T_0 r}{[\Sigma R + r]^2},$$

Cette portion du travail reste dissimulée pendant tout le temps

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que le courant conserve la même intensité; mais dès qu'il vient à cesser ou simplement à changer d'intensité en moins, tout ou partie de ce travail se trouve restituée sous forme d'un courant de même sens que celui de la pile.

Il nous devient facile maintenant d'expliquer la différence de durée, et, par suite, de tension que présentent les deux extra-courants, comme on les appelle. Le premier, l'inverse, n'est pas un courant proprement dit, c'est un affaiblissement du courant principal correspondant à une certaine somme de travail qui a dû mettre, pour s'accumuler, un temps inversement proportionnel à l'énergie de la source, et directement aux résistances de toute espèce du circuit; le second extra-courant, le direct, représente le même travail restitué avec une vitesse qui paraît dépendre de la facilité qu'ont à se mouvoir les molécules des corps soumis à l'influence du courant; c'est du moins ce qui semble résulter des nombreuses expériences faites sur l'induction, et notamment de celles de M. Dove.

Les deux extra-courants représentant, d'après cela, la même somme de travail (en négligeant les causes de perte que nous signalons plus loin), ils sont égaux *en quantité,* comme l'on dit ordinairement; mais ils ont des durées inégales, le second durant beaucoup moins longtemps que le premier. Si donc nous les comparons pendant des éléments de temps égaux, nous voyons que le second sera plus énergique que le premier, pourra vaincre de plus grands obstacles, sera supérieur en tension.

De cette condition que les deux extra-courants représentent la même quantité de travail, il semblerait devoir résulter que, lorsqu'on cherche à évaluer le travail d'une pile dans un circuit où ces extra-courants peuvent se produire, ce travail doit être le même, qu'ils se produisent ou non. Cependant, l'expérience montre qu'il n'en est pas ainsi. On doit attribuer la différence à deux causes.

La première, c'est que le travail dissimulé pendant l'établissement du courant n'est pas réellement égal à celui qui est restitué par le second extra-courant, surtout lorsque du fer ou des corps fortement magnétiques se trouvent en présence du circuit. Pour ne parler que des effets dus à la présence du fer, effets qui l'emportent de beaucoup sur ceux des autres corps, l'aimantation et la désaimantation de ce métal, en déplaçant ses molécules, doivent

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

occasionner entre elles un certain frottement, qui a pour effet d'échauffer la masse. C'est, en effet, l'origine la plus probable que l'on puisse assigner aux phénomènes d'échauffement que M. Grove a observés dans l'aimantation et la désaimantation [1].

En appelant f la quantité de travail correspondant à cet effet de chaleur pour une aimantation, et T, le travail dissimulé par l'établissement du courant et de son influence sur le fer, on voit qu'il ne reste réellement de travail dissimulé que $T-f$, et en supposant que dans la désaimantation il y ait la même quantité f transformée en chaleur, il ne restera plus que $T-2f$ pour la quantité de travail que peut restituer l'extra-courant direct. On fera donc, à chaque interruption du courant, cette perte, $2f$. Cette remarque nous sera utile lorsque nous parlerons des machines électro-magnétiques.

La seconde cause se trouve dans les variations de résistance qui ont lieu au moment de la rupture du circuit et qui sont occasionnées par la production de l'étincelle.

On sait, en effet, qu'au moment de cette rupture, une étincelle plus ou moins vive se produit. La résistance de cette étincelle est tout à fait comparable à celle du restant du circuit; elle peut, dans certains cas même, être plus grande, et, d'après le principe énoncé plus haut sur la distribution du travail, il suit que l'étincelle peut absorber une grande partie du travail correspondant au courant direct [2].

On peut donc dire que, sous ce point de vue seul, on devrait, si l'on pouvait, éviter les étincelles qui sont déjà si fatales aux machines magnéto-électriques ou électro-magnétiques par l'usure rapide des surfaces de contact entre les extrémités des conducteurs.

Je crois que cette considération du changement de distribution du travail qui est occasionné par l'étincelle peut suffire pour expliquer certaines particularités qu'offrent les courants d'induc-

[1] Je ne crois pas que l'on puisse avec raison attribuer exclusivement, comme on l'a fait, ce phénomène à des courants d'induction circulant sur la surface du fer.

[2] Dans un travail inédit sur la lumière électrique, j'ai vérifié ce fait pour l'arc voltaïque; il me semble donc naturel de l'appliquer à l'étincelle, qui est un diminutif de l'arc voltaïque.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tion et qui au premier abord paraissent des plus bizarres. J'ai tout lieu de croire aussi qu'elle peut expliquer une partie des phénomènes si curieux de l'induction par les décharges que M. Verdet a étudiés d'une manière si heureuse et si précise au moyen de la polarisation des électrodes.

Résumé. — Dans ce qui précède, j'ai cherché à appliquer le principe de la conservation du travail aux phénomènes produits dans l'établissement et dans la cessation du courant, et à en déduire quelques conséquences propres à nous éclairer sur ces faits.

Pour cela je considère l'établissement d'un courant comme celui d'un certain état de mouvement des molécules des corps.

Je définis à ce point de vue l'intensité du courant, c'est le rapport $\frac{d\,T}{d\,t}$, T étant le travail mis en jeu par la source.

Ce rapport varie à chaque instant depuis $t = o$ jusqu'à $t = t$, (t, étant le temps nécessaire à l'établissement du courant), en vertu de l'inertie de la matière et des liaisons qu'on doit concevoir entre toutes les molécules du circuit.

L'intensité moyenne du courant pendant la période t sera la moyenne de ces valeurs de $\frac{d\,T}{d\,t}$; cette moyenne est plus petite évidemment que la valeur de l'intensité du courant à l'état permanent pendant la période de son établissement; le courant subit donc une diminution d'intensité.

L'inertie de la matière a ainsi opposé une résistance au courant pendant la période de son établissement; cette résistance est fonction du temps, elle est nulle pour $t = 0$. Appelons r, non pas la moyenne des valeurs de cette résistance, mais une valeur telle que l'intensitée représentée par la formule $i = \frac{e}{\Sigma\,R + r}$ soit la moyenne des intensités du courant pendant le temps t.

Cette résistance r, nous l'appelons la *résistance dynamique* du système [1].

Si T_0 est le travail qui serait mis en jeu pendant l'unité de temps,

[1] Pour éviter toute confusion, je ferai remarquer que je n'entends pas dire que, pour un même système, cette résistance soit constante, quelle que soit l'intensité du courant qui l'a fait agir sur lui. Je ne veux rien préjuger sur cette question.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la résistance du circuit étant 1, le travail mis en jeu pendant le temps θ de l'établissement du courant sera $\frac{T_0^2\,\theta}{\Sigma R + r}$. Ce travail se sera distribué dans les différentes parties du circuit proportionnellement à leurs résistances; par conséquent, la part afférente à l'établissement du courant sera $\frac{r.\,\theta.\,T_0}{[\Sigma R + r]^2}$.

Ce travail reste dissimulé dans le système. Mais nous le retrouvons dans l'extra-courant direct au moment de la rupture du circuit. Nous ne le retrouvons cependant pas tout entier. On doit attribuer la différence à une sorte de *frottement* produit dans le déplacement moléculaire qui constitue l'aimantation et la désaimantation, ainsi qu'aux courants d'induction qui peuvent se développer latéralement.

En outre, au moment de la rupture, il peut y avoir une étincelle; la résistance de cette étincelle est assez considérable. En admettant que l'étincelle se comporte comme l'arc voltaïque, elle doit absorber une partie du travail correspondant à l'extra-courant qui la produit. Quand il y a étincelle, c'est donc une nouvelle résistance qui s'introduit dans le circuit, et qui vient changer la distribution du travail entre les différentes parties de ce circuit.

La manière d'envisager les phénomènes électriques que je viens d'esquisser, d'une manière bien imparfaite sans doute, me paraît offrir quelques avantages.

Au lieu d'introduire des hypothèses nouvelles, elle en restreint le nombre; on peut la considérer comme l'extension la plus générale des lois vérifiées pour les courants dans certains cas, que l'expérience peut facilement atteindre.

Ces considérations peuvent donc amener dans l'étude des phénomènes électriques une véritable simplification; remarquons surtout qu'elle est basée sur les propriétés de la matière en général, et affranchie d'hypothèses comme celles de *fluides*, de *polarité*, etc.

Sans doute il nous faut encore avoir recours à des mots sym-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

boliques, comme celui de *résistance*, par exemple. Mais il en sera ainsi tant que nous ignorerons le véritable mécanisme des phénomènes naturels. Pour exprimer des faits, nous en sommes toujours réduits à des mots ; mais le malheur est que de ces mots, qui ne représentent que des faits, nous en faisons des propriétés du monde physique. Tous nos efforts doivent donc tendre à diminuer le nombre de ces mots qui n'offrent à notre esprit d'autre idée que celle de propriétés mystérieuses.

De la matière et de la force vive, régies par les lois immuables de la géométrie, voilà, je crois, l'explication finale que l'homme puisse jamais atteindre de tous les phénomènes de la nature. Tout ce qui s'en rapproche est un progrès.

Si d'ailleurs quelques personnes répugnent à ces abstractions, elles peuvent ne voir dans ce que je propose qu'une notation symbolique, propre à permettre de soumettre à quelques calculs des phénomènes complexes, sauf ensuite à soumettre les résultats obtenus au contrôle de l'expérience.

Tel est l'usage que je compte faire des considérations exposées dans la première partie de ce travail, et nous allons voir comment, appliquées à l'étude des machines qui emploient ou qui produisent l'électricité, elles peuvent montrer de quel côté nous devons diriger nos efforts pour perfectionner ces appareils.

II

Application des considérations précédentes à la théorie des machines électro-magnétiques et magnéto-électriques, et à la recherche de leur maximum d'effet utile.

La recherche du maximum d'effet utile d'une machine peut s'envisager, en général, sous deux points de vue : maximum d'effet *dans un temps donné*, sans tenir compte de la dépense, ou bien maximum d'effet *pour une dépense donnée*, sans tenir compte du temps. On doit envisager ainsi les questions relatives aux appareils magnéto-électriques et électro-magnétiques, en remarquant que, dans l'application, le maximum d'effet que l'on recherche doit être une fonction composée du temps et de la dépense, car en réalité le temps est loin d'avoir une valeur nulle.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Principes généraux applicables aux deux genres de machines.

J'ai fait voir (*Comptes rendus*, 27 octobre 1856, et *Annales de chimie et de physique*, août 1857) que si, dans un appareil magnéto-électrique, on observait le dégagement de chaleur produit dans une partie du circuit; que si, connaissant la résistance de cette partie, ainsi que celle du reste du circuit, on calculât, d'après les lois connues pour la production de la chaleur par le passage des courants (Joule, Ed. Becquerel, etc.), la chaleur produite dans le circuit total, et qu'on la comparât au travail mécanique employé, on trouvait le nombre 460 pour l'équivalent mécanique de la chaleur.

Des expériences récentes de M. Favre (*Comptes rendus*, 13 juillet 1857) ont prouvé directement ce que celles, plus anciennes, de M. Joule, faisaient pressentir, à savoir, que la chaleur dégagée dans la pile, celle dégagée dans un moteur électrique par le passage du courant dans les fils, etc., et le travail mécanique produit, estimé en chaleur, formaient une somme qui est dans un rapport constant avec l'action chimique.

J'ai fait remarquer que le nombre 460, fourni par mes expériences, était un nombre plus fort que celui qui paraît être le véritable équivalent mécanique de la chaleur; il n'y a rien d'étonnant à ce qu'il en soit ainsi; car dans le calcul qui donne ce nombre, il n'est pas tenu compte (les circonstances ne le permettant pas) du travail absorbé, soit par l'induction sur les corps voisins, soit par les étincelles et l'échauffement du fer dans les aimantations et les désaimantations successives.

Les fonctions d'une machine soit magnéto-électrique, soit électro-magnétique, offrent deux circonstances essentielles : une succession rapide de courants interrompus, et le mouvement relatif de certaines de ses parties.

Nous avons étudié dans la première partie de ce travail l'effet de la première circonstance; nous allons tâcher de résumer les effets de la seconde, c'est-à-dire du mouvement.

L'ensemble des expériences faites sur ce sujet montre que :

1° Lorsqu'un circuit a des parties en mouvement, la quantité de chaleur dégagée dans le circuit pendant l'unité de temps (je parle du circuit lui-même et non des corps avoisinants) est la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

même que si ces parties étaient en repos, à intensité égale du courant.

2° Le mouvement d'une portion d'un circuit diminue l'intensité du courant qui traverse ce circuit ou bien l'augmente, suivant que le travail correspondant à ce mouvement est négatif ou positif.

On peut exprimer ce fait en disant que le mouvement fait naître dans le circuit une *résistance*, soit positive, soit négative.

Cette résistance qui naît du mouvement de certaines des parties du circuit est tout à fait analogue à celle que nous avons considérée à propos de l'établissement de l'état électro-tonique dans le circuit proprement dit et dans les corps avoisinants. En effet, déplacer une des parties du circuit pris ainsi en bloc, c'est faire changer l'état électro-tonique de cette partie, changement qui peut avoir lieu, soit en plus, soit en moins, et, par conséquent, donner lieu à un travail, soit négatif, soit positif.

Il paraît naturel de confondre dans la même dénomination les résistances qui sont dues à ces deux causes : nous les appellerons donc aussi *résistances dynamiques*, et nous en déduirons la distribution du travail de la manière que nous avons précédemment développée.

Sans entrer dans le détail de chaque point, je crois pouvoir avancer que toutes les questions relatives à la distribution du travail dans les appareils qui nous occupent peuvent se résumer dans les principes suivants qui me semblent résulter avec certitude tant de l'ensemble des faits observés, que des principes généraux que nous avons déjà invoqués.

Lorsque certaines parties d'un circuit [1] sont en mouvement, ou qu'il est traversé par des courants discontinus, ou bien que les deux choses ont lieu à la fois, pour diverses parties de ce circuit (il s'agit du circuit lui-même, et non des corps avoisinants), l'échauffement produit par le passage du courant ne dépend que de la durée et de l'intensité de ce courant dans ces circonstances.

[1] Pour la complète intelligence de ce qui va suivre, il est important de remarquer qu'il y a deux manières d'envisager l'idée représentée par le mot *circuit* : ou bien c'est le circuit tel qu'on le considère ordinairement, c'est-à-dire le conducteur seul traversé par ce que l'on appelle le courant, ou bien c'est ce conducteur et le système des corps environnants.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le mouvement d'une portion du circuit (mouvement nécessairement accompagné d'un travail mécanique, positif ou négatif), ou bien la discontinuité du courant, font naître une résistance spéciale que nous appelons *résistance dynamique*.

Le travail mis en jeu, que ce travail soit extérieur comme dans les machines magnéto-électriques, ou intérieur comme dans les appareils où entrent des éléments de pile, ce travail se partage entre les diverses parties du circuit (chacune prise en bloc, c'est-à-dire avec les corps avoisinants), proportionnellement aux résistances dynamiques et statiques de ces parties.

On peut résumer ces principes dans les formules suivantes, où, R étant la résistance *statique* ou permanente et r la résistance dynamique d'une certaine portion du circuit, T_0 représente le travail qui serait mis en jeu pendant l'unité de temps, dans un circuit de résistance, quelle que soit d'ailleurs l'origine de ce travail, influence magnétique, action chimique, etc.

$\frac{T_0}{\Sigma(R+r)}$ travail mis en jeu pendant l'unité de temps. . . . (*a*)

$\frac{T_0(R+r)}{[\Sigma(R+r)]^2}$ travail relatif à une partie donnée du circuit. . (*b*).

Au point de vue de l'effet utile des machines qui nous occupent, si l'on décompose l'expression (*b*), on y trouve d'abord la quantité $\frac{T_0 R}{[\Sigma(R+r)]^2}$, qui représente une quantité de travail transformée en chaleur dans le conducteur lui-même. C'est donc un travail perdu pour les effets que l'on en a vue. La résistance statique R doit donc être diminuée autant que possible; elle est analogue aux résistances produites par le frottement dans les machines à vapeur et autres.

La quantité dans $\frac{T_0 r}{[\Sigma(R+r)]^2}$ est la partie *utilisable* du travail mis en jeu. Je dis *utilisable* parce que r se compose de deux parties; l'une est relative à la force vive utile de certaines parties du mécanisme; l'autre mesure l'effet des interruptions du courant, c'est-à-dire des parties de travail utile dues à l'étincelle et à l'échauffement des masses de fer soumises à l'influence du courant.

Du maximum d'effet pour une dépense donnée. — Dans une ma-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chine électro-magnétique, l'emploi du travail correspondant à l'action chimique peut se subdiviser ainsi qu'il suit :

(A).... Chaleur dégagée dans la pile elle-même.

(B).... Chaleur dégagée dans les étincelles, l'aimantation et la désaimantation.

(C).... Chaleur dégagée dans les fils des bobines.

(D).... Travail mécanique, y compris le frottement des organes.

Pour utiliser le mieux possible le travail mis en jeu, il faut que le frottement des organes soit le moindre possible, et que chacune des quantités A, B, C, ait sa valeur minimum.

Dans un appareil magnéto-électrique, le travail mécanique employé pour la faire mouvoir (abstraction faite des frottements) trouve son équivalent dans :

(*a*).... La chaleur dégagée dans le récepteur de travail (voltamètre, conducteurs, etc.)

(*b*).... Chaleur dégagée par les étincelles, l'aimantation et la désaimantation, l'induction dans les corps voisins.

(*c*).... Chaleur dégagée par le passage des courants dans les fils des bobines.

(*d*).... Travail utile (décompositions chimiques, lumière, etc.).

On voit qu'il faut rendre *minima* les quantités *a*, *b*, *c*, qui représentent les quantités analogues à A, B, C.

Donc, au point de vue de l'économie du travail, la meilleure machine magnéto-électrique serait aussi la meilleure machine électro-magnétique, et réciproquement [1].

On voit aussi qu'une grande vitesse dans les mouvements des organes est contraire à l'économie; car, avec la vitesse, croissent les pertes de travail par les frottements, par les étincelles, par l'aimantation et la désaimantation.

Du maximum d'effet dans l'unité de temps. — Ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, le temps est loin d'avoir une valeur négligeable dans la question qui nous occupe; aussi devons-nous surtout nous attacher à rechercher les conditions qui peuvent

[1] C'est en effet ce que j'ai déjà vérifié expérimentalement dans un travail inédit. Ayant eu à ma disposition des machines magnéto-électrique puissantes et dans d'assez bonnes conditions, j'ai pu leur faire produire une quantité notable de travail avec un petit nombre de couples. J'aurai du reste l'occasion de revenir sur ce sujet.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

donner le maximum d'effet utile dans un temps donné; c'est ce que nous allons essayer de faire, surtout au point de vue de la production de force motrice par l'électricité.

Une pile étant donnée, à quelles conditions doit satisfaire l'appareil auquel on l'applique pour qu'on puisse en tirer le maximum d'effet mécanique dans un temps donné? Telle est la question.

Appelons

R_p la résistance de la pile;

R_m celle de la machine à l'état de repos;

r celle de la machine dans un certain état de mouvement, en ayant bien soin de faire remarquer que nous supposons qu'il n'y a aucune perte de temps, c'est-à-dire que les aimantations et les désaimantations se succèdent sans intervalle de temps appréciable.

Appelons aussi T le travail inconnu dépensé par la pile pendant l'unité de temps, et évalué en travail mécanique,
et T_u... le travail mécanique utilisable par la machine.

Nous aurons, d'après les formules précédentes,

$$T = \frac{T_0}{R_p + R_m + r}$$

$$\text{et } T = T \times \frac{r}{R_p + R_m + r} = \frac{T_0\, r}{(R_p + R_m + r)^2}$$

posons pour abréger $R_p + R_m = \rho$ d'où $T = \frac{T_0\, r}{(\rho + r)^2}$

pour obtenir le maximum de T_u, différencions sa valeur par rapport à r; il vient :

$$d\,T_u = T_0 \times \frac{\rho^2 - r^2}{(\rho + r)^4} \times dr$$

en égalant cette expression à zéro on en déduit $r = \pm \rho$.

En ne nous occupant que de la valeur positive de r, nous voyons que de toutes les machines qui ont même résistance R_m à l'état de repos, celle qui produit le maximum de travail dans un temps donné avec une pile donnée est celle dont la résistance à l'état de mouvement est égale à la somme des résistances de la pile et de la machine en repos. Cela s'applique évidemment à une même machine dont la vitesse varie, car la résistance à l'état de mouvement varie avec la vitesse. On peut donc dire qu'une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

machine électro-magnétique donne le maximum de travail qu'elle peut fournir dans un temps déterminé avec une pile donnée lorsque sa vitesse est telle que, par suite du mouvement, la résistance totale du circuit est devenue double, ou bien, si l'on compare les intensités du courant la machine étant au repos ou pendant la marche, lorsque le mouvement de la machine est tel que l'intensité du courant soit réduite à moitié.

On reconnaît sous cette forme le résultat auquel était arrivé M. Jacobi par d'autres considérations [1].

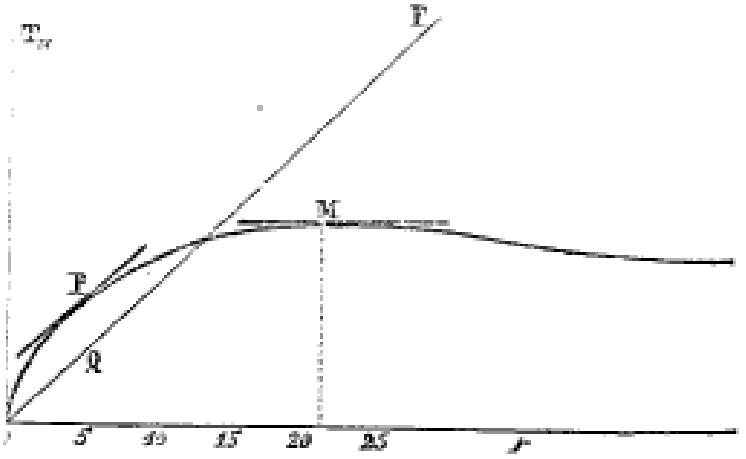
Il ne faut pas perdre de vue que c'est le travail *utilisable* que nous avons représenté par T_u. Pour avoir le travail *utile*, il faut retrancher de T_u le travail absorbé par les frottements, les étincelles, l'échauffement des masses de fer doux, l'induction dans les corps voisins. On peut représenter ce fait en disant que la résistance totale r se compose de deux parties : l'une est la résistance *utile*, qui correspond au travail *utile*; l'autre est la résistance *nuisible*, qui correspond aux causes de pertes que nous venons d'énumérer. L'une et l'autre sont fonctions de la vitesse de la machine; on conçoit donc que le maximum de travail vraiment utile pourra se trouver très-loin du maximum de travail utilisable.

Afin de mieux faire saisir ce point important, nous allons construire la courbe $T_u = \frac{T_0 r}{(\rho + r)^2}$ en portant sur l'axe des abscisses les valeurs de r, les ordonnées représentant les valeurs de T_u évaluées en kilogrammètres.

Dans l'exemple représenté par la courbe tracée ici, on a supposé :

$T_0 = 20$ kilogrammètres (l'unité de temps est la seconde).

$\rho = 20$ mètres de fil de cuivre de 1 millimètres de diamètre.



[1] *Ann. de chim. et de phys.*, 5e série, t. XXXIV, année 1852.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ainsi que nous l'avons dit, les ordonnées représentent les valeurs de T_u, c'est-à-dire du travail utilisable. Pour avoir le maximum du travail utile, il faudrait construire la courbe qui lie les pertes de travail à r par l'intermédaire de la vitesse. Or, les pertes de travail que nous avons énumérées ci-dessus se reproduisant à chaque même période du mouvement de la machine sont évidemment proportionnelles à la vitesse; quant à r, on peut aussi la supposer proportionnelle à la vitesse *dans une première approximation* qui sera suffisante pour ce que nous nous proposons de faire voir. On pourra donc représenter ici la loi des pertes de travail par une droite telle que OF, et pour avoir le maximum de travail *utile*, il faudra mener à la courbe une tangente parallèle à OF. On voit ainsi qu'il pourra se faire, comme cela est malheureusement arrivé jusqu'ici dans les appareils proposés, que le maximum PQ de travail utile soit bien au-dessous du maximum de travail utilisable; il pourra même arriver que la machine, sans produire de travail utile, parvienne à un mouvement uniforme avant d'avoir atteint le maximum M.

On peut résumer ce qui précède en disant que pour obtenir le plus de travail mécanique utile qu'il est possible dans l'unité de temps, avec une source d'électricité de nature déterminée, il faut :

1° Que la résistance de la pile employée et de la machine à l'état de repos soit la moindre possible;

2° Que la portion utile de la résistance dynamique de la machine (c'est-à-dire la portion de cette résistance qui ne dépend que du mouvement des organes) s'approche le plus possible d'être égale à la résistance statique de tout le système.

Pour que cette condition soit remplie, il faut que les interruptions du courant soient aussi rares que possible afin d'éviter les pertes de travail utile qui se produisent dans l'aimantation et la désaimantation.

Il est d'ailleurs une autre raison qui doit faire éviter les interruptions trop fréquentes du courant, c'est la perte de temps, inévitable par suite de l'imperfection des mécanismes, qui se répète à chaque interruption ou changement de sens du courant.

On peut donc dire que pour le perfectionnement des appareils électro-magnétiques, il faut surtout chercher à augmenter l'action magnétique en diminuant, autant que faire se peut, la résis-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tance des conducteurs parcourus par le courant et le nombre des interruptions de ceux-ci. Mais il ne faut pas perdre de vue qu'il existe entre les circonstances principales que nous venons d'énumérer des relations, malheureusement encore inconnues, qui peuvent être telles que le travail utile qui est fonction de ces quantités ne puisse atteindre qu'un maximum insuffisant pour les applications industrielles. C'est donc vers la recherche de ces relations que nous devons diriger nos efforts ; c'est leur connaissance qui nous permettra de décider si le problème de la transformation de l'électricité en travail mécanique utile peut être résolu d'une manière économique, ou si l'on doit définitivement l'abandonner.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LES MÉDAILLES D'OR

A L'EXPOSITION DE BESANÇON.

Depuis le commencement de ce siècle les expositions de l'industrie se sont succédé fréquemment; mais c'est seulement à partir de 1819 que les intervalles en ont été fixés d'une manière régulière.

C'est au Conservatoire même et sous la présidence de M. le duc Decazes, alors ministre de l'intérieur, qu'ont été discutées toutes les questions relatives à ces solennités, dans une séance du conseil de perfectionnement, en date du 10 janvier 1819. Cette séance a précédé de trois jours seulement une ordonnance royale dont le premier article était ainsi conçu :

« Il y aura une exposition publique des produits de l'industrie française à des époques qui seront déterminées par nous, et dont les intervalles n'excéderont pas quatre années. La première exposition aura lieu en 1819, la seconde en 1821. » Quelques mois suffisaient à cette époque pour préparer une exposition de l'industrie; une année maintenant serait, à juste titre, considérée comme insuffisante.

L'exposition universelle de Londres, pour 1862, est officiellement annoncée depuis plus de six mois.

On comprend dès lors pourquoi nos grands concours nationaux ne peuvent plus être aussi fréquents; ils exigent des emplacements considérables, et l'affluence est si grande, les forces productives de la France sont tellement disséminées, que les mesures administratives, qui doivent nécessairement précéder une exposition générale exigent le concours de tous les départements, et d'autant de jurys d'admission spéciaux.

Il y a plus : ces expositions manquent en partie leur but, en présentant avec les objets nouveaux et d'un incontestable mérite des produits moins intéressants et moins nouveaux, qui répandent l'ombre sur le tableau et qui encombrent l'accès de ceux que l'on voudrait surtout étudier.

On a pu penser à une certaine époque qu'en spécialisant les expositions on les rendrait plus utiles; mais cette utilité serait

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

certainement trop spécialisée elle-même. Une exposition des plus beaux tissus serait à peine visitée, et l'on perdrait ainsi, pour la capitale, cette grande affluence qui a fait le caractère essentiel des expositions universelles de Londres et de Paris.

Il semblerait que les expositions faites avec un certain succès dans la plupart de nos départements industriels, devraient être exemptes de cette trop grande multiplicité d'objets d'un intérêt secondaire. On devrait s'attendre à y rencontrer surtout les produits les plus importants des industries locales ; mais chacun veut paraître universel aujourd'hui, et cette physionomie de la production de chaque contrée, si intéressante parce qu'elle serait vraie, est encore partiellement effacée par certains exposants parisiens, qui trouvent dans ces concours un nouveau moyen de se faire connaître aux consommateurs. Combien l'exposition de Troyes aurait mieux montré l'importance de l'industrie de l'Aube, si la bonneterie et les machines à tricot d'une part, et les vins de l'autre, avaient formé, pour ainsi dire, une exposition à part!

Ce caractère local a été mieux représenté, dans ces derniers mois, à Besançon pour l'horlogerie, à Saint-Dizier surtout, pour la métallurgie de la Haute-Marne.

D'autres départements se préparent déjà pour l'année prochaine : on cite, entre autres, la Moselle, la Marne, la Loire-Inférieure, et si ce mouvement se généralise, il faut espérer que l'on conservera à ces expositions départementales le caractère plus essentiellement local qui leur convient, et qui seul permet de mettre suffisamment en évidence l'importance de leurs industries spéciales.

L'administration elle-même trouverait, sans doute, dans une organisation plus appropriée de chacune de ces expositions un moyen simple de n'appeler à Paris que les produits les plus importants, et comptant vraiment pour quelque chose dans la production de la France.

Il suffirait peut-être pour rendre à la fois nos expositions nationales plus imposantes et d'une réalisation plus facile de n'y appeler, avec certaines exceptions, que les produits récompensés dans les localités mêmes où ils ont nécessairement été appréciés en connaissance parfaite de cause, et certainement avec une grande bienveillance.

Si les expositions de l'industrie s'organisaient comme le sont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

aujourd'hui les concours régionaux d'agriculture, elles donneraient assurément aux industriels une émulation qu'ils recherchent d'eux-mêmes, et qui trouverait sa sanction finale dans les grandes expositions de Paris. Les rapports si complets des jurys n'ont pas toujours pour effet de porter à la connaissance publique les progrès les plus importants. Ils sont consultés et non pas lus. Peut-être en serait-il autrement s'ils présentaient avec plus de détails les faits principaux, et s'ils pouvaient ne pas s'occuper des questions de moindre importance.

Nous essayerons, à ce point de vue, d'indiquer les caractères principaux des produits auxquels le jury de l'exposition de Besançon a décerné ses plus hautes récompenses.

M. CATENOT-BÉRANGER, fabricant d'instruments de pesage, à Lyon.

C'est certainement en France que la fabrication des instruments de pesage a pris le plus grand développement, et l'atelier de M. Catenot-Béranger est chez nous le plus important de beaucoup.

On en jugera par cette indication, qu'il fournit à l'industrie 8,000 balances environ par année et 6,000 bascules.

Deux cents ouvriers y sont constamment occupés, et les hauts fourneaux de la Mulatière seront bientôt réorganisés dans le but exclusif de fournir à la consommation de cet établissement.

M. Béranger, qui a fondé cette maison et qui l'a cédée depuis lors à son gendre, avait habilement profité de l'époque de la transition entre les anciennes mesures et les nouvelles pour développer sa fabrication, et il suffisait pour la maintenir en pleine prospérité d'apporter les soins convenables pour assurer la parfaite exécution des modèles déjà créés. Cependant, M. Catenot-Béranger a voulu ajouter encore à cette prospérité par des dispositions nouvelles, dont quelques-unes méritent d'être signalées. La bascule en l'air a été notablement perfectionnée par lui. On sait que le mérite principal de cet instrument consiste en ce qu'il suffit de l'accrocher à un seul point de suspension pour qu'il

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

puisse immédiatement indiquer le poids des matières dont on le charge : les plus forts modèles peuvent peser avec une suffisante exactitude, depuis un hectogramme jusqu'à 20 et 30 mille kilogrammes. On doit croire que, peu répandu encore, cet instrument deviendra presque aussi populaire que la bascule à plateau, si peu connue encore il y a vingt ans.

M. Catenot-Béranger remplace depuis quelque temps, dans un assez grand nombre de ses bascules et de ses ponts, les tabliers en bois par des tabliers en fonte. L'emploi exclusif du métal assure la conservation presque indéfinie de ces appareils dans les meilleures conditions de fonctionnement.

En nous limitant dans cette notice à quelques indications sur les progrès les plus récents de cette industrie, nous décrirons seulement le principe sur lequel est fondé le jeu du peso-mesureur que M. Catenot-Béranger apportait pour la première fois aux expositions. Dans la bascule ordinaire qui pèse au centième, on n'a point à s'inquiéter de la nature du curseur; quel qu'il soit, des différences égales de poids correspondront toujours à des déplacements égaux. Mais si, à l'aide d'un litre de blé, disposé à la place du curseur, on veut reconnaître la contenance d'un sac rempli du même grain, il est indispensable d'éliminer l'influence de toutes les parties mobiles qui ne sont pas le blé lui-même, telles que le curseur, le plateau qui supporte le litre et la mesure de litre elle-même. S'il était possible d'annuler l'influence de toutes ces pièces, il est évident que la bascule ordinaire indiquerait avec autant de facilité la contenance d'un sac, qu'elle indique aujourd'hui avec un curseur du poids de 1 kilogramme le poids en kilogrammes de ce sac; la même division servirait dans l'un et l'autre cas, et l'on aurait à volonté la contenance en litres et le poids par deux lectures absolument semblables.

Pour annuler l'influence du déplacement des pièces accessoires, M. Catenot a disposé au-dessous du fléau de bascule ordinaire une autre tige parallèle sur laquelle peut glisser un contre-poids équivalant exactement à celui de ces pièces ; le curseur est lié à ce contre-poids par un ruban d'acier continu, qui force ce contre-poids à reculer quand le curseur avance, à avancer quand le curseur recule. Le centre de gravité du système reste donc invariable malgré le déplacement de ses diverses parties ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

si la mesure de litre est vide, et quand elle est pleine, c'est seulement le déplacement du poids du grain qui exerce une influence; la position du point de suspension correspondra toujours à la division qui indique le rapport entre le poids du sac à peser et celui du grain contenu dans le litre.

Tandis que la bascule ordinaire ne permet de peser qu'en kilogrammes, celle-ci pèsera en unités de la valeur du poids additionnel dont on chargera momentanément le fléau, et sa division unique servira dans toutes les circonstances. Cette bascule ne saurait être mieux caractérisée que par cette propriété qu'elle possède de peser à poids constant ou à poids variable, et elle est ainsi dotée d'une propriété que les appareils de ce genre ne possédaient pas jusqu'ici.

Des dispositions accessoires sont prises pour que le grain qui doit servir au pesage arrive toujours dans la mesure d'une manière uniforme, et que par conséquent son tassement soit toujours le même.

Quant à l'exactitude des pesées, elle est attestée par ce fait qu'à l'exposition de Besançon elle a donné, en pesant avec un litre d'eau, des indications très-concordantes avec le volume directement mesuré.

Nous citerons, comme une de ses applications les plus intéressantes, la vérification de la contenance d'un tonneau, au moyen d'un litre du liquide qu'il renferme. Il suffirait pour que cette vérification fût tout à fait concluante que la tare du tonneau fût inscrite sur l'un des fonds : on l'équilibrerait d'abord avec des poids dans le petit plateau, que l'on dispose habituellement à l'extrémité du fléau pour cet objet, et l'on déterminerait, par la lecture directe sur la tige, le rapport entre la capacité totale du vase et celle de la mesure avec laquelle on aurait opéré.

Cet appareil nous semble destiné à rendre dans tous ces cas de grands services.

MM. MENANS et C^ie^, maîtres de forges à Fraisans (Jura).

C'est sous cette raison sociale, qui emprunte le nom de l'un de ses habiles administrateurs, que le catalogue de l'exposition de Be-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sançon désigne cette grande association qui est plus généralement connue sous le titre de société des forges de Franche-Comté. Cette société s'est formée en 1855 par la fusion d'un très-grand nombre d'établissements, sous une direction unique, tant dans le but de mettre fin à la concurrence dont ils avaient chacun à souffrir que dans celui de perfectionner les moyens de fabrication et de les transformer au point de vue de la nature du combustible : l'emploi de la houille n'avait pas jusqu'alors été tenté dans ce district métallurgique. Aujourd'hui la société de la Franche-Comté possède vingt établissements.

Treize hauts fourneaux au bois situés à Pesmes, Valay, Dôle, Bezonotte, Moncley, Saint-Loup, Moulin-Rouge et Torpes.

Deux hauts fourneaux au coke, à Rans;

Quarante-quatre fours d'affinerie;

Une vaste forge anglaise à Fraisans, avec vingt fours à pudler;

Trois forges à fers marchands, à Bezonotte, Clairvaux et la Saisse;

Une tôlerie et ferblanterie, à Bourg de Sirod;

Un grand atelier de construction à Casamène, près Besançon, avec matériel particulièrement approprié à la fabrication des plaques tournantes et des grandes pièces en général, et une fonderie importante;

Un atelier de galvanisation des fils de fer de tous diamètres pour les télégraphes et l'industrie, à Grenelle près Paris.

La soufflerie des fourneaux de Rans, l'immense halle de la forge de Fraisans, et l'outillage de Casamène sont particulièrement remarquables.

La production de toutes ces usines est d'environ 25,000 tonnes de fer dont 15,000 tonnes en fers ou produits obtenus par l'emploi exclusif du combustible végétal.

Ces quinze mille tonnes comprennent environ 4,500 tonnes de fils de fer, 1,500 tonnes de fers marchands affinés, 3,000 tonnes de pointes et 1,000 tonnes environ de tôles et de fers-blancs.

L'énumération de ces produits, dont la valeur brute peut s'élever à dix millions, n'indiquerait pas encore l'importance de la fabrication des forges de Franche-Comté, si l'on n'ajoutait que les pointes de toutes dimensions, les chevilles, les rivets, les bequets, sont comptés parmi les produits de la pointerie, et que la fabrication des fils de fer comprend tous les numéros, jusqu'aux fils à cardes et à toiles métalliques.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La découverte des gisements de minéraux en roches d'Ougney et de Laissey doit être considérée comme un fait industriel considérable, qui motivera en Franche-Comté les résultats que l'emploi des minerais analogues produisait naguère en Belgique, où l'industrie du fer s'est pour ainsi dire transformée par suite de son utilisation.

Le minerai du Jura n'est pas riche, mais il se fond facilement, lorsqu'on le mélange avec la mine brute en grain, qui apporte facilement avec elle les matières les plus convenables à cet égard ; il peut s'obtenir à 5 francs le mètre cube, alors que le prix des autres minerais variait de 30 à 35.00 [1]. Toute une révolution est dans ces chiffres, et les propriétaires se sont empressés déjà d'utiliser dans une grande proportion ces conditions éminemment favorables, qui nous paraissent décisives quant à la transformation des anciennes usines en hauts fourneaux à coke.

La société des forges de la Franche-Comté n'a, pour ainsi dire, de salut que dans ce mouvement : surprise par le traité de commerce au milieu des mécomptes inséparables de toute grande création, il ne lui faut que la disposition d'un capital suffisant pour donner à cette branche de la métallurgie française un grand essor, dans les circonstances actuelles.

Nous ne croyons pas être indiscret en disant qu'avec 2,800 kil. de minerai en roche à 4.50 la tonne, 650 kil. de minerai brut en grain à 5.00, 600 kil. de minerai lavé à 20 francs, et 1,350 kil. de coke à 30 francs, il lui serait possible de produire de très-bonnes fontes au coke au-dessous de 85 francs.

La production des fers au bois serait alors réservée aux usages qui exigent une qualité exceptionnelle.

Au bois ou au coke les produits des forges de la Franche-Comté étaient à l'exposition de Besançon très-remarquables. Impossible de trouver un caractère de progrès plus marqué que dans cette collection si complète de fers, à tous les degrés de fabrication, depuis le minerai brut jusqu'aux produits fabriqués avec les fils de fer les plus fins, tels qu'aiguilles, épingles, tissus. Les immenses moyens de production que réunit cette société doivent la faire compter au nombre des plus grandes forces industrielles du pays.

[1] Il résulte d'analyses faites récemment par M. Bouis que la teneur des minerais oolitiques en roches, du Jura, serait d'environ 30 à 33 p. 100 en fer.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour notre part, nous ne saurions trop remercier M. Vautherin, ingénieur et administrateur de la compagnie, de la complaisance avec laquelle il nous a montré cette belle forge de Fraisans, la plus grande, sinon la plus productive de la France.

MM. VERDIÉ et Cie, maîtres de forges à Firminy (Loire).

Les usines de Firminy ne comprennent pas moins de 10 fours à puddler, 6 fours de cémentation et 180 creusets pour la fusion de l'acier. Ces chiffres suffisent pour caractériser l'importance de cet établissement au point de vue métallurgique et pour indiquer la nature de sa production.

On y fabrique sur une grande échelle les aciers fondus de toutes qualités et les ressorts de carrosserie, ainsi que les bandages pour locomotives et wagons. Cette fabrication utilise 7 marteaux-pilons de 1,500 à 2,000 kilogrammes et une force motrice de plus de 300 chevaux, dont 40 seulement en machines hydrauliques.

La qualité bien connue des produits de Firminy suffirait pour motiver la récompense exceptionnelle qui a été décernée à M. Verdié et Cie ; mais l'attention du jury a surtout été appelée sur ce que ces habiles maîtres de forges désignent sous le nom de produit mixte, et qui sous ce nom est appliqué avec succès au matériel des chemins de fer.

Le produit mixte s'obtient par la réunion d'un noyau en fer que l'on enveloppe d'acier fondu, dans les conditions convenables pour que le soudage entre les deux métaux soit complet. A cet effet, le fer est porté dans un four à réverbère au rouge blanc, puis placé dans une lingotière de forme convenable, qui laisse tout autour l'espace nécessaire pour que la chemise d'acier ait l'épaisseur voulue. En ayant soin de saupoudrer le noyau de fer de borax, l'union des deux métaux est parfaite, et la pièce peut être étirée, et supporter sans se désunir toutes les façons ultérieures d'une pièce de forge.

Il résulte d'un rapport de M. l'ingénieur des mines Lebleu que la réussite de l'opération est complète, et que la texture des pièces terminées passe insensiblement de celle de l'acier à celle du fer, comme si dans la zone de contact le fer du noyau s'était

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cémenté en partie aux dépens des particules d'acier les plus voisines.

S'il en est ainsi, on comprend facilement les avantages que l'on pourra, dans la pratique, obtenir de ce produit mixte, qui présentera à l'extérieur la dureté de l'acier, tout en conservant au centre la flexibilité du fer.

C'est surtout pour la confection des bandages que cette double propriété sera précieuse : on les forme alors sur les 3/5 de leur épaisseur, et du côté interne, de fer à grain dur et tenace; les deux autres cinquièmes en acier fondu sont rapportés par voie de fusion sur le bandage de fer dont les bouts ont été préalablement soudés à la manière ordinaire. Avant de laminer la pièce, ainsi amenée à une épaisseur trop grande, on martèle à chaud toute sa surface par parties, de manière à condenser les molécules d'acier, qui se trouvent ainsi forgées autant qu'il est nécessaire, en même temps que le boudin est formé à l'étampe.

Un grand nombre de bandages de ce système sont déjà en usage sur les chemins de fer. Sur la ligne du Nord, il résulte d'un relevé publié par M. Verdié que plusieurs ont parcouru plus de 100,000 kilomètres sans être hors de service : un seul sur 28 s'est rompu.

Quant aux rails en produit mixte, ils ont résisté de la manière la plus satisfaisante, et ils paraissent surtout propres aux changements de voie et aux autres parties du matériel fixe qui fatiguent le plus.

Les prix relativement peu élevés de ces produits, si on les compare aux bandages et aux rails en acier fondu, paraissent leur assurer un grand débouché : ils varient, quant aux bandages, de 100 à 130 francs les 100 kilogrammes, suivant le diamètre.

Il n'est pas douteux que les qualités, en quelque sorte opposées, de ce produit ne le fassent rechercher dans tous les cas où une surface en acier pourrait être utilement superposée à une âme en fer : les qualités de la surface seront toujours plus assurées avec le produit mixte qu'avec le fer cémenté que l'on emploie habituellement dans ces conditions.

Le procédé de M. Verdié a reçu d'ailleurs la sanction d'une double cession à l'étranger. En Angleterre, MM. Kilson et fils, des *Monk Bridge iron Works;* et, en Belgique, les Sociétés des forges de Thy-le-Château s'en sont rendus acquéreurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MM. ARBEL, DEFLAISSIEUX frères et PEILLON, maîtres de forges à Rive-de-Gier.

La fabrication des roues de locomotives et des roues de wagons s'est successivement modifiée, suivant la nature des matériaux employés et la puissance des engins de fabrication.

On se rappelle encore l'étonnement que causèrent à l'Exposition de 1849 les roues en fer forgé de M. Cail et Cie, qui étaient obtenues en soudant au centre et à la circonférence les différents rais, préparés isolément et portant chacun une partie de la jante et une partie du moyeu. A cet effet, l'une des extrémités était terminée en forme de coin renversé, pour que leur réunion constituât le moyeu. A l'autre extrémité ils étaient disposés en forme de T, dont les deux bras, en se soudant à ceux des rais adjacents, devaient former la jante, ainsi constituée d'autant de tronçons qu'il y avait de rayons à la roue. Ces soudures faites, le moyeu se trouvait complété par l'application de deux rondelles, soudées à la fois sur les tranches des appendices cunéiformes.

MM. Arbel Deflaissieux et Peillon ont complétement transformé ce mode de fabrication, et l'importance de leur procédé peut être complétement caractérisé par ce fait qu'ils font en une seule chaude toutes les soudures qui dans les procédés antérieurs étaient, pour la plupart, faites isolément.

Les différentes pièces qu'il faut ainsi réunir par une foule d'opérations sont préparées sous des formes particulières qu'il convient d'indiquer à part.

Les bras se préparent avec des fers cylindriques, dont la section elliptique est obtenue directement au laminage. Chaque bras étant coupé de longueur est placé verticalement dans une matrice dont les formes supérieures sont disposées de manière que le fer en les épousant s'élargisse par un congé, alors qu'une autre matrice, formant la panne d'un marteau-pilon, en creuse un peu la face supérieure et conserve dans la direction du grand axe de l'ellipse une sorte de tenon qui servira plus tard à l'assemblage avec le moyeu.

Il suffit de chauffer l'extrémité supérieure du bras avant son introduction dans la matrice, pour que cet étampage soit très-parfait, et une opération analogue faite ensuite à l'autre extré-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mité a pour but de renfler seulement cette extrémité dont la face doit rester plane.

La jante est obtenue directement par le cintrage d'un fer de section convenable, et la fermeture du cercle est réalisée par une soudure faite à la manière ordinaire. Une machine à mortaiser est employée pour former ensuite à l'intérieur de cette jante les logements des tenons ménagés à l'une des extrémités des bras.

Quant au moyeu, il est formé de deux couronnes qui doivent par leur superposition maintenir entre elles tous les bras dont nous avons indiqué la forme; à cet effet, chacune de ces couronnes est plane sur la face qui doit être placée à l'extérieur, et porte sur l'autre face des logements, moulés suivant la forme même des extrémités de ces bras. La confection de ces couronnes s'obtient par quelques opérations préparatoires, ainsi qu'il suit : Une barre de fer rectangulaire est pliée au marteau-pilon, de manière à former une sorte de 8 dont les anneaux recevront plus tard, l'un l'essieu, l'autre le bouton de manivelle; la forme de ce 8 à deux anneaux inégaux est complétée par son insertion à chaud dans une matrice, qui n'opère qu'après avoir assuré la conservation des vides par un mandrin à 2 becs, dont les deux branches correspondent aux deux ouvertures. La pièce est en cet état réchauffée et portée à plat entre deux nouvelles matrices, sous l'action desquelles elle est étampée de manière à recevoir l'empreinte des logements des bras.

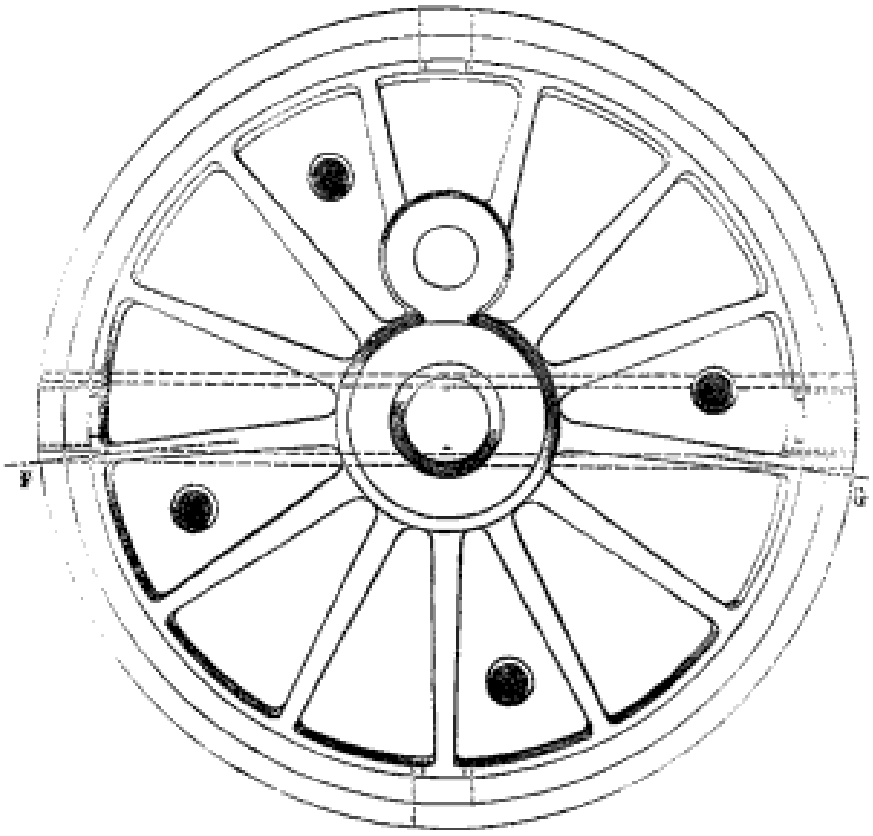
Toutes les pièces étant ainsi préparées isolément, on les réunit à froid sur une plate-forme, qui reçoit d'abord la jante et l'un des demi-moyeux : les bras sont posés et au besoin calés entre les rainures de la jante et les mortaises ménagées dans cette partie du moyeu : enfin la deuxième pièce du moyeu est mise en place de manière à s'emboîter dans les bras.

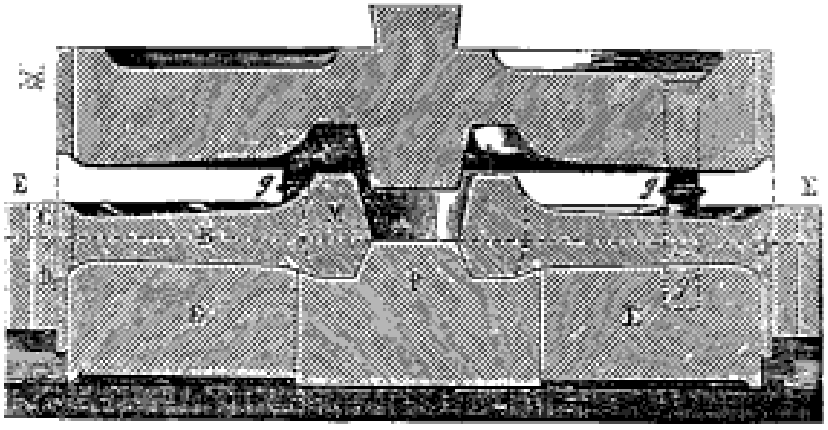
C'est cet ensemble, dès lors assez bien assemblé pour en permettre le transport au four à réchauffer, qui doit être, sous l'action d'un fort marteau-pilon, amené à un soudage complet.

La matrice inférieure employée pour cette dernière opération présente à sa surface supérieure un creux, dans lequel doivent se mouler à la fois la jante, les bras, les deux moyeux que cette opération doit souder entre eux, tout en ménageant au moyen de renflements convenables les parties évidées de la roue : la jante est dans toute sa hauteur logée dans cette matrice, afin d'éviter

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

toute couture résultant du joint des deux moules. La matrice supérieure est à cela près toute semblable à l'autre : elle se fixe par des coins, et à la manière ordinaire, à la panne du marteau-pilon. La roue se termine donc entre deux matrices qui com-





prennent entre elles le fer chaud et le moulent, par chocs successifs, comme le serait une médaille sous l'action des coins d'une machine monétaire. Seulement cette médaille a des reliefs considérables, elle pèse plus de 1,000 kilogrammes; son diamètre est quelquefois de deux mètres, et pour donner à la ma-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tière le degré de malléabilité indispensable, il est nécessaire d'opérer à une température élevée. Disons enfin que les renflements des moules sont tellement disposés que par leur forme conique ils refoulent la matière dans tous les sens, de manière à la forcer, surtout dans les nombreux points de soudure. A ce point de vue, le travail est parfait : il est rare qu'une roue doive être rebutée pour imperfection de soudage ; mais il faut encore, au sortir du marteau, l'ébarber et l'aléser pour la livrer aux compagnies de chemins de fer.

Le procédé que nous venons de décrire en quelques mots s'applique couramment dans l'établissement de M. Arbel Deflaissieux et Cie aux roues de locomotives, aux roues de tenders et aux roues de wagons. C'est le plus hardi peut-être de tous les procédés employés en métallurgie, et c'est avec la plus vive satisfaction que le jury de l'exposition de Besançon lui a décerné la médaille d'or.

Dans la lutte que notre industrie métallurgique va soutenir contre les produits anglais, que n'avons-nous à signaler un plus grand nombre de faits de cette nature, si intéressants au point de vue technique, mais plus intéressants encore au point de vue du prix de revient? On en jugera par les prix de vente : les roues de wagons sont vendues à l'usine au prix de 52 francs les 100 kilog., c'est presque le prix des roues en fonte. Le prix des roues de tenders est de 100 francs les 100 kilog. ; celui des roues de locomotives de 120 francs, tournage et alésage compris, avec 4 millim. seulement de tolérance pour l'ajustage définitif.

La main-d'œuvre est si bien ménagée que les constructeurs comptent fabriquer avec leur seul pilon, équipé pour les roues de locomotives, 60 roues par mois. Le personnel qu'exige cette fabrication et celle de 500 roues de wagons ne dépassera pas 110 hommes.

On se fera d'ailleurs une juste idée des déchets que le procédé comporte lorsqu'on saura qu'il suffit d'employer 1,100 kilog. de fer pour obtenir une roue terminée, du poids de 820 kilog. Quant aux roues de wagons, 120 kilog. de fer ne donnent que 10 kilogrammes de déchet pour la fabrication d'une roue pesant 110 kilogrammes.

Mais il ne suffit pas qu'un procédé soit rationnel et expéditif, il faut encore, surtout en matière de chemin de fer, qu'il offre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

toute sécurité. Heureusement, les faits ne laissent aucun doute à cet égard.

314 roues moulées pour locomotives ont été livrées à M. Gouin, 214 à M. Cail et Cie, 468 à M. André Kœchlin, 52 au Creusot, 104 à Graffenstaden, 112 à M. Buddicom, 32 à la compagnie de Paris à Lyon, 24 à celle d'Orléans, 46 à celle du Nord, 18 à celle de l'Ouest (Suisse). Ajoutez à cela 870 roues de tenders, 6,810 roues de wagons, dont les premières ont été livrées en 1856, et vous aurez une juste idée de cette fabrication importante.

On trouvera d'ailleurs dans un article publié par M. Lan, dans le *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, année 1859, les résultats de quelques expériences comparatives qui attestent que les roues moulées résistent d'une manière exceptionnelle à tous les efforts de rupture auxquels elles ont été soumises.

On trouvera dans cet article les détails les plus intéressants sur le montage des marteaux et sur la disposition des fours.

M. SARRASIN, à Jouvence (Doubs).

La médaille décernée à M. Sarrasin nous permettra de donner sur les minerais en roche dont il vient d'être question quelques détails que nous devons à l'obligeance de M. Résal, ingénieur des mines de Besançon.

C'est à M. Sarrasin que l'on doit la connaissance de ces richesses minérales ; il a personnellement découvert :

1° La mine d'Ougney (Jura), qui alimente les hauts fourneaux au coke de Rans et quelques hauts-fourneaux au bois dans les environs. L'établissement du Creusot emploie en ce moment le même minerai.

Le gîte appartient à l'oolithe inférieure ferrugineuse; la couche a une épaisseur de 4 mètres. Ce minerai ne contient ni phosphore, ni arsenic, ni soufre ; il est formé d'un calcaire oolithique ferrugineux et alumineux, renfermant quelques cristaux de chaux carbonatée que l'on enlève au triage.

Le poids de ce minerai est seulement de 1,600 kilog. par mètre cube ; il vaut sur place 5 francs, et rend au haut fourneau 28 pour 100.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La production annuelle de cette concession, qui est aujourd'hui la propriété de la société des forges de la Franche-Comté, s'élève déjà à 33,000 tonnes et est portée dans les relevés statistiques pour une valeur de 110,640 fr.

2° La mine de Jouvence, dans le Doubs. M. Sarrasin a retrouvé le minerai d'Ougney sur la rive gauche du Doubs, mais rejeté par une faille à 500 mètres plus haut; la couche a conservé sa même puissance et sa même composition, si ce n'est que le carbonate de chaux cristallisé ne s'y trouve point. La mine de Jouvence vend aux hauts fourneaux du Creusot, de Terre noire, et à quelques autres établissements du Gard et du Rhône. Sa production annuelle est de 9,600 tonnes.

La mine de Delenke, voisine de la précédente, et qui appartient à M. Menans, doit être considérée comme une conséquence des découvertes antérieures de M. Sarrasin; elle produit environ 9,500 tonnes.

3° La mine du Tayrouge, sur la rive gauche du Doubs; mais ici M. Sarrasin n'a fait que mettre en évidence les affleurements de l'ancienne mine de Laincy, qui appartient aujourd'hui au Creusot. La mine de Tayrouge n'a pas encore été l'objet d'une exploitation suivie.

Ces services ne sont pas les seuls que M. Sarrasin ait rendus à la métallurgie : il a découvert dans la Franche-Comté plusieurs gîtes de minerai pisiforme, et en Toscane plusieurs filons de fer oligiste, qui sont déjà l'objet d'une importante exploitation.

M. J. DUCOMMUN, constructeur de machines à Mulhouse.

L'établissement de M. Ducommun, qui date seulement de 1834, a été d'abord consacré à la construction des appareils employés pour l'impression des tissus. La fabrication des machines-outils s'y est surtout développée depuis 1840 sous la raison sociale Dubied et Ducommun.

A l'Exposition de 1855 ces industriels avaient présenté un grand nombre d'appareils de ce genre, très-remarquables par leurs détails de construction; on peut dire cependant que celle de M. Ducommun, à Besançon, est plus complète et plus remarquable encore.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On y voyait en effet :
Un grand tour de 7m,20;
Un tour de 1m,75, pour tourner et fileter;
Un petit tour de 1m,52;
Plusieurs poupées et supports de tour;
Trois machines à raboter;
Trois machines à mortaiser;
Trois machines à forer;
Une machine à tailler les écrous, toute nouvelle;
Une machine à tarauder, à courant d'eau intérieur;
Un grand nombre de filières et de tarauds;
Un découpoir;
Quatre ventilateurs, sans bruit;
Une collection de jauges métriques, pleines et creuses, dont cette maison s'est fait une spécialité;

Et enfin, une quantité de petits outils de moindre importance, mais qui se recommandent cependant par une très-bonne exécution.

La plupart de ces machines présentent des combinaisons nouvelles qu'il nous serait impossible d'indiquer en détail; nous nous attacherons seulement à quelques-uns des faits les plus importants.

Le tour de 1m,75 présente entre les pointes une longueur de 1m,05, sa hauteur est de 0m,175. Ce n'est donc pas un outil de grande dimension, mais il se fait remarquer par quelques dispositions bien appropriées à son emploi spécial. Soit que l'on veuille charioter ou fileter, le mouvement est, dans tous les cas, commandé par des engrenages de diamètres appropriés : pour tourner ou pour aléser, le porte-outil se déplace mécaniquement par une crémaillère que l'on peut débrayer à volonté, pour opérer ensuite la transmission par la vis ordinaire de l'appareil à fileter. Comme dans quelques tours de Whitworth, l'écrou qui embrasse cette vis est brisé, et son action cesse lorsqu'on écarte ses deux matrices. Il résulte de cette disposition que la même pièce peut être successivement tournée, alésée et filetée sans démontage, ce qui est très-avantageux pour certains travaux.

La poupée fixe peut d'ailleurs s'excentrer de manière à tourner des pièces coniques. Les vitesses sont suffisamment variées pour satisfaire à toutes les conditions de ces divers modes de travail.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les deux machines les plus intéressantes sont de l'invention de M. Zeilin, contre-maître des ateliers de M. Ducommun.

La machine à tailler les écrous se compose d'une poupée montée sur un banc et portant un plateau sur lequel sont ajustés seize burins, qui, dans leur mouvement de rotation, viennent successivement enlever des copeaux sur les faces des boulons ou des écrous en travail, qui sont montés sur un appareil spécial.

Cet appareil porte-boulons se compose d'un cylindre en fonte, dont l'axe est perpendiculaire à celui de la poupée, et d'un second tube en fer logé dans son intérieur. Ce tube reçoit à l'une de ses extrémités des emboîtages coniques portant les boulons ou les mandrins porte-écrous. Il possède un mouvement de relevage pour serrer facilement les écrous sur leurs mandrins, et il est solidement soutenu dans sa position horizontale par un support en équerre. Le tube en fonte porte un plateau diviseur, ayant généralement douze divisions pour pouvoir obtenir tous les sous-multiples de ce nombre. Une clef engagée dans le diviseur et le support du tube rend au besoin ce tube solidaire avec le reste de l'appareil. Les burins agissent sur chacune des faces successives pendant le déplacement horizontal du porte-boulons.

Pour assurer le règlement des burins à la même longueur, un plateau vient se placer en avant de la poupée, et l'on applique successivement toutes les pointes contre ce plateau, avant de les fixer par un fort serrage.

Pour que, d'ailleurs, tous ces burins aient la même coupe, on les affûte seulement après les avoir placés dans une coulisse spéciale garnie d'un talus en biseau, suivant les formes que l'on veut donner à la pointe.

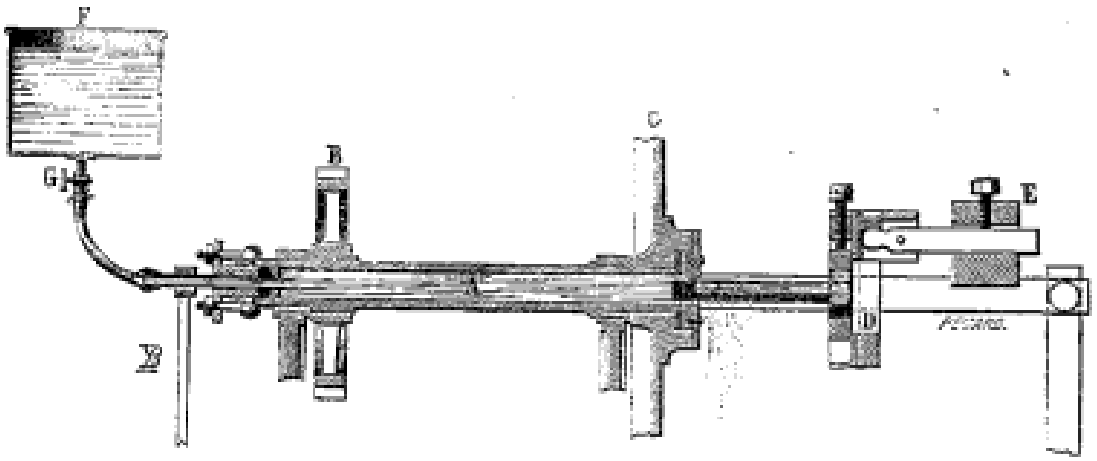
On voit par cette description sommaire que la machine est en quelque sorte une limeuse à plusieurs burins disposée pour éviter l'emploi des fraises ordinaires, qui sont d'un remplacement plus difficile et plus onéreux. Au moyen d'un mouvement vertical que l'on peut imprimer au système d'attaches des pièces, elle se prête d'ailleurs à l'exécution complète des écrous à chapeaux qui ne pourraient être terminés à la fraise.

En enlevant l'appareil porte-écrous et le plateau des burins, la machine peut au besoin fonctionner comme tour ordinaire. Le travail est plus parfait qu'avec les fraises; on travaille avec

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

facilité toutes les matières, et M. Ducommun assure que l'on peut confectionner par jour de 100 à 190 écrous pour boulons de 18 à 45 millimètres. Ces chiffres indiquent assez tout l'intérêt que présente cette machine.

Le principe de la nouvelle machine à tarauder est suffisamment représenté par la figure ci-jointe.



A est un tube creux en fer qui peut tourner sur son axe avec des vitesses différentes au moyen des deux engrenages B et C, qui agissent en sens opposés; à l'une de ses extrémités on fixe le coussinet, à action progressive, qui doit servir à fileter en une seule passe le boulon D, qui est soumis à l'action de la machine. Ce boulon est maintenu par une vis de pression, sur une sorte de chariot E, qui cheminera vers C lorsque le filet sera engagé.

Si la machine est employée à tarauder, le taraud se place à la place du boulon, l'écrou à façonner dans la cage du coussinet.

Pour obvier à l'insuffisance du graissage et éviter tout échauffement des pièces, l'auteur de cette machine fait constamment passer dans le tube, pendant le fonctionnement, un courant d'eau de savon, qui lubrifie les parties frottantes. Cette eau passe dans les dégagements de la filière, et entraîne avec elle tous les copeaux que l'on retrouve ensuite dans une bâche où ils se déposent. Le refroidissement continuel maintenu par le courant produit, comme on devait s'y attendre, un effet excellent; le pas obtenu à une température uniforme est parfaitement égal et conforme à celui du taraud primitif; les surfaces restent polies et lisses.

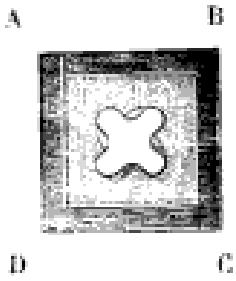
Les avantages, quant à l'économie du travail, sont nombreux; l'échauffement n'étant plus à craindre, la machine peut marcher

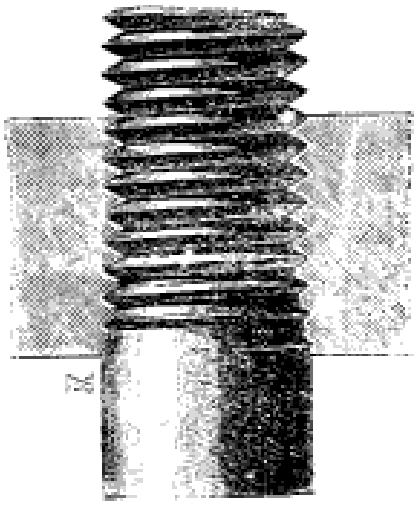
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plus vite; les coussinets et les tarauds restant froids, il n'est plus nécessaire d'attendre qu'ils se refroidissent, et leur durée est beaucoup plus grande. La dépense d'huile est complétement économisée, tandis que celle du savon est très-faible, l'eau étant après chaque opération reversée dans la bâche alimentaire F, d'où elle ne s'écoule que quand le robinet G est ouvert.

La machine à tarauder de M. Ducommun fonctionnait à l'exposition de Besançon, et nous avons ainsi pu vérifier quelques-uns des chiffres indiqués par le constructeur dans le tableau ci-joint :

Diamètre des boulons en millim.	Hauteur du pas. Filet triangulaire.	Longueur taraudée, en millim.	Temps employé au taraudage.
50	4	600	28'
40	4	600	23'
30	3	600	10'
20	2	1000	10'
15	2	1200	10'
10	1.5	1200	10'
	Filet carré.		
40	5	600	32'





Quant à la forme des tarauds et à celle des coussinets, elle sera suffisamment indiquée en disant que les arêtes intérieures du filet appartiennent exactement à une même surface cylindrique, tandis que la profondeur de ces mêmes filets, d'abord très-faible, va progressivement en augmentant depuis l'entrée jusqu'à la sortie, de manière que les copeaux soient à peu près d'épaisseur constante, et qu'ils se dégagent aussitôt qu'ils sont coupés soit par les faces mi-plates des tarauds, soit par les quatre dégagements ménagés dans les coussinets.

Le filet est d'ailleurs arrondi à l'intérieur et à l'extérieur, de manière à éviter toute arête vive et toute déchirure du métal.

Dans le coussinet représenté par la figure ci-jointe ABCD est

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

un cadre formé de deux équerres, qui n'a d'autre objet que de permettre le placement de coussinets de différentes dimensions dans la même cage.

Parmi les divers autres objets de l'exposition de M. Ducommun, nous aurions désiré qu'il nous fût possible de donner quelques détails sur les différents organes de transmission d'outils à retour rapide, et sur les ventilateurs à double enveloppe, qui fonctionnent sans faire entendre ce bruit incommode des ventilateurs ordinaires; mais les indications qui précèdent sont déjà par elles-mêmes bien suffisantes pour motiver la décision du jury.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LE OPERE DI GALILEO GALILEI

Prima edizione completa, condotta sugli autentici manoscritti palatini, e dedicata a S. A. I. e R. Leopoldo II, granduca di Toscana. — *Direttore : Eugenio* ALBERI ; *coadiutore : Celestino* BIANCHI. — *Firenze,* 1842 *à* 1856. 16 *vol. in-*8°.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

PAR M. BOQUILLON.

Cette édition, la première complète des œuvres de l'immortel Galilée, est une bonne fortune véritable pour nos *Annales*, dont elle va inaugurer la section bibliographique, en nous permettant de rendre enfin complète justice au génie le plus extraordinaire, le plus universel dont les sciences puissent s'honorer ; mais qui, par une singulière fatalité, a vu presque tous ses travaux, ou méconnus par ses contemporains, ou pillés par d'indignes rivaux ; qui, enfin, malgré l'importance incontestable des services rendus par lui, ne doit peut-être la célébrité conservée jusqu'ici à son nom qu'à l'inqualifiable sentence dont l'a frappé l'inquisition romaine, sentence à laquelle les philosophes du dix-huitième siècle ont donné un immense retentissement dans la lutte qu'ils avaient engagée avec l'intolérance religieuse.

Deux causes nous paraissent avoir produit l'oubli des travaux de Galilée antérieurement connus, ou la méconnaissance des découvertes postérieurement révélées.

La première résulte, suivant nous, de ce que les écrivains didactiques négligent, depuis de longues années, de remonter aux sources originales, se bornent trop souvent à l'exposition des faits acquis à la science qu'ils professent, pour en déduire les conséquences théoriques, et s'abstiennent, on pourrait presque dire systématiquement, de citer les dates, et surtout de nommer ceux qui, les précédant dans la carrière, ont fourni leur pierre au monument dont ils se constituent les architectes.

Qu'on ouvre tous les traités de physique publiés depuis soixante ans : on n'y trouvera guère le nom de Galilée que comme se rattachant aux lois du pendule ou de la chute des corps.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La seconde cause nous paraît plus particulièrement tenir à la langue dans laquelle Galilée a écrit, langue essentiellement harmonieuse et surtout poétique, où foisonnent les tropes, où fleurissent l'euphémisme, la litote et la périphrase, manquant par conséquent de cette précision, de cette netteté d'expression que comporte aujourd'hui le style didactique dont la clarté, pour nous autres Français, est la condition de rigueur.

De là vient sans doute que la langue italienne, si familière à nos littérateurs, si entraînante pour les imaginations poétiques, est peu ou point étudiée par nos savants, que rebute la phraséologie prolixe et un peu diffuse des ouvrages scientifiques publiés dans la Péninsule.

Hâtons-nous de le dire cependant : moins que tout autre, Galilée peut être atteint par cette observation. Si l'admiration de son lecteur est souvent provoquée par la profondeur de ses pensées, par la logique rigoureuse de ses déductions, par la sagacité et surtout la simplicité de ses procédés d'investigation, il n'est pas moins fréquemment émerveillé de la netteté, de la précision avec lesquelles l'illustre chercheur de la vérité énonce les principes, les lois des phénomènes dont il a fait son étude.

Mais si, comme dans le fameux *Dialogo dei Massimi Sistemi*, qui a été le prétexte de sa condamnation, l'auteur croit devoir jeter un voile plus ou moins transparent sur ses croyances personnelles; si, pour faire passer, avec plus de sécurité, une vérité dangereuse, il tente d'égayer son lecteur aux dépens de Simplicius, l'un des interlocuteurs chargé de défendre la philosophie d'Aristote, dont les doctrines, presque érigées en dogmes, étaient professées, avec l'intolérance du fanatisme, par les jésuites de cette époque; alors reparaît la phraséologie italienne, compliquée de réticences qui la rendent d'une lecture non-seulement difficile, mais presque incompréhensible pour le lecteur français, qui ne sait trop à quoi s'en tenir sur la véritable pensée de l'auteur.

C'est très-probablement à cette dernière cause qu'il faut attribuer le peu de publicité qu'ont reçue en France, même de son temps, les travaux du grand homme dont nous nous occupons ici. Nous ne connaissons en effet que deux de ses ouvrages qui aient été traduits en français, par le père Mersenne; et encore l'un d'eux, sous le titre de *Nouvelles pensées de Galilée*, n'est-il

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qu'un extrait, quelquefois peu fidèle, du dernier ouvrage de Galilée, et dans lequel Mersenne substitue occasionnellement ses propres idées à celles de l'auteur.

Une traduction latine du fameux Dialogue, sous le titre de *Systema cosmicum*, par Mattia Berneggero, a été réimprimée à Lyon, en 1641.

L'édition complète dont nous allons entretenir nos lecteurs est la sixième de celles qui ont réuni les divers ouvrages alors connus de Galilée; elle est divisée par ordre de matières; mais, dans chacune des cinq divisions qui la composent, les ouvrages sont classés chronologiquement.

Cette méthode, excellente pour l'étude sérieuse des travaux de Galilée, nous obligerait, si nous l'appliquions ici, à des redites quant à la biographie de l'auteur, que nous ne voulons pas séparer de ses œuvres, auxquelles elle se lie intimement. C'est d'après cette considération que nous donnerons la préférence à l'ordre chronologique.

Galilée est né à Pise, le 19 février 1564, le jour même où Michel-Ange mourait à Rome. On a voulu, mais à tort, établir la même coïncidence entre la mort de Galilée et la naissance de Newton. Galilée est mort le 8 janvier 1642; Newton est né le 5 janvier 1643. On a également voulu entacher de bâtardise la naissance de Galilée. Il est né, en légitime mariage, de V.-M.-G. Galilée, citoyen de Florence, et de Giulia Amannati, dix-neuf mois et treize jours après le sacrement.

Dès son enfance, sa vocation se manifesta par la nature des jouets qu'il confectionnait lui-même avec une certaine habileté manuelle. C'étaient de petits moulins, de petites galères et autres objets mécaniques, dans lesquels le ressort d'acier qui lui manquait était suppléé par l'emploi de la baleine; ne se rebutant jamais, sachant tourner les difficultés qu'il ne pouvait vaincre de front, et faisant constamment, dans les moyens employés, preuve d'une sagacité qui ne se trouvait satisfaite que par la perfection du résultat.

Malgré le peu de fortune de ses parents, et l'infériorité de ses professeurs, Galilée fit d'excellentes études littéraires, grâce à l'ardeur qu'il apporta à ces mêmes études.

Un père Valombrosano lui enseigna la logique; mais les termes de la dialectique d'alors, les nombreuses définitions, les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

distinctions non moins considérables, la multiplicité des ouvrages à étudier, l'ordre et la marche de la doctrine, tout lui fut d'un ennui mortel ; son exquise intelligence n'en recueillit que peu de fruit et encore moins de satisfaction.

La musique eut beaucoup d'attraits pour lui ; et, grâce à l'exemple et à l'enseignement de son père, excellent musicien, il devint lui-même, sur le luth, un véritable virtuose qui l'emporta fréquemment sur les premiers professeurs de Florence et de Pise.

Le dessin et la peinture lui étaient également familiers; son goût était si bien reconnu, que les bons peintres d'alors l'ont pris souvent pour juge entre eux, et que Cigali avouait devoir beaucoup à Galilée dans le mérite de ses tableaux, notamment quant à la perspective.

Son père, qui le destinait à la profession de médecin, lui fit commencer ses études médicales à l'âge de seize ans, en même temps qu'un cours de philosophie péripatéticienne, la seule qu'on enseignât alors, on peut même dire qu'il fût permis d'enseigner. Que son nom (*péri*, autour, *pateo*, je me promène) dérive de ce qu'on y enseigne le pour et le contre, afin de pouvoir choisir entre eux la vérité, ou bien de ce que les sectateurs d'Aristote disputaient entre eux en se promenant dans le Lycée, toujours est-il qu'on n'admettait pour vrai que ce qui était reconnu pour tel par Aristote; et la vie de Galilée nous apprendra bientôt que ce n'était pas impunément qu'on eût tenté de se soustraire à une autorité que près de vingt siècles avaient consacrée.

Aussi, dès lors, Galilée, chez lequel se développait l'esprit d'observation, qui n'admet point sans examen le *verbum magistri*, fut-il considéré par son entourage plus docile comme l'esprit de contradiction incarné, et vit-il accueillir ses premières découvertes avec un sentiment de prévention haineuse. On ne pouvait admettre qu'un si jeune homme, qui n'avait pas terminé son cours de sciences, fût assez audacieux pour différer d'opinion avec tout le monde.

Toutefois, il s'attacha résolûment à l'étude de cette philosophie péripatéticienne, pour la posséder à fond et la juger avec connaissance de cause.

C'est à cette époque qu'il fit la découverte des lois du pendule, notamment de l'égalité de ses oscillations, en observant celles

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'une lampe suspendue dans le dôme de Pise. Les expériences qu'il fit à ce sujet le conduisirent à une première application entièrement médicale, la mesure de la fréquence du pouls, au grand ébahissement et à la grande joie des médecins de cette époque, et comme elle se pratique encore aujourd'hui, dit Viviani, son dernier disciple, dans sa vie de Galilée, écrite en 1654, pour le grand-duc de Toscane. Plus tard, il fit la même application à la mesure des mouvements divers, et surtout des mouvements des corps célestes.

Jusqu'alors les mathématiques étaient restées complétement étrangères à Galilée. Il est vrai qu'elles commençaient à peine à revivre en Italie, sous l'influence de Comandino et de Maurolicus. Galilée, qui en comprenait toute l'importance, ne put obtenir de son père l'autorisation de s'en occuper exclusivement avant d'avoir terminé ses études médicales; mais, par un accord tacite avec le professeur Ricci, ami de la maison, le père ferma les yeux sur les infractions de Galilée à ses ordres. Dans son ardeur pour la géométrie, qui lui paraissait la véritable clef des sciences, Galilée négligea la médecine, ce qui lui attira de nombreuses admonestations de la part de son père, qui voyait, dans la profession médicale, le seul moyen de venir en aide aux embarras pécuniaires de la famille, et qui finit par supprimer les leçons de Ricci.

Mais Galilée continua d'étudier en secret, et vint un beau jour prouver à son père, qu'en l'absence de tout guide, il s'était approprié jusqu'au sixième livre d'Euclide.

Le père, reconnaissant là une vocation véritable, donna enfin son consentement.

Abandonnant donc la médecine, Galilée se livra tout entier aux études mathématiques, lorsque, en 1586, arrivé au traité d'Archimède : *De his quæ vehuntur in aqua*, il imagina un nouveau procédé pour résoudre le fameux *problème de la couronne*, au moyen de la *bilancetta*, espèce de romaine très-délicate dont les poids curseurs sont formés des métaux purs dont on veut connaître l'altération par un alliage.

Cet essai ne fut point alors publié; mais Galilée ne le tint pas secret, et plus tard plusieurs s'en firent honneur. Ce ne fut qu'après la mort de Galilée qu'il trouva place dans l'édition de Bologne, avec des annotations de Mantovani, du père Castelli et de Viviani.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cependant la réputation de Galilée grandissait. Ses travaux en mécanique et en géométrie le recommandaient à l'attention des Mécènes de la science. A l'instigation de Guidubaldo, il s'occupa particulièrement de la détermination du centre de gravité dans les solides, pour compléter, sur ce sujet, les recherches de Comandino. Mais ces travaux restèrent alors inédits et ne trouveront place que dans le dernier ouvrage de notre auteur donné par lui, en manuscrit, au duc de Noailles, comme nous le verrons plus loin.

La chaire de mathématiques de Pise se trouvant vacante en 1589, elle fut donnée, par le grand-duc de Toscane, Ferdinand Ier, sur la recommandation de Guidubaldo, à Galilée, alors âgé de vingt-six ans aux appointements annuels de *soixante écus*.

Convaincu que l'étude des effets naturels exigeait la connaissance de la véritable nature du mouvement, et que, suivant l'axiome déjà vulgaire : *ignorato motu, ignoratur natura*, il se livra tout entier à cette étude; et, au grand désappointement des philosophes d'alors, tombèrent, devant l'évidence des expérimentations, devant la clarté et la rigueur des démonstrations, le plus grand nombre des conclusions d'Aristote, considérées jusqu'alors comme indubitables, sur la nature du mouvement.

La tour penchée de Pise servit fréquemment aux expériences que Galilée fit à ce sujet, avec le concours empressé de ses disciples et de ses amis. C'est de 1589 à 1592 qu'il composa les *Sermones de motu gravium*, publiés pour la première fois dans l'édition qui nous occupe.

Les succès de Galilée ne tardèrent pas à soulever contre lui la tourbe des philosophâtres, ses rivaux, qui profitèrent, pour le perdre, de l'opinion émise par lui sur l'insuccès probable, et plus tard réalisé, d'un appareil proposé par Jean de Médicis, fils naturel de Cosme Ier, pour curer la darse de Livourne.

Les tracasseries qui en résultèrent pour Galilée l'engagèrent à accepter les offres qui lui étaient faites pour occuper la chaire de Padoue, vacante depuis longtemps par la mort de Moleti. Le diplôme de la république de Venise qui lui confère cette chaire pour six ans porte la date du 26 septembre 1592. Ses appointements annuels étaient de 180 florins.

En 1594 il obtint de la république un privilége de vingt ans pour un appareil destiné à l'élévation des eaux et à l'irrigation

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des terres, dont les conditions ne paraissent pas avoir reçu de publicité. En même temps il écrivait, pour l'usage de ses disciples, divers traités, dont l'un de *Fortifications*, resté inédit, jusqu'en 1818, où il fut publié par Venturi, un autre de *Gnomonique*, resté inédit, un *Compendium de la sphère*, publié seulement en 1656 à Rome [1]; en 1593, un *Traité de mécanique*, qui circula longtemps manuscrit, puis, traduit en français, et publié en 1634 par le père Mersenne, et en 1649 à Ravenne, dans sa langue originale.

C'est ainsi que ses travaux, livrés avec le plus admirable désintéressement à ses disciples et à ses amis, circulèrent dans le monde savant, où ils furent trop fréquemment reçus comme les œuvres de ceux-là même qui n'en étaient, pour ainsi dire, que les colporteurs.

Viviani, dernier disciple de Galilée dont il écrivit la vie, en 1654, à la demande du grand-duc de Toscane, et auquel nous empruntons le plus volontiers nos détails biographiques, nous met ici dans un assez grand embarras. Nous y lisons en effet :

« In questi medesimi tempi *ritrovo* i termometri, cioè quegli « strumenti di vetro con acqua ed aria, per distinguer dalle « mutazioni di caldo e freddo la varieta de' temperamenti de' « luoghi ; la qual maravigliosa invenzione dal sublime *ingegno* « del gran Ferdinando II, nostro serenissimo padrone regnante, « è stata modernamente ampliata, etc. »

L'invention du thermomètre a été attribuée à divers auteurs, tous contemporains de Galilée : à Sarpi, à Sanctorius, à Drebbel, à Borelli; mais c'est particulièrement à Drebbel que la gloire en est restée.

Viviani veut-il dire que Galilée a *retrouvé* cette invention ou bien qu'il en est lui-même l'inventeur? La première partie du paragraphe laisse dans le doute, car le verbe *ritrovare* signifie *inventer* aussi bien que *retrouver*. La seconde ajouterait un nouveau

[1] Ce *Traité de la sphère* adopte le système de Ptolémée ; ce qui a fait révoqner en doute que Galilée en fût l'auteur. L'argument ne nous paraît pas concluant. La position officielle de Galilée ne lui permettait pas de professer publiquement le système de Copernic. On sait ce qu'il lui en coûta pour avoir exposé, dans son fameux *Dialogue*, le pour et le contre des deux systèmes à simple titre de discussions spéculatives.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

doute au premier, si on l'interprétait à la lettre, car l'invention serait alors due au *génie* sublime du grand-duc Ferdinand II. Nous pensons qu'au lieu d'*ingegno* il faut lire *ingegnero*, *ingénieur* du grand-duc, titre que possédait réellement Galilée, et tout s'expliquera, c'est-à-dire que c'est bien à Galilée que Viviani attribue l'invention du thermomètre.

Nous devons dire cependant que, quelques recherches que nous ayons faites dans les seize volumes de l'édition que nous analysons, nous n'avons rien trouvé, émanant directement de Galilée, qui confirme cette assertion, non plus que dans les *Saggi del' academia del Cimento*, où se trouvent décrits de nombreux thermomètres, et où le nom de Galilée n'apparaît qu'entouré de l'auréole de la plus religieuse vénération. Mais, dans deux lettres, l'une de Sagredo à Galilée, du 9 mai 1613, l'autre de Castelli à Cesarini, du 20 septembre 1638, les signataires parlent du fait comme témoins oculaires.

Vers l'année 1597, Galilée inventa le *compas de proportion*, sur l'usage duquel il fit d'abord des leçons publiques et qu'il livra seulement à l'impression, en 1606, sous ce titre : *Le operazioni del compasso geometrico e militare*. C'est le premier ouvrage publié par Galilée. Il ne fut tiré qu'à soixante exemplaires.

Cette édition de Padoue fut suivie de quelques autres, portant le nom de l'auteur, et d'un beaucoup plus grand nombre, où, au nom de Galilée se sont substitués les noms des auteurs de quelques applications nouvelles de l'instrument, tels que Henrion et Duchesne en France. Mais nous y reviendrons bientôt.

En 1599, la chaire de mathématiques de Padoue lui fut confirmée pour six nouvelles années, avec une augmentation d'appointements qui furent portés à 320 florins.

En 1604 parut, dans le ciel, une étoile nouvelle qui fut, de la part de Galilée, l'objet de trois leçons publiques, dans lesquelles il chercha à prouver que cet astre se trouvait dans une région de beaucoup plus éloignée de la terre que les planètes; et cela contre l'opinion de l'école péripatéticienne, notamment du philosophe Cremonino, qui soutenait que le ciel d'Aristote était inaltérable et exempt de tout changement accidentel. Des fragments de ces leçons ont été publiés pour la première fois par Venturi, en 1821. D'autres y sont ajoutés dans la présente édition.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A la même époque, il s'occupa des propriétés de l'aimant, et ses expériences le conduisirent à constater qu'on augmentait considérablement sa puissance attractive au moyen d'une armature en fer, perfectionnement, dit Viviani, que personne n'avait réalisé avant lui.

En août 1606, la chaire de Padoue lui fut continuée pour six autres années, et ses appointements portés à 320 florins.

En 1607, Balthasar Capra, noble Milanais, s'avisa de publier à Padoue même, et comme en étant l'auteur, l'ouvrage intitulé : *Usus et fabrica circini cujusdom proportionis*, qui n'était que la traduction latine de l'œuvre de Galilée, qu'il avait déjà pris à partie, avec une extrême violence, à l'occasion des leçons faites sur la nouvelle étoile.

Cette impudence trouva immédiatement son châtiment. Non-seulement Galilée fut autorisé à repousser les calomnies de Capra, mais tous les exemplaires qu'on put trouver de sa publication furent supprimés. La défense de Galilée a pour titre : *Difesa di Galileo Galilei, nobile fiorentino, lettore delle matematiche nello studio di Padova contro alle calunnie ed imposture di Baldassar Capra, Milanese, ustategli si nella* Considerazione sopra la nuova stella del 1604, *come ed assai più nel pubblicare nuovamente, come sua, l' invenzione, la fabrica e gli usi del compasso geometrico e militare sotto il titolo di* Usus et fabrica circini cujusdam proportionis, etc., Venezia, 1607, in-4°.

Cette défense, accompagnée de la traduction de Capra, a été reproduite dans toutes les éditions de Galilée.

« En avril ou mai 1609, dit Viviani, le bruit se répandit à « Venise, où se trouvait Galilée, qu'un Hollandais avait présenté « au comte Maurice de Nassau une certaine lunette (*occhiale*) « au moyen de laquelle les objets éloignés paraissaient comme « s'ils étaient près. Il n'en fut pas dit davantage.

« Sur ce seul renseignement, Galilée, revenu immédiatement à « Padoue, trouva pendant la nuit les conditions à accomplir ; le « jour suivant l'instrument fut exécuté, et produisit l'effet désiré, « malgré l'imperfection des verres qu'il avait pu se procurer. Il en « fit part aussitôt à ses amis de Venise, et dix jours après il y en « apporta un autre beaucoup meilleur avec lequel, du haut des « monuments de la ville, il fit voir et observer aux dignitaires « de la république les objets les plus éloignés. Perfectionnant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« de plus en plus l'instrument, avec sa libéralité habituelle il « en fit don au doge et au sénat de Venise avec une instruction « pour sa construction. »

Reconnaissante d'un pareil don, la sérénissime république lui confirma pour la vie la chaire de mathématiques de Padoue, avec mille florins d'appointements.

On a beaucoup discuté sur le droit de Galilée à l'occasion de l'invention du télescope, et il s'en est peu fallu souvent qu'on ne la lui contestât complétement.

Il nous semble que Galilée qui, dans plus d'une occasion, a formellement reconnu le fait d'une antériorité dont la simple annonce lui a servi de point de départ, a au moins le mérite incontestable d'un perfectionnement sérieux sur l'inventeur hollandais resté à peu près inconnu, puisqu'on est loin d'être d'accord sur son nom, qu'on croit le plus généralement être Zacharie Jansen, de Middelbourg.

Nous trouvons, en effet, dans la collection épistolaire de cette édition plusieurs lettres qui font foi de ce perfectionnement : l'une est d'Antonini à Galilée, datée de Bruxelles, 9 avril 1614, dans laquelle il lui annonce qu'on ne trouve pas dans le pays d'*occhiali* qui aient un grossissement linéaire de plus de cinq fois; une autre, du même, en date du 2 septembre, où il annonce que les meilleurs ne valent rien auprès de ceux qu'il a vus à Padoue; qu'aucun ne grossit plus de dix fois; qu'il a vu celui donné au comte de Nassau par l'inventeur original, qui les vend à la douzaine : *son tutti dozzinati*.

Une autre lettre du Hollandais Martin Hortensius à Galilée, du 26 janvier 1637, lui annonce qu'on ne trouve en Hollande aucun instrument montrant nettement le disque de Jupiter, et encore moins ses satellites.

Nous croyons que ces citations sont plus que suffisantes pour démontrer que, si Galilée n'est pas l'inventeur de la *longue-vue*, de la première construction d'un instrument rapprochant les objets éloignés, on ne peut lui contester son appropriation à l'observation des corps célestes.

L'invention du microscope, que lui attribue Viviani, lui a été récemment contestée par Arago, qui ne connaissait, sur ce sujet, qu'un passage ridicule du *Ragguagli di parnasso di Trajano Boccalini*, publié en 1612 à Venise, et dans lequel l'auteur annonce

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que l'instrument fait voir les puces comme des éléphants, etc. Indépendamment de celle de Viviani, d'autres autorités, entre autres deux lettres de Galilée, l'une du 23 septembre 1624 à Cesi, l'autre du 17 décembre suivant à Marsili, une troisième d'Imperiali, 5 septembre même année, le début du cours de mathématiques professé à Pise par Agiunti, publié à Rome, en 1625, enfin l'une des inscriptions placées sur la maison de Galilée après sa mort, ne paraissent pas devoir laisser d'incertitude à cet égard.

Armé de son premier télescope, Galilée le dirigea vers les cieux et reconnut aussitôt que la surface de la lune était couverte de montagnes et de vallées; il constata que la voie lactée et les nébuleuses n'étaient que des amas d'étoiles fixes, isolément invisibles à l'œil nu, à cause de leur grande distance ou de leur petitesse. Un autre instrument plus parfait lui fit reconnaître que Jupiter était escorté de quatre étoiles, circulant autour de lui d'un mouvement régulier, dans des cercles déterminés et distincts. Il donna, à ces nouveaux astres, le nom d'*étoiles* ou *planètes de Médicis;* et, après avoir consacré, à les observer, les mois de janvier et de février 1610, il les annonça au monde savant par la publication à Venise, en mars suivant, du *Nuntius sidereus*, dédié au grand-duc de Toscane, Cosme de Médicis.

Cette découverte eut un grand retentissement en Italie, en Allemagne et en France. Beaucoup n'y crurent pas; et parmi ceux-ci, les plus modérés la traitaient d'illusion produite par l'imperfection des verres de l'instrument; les autres s'en prenaient à la folle vanité de Galilée. Il fallut cependant se rendre à l'évidence; mais quelques-uns persistèrent, même parmi les plus justement célèbres, notamment Cremonino, professeur de philosophie à Padoue, qui ne voulut jamais approcher l'œil d'un télescope, dans la crainte de commettre un sacrilége contre la divinité d'Aristote.

Poursuivant ses recherches dans le ciel, Galilée découvrit, au mois de juillet 1610 l'anneau de Saturne, ou, comme on le disait alors, *Saturno tricorporeo*[1], et en avisa ses amis au moyen du logogriphe suivant :

SMAISMRMILMEPOETALEVMIBVNENVGTTAVIRAS

[1] La position de l'anneau, par rapport à la terre, ne permettait pas alors

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dont les lettres, rétablies dans l'ordre naturel, à la demande de l'empereur Rodolphe II, disaient :

Altissimum planetam tergeminum observavi.

Il observa également des taches sur la face du soleil, mais ne voulut pas alors publier cette découverte, dans la crainte d'exciter encore la haine des péripatéticiens obstinés, se contentant de la faire connaître à ses plus intimes confidents, et voulant surtout, par de nouvelles observations, confirmer les premières et en étudier tous les phénomènes.

L'importance de ces merveilleuses découvertes, la célébrité qui, dès lors, accompagnait le nom de Galilée, déterminèrent le grand-duc de Toscane, Cosme II de Médicis, à se l'attacher d'une manière toute particulière. Un diplôme, en date du 10 juillet 1610, lui conféra le titre de premier mathématicien extraordinaire du collége de Pise, sans obligation de résidence ou de leçons à faire; y joignant le titre de premier mathématicien et philosophe de la personne du prince, commis expressément et extraordinairement pour *son* agrément et celui des princes étrangers qui pourraient venir, avec l'obligation de se trouver partout où irait le grand-duc. Les appointements attribués à ces fonctions étaient de mille écus florentins.

Quittant donc le service de la république de Venise, Galilée se rendit, vers la fin d'août, à Florence, où il fut reçu avec enthousiasme par tous les hommes éclairés de cette ville.

La publication du *Nuntius sidereus* avait eu, comme nous l'avons dit plus haut, un grand retentissement. Le grand Képler fut l'un des plus ardents à en propager la connaissance par la publication de dissertations sur les découvertes de Galilée et en y ajoutant les siennes propres. Le tout fut reproduit dans l'édition de Bologne sous le titre : *Continuazione del Nunzio sidereo di Galileo Galilei.*

Nous passons sous silence la foule des publications péripatéticiennes que virent éclore l'année 1610 et les suivantes; mais nous citerons, comme un nouveau fait de piraterie qui ne sera malheu-

d'en apprécier la forme. L'apparence était celle de deux petites planètes accolées aux deux côtés d'une plus grosse : de là l'épithète de *tricorporeus*. C'est en 1659 qu'il fut donné à Huyghens de déterminer la forme de l'anneau.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

reusement pas le dernier, l'ouvrage publié à Nuremberg, en 1614, par Simon Marius, sous le titre de : *Mundus Jovialis, anno* 1609, *detectus ope perspicilli belgici*, où il se donne tout simplement comme l'auteur de la découverte des satellites de Jupiter, avec table, théorie, etc. Galilée lui fit l'honneur de s'occuper de lui au début du *Saggiatore*, dont nous parlerons plus loin.

En octobre et novembre 1610, il s'occupa particulièrement de la planète Vénus, dont le volume lui parut d'abord variable, et dans laquelle enfin il reconnut des phases semblables à celles de la lune.

Il constata sa découverte par cet anagramme qu'il adressa aux principaux savants de l'Europe.

Hæc immatura a me jam frustra leguntur o i

dont, à la demande nouvelle de l'empereur et d'un grand nombre de philosophes curieux, il donna ainsi le sens caché :

Cinthiæ figuras æmulatur mater amorum.

A la fin de mars 1611, il se rendit à Rome, où il était vivement désiré, et fit connaître, *de visu*, à un très-grand nombre d'amis de la science les découvertes qui avaient donné tant d'illustration à son nom.

Viviani insiste surtout sur la présence, dans le jardin Quirinal, d'un certain nombre de prélats et de seigneurs, lorsque Galilée y fit voir les taches du soleil antérieurement découvertes par lui. Nous verrons plus loin que cette insistance se rattache à l'une des questions les plus controversées sur les titres de Galilée à la gratitude des amis de la science.

En avril, Galilée était parvenu à déterminer, avec une certaine précision, la durée des périodes des satellites de Jupiter, de manière à en prédire les positions futures ; il fut alors nommé membre de la fameuse académie *de' Lincei*, récemment fondée par Frederigo Cesi, marquis de Manticelli, puis il retourna à Florence.

A l'occasion d'une discussion qui s'éleva devant le grand-duc, entre divers savants, sur les causes qui soutiennent certains corps sur l'eau, tandis que d'autres s'y enfoncent, les uns soutenant que la forme des corps y était pour quelque chose, Galilée soutenant le contraire, ce dernier, sur la demande du grand-duc,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rédigea le *Discorso sopra le cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono*. Florence, août 1612.

« On trouve, dans ce traité, dit Arago, le principe des vitesses « virtuelles, dont les géomètres, dont Lagrange surtout, ont tiré « un si grand parti. L'auteur de la *Mécanique analytique* se pro- « nonce sur l'invention de Galilée « dans des termes si catégo- « riques, si positifs, qu'ils ne laissent aucune place au doute. »

Au début de ce traité, Galilée annonça publiquement sa découverte des taches solaires; et, dans la seconde édition, qui parut presque immédiatement, avec plusieurs additions, il consacre la première à l'indication des lieux, de la nature, et du mouvement de ces taches, d'où il tire la conséquence d'une révolution du corps solaire sur lui-même pendant la durée d'environ un mois lunaire.

Les doctrines professées par Galilée sur la question des corps flottants étaient en si complète contradiction avec les idées alors acceptées, qu'elles soulevèrent une opposition presque universelle des péripatéticiens.

Le père Castelli, mathématicien à Pise, et déjà disciple de Galilée, voulut épargner à son maître les ennuis d'une aussi frivole controverse; telle est du moins l'assertion de Viviani; d'autres ne considèrent Castelli que comme ayant prêté son nom à Galilée pour la publication, en 1615, de l'ouvrage intitulé : *Risposta alle oppozioni del S. L. Delle Colombe e del S. F. di Grazia contro al trattato del S. Galileo Galilei, delle cose che stanno*, etc.

Galilée habitait près de Florence la villa Delle Selve, appartenant à F. Salviati, l'un de ses amis, lorsqu'il reçut de Velser, magistrat d'Augsbourg, trois lettres d'un moine nommé Scheiner, qui se cachait sous le pseudonyme d'Apelle, et revendiquait la découverte des taches du soleil. Galilée y répondit à diverses reprises; et, condensant ses arguments, il rédigea l'*Istoria e dimostrazione delle macchie solari e loro accidenti*, que l'académie de' Lincei publia à Rome en 1613. La question est aujourd'hui vidée entre Galilée et Scheiner, complétement mis hors de cause, quant à la découverte des taches.

Mais un autre compétiteur s'est présenté dans la lice, sous le patronage de notre illustre Arago. Celui-ci n'hésita pas à se prononcer en faveur de Fabricius, qui a publié en 1611 l'ouvrage

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

intitulé : *De maculis in sole observatis et apparente earum cum sole conversione narratio et dubitatio de modo eductionis specierum visibilium*. Wittebergæ, 1611. L'épître dédicatoire porte la date du 13 juin 1611.

Récapitulant toutes les circonstances invoquées en faveur de Galilée, notamment les souvenirs, soit de Galilée lui-même ou de ses amis, sur les diverses époques de ses confidences ou même de ses expériences, Arago n'y trouva pas les éléments d'une date certaine qu'on puisse victorieusement opposer à celle de Fabricius. Il en fait même ressortir certaines contradictions qui, dans son opinion, en affaiblissent notablement la valeur.

Galilée trouve un défenseur aussi ardent que convaincu dans M. Alberi, directeur de l'édition qui nous occupe, dans laquelle il ne consacre pas moins de soixante-dix pages du 16e volume à l'examen de la *Biographie de Galilée*, écrite par Arago. Il y rediscute, avec une chaleur qu'explique son admiration légitime pour Galilée, les faits invoqués par Arago, pour en tirer des conséquences tout à fait contraires.

Quant à nous, s'il nous est permis d'émettre notre opinion sur une aussi grave question, nous croyons qu'Arago a poussé trop loin la rigueur du droit; qu'il ne s'agissait pas ici d'appliquer un texte de loi formel et impérieux, mais d'apprécier des vraisemblances; qu'en présence des luttes dont Galilée est toujours sorti victorieux, du triomphe qu'Arago lui-même lui décerne sur Scheiner dans cette même question, et qui fut dû en grande partie aux témoignages qu'il repousse lorsqu'il s'agit de Fabricius, il eût été plus *juste*, sinon plus *légal*, de se prononcer en faveur de Galilée, avec d'autant plus de raison, que cela n'eût rien ôté à la gloire de Fabricius, qui, évidemment, n'avait pas plus connu les travaux de Galilée que celui-ci n'avait connu ceux de Fabricius.

Ajoutons que Fabricius, contemporain des débats soulevés à l'occasion des prétentions de Scheiner, n'y a pris aucune part personnelle, et que son nom n'y a même pas été prononcé; qu'enfin son livre serait aujourd'hui complétement ignoré si de Lalande, sans lui donner la moindre importance, ne l'avait pas mentionné vers la fin du siècle dernier.

Il ne s'agit là que d'une question de date, et non de l'honorabilité des deux savants : tous deux ont vu personnellement le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

phénomène vers la même époque, sans emprunter rien l'un à l'autre. Dans toutes les circonstances relevées aux débats, la vraisemblance est pour que Galilée soit le premier. Le placer au second rang parce que cette vraisemblance n'est pas une certitude mathématique, c'est, ce nous semble, réaliser encore une fois le *summum jus, summa injuria*.

C'est à cette époque, 1613, qu'il faut reporter une lettre de Galilée au père Castelli, sur la doctrine de Copernic et le mouvement de la terre, publiée pour la première fois, deux cents ans plus tard, en 1813, par Poggiali, mais dont une copie, livrée au tribunal de l'inquisition romaine, fut l'un des premiers griefs soulevés contre Galilée.

Mais continuons notre examen biographique et bibliographique. La découverte des satellites de Jupiter lui parut avoir une portée d'une utilité tout à fait immédiate pour la navigation et la géographie. En d'autres termes, il pensa que leur observation pouvait être d'un puissant secours pour la détermination des longitudes. Aussi se livra-t-il tout entier à des observations assidues, qui lui permirent de calculer à l'avance, avec une très-grande approximation, les positions relatives de ces nouveaux astres, leurs occultations, etc.

Vers 1615, se croyant en mesure d'appliquer les résultats de ses recherches et de ses calculs, il s'en ouvrit au grand-duc, qui, frappé de l'importance du but atteint, chargea son résident à Madrid d'en traiter avec le roi d'Espagne, qui promettait de magnifiques récompenses à celui qui trouverait le moyen de déterminer la longitude avec la même facilité qu'on déterminait la latitude.

« Le grand-duc, dit Viviani, désirant que la négociation aboutît rapidement, consentit à ce que Galilée joignît à la démonstration de sa méthode une nouvelle lunette, au moyen de laquelle, du haut d'un arbre ou d'un mât, on pouvait reconnaître au loin la force et le nombre des vaisseaux ennemis, avant d'en être vu, et cela avec la même promptitude et la même facilité qu'à l'œil nu, tout *en regardant en même temps avec les deux yeux*, y compris l'évaluation de la distance et la possibilité de soustraire l'instrument aux regards des indiscrets. » Il est fâcheux que le secret de cet instrument ait été si bien gardé, qu'on n'en trouve aucune trace même dans l'édition actuelle.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quoi qu'il en soit, les années s'écoulèrent en négociations inutiles, et Galilée dut attendre une meilleure occasion.

Les 16 et 22 février 1614, Galilée adressa à Monsignor Dini deux lettres sur la portée des saintes Écritures dans les discussions sur les phénomènes naturels. Elles ont été publiées pour la première fois, en 1776, par Morelli. Dans ces lettres, Galilée cherche à prouver au prélat que le texte sacré peut se concilier avec le mouvement de la terre.

Tel est également le but d'une autre lettre de 1615, adressée à Christine de Lorraine, mère du grand-duc, publiée pour la première fois, en 1636, à Strasbourg.

On fait remonter à 1616 le *Discorso sul flusso e reflusso del mare*, publié en 1780 par Targioni; et une lettre au duc Muti, *Sulle montuosita della luna*, publiée dans l'édition de Florence, 1718.

1618 vit paraître trois comètes, dont l'une, par sa durée et ses apparences, excita l'attention et surtout les discussions du monde savant. Galilée, alors gravement malade, ne put l'observer que très-peu.

L'archiduc Léopold d'Autriche, se trouvant alors à Florence, voulut connaître l'opinion de Galilée sur cette matière. Il se rendit, dans ce but, dans la chambre du malade, qui, de son lit de souffrances, satisfit au désir de son auguste visiteur. Mario Guiducci, l'un des plus zélés partisans de Galilée, recueillit les observations du grand philosophe, et fit imprimer, en 1619, le *Discorso delle comete*, où, réfutant les opinions que le père Grassi, mathématicien du collége romain, avait publiées sur le même sujet[1], il donna naissance à toutes les controverses qui en résultèrent, et surtout à la haine dont le jésuite romain poursuivit Galilée jusqu'à son dernier jour.

Dans la même année, le père Grassi publia, sous le pseudonyme Sarsi, la *Libra astronomica e filosofica*, dans laquelle il n'épargna ni Guiducci, ni Galilée. Notre édition en publie le texte avec les annotations de Galilée, qui y fit une réponse publique par *Il Saggiatore* (*L'Essayeur*), adressé, sous forme de lettre, à Monsignor Cesarini, et dédié au pape Urbain VIII par l'académie de' Lincei.

Cet ouvrage passe en Italie, et parmi ceux qui cultivent la lit-

[1] De tribus cometis anni MDCXVIII disputatio astronomica.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

térature italienne, pour un chef-d'œuvre de style, de dialectique et de fines plaisanteries.

Le père Grassi y répondit, sous le même pseudonyme, par l'opuscule intitulé : *Ratio ponderum libræ ac simbellæ*, etc., publié à Paris, en 1626, et réimprimé, dans la nouvelle édition, avec des annotations de Galilée et de Guiducci.

En 1627, une question s'agita parmi quelques beaux esprits de Florence, et les passionna à ce point que Galilée crut devoir y prendre part.

La question était celle-ci : un cheval, qui vaut réellement *cent écus*, est estimé *mille écus* par une personne, et seulement *dix écus* par une autre. On demande lequel des deux estimateurs est le plus extravagant.

Une première solution fut donnée par Nozzolini, curé de Sainte-Agathe ; et, si nous ne faisions la part d'une époque où ces sortes de jeux d'esprit étaient l'occupation sérieuse d'hommes d'ailleurs considérables par leur mérite, nous regretterions de voir Galilée entrer en lice pour combattre la décision de Nozzolini, et faire prévaloir, quant à la valeur, non du cheval, mais des deux imbéciles mis en cause, la proportion géométrique sur la proportion arithmétique.

Nous arrivons enfin à celle de toutes les œuvres de Galilée qui a eu le plus de retentissement dans le monde : nous voulons parler du *Dialogo de' due Massimi sistemi Tolemaico è Copernicano*, Florence, 1632, traduit bientôt en latin, par Berneggero, sous le titre de *Systema cosmicum*, dont une édition a paru à Lyon en 1641.

Nous avons celle-ci sous les yeux, et nous y trouvons les autorisations suivantes qui se rapportent évidemment à l'édition originale de 1632.

Imprimatur, si videbitur reverendiss. P. magistro sacri Palatij Apostolici.

A. *Episcopus Bellicastensis vices gerens.*

Fr. Nicolaus Riccardius, sacri Palatij Apostolici magister.

Imprimatur, Florentiæ ordinibus consuetis seruatis. 11 *septembris*, 1630.

Petrus Nicolinus vic. Gener. Florentiæ.

Imprimatur. Die 11 *septembriis*, 1630.

Fr. Clemens Ægidius Inqu. Gen. Florentiæ.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Stampisi. A dì 12 *di settembre*, 1630.

Niccolò dell' Altella.

On pourrait s'étonner, en voyant de pareilles approbations, que le livre qu'elles concernaient ait pu devenir l'objet ou même le prétexte de poursuites contre son auteur. Mais il ne faut pas oublier que par ses écrits précédents Galilée s'était fait de nombreux ennemis, surtout chez les jésuites, contre quelques-uns desquels il avait eu plusieurs fois à revendiquer sa propriété usurpée.

Ici Viviani, dont nous avons constamment suivi la trace comme le mieux instruit sur la vie et les œuvres de Galilée, nous fait complétement défaut. Il se borne à dire que, depuis son séjour à Padoue, Galilée avait constamment été occupé de divers phénomènes naturels dont l'explication péripatéticienne ne le satisfaisait pas; qu'il en faisait l'objet de ses conversations avec ses amis, au nombre desquels se trouvaient Sagredo, dont il a fait l'un des interlocuteurs de ses dialogues, et Salviati, sous le nom duquel lui-même prend la parole; que, se décidant à publier ses nombreuses découvertes, il crut pouvoir introduire, sous forme d'idées spéculatives, les arguments pour et contre le mouvement de la terre. Mais, ajoute Viviani, Galilée était arrivé à une si grande renommée, qu'il passait parmi les hommes pour un être divin. L'éternelle Providence permit alors que l'humanité de Galilée se révélât en se montrant, dans la discussion des deux systèmes, plus attaché à l'hypothèse copernicienne déjà condamnée par la sainte Église comme contraire (*repugnante*) aux divines Écritures.

Galilée, mandé à Rome par la congrégation du saint office, y arriva le 10 février 1632. L'inépuisable (*somma*) clémence de ce tribunal et celle du souverain pontife Urbain VIII, qui apprécia ses services dans la république des lettres, lui donna pour prison le délicieux palais della Trinità de' monti, près de l'ambassade toscane. Bref, son erreur lui étant démontrée, il rétracta cette opinion comme bon catholique. Mais son Dialogue fut prohibé, et, après cinq mois, il fut renvoyé de Rome. Mais la peste existant alors à Florence, une généreuse pitié lui assigna pour prison l'habitation de l'un de ses plus chers amis de Sienne, l'archevêque Piccolomini. C'est là qu'il reprit et termina la plus grande partie de ses travaux sur la résistance des solides.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Au mois de décembre 1633, Sa Sainteté lui permit d'échanger l'étroitesse de cette maison contre la liberté à la campagne, dont Galilée était si désireux. Il se retira donc à sa villa d'Arcetri, dont le voisinage de Florence lui permit de recevoir plus fréquemment les consolations de ses amis.

Le langage que Viviani se crut obligé d'employer (après vingt-deux ans) pour parler de la condamnation de son maître vénéré, peint mieux que tous les raisonnements possibles l'époque à laquelle un pareil fait a pu s'accomplir.

Notre édition ne publie guère à ce sujet que des documents officiels. La seule pièce qui ait la forme d'un récit est considérée par l'éditeur, M. Albéri, comme ayant peu d'importance. Elle a pour titre : *Relazione intorno alla processura contro Galileo di Gioan Francesco Buonamici*.

Nous y lisons que, déjà sous le pontificat de Paul V, les rivaux de Galilée, jaloux de la gloire qu'il s'était acquise, avaient tenté de le faire poursuivre par l'inquisition romaine pour son adhésion au système du mouvement de la terre et de la stabilité du soleil, contrairement aux paroles des saintes Écritures; et que, sans l'opposition du cardinal Maffeo Barberini, depuis Urbain VIII, et du cardinal Gaëtani, le système de Copernic aurait été déclaré erroné et hérétique, contraire à l'enseignement de l'Écriture, notamment dans le livre de Josué. Mais ces cardinaux pensaient qu'on ne pouvait, sans s'exposer à la risée des hérétiques, condamner comme tel un homme de la réputation de Copernic, le principal promoteur de la réforme du calendrier; qu'il n'était pas de bonne politique (*buona cautela*) d'attribuer à la sainte Écriture la même autorité sur les choses naturelles, que le temps peut éclaircir, que sur les questions de foi.

D'après cette opposition, un décret de Paul V se borna à déclarer que le système du mouvement de la terre et de la stabilité du soleil ne pouvait être défendu, parce qu'il paraissait contraire aux saintes Écritures.

Galilée aurait alors cessé de s'occuper de cette question, lorsqu'en 1624, le cardinal Hœnzoller lui aurait affirmé que le nouveau pape se rappelait avoir défendu Copernic au temps de Paul V, et que sa vénération pour la mémoire de ce grand astronome ne lui aurait jamais permis de considérer son système comme hérétique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Sur cette déclaration, Galilée aurait repris son travail, s'attachant à laisser indécise la vérité entre les deux systèmes, aurait porté lui-même, en 1630, le manuscrit au pape, qui aurait, de sa propre main, corrigé le titre, aurait fait examiner l'ouvrage par le maître du sacré palais, lequel l'aurait rendu à Galilée avec une approbation, en vertu de laquelle le *Dialogo* aurait été imprimé à Florence.

Disons immédiatement que ces assertions tombent devant les documents authentiques publiés dans l'édition qui nous occupe, et qu'il n'y a par conséquent aucune confiance à ajouter à la suite du récit qui nous montre le pape et le maître du palais se donnant réciproquement des démentis.

Lors de l'occupation de Rome, en 1809, par les Français, les archives de l'inquisition romaine furent transportées à Paris. Le gouvernement impérial y fit traduire un certain nombre des pièces concernant le procès de Galilée. Plusieurs s'égarèrent et manquèrent lors de leur restitution en 1815. Delambre en remplaça quelques-unes par leur traduction française. En quittant Rome, en 1848, le pape actuel les confia à la garde de Monsignor Marini, qui en fit des extraits, publiés en 1850 sous le titre : *Galileo e l'Inquisizione*, dont M. Alberi s'est servi, ainsi que des documents publiés par Venturi en 1820.

Il en résulte qu'il ne faut pas s'arrêter à l'année 1632 pour voir l'inquisition mise en demeure de s'occuper de Galilée, mais remonter à 1615, où le dominicain Lorini dénonce la lettre de Galilée au père Castelli, en 1613, sur le système de Copernic, où une copie de la même lettre est remise par le père Caccini au cardinal de Sainte-Cécile. Les propositions contenues dans cette lettre, notamment celle que la sainte Écriture avait dû employer des expressions à la portée de tout le monde, quoique inexactes, lorsqu'elle parlait des choses naturelles, parce qu'elle n'aurait pas été comprise si elle eût employé celles qui auraient dit la vérité; ces propositions produisirent la plus sinistre impression sur les membres du saint office, qui fit en vain les démarches les plus actives pour se procurer la lettre originale. Dès lors toutes les productions de Galilée furent l'objet d'un examen sévère au point de vue du système de Copernic.

Ce fut pour prévenir les conséquences des enquêtes faites à son sujet que Galilée se rendit à Rome en 1616. Le pape Paul V

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chargea alors le cardinal Bellarmin de lui prescrire de ne plus suivre et d'abandonner entièrement la doctrine qui fait du soleil le centre du monde, n'ayant qu'un mouvement local, et autour duquel la terre tournerait en même temps qu'elle aurait un mouvement diurne. Défense lui fut faite d'enseigner ou de défendre cette doctrine sous quelque prétexte que ce fût, soit de vive voix, soit par écrit. Cette prohibition lui fut signifiée le 26 février 1616. Il promit d'y obéir : *Acquievit et parere promisit*.

Mais, sur l'insistance de Galilée que la doctrine de Copernic n'avait encore été l'objet d'aucune prohibition, la congrégation de l'*Index*, par un décret du 5 mai suivant, prohiba d'une manière absolue l'enseignement de cette doctrine, et interdit la lecture de l'ouvrage de Copernic, *de Revolutione orbium*, tant qu'il ne serait pas corrigé. Ces corrections furent faites par le cardinal Gaëtani, qui donna la forme hypothétique à toutes les propositions affirmatives de la stabilité du soleil et du mouvement de la terre.

Une partie des pièces de la procédure se rattache aux autorisations d'imprimer qui figurent en tête du *Dialogo*, et que nous avons rapportées plus haut, ainsi qu'aux démarches faites par Galilée pour les obtenir.

Il est à croire que ces autorisations résultèrent surtout de l'avertissement qui précède l'ouvrage et dont nous empruntons la traduction à Arago :

« On a promulgué à Rome, il y a quelques années, un édit « salutaire, où, pour obvier aux scandales dangereux de notre « siècle, on imposait silence à l'opinion pythagoricienne du mou- « vement de la terre. Il y eut des gens qui avancèrent avec témé- « rité que ce décret n'avait pas été le résultat d'un examen judi- « cieux, mais d'une passion mal informée; et l'on a entendu dire « que des conseillers tout à fait inexperts dans les observations « astronomiques ne devaient pas, par une prohibition préci- « pitée, couper les ailes aux esprits spéculatifs. Mon zèle n'a pu « se taire en entendant de telles plaintes. J'ai résolu, comme « pleinement instruit de cette prudente détermination, de pa- « raître publiquement sur le théâtre du monde pour rendre « témoignage à la vérité. J'étais à Rome, où je fus entendu et « même applaudi par les plus éminents prélats. Ce décret ne « parut pas sans que j'en fusse informé. Mon dessein, dans cet « ouvrage, est de montrer aux nations étrangères que sur cette

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« matière on en sait en Italie, et particulièrement à Rome, au-
« tant qu'il a été possible d'en imaginer ailleurs. En réunissant
« mes spéculations sur le système de Copernic, je veux faire
« savoir qu'elles étaient toutes connues avant la condamnation,
« et que l'on doit à cette contrée, non-seulement des dogmes
« pour le salut de l'âme, mais encore des découvertes ingé-
« nieuses pour les délices de l'esprit. »

Le 23 septembre 1632, la congrégation du saint office décida que non-seulement Galilée avait désobéi aux ordres reçus en 1616, mais qu'il les avait dissimulés à qui de droit, et violé les prescriptions en obtenant l'approbation de personnes qui ignoraient les ordres susdits.

En conséquence, Galilée reçut l'ordre de comparaître, dans le mois d'octobre suivant, devant le commissaire général du saint office à Rome.

Ce ne fut cependant que le 13 février 1633 que Galilée, malgré l'opposition de ses amis, arriva à Rome, où, comme nous l'avons dit d'après Viviani, il fut reçu par Nicolini, ambassadeur de Toscane, chez lequel il demeura jusqu'au 12 avril, jour où il comparut devant le tribunal.

Il ne lui fut pas permis de retourner chez l'ambassadeur; on lui assigna pour demeure l'appartement du fiscal du tribunal, avec faculté de se promener dans la cour.

A cette première comparution du 12 avril étaient présents : le père V. Maccaloni, commissaire général; C. Sincero, procureur fiscal, et un autre qui n'est pas nommé, mais qu'on croit être Capo Notaro.

Galilée déclara que son ouvrage était terminé depuis plus de deux ans, et lui avait demandé plus de huit ans de travail. Quant à la défense que lui avait faite le cardinal Bellarmin en 1616, il n'en avait pas parlé au maître du sacré palais en lui demandant l'autorisation d'imprimer le *Dialogo*, parce que, dans ce livre, il n'avait ni soutenu ni défendu l'opinion de la mobilité de la terre et de la stabilité du soleil; qu'il avait montré le contraire de cette opinion, et combien les raisonnements de Copernic sont invalides et peu concluants.

Après cette comparution, au lieu de ramener Galilée dans les bâtiments de l'inquisition, il lui fut permis, à cause de sa mauvaise santé, de retourner chez l'ambassadeur de Florence.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans sa seconde comparution qui eut lieu le 30 avril, Galilée prononça un long discours où il annonce qu'il vient de relire son ouvrage dans lequel, contrairement à sa pensée intime, certains arguments en faveur de la doctrine de Copernic ont plus de portée qu'il ne croyait leur en donner. Il s'y reconnaît, comme Cicéron, *avidior gloriæ quam satis est*, et attribue, en grande partie, son erreur au désir de briller.

Puis, revenant vers les inquisiteurs, il leur offrit, si on lui en laissait le temps, de faire la démonstration la plus complète possible du système de Ptolémée.

Dans une troisième comparution du 10 mai, Galilée reproduit à peu près la même réponse sur le silence gardé par lui auprès du maître du sacré palais au sujet de la défense du cardinal Bellarmin en 1616.

Les pièces suivantes de la procédure portent sur l'examen fait par le tribunal des réponses de Galilée dans ses précédentes comparutions. Elles furent soumises au pape qui, par un décret du 16 juin, ordonna une quatrième et dernière comparution entièrement dirigée sur la question d'intention, que les séances précédentes n'avaient pas bien éclaircie. *Sanctissimus mandavit ipsum interrogandum esse super intentione*.

Cette comparution eut lieu le 21 juin; et, interrogé s'il tenait ou avait tenu, et depuis quand à l'opinion copernicienne, Galilée répondit :

« Depuis longtemps et avant la détermination de la congréga-
« tion de l'Index en 1616, et avant qu'on m'eût fait la défense,
« j'étais indifférent, et je tenais comme discutables (*disputabili*)
« les opinions de Ptolémée et de Copernic, parce que l'une ou
« l'autre pouvait être vraie en nature (*in natura*); mais depuis la
« susdite détermination, confiant (*assicurato*) dans la prudence
« des supérieurs, tout doute (*ambiguita*) a cessé en moi, et
« j'ai tenu, comme je tiens, pour très-vraie et indubitable l'opi-
« nion de Ptolémée, c'est-à-dire la stabilité de la terre et la mo-
« bilité du soleil. »

Plusieurs réponses dans le même sens que les précédentes furent encore faites par Galilée, qui, le lendemain, fut conduit au couvent de la Minerve devant les cardinaux et prélats de la congrégation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Là, on lui lut la sentence du tribunal, et on lui fit réciter toute l'abjuration.

La sentence est beaucoup trop longue pour trouver place ici. Nous nous bornerons à dire qu'elle reproche à Galilée de ne pas avoir été de bonne foi dans ses déclarations devant le saint office quant à la question d'intention. En conséquence des délits relevés dans ladite sentence, le livre des *Dialoghi* est déclaré prohibé, et son auteur condamné à la prison formelle du saint office pour un temps laissé à l'arbitraire des juges, avec prescription de réciter, une fois la semaine, les sept psaumes de la pénitence; les juges se réservant la faculté de modérer, changer ou lever tout ou partie des susdites peines et pénitence.

La sentence est signée des cardinaux ci-après : Borgia, de Ascalo, Bentivolius, de Cremona, saint Honuphre, Zacchia, Gypsius, Veraspius, Barberinus et Ginettus.

Nous donnerons *in extenso* l'acte d'abjuration d'après la traduction de Delambre, parce que, presque partout, il est la reproduction de la sentence :

« Moi Galileo Galilei, fils de Vincent Galilei, Florentin, âgé de « soixante-dix ans, constitué personnellement en jugement, et « agenouillé devant vous, éminentissimes et révérendissimes « cardinaux de la république universelle chrétienne, inquisi- « teurs généraux contre la malice hérétique, ayant devant les « yeux les saints et sacrés Évangiles que je touche de mes pro- « pres mains, je jure que j'ai toujours cru, que je crois mainte- « nant, et que, Dieu aidant, je croirai à l'avenir tout ce que tient, « prêche et enseigne la sainte Église catholique et apostoliqu« « romaine; mais parce que le saint office m'avait juridique- « ment enjoint d'abandonner entièrement la fausse opinion qui « tient que le soleil est le centre du monde, et qu'il est im- « muable; que la terre n'est pas le centre et qu'elle se meut; et « parce que je ne pouvais la tenir, ni la défendre, ni l'enseigner « d'une manière quelconque, de voix ou par écrit, et après qu'il « m'avait été déclaré que la susdite doctrine était contraire à la « sainte Écriture, j'ai écrit et fait imprimer un livre dans lequel « je traite cette doctrine condamnée, et j'apporte des raisons « d'une grande efficacité en faveur de cette doctrine sans y « joindre aucune solution; c'est pourquoi j'ai été jugé véhémen-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« tement suspect d'hérésie pour avoir tenu et cru que le soleil « était le centre du monde et immobile, et que la terre n'était « pas le centre et qu'elle se mouvait. C'est pourquoi, voulant « effacer des esprits de Vos Éminences et de tout chrétien catho- « lique cette suspicion véhémente, conçue contre moi avec rai- « son, d'un cœur sincère et d'une foi non feinte j'abjure, mau- « dis et déteste les susdites erreurs et hérésies, et généralement « toute autre erreur quelconque et secte contraire à la susdite « sainte Église; et je jure qu'à l'avenir je ne dirai ou affirmerai « de vive voix ou par écrit rien qui puisse autoriser contre moi « de semblables soupcons; et, si je connais quelque hérétique « ou suspect d'hérésie, je le dénoncerai à ce saint office, ou à « l'inquisiteur ou à l'ordinaire du lieu dans lequel je serai. Je « jure, en outre, et je promets que je remplirai et observerai « pleinement toutes les pénitences qui me seront imposées par « le saint office; que s'il m'arrive d'aller contre quelques-unes de « mes paroles, de mes promesses, protestations et serments, ce « que Dieu veuille bien détourner, je me soumets à toutes peines « et supplices qui, par les saints canons et autres constitutions « générales et particulières, ont été statués et promulgués contre « les délinquants. Ainsi Dieu me soit en aide, et ses saints Évan- « giles que je touche de mes propres mains.

« Moi, Galileo Galilei susdit, j'ai abjuré, juré, promis et me « suis obligé comme ci-dessus; en foi de quoi, de ma propre « main, j'ai souscrit le présent chirographe de mon abjura- « tion et l'ai récité mot à mot dans le couvent de la Minerve le « 22 juin 1633.

« Moi, Galileo Galilei, j'ai abjuré comme dessus de ma propre « main. »

Telle fut la conclusion définitive du procès de Galilée. Nous avons dit plus haut, d'après Viviani, comment la sentence fut finalement commuée en une rélégation dans la villa d'Arcetri, où, probablement sur les instances du grand-duc de Toscane, dont l'ambassadeur à Rome n'avait cessé un instant de couvrir Galilée de sa protection, il lui fut permis de recevoir quelques amis, mais dont il n'obtint jamais la liberté de sortir, pas même, avons-nous lu quelque part, pour assister aux derniers moments de l'une de ses filles.

A ceux qui s'étonneraient du langage tenu par Galilée pendant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le cours du procès, et qui voudraient, pour la glorification de sa mémoire, qu'il eût maintenu stoïquement la vérité de ses opinions, nous ferons remarquer que Galilée avait alors soixante-dix ans, qu'il était atteint d'une hernie et de nombreuses infirmités contractées à l'âge de trente ans à la suite d'un refroidissement produit par l'ouverture accidentelle d'une porte pendant qu'il était livré au sommeil, par une température très-élevée.

Qu'y a-t-il d'étonnant que sous l'influence de ces causes d'affaiblissement Galilée ne se soit pas senti la force nécessaire pour devenir le martyr de la vérité qu'il pouvait beaucoup mieux servir par ses travaux futurs, ainsi que la suite l'a prouvé, que par d'impuissantes bravades à des adversaires aveuglés, omnipotents, et qui ne reculaient devant aucun moyen d'intimidation; qui, peu d'années auparavant, avaient envoyé au bûcher Jordano Bruno [1], peut-être moins coupable à leurs yeux que Galilée, qui évidemment n'échappa au même sort que grâce à la protection du grand-duc de Toscane?

L'odieux de ce procès réside donc moins dans la personnalité de Galilée, qui a été traité avec une très-grande indulgence relative, que dans l'institution elle-même du tribunal qui l'a condamné, disons plus, que dans l'obéissance imposée, sans discussion possible, aux décisions du clergé romain.

A la même époque, en France, le clergé n'était pas beaucoup plus tolérant. Le père Mersenne avait publié, en 1634, un ouvrage intitulé *les Questions théologiques, physiques, morales et mathématiques*. Il y avait inséré une analyse du *Dialogo*. Cette analyse fut supprimée et remplacée par un carton contenant une *Dissertation sur la force de la voix*.

En présence de ces faits, aujourd'hui irrécusables, nous pouvons considérer comme apocryphe l'anecdote qui représente Galilée, aussitôt après avoir récité la formule d'abjuration, frappant la terre du pied et disant à demi-voix : *E pur si muove!* « Et cependant elle se meut ! »

[1] Jordano Bruno, dit Arago, soutenait que chaque étoile était un soleil autour duquel circulaient des planètes semblables à la terre. Il croyait que notre système contenait plus de planètes que nous n'en voyons; et que leur invisibilité est due, soit à leur extrême petitesse, soit à leur grand éloignement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il ne sera plus possible non plus d'affirmer, comme on l'a fait si longtemps, que Galilée a été mis à la torture. Si l'on veut parler de tortures morales, nous y souscrivons. Elles ont dû être, en effet, bien grandes, bien poignantes pour l'illustre vieillard ainsi livré sans défense à la merci de juges stupides, croyant faire un acte méritoire en empêchant la propagation de doctrines qu'ils considéraient comme impies, et dont le zèle était encore excité par les nombreux ennemis que s'était faits Galilée.

Nous avons lu, mais nous ne nous rappelons pas sur quel témoignage, que le pape Urbain VIII, qui, avant son exaltation, était lié avec Galilée, s'était d'abord montré favorable à l'accusé; mais que les ennemis de celui-ci avaient fini par persuader au souverain pontife que c'était lui que l'auteur du *Dialogo* avait voulu désigner sous le nom de *Simplicius*, le naïf défenseur de la doctrine péripatéticienne; qu'alors le pape, peu satisfait du rôle que lui faisait jouer son ancien ami, l'aurait abandonné à la sévérité du tribunal.

Quoi qu'il en soit, et cela résulte implicitement, mais nécessairement des lettres écrites par Galilée, pendant et immédiatement après son procès les tortures physiques ont été épargnées à l'illustre vieillard.

Le premier, en France, croyons-nous, M. Biot a proclamé cette vérité dans sa biographie de Galilée (*Biographie universelle*), et il base son opinion sur la lecture de ces mêmes lettres récemment publiées par Venturi.

Qu'on nous permette à ce sujet une anecdote que nous tenons de la bouche même du savant et spirituel doyen de l'Académie des sciences, mais à laquelle notre insuffisance fera perdre tout le charme sous lequel M. Biot nous a tenus pendant son récit.

M. Biot était à Rome. Or, on ne quitte pas Rome, à moins d'impossibilité absolue, sans voir le pape. M. Biot demande une audience; elle est gracieusement accordée. Il se présente à l'heure indiquée; mais il apprend que Sa Sainteté ne pourra le recevoir que dans quelques instants. Son interlocuteur profite de l'occasion pour féliciter M. Biot sur sa biographie de Galilée, et surtout d'avoir enfin fait connaître la vérité en France sur les prétendues tortures infligées à Galilée. La conversation s'engage sur les travaux du grand homme dont les découvertes sont appréciées à leur valeur réelle de part et d'autre, dont les erreurs

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en physique et en astronomie sont, d'un commun accord, plus qu'excusées par les conditions de l'époque où Galilée vivait. Bref, l'interlocuteur de M. Biot se montre aussi admirateur de Galilée que M. Biot lui-même. Le temps s'écoule, et M. Biot avait oublié l'audience papale, lorsqu'on vient l'avertir que Sa Sainteté est visible. Les deux interlocuteurs se séparent, et M. Biot demande à son introducteur quelle est la personne qui vient de lui tenir si agréablement compagnie. C'était... le grand inquisiteur !

Sous le pontificat de Benoît XIV la sentence du tribunal de l'inquisition fut annulée.

Disons maintenant quelques mots du fameux *Dialogo*.

Il n'est pas entièrement consacré, comme on pourrait le croire, à la *discussion spéculative* des deux systèmes. Les trois interlocuteurs font de nombreuses digressions sur divers points de la physique. Les lois du pendule y jouent naturellement un rôle important, ainsi que celles de la chute des graves. Les propriétés de l'aimant dont on augmente la force au moyen d'une armature, l'inclinaison de la boussole plus grande vers les pôles qu'à l'équateur, amènent pour conclusion que la terre est un véritable aimant. La lune, sa lumière et les découvertes dues à l'usage du télescope y sont également l'objet de discussions d'une remarquable profondeur. Les taches du soleil n'y sont point oubliées, comme on le pense bien, et les différents modes de mouvement que les corps peuvent affecter, notamment ceux des projectiles, y sont élucidés avec la plus rare sagacité; et si l'opinion de Galilée sur les causes des marées n'a pu lui survivre, lorsque son nom est resté attaché à tant d'importantes découvertes, ses erreurs sur ce point ne sont peut-être dues qu'à sa résidence constante en Italie, où ce phénomène est à peine sensible, comme sur toutes les côtes de la Méditerranée; et il est très-probable que s'il eût été témoin oculaire des marées de l'Océan, son esprit, rendu plus attentif par la grandeur du phénomène, ne l'aurait pas attribué à la combinaison du double mouvement de la terre sur son axe et autour du soleil. Ajoutons que, si longue qu'ait été la vie de Galilée, on peut la considérer comme très-courte comparée à la grandeur de ses travaux, et qu'en définitive le phénomène de la gravitation universelle était à peine soupçonné, le grand Newton n'étant né qu'après la mort de Galilée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Depuis sa réclusion dans la villa d'Arcetri jusqu'à sa mort, la principale occupation deGalilée fut le calcul des éphémérides des satellites de Jupiter pour la détermination des longitudes, qu'il offrit en 1638 aux états de Hollande par l'intermédiaire de l'ambassadeur de la reine de Suède à Paris, avec le concours empressé d'Élias Deodatus, jurisconsulte parisien, entre les mains duquel passèrent toutes les négociations. Les états de Hollande accueillirent avec empressement l'offre de Galilée et nommèrent quatre commissaires pour examiner l'affaire. L'un d'eux, Hortensius, fut désigné pour en conférer avec Galilée.

La négociation durait depuis cinq ans, lorsque Galilée perdit la vue (1637). Il remit alors toutes ses notes au père V. Renieri, son disciple, pour achever ses calculs et terminer la transaction avec Hortensius dont l'arrivée était prochaine. Mais presque immédiatement la mort frappa les quatre commissaires qui furent remplacés par Huyghens et Borelius. Ceux-ci étaient à peine au courant des questions à résoudre, que Galilée fut enlevé à son tour à l'affection de ses amis, le 8 janvier 1642. Les négociations continuèrent avec Renieri, qui fut frappé à son tour, en novembre 1647, avant qu'elles fussent terminées.

Après sa mort, qui eut lieu subitement, on ne retrouva plus dans son cabinet ni les pièces que lui avait confiées Galilée, ni ses propres travaux. Quelques recherches qu'on ait faites d'après les ordres mêmes du grand-duc, on ne put parvenir à les retrouver ni à connaître l'auteur de cette soustraction.

Montucla, dans son *Histoire des mathématiques*, prétend *qu'il est douteux que Renieri fût parvenu à quelque chose digne d'être regretté, et qu'on soupçonne qu'il supprima habilement son travail par cette raison.*

Pevellius, Fabroni, et quelques autres, parmi lesquels M. Libri, attribuent cet enlèvement aux suppôts du saint office.

Toujours est-il que ces documents disparurent, et arrivèrent, on ne sait comment, dans la bibliothèque Pittiana Palatina, où ils restèrent enfouis, quoique catalogués, sans qu'on en connût l'origine et surtout la valeur.

D'une discussion soulevée en 1843 entre Arago et M. Libri, mais dont la concision des *Comptes rendus* ne nous a pas permis de bien connaître tous les détails, d'une *thèse* latine de l'éditeur, M. Alberi, imprimée en tête du cinquième volume, il

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

paraît résulter que M. Alberi est le premier qui ait reconnu dans ces documents les travaux originaux de Galilée et de Renieri, qui occupent la plus grande partie de ce même volume. Voici au surplus comment s'exprimait Arago dans la séance du 21 août 1843.

« Si les assertions de M. Alberi sont vraies, si les manuscrits « de la Palatine contiennent tous les travaux de Galilée et de « Renieri sur les satellites de Jupiter, M. Alberi aura donné de « la valeur à des feuilles jusque-là dédaignées; il aura assigné, « le premier, à des manuscrits déjà catalogués leur vraie signi- « fication, leur vraie place dans la science; il aura fait une véri- « table découverte. »

On comprend, en effet, que, malgré l'imperfection relative des instruments d'observation alors employés, il n'est pas sans importance pour l'astronomie actuelle d'avoir à sa disposition une longue série d'observations faites avec le soin qu'y apportèrent Galilée et Renieri.

Depuis sa relégation à la villa d'Arcetri, Galilée, on le comprend de reste, s'était décidé à ne plus rien publier des résultats de ses travaux, qu'il communiquait cependant tout aussi libéralement que jamais à ses intimes et à tous ceux que l'objet de ses études intéressait.

C'est ainsi que le comte de Noailles, ambassadeur de France à Rome, étant de passage à Florence en 1636, lors de son retour en France, Galilée lui remit une copie manuscrite de ses *Dialoghi*, ou *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze, della mechanica e del moto locale*, ouvrage dans lequel Galilée comprit une foule d'expériences faites à diverses époques même pendant son séjour à Padoue, et dont un grand nombre étaient déjà connues dans le monde savant. Le père Mersenne, dans son *Harmonie universelle* publiée en 1636, a fait de nombreux emprunts à Galilée, qu'il cite au surplus très-fréquemment sur certains phénomènes d'acoustique. Le comte de Noailles en envoya une copie aux Elzévir de Leyde, qui le publièrent en 1638.

C'est dans cet ouvrage que le père Mersenne a puisé la compilation publiée par lui en 1639 sous le titre : *Les nouvelles pensées de Galilée, mathématicien et ingénieur du duc de Florence*, où, comme nous l'avons déjà dit, il substitue quelquefois ses propres idées

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à celles de l'auteur, et va même jusqu'à insinuer que, dans beaucoup de cas, Galilée aurait pu se dispenser de faire certaines recherches, attendu que lui, Mersenne, avait traité si amplement les questions qu'il était malaisé d'y ajouter.

Voici comment s'exprime Lagrange sur cet ouvrage dans son *Traité de mécanique analytique :*

« La dynamique est la science des forces accélératrices ou re-
« tardatrices, et des mouvements variés qu'elles doivent pro-
« duire. Cette science est due entièrement aux modernes, et Galilée
« est celui qui en a jeté les premiers fondements.

« Avant lui on n'avait considéré les forces qui agissent sur les
« corps qu'à l'état d'équilibre; et, quoiqu'on ne pût attribuer
« l'accélération des corps pesants et le mouvement curviligne des
« projectiles qu'à l'action constante de la gravité, personne n'a-
« vait encore réussi à déterminer les lois de ces phénomènes
« journaliers d'après une cause si simple. Galilée a fait, le pre-
« mier, ce pas important, et a ouvert par là une carrière nou-
« velle et immense à l'avancement de la mécanique. Cette décou-
« verte ne procura pas à Galilée, de son vivant, autant de célé-
« brité que celles qu'il avait faites dans le ciel; mais elle fait
« aujourd'hui la partie la plus solide et la plus réelle de la gloire
« de ce grand homme.

« Les découvertes des satellites de Jupiter, des phases de Vé-
« nus, des taches du soleil, ne demandaient que des télescopes
« et de l'assiduité. Mais il fallait un génie extraordinaire pour
« démêler les lois de la nature dans les phénomènes que l'on
« avait toujours eus sous les yeux, et dont l'explication avait
« néanmoins toujours échappé aux recherches des philo-
« sophes. »

On comprend que nous ne pouvons entrer ici dans les nombreux détails qu'exigerait même l'analyse la plus succincte d'un pareil ouvrage, dans lequel sont traitées successivement les questions les plus diverses avec une sagacité, une clarté, une finesse d'appréciation qu'on ne rencontre peut-être chez aucun autre écrivain didactique. La sûreté de ses déductions n'est pas moins admirable; et, sauf la difficulté signalée par nous au commencement de ce travail, de suivre les personnages du Dialogue dans les circonvolutions de la phraséologie italienne, on est émerveillé de l'habileté avec laquelle ce profond dialecticien conduit sou

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lecteur, de prémisses en déductions, jusqu'à la conclusion finale.

C'est dans cet ouvrage que Galilée a posé les fondements de la balistique, et qu'à l'aide des principes posés par lui, de la composition du mouvement, il a démontré que les projectiles lancés décrivent une parabole, mais enseigné même tout ce qui appartient à l'étendue du jet, portée, hauteur et direction.

C'est encore là qu'on trouve les principes fondamentaux de la résistance des solides; ceux de la chute des corps, soit livrés à eux-mêmes, soit se mouvant sur des plans inclinés; comment il se fait, par exemple, que le temps de la descente d'un corps pesant le long du diamètre vertical d'un cercle est le même que celui de la descente le long des cordes, si courtes qu'elles soient, lorsqu'elles se terminent à l'extrémité du diamètre vertical; que la descente d'un corps le long d'un arc de cercle de moins de 90° est plus courte que le temps employé par ce même corps à parcourir la corde de cet arc, « ce qui, dit Galilée, au premier coup d'œil, doit sembler un paradoxe, l'arc étant plus long que la corde. »

Nous retrouvons dans Arago la reproduction d'une erreur partagée par beaucoup d'autres savants, et qui attribue à Galilée et non à Chladni la découverte des figures acoustiques produites par le sable sur des plaques métalliques mises en vibration.

Sur l'invitation de F. Savart, qui désirait savoir à quoi s'en tenir à ce sujet, nous fîmes, il y a une vingtaine d'années, les recherches nécessaires, et nous trouvâmes dans l'ouvrage qui nous occupe maintenant un passage évidemment mal interprété par le premier auteur de cette assertion, passage qui, tout en laissant à Chladni le mérite de sa découverte, signalait, une fois de plus, l'étonnante sagacité d'observation de l'éminent expérimentateur florentin.

Râclant un jour, avec un outil tranchant, une plaque de cuivre pour en enlever quelques taches, Galilée entendit, une ou deux fois, se produire un son très-vif et très-clair. Regardant la plaque, il y remarqua une longue série de petites lignes (*virgolette*) très-fines, parallèles et également distantes entre elles; continuant à râcler sa plaque, il s'assura que l'outil ne produisait ces lignes parallèles que quand un son se faisait entendre. Poursuivant l'expérience, et promenant l'outil, tantôt plus vite, tantôt

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plus lentement, il constata que le son était plus aigu dans le premier cas que dans le second, et que les lignes produites étaient aussi plus rapprochées. Il reconnut aussi que, s'il commençait lentement et finissait vite un même mouvement de l'outil, le son passait du grave à l'aigu, et que les lignes allaient se rapprochant de plus en plus; et chaque fois que le son se produisait, il sentait l'outil frémir dans sa main avec une certaine énergie. Enfin, ayant réussi à produire deux sons qui se trouvaient à la quinte l'un de l'autre, il constata qu'une même longueur, prise dans les deux séries de lignes parallèles, contenait 45 espaces pour le son le plus aigu, et seulement 30 pour le plus grave : ces deux nombres donnent réellement le rapport de la quinte.

Quant aux autres travaux de Galilée ayant date certaine, nous pouvons encore signaler comme écrite en 1638 une lettre à Antonini, *intorno la titubazione lunare*.

Arago, à l'occasion des découvertes sur les *librations de la lune*, ne lui attribue que celles relatives aux changements de parallaxes, résultant des diverses hauteurs de l'astre au-dessus de l'horizon, et aux changements de déclinaison.

De Lalande, sur quatre espèces de librations, attribue à Galilée la découverte de la parallaxe diurne qui est égale à la parallaxe horizontale, et celle de la parallaxe en latitude qui vient de l'inclinaison de l'axe de la lune sur l'écliptique.

Nous reporterons à l'année 1640 la lettre de Galilée au prince Léopold de Médicis, *intorno il candor lunare*, publiée en 1642, par Licetus, dans l'ouvrage intitulé : *De lunæ subobscura luce*.

Cette lettre avait pour but de combattre les opinions de Licetus, sur la *lumière cendrée* de la lune, et qu'il attribuait à la même cause que la lumière conservée par le sulfate de baryte (alors appelé phosphore de Bologne), après une longue insolation.

On n'a sur les autres travaux de Galilée que des données approximatives quant à leur date, le plus grand nombre de ceux connus avant la présente édition n'ayant été publiés que longtemps après la mort de l'illustre Florentin.

L'espace qui nous est accordé ne nous permet pas d'analyser tous ces travaux qui, distribués avec une sagacité remarquable par l'éditeur, M. Alberi, sont désormais à la portée facile des amis des sciences.

L'ordre adopté par M. Alberi contribuera efficacement à pla-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cer chez nous Galilée au véritable rang qu'il y aurait toujours occupé si, pour l'apprécier à sa juste valeur, il n'avait pas fallu se livrer à de fatigantes et souvent infructueuses recherches dans les diverses éditions précédemment publiées.

De très-bonnes tables alphabétiques terminent les deux *Dialoghi*, et offrent une très-grande facilité aux lecteurs; mais nous croyons, et le travail auquel nous venons de nous livrer nous la fait vivement désirer, qu'une table méthodique aussi complète que possible serait d'une immense utilité pour permettre de retrouver, surtout dans les cinq volumes consacrés à la correspondance, une foule d'observations ou d'aperçus du plus haut intérêt qui s'y trouvent comme enfouis sans indication suffisante pour les y découvrir.

Ce complément nous semble indispensable et M. Alberi nous a paru un trop juste appréciateur de la valeur de Galilée, trop désireux de faire partager aux autres l'admiration qu'il professe, pour ne pas donner, si les circonstances le lui permettent, cette satisfaction au monde savant.

Terminons par quelques détails sur l'édition en elle-même.

Elle se compose de seize volumes grand in-8°, imprimés avec élégance et une rare correction. Elle comprend les cinq divisions suivantes :

Œuvres astronomiques	5 volumes.	I à V	de la collection.
Correspondance	5	VI à X	
Œuvres physico-mathématiques.	4	XI à XIV	
Œuvres littéraires.	1	XV	
Un volume de supplément . . .		XVI	

Le tome Ier contient le *Dialogo dei Massimi Sistemi*, corrigé de beaucoup d'erreurs de calcul qui se sont glissées dans les précédentes éditions.

Le second volume comprend divers écrits sur le *Système de Copernic*, soit de Galilée lui-même, soit de ses adversaires.

Ce sont d'abord six lettres de Galilée : à Mazzoni (20 mai 1597), au père Castelli (21 déc. 1613) à Monsignor Dini (16 fév. 1615), au même (23 mars 1615); celle à la grande-duchesse Christine de Lorraine (1615) qui, comme celle au père Castelli, fournit les premières armes aux adversaires de Galilée, en attirant sur lui

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'attention du saint office; enfin une lettre à F. Ingoli (printemps de 1624) sur la matière concrète.

Viennent ensuite les *Esercitazioni filosofiche di A. Rocco intorno il dialago dei Massimi Sistemi*, accompagné d'un grand nombre d'annotations inédites de Galilée.

Discorso di L. delle Colombe contro il moto della terra (inédit).

Annotations (inédites) de Galilée sur cet ouvrage.

Discorso sopra il flusso e reflusso di mare, d'après une copie du temps, plus correcte que dans l'édition de Targioni.

Le troisième volume contient les premiers travaux astronomiques de Galilée.

Trattato della sfera o cosmografia, corrigé d'après une copie manuscrite.

Sidereus nuntius avec variantes et additions.

Delle sinuosita e apparenze della luna, série de lettres écrites par Galilée et d'autres sur cette question.

De phœnomenis in orbe lunæ, etc., auctore Cæsare La Galla, avec annotations.

Istoria e dimostrazioni intorno le macchie solari, avec quelques variantes.

Le quatrième comprend les écrits spécialement relatifs aux comètes.

De tribus cometis anni 1618 *disputatio astronomica.*

Discorso delle comete di M. Guiducci, avec additions et variantes inédites de Galilée.

Libra astronomica ac philosophica, auctore E. Sarsio Sigenzsano, avec de très-nombreuses annotations de Galilée.

Il saggiatore, corrigé d'après des annotations de Galilée sur un exemplaire de l'édition originale.

Ratio ponderum librœ ac simbellæ, etc., auctore L. Sarsio Sigenzsano, avec un grand nombre d'annotations de Galilée.

Le cinquième comprend tous les travaux inédits de Galilée et de Reneiri sur les *Satellites de Jupiter*, les travaux de Képler et d'autres sur le même sujet, enfin quelques opuscules complétant la section astronomique de l'édition. On y trouve, en outre, une figure de Saturne avec son anneau, dessinée de la main de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Galilée, au milieu de calculs se rattachant à l'année 1616, d'où on pourrait conclure qu'à cette époque Galilée ne considérait plus Saturne comme composé de trois planètes juxtaposées (*Saturno tricorporeo*), et qu'il aurait fait la découverte de l'anneau quarante ans avant Huyghens.

Dans les cinq volumes de correspondance, celle-ci est divisée en deux sections : la première, comportant les tomes VI et VII, contient les lettres écrites par Galilée; les volumes VIII, IX et X contiennent les lettres à lui adressées ou qui lui sont relatives, à l'exception de quelques-unes qui, pour plus de clarté, ont trouvé place dans la première section.

Cette correspondance forme un total de 1,376 pièces, dont 296 sont de la main de Galilée; 116 sont inédites. 360 sont également inédites parmi les 1,080 qui forment la seconde section.

Chaque lettre est accompagnée, au besoin, de notes explicatives et de l'indication de la source où elle a été puisée; toutes sont classées par ordre chronologique. Chaque volume contient en outre deux tables, l'une chronologique, l'autre alphabétique, et chaque section est terminée par une table générale, indiquant le but principal de chaque lettre.

Nous nous associons complétement au baron de Reumont dans l'appréciation qu'il a faite de cette correspondance. A l'aide de ces documents, on pourra écrire la vie de Galilée avec ses propres paroles et celles de ses amis, qui nous révèlent des choses ignorées jusqu'à présent, mais qui peignent encore l'homme et son siècle sous les couleurs les plus vives et les plus nettes.

C'est dans le tome IX, quatrième de la correspondance, qu'on trouve, sous forme d'appendice, les pièces relatives au procès de Galilée, notamment la correspondance de l'ambassadeur de Toscane à Rome, du 15 août 1632 au 3 décembre 1633. Ces dépêches, au nombre de 33, prouvent tout l'intérêt que la cour de Florence portait à Galilée et la protection dont l'appuyait le grand-duc.

Le onzième volume (premier des œuvres physico-mathématiques) comprend les travaux de Galilée de 1589 à 1607; savoir :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Sermones de motu gravium, œuvre entièrement inédite de la jeunesse de Galilée.

Della scienza meccanica e dell' utilita degl' instrumenti meccanici, suivie des *Proposizioni meccaniche di V. Viviani ad illustrazione delle dottrine di Galileo.*

Trattato di fortificazione.

Le operazioni del compasso geometrico e militare, suivi de la publication de Balthazar Capra, intitulée *Usus et fabrica circini*, etc., avec notes de Galilée, et de la *Difesa contro alle calunnie ed imposture di Baldassar Capra.*

Le douzième volume est entièrement consacré à la question des *corps flottants* et à la polémique soulevée par l'ouvrage de Galilée.

Discorso delle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono.

Lettre de Nozzolini soulevant certaines difficultés à l'occasion de cet ouvrage.

Lettre de Galilée à Nozzolini résolvant ces difficultés.

Discorso apologetico di Lodovico delle Colombe, sur l'ouvrage de Galilée.

Considerazioni di V. di Grazia sur le même ouvrage.

Riposta alle opposizioni di L. delle Colombe e di V. Grazia di del padre B. Castelli, prête-nom de Galilée dans cette discussion.

Le volume est terminé par une note et des expériences de Venturi, publiées par lui dans le premier volume de son recueil publié en 1818.

Le treizième volume est entièrement consacré aux *Dialoghi delle nuove scienze.*

Le quatorzième volume comprend, suivant l'expression de l'éditeur, les *Illustrations* aux *Dialoghi delle nuove scienze* et les petites compositions de Galilée en matières scientifiques, savoir :

Trattato delle resistenze, commencé par Viviani pour illustrer les œuvres de Galilée, ou plus exactement la *seconde journée* des *Dialoghi*, complété et coordonné par le père Guido Grandi.

Note du père Guido Grandi sur le *Trattato del moto naturalmente accelerato compreso nella terza giornata.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Scienza universale delle proporzioni, spiegata da Galileo nella quinta giornata, con nuovo ordine distesa di V. Viviani.

La bilancetta, avec notes de Castelli et de Viviani.

Fragment d'une opinion donnée sur une machine à élever l'eau.

Lettere intorno la stima d'un cavallo.

Parere intorno all' angolo del contatto.

Considerazioni sopra il giuoco dei dadi.

Risposta al problema onde avvenga che l'acqua a chi v'entra appaia primo fredda e poi calda più dell' aria temperata.

Parere di una macchina da pestare.

Pensieri sulla confricazione.

Avvertenza intorno il camminare del' cavallo.

Theoria speculi concavi, sphærici (inédit).

Problemi varii (avec notes inédites).

Pensieri varii.

Lettre de Viviani sur la première application du pendule aux horloges, par Galilée.

Le tome XV contient les œuvres purement littéraires de Galilée.

En voici les titres :

Due lezioni intorno la figura, sito e grandezza del inferno di Dante.

Postille e correzioni all' Orlando furioso (inédit).

Considerazioni alla Gerusalemme liberata.

Deux lettres sur les mérites comparés du Tasse et de l'Arioste

Capitolo in biasimo della toga.

Quatre sonnets.

Esquisse d'une comédie (inédite).

Ce volume est terminé par la vie de Galilée, écrite par Viviani, et une *Bibliografia Galeliana*, dans laquelle sont décrites toutes les éditions des œuvres de Galilée.

Le seizième volume, ou *supplément*, contient un Examen de la *Biographie de Galilée* par Arago, écrit par M. Alberi, directeur de l'édition.

Des lettres inédites écrites à Galilée, au nombre de 180, plus trois lettres inédites de Galilée.

Un appendice relatif au procès de Galilée.

Enfin un travail de M. Alberi, intitulé : *Dell' orologio a pendolo*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

di Galileo Galilei e di due recenti divinazioni del meccanismo da lui imaginato.

Cet opuscule, qui a pour nous un intérêt tout spécial, car nous sommes l'auteur de l'une des deux *divinazioni* dont s'occupe M. Alberi, sera l'objet d'un prochain article dans les *Annales du Conservatoire*. Nos lecteurs y trouveront une nouvelle preuve de la fatalité qui s'est constamment attachée soit à la personne, soit à la mémoire de l'illustre Florentin, et de l'espèce de parti pris de lui dénier toute gloire qu'un rival aurait cru pouvoir s'attribuer.

PARIS. — IMP. DE P.-A. BOURDIER ET C^IE^, 30, RUE MAZARINE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

NOTICE

SUR LE CANAL DU GANGE

PAR M. J. DE LA GOURNERIE.

Sir Proby Cautley, l'habile ingénieur du canal du Gange, vient de publier sur ce grand travail un ouvrage considérable[1]. Je me suis empressé de le lire, parce que j'avais déjà eu l'occasion de m'occuper des travaux d'irrigation entrepris par les Anglais dans l'Hindoustan. La publication de sir Proby Cautley m'a beaucoup intéressé, et j'ai cru être agréable aux lecteurs des *Annales* en leur présentant une courte notice sur le canal auquel cet ingénieur vient d'attacher son nom.

Rôle et importance de l'eau dans l'agriculture du nord de l'Inde.

Le passage suivant de Victor Jacquemont fait comprendre l'importance des arrosements dans la contrée que traverse le canal du Gange : « L'hiver dans le nord de l'Inde est généralement si sec, et la nature très-sablonneuse du sol y rend cette sécheresse si contraire à la végétation, qu'on n'y obtient guère deux récoltes en un an sur le même terrain que par le secours des irrigations. La récolte d'été est toujours assurée par les pluies périodiques du solstice. Mais celle de l'hiver, livrée aux chances des saisons, est si précaire, qu'il y a peu de lieux où on se résigne à ensemencer, à moins que l'on ne puisse arroser. » (*Journal*, 3e vol., p. 333.)

Depuis longtemps on a creusé de nombreux puits dans tous les terrains bas, et on les a pourvus de machines simples pour élever l'eau ; mais la disposition générale du pays permet d'obtenir des irrigations plus régulières et en réalité moins dispendieuses.

[1] *Report on the Ganges canal works : from their commencement until the opening of the canal in* 1854. 2 vol. in-8, 1 vol. in-4, et un atlas grand in-folio. Londres, 1860.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Coup d'œil sur l'orographie et l'hydrographie des provinces du nord de l'Inde.

Les rivières du versant méridional de l'Himalaya parcourent le Népaul ou les territoires de Gurhwar et de Kumaon, et pénètrent sur la vaste plaine de l'Hindoustan, en traversant une ligne de montagnes que les Anglais nomment quelquefois *Sub-Himalayan range*, et que Victor Jacquemont appelle *première chaîne de l'Himalaya*. A ce passage, deux d'entre elles, le Kali et le Karanali, ont des cataractes; les autres, telles que la Jumna, le Gange, le Ramgonga, le Kosila, le Rapti, l'Irrah, le Gunduck et le Kosah, n'ont que de petites chutes ou même de simples rapides. Dès que les rivières ont franchi cette chaîne, on peut dériver une partie de leurs eaux et les amener progressivement sur les faîtes mêmes qui séparent les différents bassins. Il faut généralement traverser des affluents torrentiels; mais cette difficulté, quoique sérieuse, n'est pas au-dessus des ressources de l'art de l'ingénieur.

Canaux des rives de la Jumna.

Les Anglais ont d'abord reconstruit plusieurs canaux anciennement ouverts par les souverains mahométans de l'Inde et depuis longtemps abandonnés; les deux principaux sont sur les rives de la Jumna.

Ils ont leur prise d'eau à une petite distance du point où la rivière traverse la chaîne dont j'ai parlé, et qui, dans cette partie, porte le nom de *collines Séwaliques*. Celui de la rive occidentale rejoint la Jumna à Delhi, après un parcours d'environ 240 kilomètres (voir la carte du Doab, pl. 6). Souvent on lui donne les noms de *canal d'Ali-Murdan* et de *canal de Schah-Nehr*. Une branche importante, que l'on appelle *canal de Feroze-Schah*, fertilise les campagnes de Hansi et de Hissar, et va se perdre dans les sables du désert de Beekaneer, comme le Gagur et tous les cours d'eau qui découlent de l'Himalaya, entre le Sutlej et la Jumna.

Le canal oriental de la Jumna a un tracé à peu près symétrique du précédent. Il avait existé anciennement; mais, comme je le dirai plus loin, on peut douter qu'il ait jamais fonctionné d'une manière régulière. Les Anglais l'ont construit plutôt que réparé de 1824 à 1830.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces canaux ont procuré des avantages considérables, non-seulement pour les cultures d'hiver, mais encore pour les défrichements. Ainsi, dans le district de Hurriana, dont Hansi est la capitale, de riches cultures ont remplacé de maigres pâturages sur tout le territoire arrosé.

Description sommaire du tracé du canal du Gange.

Les grands résultats obtenus par ces canaux ont porté les Anglais à en entreprendre un qui, avec ses différentes branches, pût porter les eaux du Gange sur la plus grande partie du Doab, contrée comprise entre les collines Séwaliques, le Gange et la Jumna. Cet ouvrage est entièrement nouveau. On trouve seulement, sur le territoire qu'il arrose, les ruines du canal de Muhummud-Aboo-Khan, qui devait conduire sur les campagnes de Meerut les eaux d'un vaste réservoir que le Kalli-Nuddi occidental aurait alimenté.

Le canal a sa prise d'eau sur un bras secondaire du Gange, à Myapoor, près la ville de Hurdwar, située au pied des collines Séwaliques (pl. 6, fig. 2). Deux barrages mobiles, l'un sur le canal, l'autre à l'aval de son origine, sur le bras qui passe aux quais mêmes de Hurdwar, permettent de régler l'introduction de l'eau. Le canal se dirige vers l'ouest, traverse le torrent de Rutmoo, dont les eaux sont relevées par un barrage, et arrive après une tranchée à la vallée du Solani, qu'il franchit sur un remblai de quatre kilomètres, avec un pont-aqueduc près la ville de Roorkee (pl. 6, fig. 1). Il se détourne ensuite vers le sud, atteint le faîte qui sépare les bassins de l'Hindun et du Kalli-Nuddi oriental, et, après un parcours de 291 kilomètres, se divise en deux branches qui vont se jeter, l'une dans la Jumna, à quelque distance d'Etawah, l'autre dans le Gange, à Cawnpoor. La longueur totale du tronc commun et des deux branches est de 838 kilomètres. Trois autres branches dites de Futtigurh, de Bolundshuhur et de Koel, compléteront ce vaste système d'irrigation; elles ne sont encore construites que sur de très-petites longueurs près du grand canal, et leur exécution est ajournée.

Pentes du canal.

Je vais maintenant donner quelques détails sur les pentes du canal.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tronc commun.

291 kilomètres réglés à la pente de 0m,2367 par kilomètre (1 pied 3 pouces par mille)	68m,90
14 écluses rachetant ensemble une chute de	33 ,53
Chute totale	102m,43

Branche d'Etawah.

87 kilomètres réglés à la pente de 0m,2367 par kilomètre	20m,59
191 kilomètres à la pente de 0m,1894 (1 pied par mille)	36 ,18
6 écluses, dont 5 accolées pour descendre à la Jumna	14 ,63
Chute	71m,40

Branche de Cawnpoor.

113 kilomètres à la pente de 0m,2367 par kilomètre	26m,75
156 — — 0m,1894 —	29 ,55
6 écluses, dont 5 dans la ville de Cawnpoor	14 ,32
Chute	70m,62

Bases du calcul des quantités d'eau nécessaires et débit du canal.

L'exploitation des canaux de la Jumna a conduit aux propositions suivantes, qui ont servi à déterminer les quantités d'eau nécessaires à l'irrigation :

1° Un débit continu d'un litre par seconde suffit pour l'arrosement complet de 3 hect. 12 ar. 62 cent. (un pied cube pour 350 beegahs).

2° Un canal est dans de bonnes conditions lorsqu'il peut consacrer un débit continu de 140 lit. 76 c. par kilomètre et par seconde pour l'irrigation des terrains voisins (800 pieds cubes pour 100 milles).

3° Eu égard aux diverses destinations des terrains et à la variété des cultures, un territoire est suffisamment arrosé quand il reçoit l'eau nécessaire à l'irrigation complète du tiers de sa superficie.

Les 140 lit. 76 c. qui sont dépensés par kilomètre suffisent, d'après la première proposition, à l'arrosement complet de 404 hect. 28 ares et à l'arrosement général de 1,320 hect. 85 ares. Un canal de ce débit peut donc distribuer de l'eau en quantité suffisante à une zone d'une largeur moyenne de 6,604 m. sur chacune de ses rives.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Sur les 44 premiers kilomètres de son parcours, le canal ne fournit pas d'eau pour l'irrigation, parce qu'il est ouvert ou dans des terrains bas ou humides, ou en tranchée.

Sir Proby Cautley a admis qu'un débit de $7^{mc},8$ (250 pieds cubes) par seconde devait rester libre jusqu'à l'extrémité de chaque branche pour assurer le service de la navigation. Les pertes de divers genres sont implicitement comprises dans les nombres qui précèdent.

D'après ces bases, on a calculé pour les différentes parties du canal le débit, et ensuite les sections, eu égard aux pentes que j'ai fait connaître. La quantité d'eau admise à l'origine près de Hurdwar est de $191^{mc},13$, sur lesquels $64^{m},56$ (6,750 pieds cubes et 2,280 pieds cubes) sont destinés aux branches non encore construites. Des rigoles de fuite, établies de distance en distance, portent aux ruisseaux voisins l'eau en excès, qui, d'après ce que je viens de dire, est toujours considérable.

Ouvrages pour la navigation.

Le canal est disposé pour servir à la navigation sur toute sa longueur; il établit ainsi une ligne de communication entre les deux rivières qui bordent le Doab, et il remplit entre Hurdwar et Cawnpoor le rôle de canal latéral, offrant une voie sûre et facile en remplacement du Gange, dont le parcours est rendu très-pénible, dans cette partie, par des bas-fonds et des rapides. Les écluses sont placées dans des dérivations qui se prolongent parallèlement au canal, assez loin du barrage, pour qu'à leurs extrémités le courant ne soit pas influencé par la chute. Afin d'empêcher les bateliers indiens, dont l'incurie est extrême, de se laisser entraîner avec leurs radeaux ou leurs embarcations jusque dans les pertuis, on a barré le canal au-dessous de l'origine de chaque dérivation par un pont de bateaux, qui établit, d'ailleurs, entre les rives une communication fort utile.

Les collines Séwaliques et les montagnes voisines sont en grande partie couvertes d'arbres dont l'exploitation forme une branche de commerce déjà importante, et susceptible de prendre de grands développements [1]. Après les avoir grossièrement équarris, on les réunit en trains ou radeaux, et on les conduit par le flot-

[1] L'arbre forestier des collines Séwaliques est le *Shorea robusta*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tage aux différentes villes du Gange et de ses affluents, où l'on obtient ainsi du bois de construction à des prix modérés. Les canaux construits sur les rives de la Jumna ont donné un débouché précieux aux forêts du Deyra, car la navigation est assez mauvaise sur la rivière, surtout à l'amont de Delhi. L'ouverture du canal du Gange devait naturellement amener des résultats analogues, et même plus considérables, parce que, à l'aval de Cawnpoor, la navigation se fait en général dans de bonnes conditions.

La largeur des trains, qui est déterminée par la longueur des pièces de bois, s'élève au plus à 4m,30; celle des bateaux du pays n'atteint pas ce chiffre. D'après cela, sir Proby Cautley a fixé la largeur des sas à 4m,88 (16 pieds); leur longueur, qui est de 32m,92 (108 pieds), suffit pour tous les bateaux, et permet aux trains ordinaires de parcourir le canal sans être décomposés. La chute normale des écluses est de 2m,74 (9 pieds); mais cette grandeur a été réduite pour plusieurs d'entre elles par suite de circonstances locales.

Les écluses se rapprochent du type de celles du canal de Pavie, dont M. Nadault de Buffon a donné le dessin à la XXVe planche de son *Traité des irrigations*. Elles ont, comme ces écluses, une estacade transversale en bois, à l'aval du mur de chute, pour tenir les bateaux en dehors de la cataracte et briser son effort.

Pour les bourdonnières et les autres pierres importantes des écluses, on a employé des consoles de grès enlevées aux ruines des palais de l'ancienne Delhi [1].

Les dérivations sont établies pour un tirant d'eau de 1m,83 (6 pieds). La profondeur est souvent plus grande sur le canal, suivant la quantité d'eau qui doit être débitée.

On a établi des moulins près de quelques barrages pour utiliser les chutes.

Il était facile de prévoir que la navigation serait très-active dans les parties du canal voisines du Gange et de la Jumna; sir Proby Cautley a construit, en conséquence, à l'extrémité de chaque branche une double ligne d'écluses.

[1] On se rappelle que l'ancienne Delhi, prise et ruinée par Tamerlan, est abandonnée, et que ses ruines couvrent un espace assez considérable près de la nouvelle ville construite seulement dans le dix-septième siècle par Schah-Djihan.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pont-aqueduc de Roorkee et fondations par massifs à plusieurs puits.

Le pont-aqueduc de Roorkee est l'ouvrage d'art le plus considérable ; il a quinze arches de 15m,24 (50 pieds) d'ouverture. Sa cuvette est divisée longitudinalement, par un bajoyer, en deux canaux de 23m,91 (85 pieds) de largeur (pl. 7, fig. 1 et 2). Trois piles avec rainures placées aux extrémités de chaque canal permettent d'établir facilement des batardeaux. On peut ainsi réparer successivement les deux parties du pont-aqueduc sans interrompre la navigation ni les irrigations. Les fondations de ce grand ouvrage présentent quelques détails intéressants.

On connaît la méthode de fondation par puits que M. Arago a décrite dans le douzième chapitre de sa *Notice sur les puits forés*. Elle consiste à placer sur le sol, qui ne doit être recouvert que d'une faible couche d'eau, des patins en bois de forme annulaire, et à construire au-dessus de chacun d'eux la maçonnerie d'un puits que l'on fait descendre à l'aide d'un draguage intérieur, avec ou sans épuisement. Quand cette construction a atteint un sol suffisamment résistant, et sur lequel les affouillements ne sont pas à craindre, on remplit la cavité intérieure de béton par les procédés et avec les soins ordinaires. C'est à cette méthode que se rapporte l'établissement, par M. Brunel, des deux immenses puits dans lesquels sont placés les escaliers en hélice qui donnent accès au tunnel sous la Tamise.

Ce procédé a été plusieurs fois employé en France. L'une de ses plus heureuses applications est la fondation des parties en maçonnerie des jetées de Saint-Nazaire, par M. A. Wattier, qui m'a remplacé dans la direction des travaux de ce port[1].

Les fondations par puits sont employées aux Indes depuis très-longtemps ; elles conviennent bien pour les terrains humides qui sont sur les bords des grandes rivières et pour les lits des torrents. Les Anglais les ont modifiées d'une manière souvent avantageuse en réunissant les maçonneries de plusieurs puits. Au

[1] Ayant été chargé pendant trois années, comme ingénieur ordinaire, des travaux du port de Saint-Nazaire, sous les ordres de M. l'ingénieur en chef Jégou, avec qui j'avais rédigé les projets, je crois pouvoir revendiquer ici la part que j'ai prise à ce grand ouvrage. Je tiens d'autant plus à la faire connaître, qu'elle a été complétement oubliée dans plusieurs articles publiés sur Saint-Nazaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

canal oriental de la Jumna, le colonel Colvin, inventeur de ce système, a descendu d'une seule pièce des fondations de culée avec leurs murs en aile. Les massifs ou blocs *colviniens* sont plus faciles à conduire que des puits isolés, mais il ne faut pas que les vides soient trop écartés; une distance de 0m,91 (3 pieds) de l'un à l'autre est considérée comme un maximum.

J'ai déjà eu l'occasion de parler des fondations du pont-aqueduc de Roorkee dans mon rapport sur les travaux publics, à l'Exposition de 1855; mais, comme je n'avais pu joindre des dessins, je crois devoir revenir sur ce sujet.

Une pile est fondée sur huit massifs contenant chacun quatre puits octogonaux (pl. 7, fig. 3). Le diamètre des cylindres inscrits est de 1m,67 (5 pieds 6 pouces). Les puits sont à 2m,59 (8 pieds 6 pouces) d'axe en axe. Les blocs sont espacés de 0m,91 (3 pieds); ils présentent en plan un rectangle de 6m,71 sur 6m,10 (22 pieds sur 20 pieds). Un massif à deux puits est placé en prolongement pour chaque arrière-bec ou avant-bec. Les blocs des culées ont 7m,92 sur 6m,10 (26 pieds sur 20 pieds). Enfin, pour empêcher les affouillements, deux lignes de massifs à deux puits, aussi rapprochés que possible, comprennent entre elles les empierrements du radier.

Tous les massifs, au nombre de 288, ont été descendus à 6m,10 (20 pieds) de profondeur sous le lit de la rivière à l'aide d'un draguage sans épuisement. Pour faciliter l'abaissement, on recouvrait chacun d'eux d'une plate-forme à contre-fiches que l'on chargeait de sable [1].

On a adopté douze types différents pour ces blocs de maçonnerie. Je donne aux figures 8 et 9 (pl. 7) le plan d'un massif principal des culées, et celui d'un massif des lignes de garde du radier. La figure 7 est la coupe transversale d'un massif d'avant-bec avec la plate-forme de charge.

Ces procédés sont bien loin des belles fondations à air comprimé des ponts de Rochester, Saltash, Lyon, Szegedin, Kehl et Bordeaux. Ils appartiennent sans doute à un art moins avancé, mais ils présentent cependant beaucoup d'intérêt; on peut les

[1] On trouve dans le troisième volume de l'ouvrage de sir Proby Cautley un mémoire détaillé du capitaine Goodwin, ingénieur résidant, sur les soins et les dépenses qu'exige la descente des massifs à plusieurs puits.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

employer avec grand avantage dans des circonstances où il serait impossible de faire les dépenses que nécessitent les différents systèmes où l'on doit faire intervenir une pression pneumatique.

Ghats ou escaliers permettant de descendre dans l'eau pour les ablutions religieuses.

En plusieurs points du canal, sir Proby Cautley a établi des *ghats* ou *ghauts;* mais, avant de donner quelques détails sur ces constructions, il est nécessaire de dire en quoi elles consistent et quel est leur but. Je laisserai parler Jacquemont. Le passage suivant est extrait de la relation de son voyage sur l'Hougly, entre Calcutta et Chandernagor. « Cependant le soleil s'était levé, et sur les ghauts qui descendent au bord du fleuve je voyais la foule des Hindous faire leurs ablutions du matin. Je m'approchai de la rive pour observer ces groupes pittoresques. Quelques-uns de ces ghauts construits nouvellement sont d'un style grec assez élégant; c'est un large escalier assis sur les bords du fleuve, et dont les marches descendent jusqu'au niveau des plus basses eaux. Au sommet est une sorte de péristyle porté sur des colonnes légères, et qui offre un abri contre la pluie et le soleil. » (*Journal*, 1er vol., p. 238.)

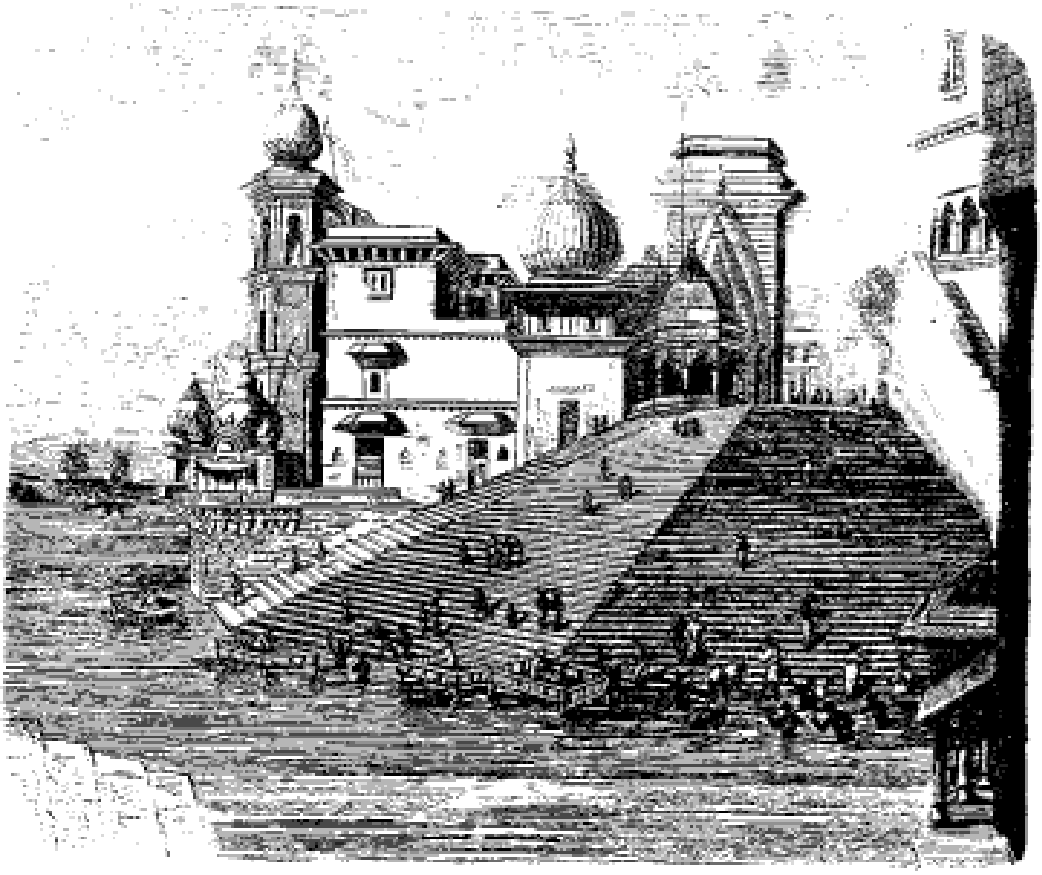
Plus loin, Jacquemont dit en parlant des ghats établis à Bénarès, où le Gange a une grande profondeur : « Les dévots Hindous se noieraient par centaines tous les matins, s'ils n'avaient pas ces marches solides pour entrer dans l'eau, et la piété et l'orgueil en ont couvert la rive du fleuve. Les gens riches ont, entre ces populeux parterres de baigneurs et de baigneuses, des loges grillées, où ils descendent de leur palanquin dans l'eau courante. C'est une des propriétés les plus aristocratiques que l'on puisse avoir à Bénarès. » (1er vol., p. 349.)

Près de quelques ghats « sont des brahmanes sur une aire de terre battue et enduite chaque jour de fumier de vache. Ils font dire leurs prières aux Hindous qui viennent s'y purifier, et les barbouillent de couleur sur le front et sur les tempes, chacun selon sa caste. » (3e vol., p. 339.)

Le Gange est sacré pour les Hindous, surtout près du point où, traversant la chaîne des collines Séwaliques, il verse sur le territoire de l'Hindoustan les eaux vives des neiges de l'Himalaya. Les pèlerins affluent à Hurdwar pendant le mois de chaitra, consacré aux purifications; plusieurs ghats sont établis pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

eux dans cette ville; le plus considérable, celui de Harrika-Pairi, appelé aussi escalier de Vischnou, est considéré comme le véritable emplacement des bains religieux [1]. Les purifications commencent au moment où le soleil entre dans le signe de Mina (les Poissons), et comme la priorité du bain est d'une grande importance au point de vue religieux, à l'instant précis fixé par les astronomes indiens, que ce soit le jour ou la nuit, une foule nombreuse se précipite à l'eau. Des pèlerins ont été quelquefois étouffés ou noyés dans le désordre qui en résulte. En 1819, l'enthousiasme insensé de ces fanatiques amena un tel tumulte que quatre cent trente personnes perdirent la vie; dans le nombre se trouvaient plusieurs cipayes mis en faction pour maintenir le bon ordre. Cette catastrophe détermina l'administration anglaise à faire reconstruire l'escalier de Vischnou en lui donnant plus d'étendue : il présente maintenant soixante marches solides de plus de 30 mètres (100 pieds) de développement au niveau ordinaire des eaux.



GRAND GHAT DE HURDWAR.

[1] *Orthodox place for bathing.* ED. THORNTON. (*A gazetteer of the territories under the government of the East-India Company.*) Les détails que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les gens sages et riches évitent les foules et entrent dans le fleuve entre deux brahmanes, qui les soutiennent, les dirigent et les immergent avec les prières et les cérémonies prescrites; mais en général les pèlerins plongent sans être assistés, hommes et femmes confondus ensemble; ils se succèdent pendant tout le mois de chaitra, et leur affluence redouble à la fête de purbi, qui le termine.

Chaque douzième année arrive la Combh-Mela, grande fête religieuse qui dure tout le temps des purifications, et attire à Hurdwar un concours exceptionnel. Hardwike, qui avait assisté à la Combh-Mela de 1796, évalue à deux millions et demi le nombre des pèlerins, et Raper dit, en parlant de celle de 1808, qu'en s'arrêtant au nombre de deux millions on reste au-dessous de la vérité.

Amélioration des ghats de Hurdwar, et construction de nouveaux ghats.

Il était nécessaire de combiner les travaux du canal à Hurdwar de manière à donner aux baigneurs de grandes commodités. Les anciens ghats présentaient quelque danger par suite de l'inégalité de la profondeur de l'eau; l'établissement du canal dans le bras de Hudwar a permis de faire disparaître ce grave inconvénient, et une grille en fer, qui doit être placée dans le fleuve parallèlement à la rive et à quarante-cinq mètres d'elle (150 p.), empêchera les imprudents d'être entraînés par les eaux. Un nouveau ghat de 191 mètres (417 p.) de longueur a été établi près le barrage régulateur de Myapoor, à l'origine même du canal proprement dit. Les terres, qui sont fort élevées en cet endroit, sont soutenues derrière la plate-forme supérieure du ghat par un mur dans lequel se trouvent encastrés des bytuks qui servent de contre-forts.

Un bytuk est une petite tour en maçonnerie dans laquelle un faquir [1] se tient à l'époque des purifications, recevant les prières

je donne sur les ghats de Hurdwar sont tirés en grande partie de cet ouvrage. La vue est une vignette du premier volume de sir Proby Cautley.

Il y a peu de fixité dans l'orthographe des noms indiens. Quelques auteurs appellent l'escalier de Vischnou ghat de *Pyree* ou de *Pyri*.

[1] Le mot *faquir* désigne spécialement les moines mendiants de la religion de Mahomet; mais on l'applique aussi à ceux du brahmanisme. (Voir, dans les *Voyages de Bernier*, la lettre de cet auteur à M. Chapelain.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et provoquant les aumônes. La route de Kunhkul à Hurdwar est bordée de bytuks octogonaux ou carrés de 2m,13 (7 p.) de hauteur environ. Chacun d'eux occupe le centre d'une plate-forme en maçonnerie à laquelle on arrive par des degrés. Les saints personnages qui les occupent se dispersent après le purbi, mais ils reviennent chaque année avec leurs vêtements en lambeaux, leurs cheveux en désordre et leur aspect repoussant.

Les bytuks établis par sir Proby Cautley au ghat voisin de Myapoor rappellent dans leurs dispositions générales ceux de la route de Kunhkul à Hurdwar. Il y en a 17; leur largeur est de 1m,83 c. (6 p.). L'esplanade, que supporte le mur dont ils forment les contre-forts, a été décorée d'arbres religieux. Les Anglais ont offert toute cette construction aux Hindous qui visitent Hurdwar et son territoire sacré, comme une expiation pour les grandes libertés qu'ils se permettaient avec le Gange.

Des ghats plus ou moins considérables sont établis sur le canal près de chaque centre de population. La branche de Cawnpoor rejoint le Gange au milieu d'un ghat construit avec luxe et accompagné de kiosques élégants. On voit sur la figure 10 (pl. 7) la coupe transversale d'un ghat qui doit s'étendre sur toute la longueur du remblai contigu au pont-aqueduc de Roorkee, c'est-à-dire sur plus de quatre kilomètres (deux milles et demi). Les maçonneries sont évidées et remplies de terre. Des murs de refend, espacés de 4m,57 (15 pieds) les uns des autres, et élevés jusqu'à la naissance de l'arc rampant, relient les murs longitudinaux, et forment de puissants contre-forts. Cette construction importante, qui protégera efficacement contre l'action du courant les levées qui servent de berges, n'était pas terminée quand l'eau a été mise dans le canal. Le bas prix du transport des matériaux par bateaux permet de poursuivre son achèvement avec une dépense relativement faible.

Nature de la propriété foncière dans les Indes.

Je dois maintenant parler de l'irrigation proprement dite; mais, pour bien comprendre les mesures administratives prises à cet égard, il est nécessaire de connaître, au moins d'une manière sommaire, l'état de la propriété dans l'Inde. Je laisserai parler Jacquemont.

« Le gouvernement dans l'Inde dispose à son gré du produit

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de la terre. L'impôt territorial, c'est la rente de la terre tout entière, au lieu d'en être, comme en Europe, une partie; et cette rente ou impôt, comme on voudra l'appeler, c'est le gouvernement qui la détermine, qui l'élève ou l'abaisse selon les offres des fermiers. Il est donc évident que le gouvernement exerce sur le sol tous les droits que la propriété seule confère chez nous, et qu'il doit en être regardé comme l'unique possesseur. . . . . .

« L'établissement et le mode de collection de l'impôt foncier varient considérablement dans les différentes provinces de l'Inde. Ainsi, lord Cornwallis abandonna réellement la propriété des terres du Bengale à ceux qui en étaient les fermiers alors, quand il leur en abandonna le fermage à perpétuité aux conditions existantes, et ne se réserva le droit de le leur retirer que pour la non-exécution de ces conditions. Au Bengale, la terre a des maîtres, à peu près comme elle en a en Europe; ils ont même sur les propriétaires fonciers européens cet avantage, que l'impôt établi sur leurs terres est déclaré immuable par l'État.

« Dans la plupart des autres provinces de l'empire anglais, le collecteur de chaque district afferme chaque village ou chaque canton au plus offrant et dernier enchérisseur, en exigeant toutefois du contractant des garanties de payement. S'il ne paye point, le collecteur saisit ses garanties, et même sa personne, et cherche un autre fermier. La plus grande partie du territoire anglais est soumise à cette règle. Enfin, dans la province de Delhi, c'est directement avec les cultivateurs que le gouvernement traite de la rente de la terre. Le collecteur de chaque district connaît tant bien que mal la surface arable de chaque village, soit par d'anciennes traditions de l'administration mogole, soit par les opérations très-exactes du cadastre qui se poursuit dans toutes les provinces anglaises. Il calcule leur produit brut total, estime sa valeur moyenne, retranche du total les frais de culture qui sont assez faciles à déterminer par approximation, et du net ainsi évalué il ne doit laisser au paysan qu'un sixième. » (3e vol., p. 334 et suiv.)

J'ajouterai que les fermes ne sont pas toujours données aux enchères; on traite quelquefois par privilége avec les Indiens qui ont rempli dans les troupes indigènes les fonctions de *soubadar* ou officier natif. Les fermiers de l'État sont appelés zémindars.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Canaux et rigoles de distribution. Exploitation du canal.

L'eau est distribuée aux terres voisines du canal du Gange par l'intermédiaire de canaux secondaires ou rajbuhas. Les passages suivants sont une traduction libre et *abrégée* des premières pages du quatrième chapitre de la seconde partie de l'ouvrage de sir Proby Cautley.

« Le mot *rajbuha* est, de tous ceux que nous employons dans la pratique de l'irrigation, le seul qui nous ait été laissé par nos prédécesseurs indigènes. Le pays, arrosé par les canaux de Delhi et de Hansi, est sillonné par de longues lignes de remblais, ou levées, dont l'origine était à peine connue lorsque les ingénieurs anglais ont visité les canaux abandonnés depuis près d'un siècle, et à moitié comblés, dans le but de les rétablir. Il était difficile de reconnaître dans ces longues levées les restes d'anciens canaux secondaires; elles résultent cependant, sans aucun doute, de l'accumulation des dépôts des curages. La nécessité de retirer constamment des canaux le sable et la vase était, suivant toute probabilité, une aussi grande cause de dépense dans ce temps-là qu'à présent. Quelques canaux secondaires récemment abandonnés, après un petit nombre d'années de service, ont laissé des traces semblables à celles des anciennes levées ou rajbuhas.

« C'est sur la non-existence de ces traces dans le pays que traverse le canal oriental de la Jumna que repose la supposition que ce canal, dans son ancien état, ou n'a pas servi du tout, ou n'a été utilisé que pour des irrigations locales et partielles. Les levées sont nombreuses et très-apparentes sur la rive occidentale de la Jumna, tandis qu'elles sont tout à fait inconnues à l'orient de cette rivière [1].

« Nous avons conservé le mot de rajbuha, mais en particularisant peut-être sa signification.

« Pour faire comprendre le rôle des rajbuhas dans le système général d'irrigation adopté dans les provinces du nord-ouest de

[1] « D'après les traditions, l'ouverture du canal oriental de la Jumna par Zabitha-Khan a occasionné de graves dommages aux villes de Bebut et de Saharunpoor. Il est possible que cette circonstance et la difficulté de maintenir un canal traversé par plusieurs torrents considérables aient fait abandonner les ouvrages. »

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'Inde, nous prendrons pour terme de comparaison la distribution d'eau d'une ville. L'eau est réunie dans des réservoirs, et de là dirigée jusqu'aux extrémités de la ville par des conduites principales sur lesquelles prennent naissance des conduites secondaires qui correspondent aux diverses rues. Enfin des tuyaux de service portent l'eau aux maisons.

« Dans notre système d'irrigation, le tronc et les grandes branches du canal jouent le rôle de réservoir ; les rajbuhas correspondent aux conduites secondaires et les rigoles de village aux tuyaux de service. Les rajbuhas sont donc les intermédiaires entre le canal et les rigoles, et c'est sur eux seulement qu'est établie la distribution. Le succès de cette distribution dépend de leur tracé et des dispositions de leur prise d'eau, eu égard non-seulement au débit qu'ils doivent avoir, mais encore au terrain qu'ils sont destinés à arroser. Les rajbuhas sont des propriétés privées ; leur construction est aux frais des usagers ; le gouvernement s'est seulement réservé le droit de veiller à leur entretien et à leur conservation...

« Lorsque l'on a terminé l'étude complète d'un rajbuha, comprenant son tracé, l'évaluation de la dépense et le périmètre des terrains qu'il doit arroser, on traite pour son établissement avec les zémindars ; des avances leur sont faites pour la construction, et lorsque le rajbuha est terminé et reçu, le montant total des avances est progressivement remboursé suivant les conditions du traité. Le payement s'ajoute aux droits pour l'usage de l'eau, et à la rente de la terre.

« On n'accorde de l'eau aux zémindars que lorsqu'ils ont accepté un traité.

« Cette méthode a fait disparaître pour l'administration du canal la difficulté de régler la distribution de l'eau aux différents usagers. »

J'ai cru devoir rapporter ce passage d'une manière presque complète, parce qu'il y a de l'intérêt à connaître les diverses solutions qu'a reçues le problème difficile de l'exploitation d'un canal d'arrosement ; mais en Europe l'organisation de la propriété rend la question plus compliquée. Les zémindars étant dans une complète dépendance de l'administration anglaise, l'aliénation des rajbuhas ne peut pas entraîner les inconvénients qu'elle aurait peut-être dans nos pays. Il faut, d'ailleurs, remar-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

quer que quand sir Proby Cautley dit que les rajbuhas sont des propriétés privées (*the rajbuhas are private property*), il faut nécessairement comprendre que leur jouissance est attachée aux fermes des zémindars sans rétribution spéciale. Il ne paraît pas possible que cette phrase signifie autre chose.

Jusqu'à la construction des branches de Futtigurh, de Bolundshuhur et de Koel, le canal disposera d'un excédant d'eau énorme, et cette circonstance doit nécessairement faciliter les transactions avec les zémindars.

Les rajbuhas ont généralement leur prise d'eau à proximité des ponts et des maisons de garde. Après s'être éloignés obliquement ils se recourbent et suivent une direction à peu près parallèle au canal. Pour ne pas être obligé de leur donner une grande section ou une forte pente, on a établi de distance en distance des rigoles alimentaires (*feeders rajbuhas*), qui leur amènent de nouvelles eaux du canal.

Un rajbuha a, au minimum, 1m,83 (6 pieds) de largeur à sa prise d'eau; son seuil est élevé de 0m,30 (1 pied) au-dessus du plafond du canal.

Exploitation des anciens canaux.

Sur les canaux de l'Inde construits avant celui du Gange, les droits d'arrosement sont réglés de quatre manières différentes :

1° D'après la surface arrosée et le mode de culture, sans tenir compte de la quantité d'eau fournie;

2° Par des traités annuels autorisant la mise en activité des machines qui sont quelquefois nécessaires pour élever l'eau;

3° En raison de l'ouverture des prises d'eau;

4° Par des contrats passés pour un certain nombre d'années, dans lesquels les usagers s'engagent à payer un prix déterminé pour une rigole dont l'origine a des dimensions fixées.

Ce dernier système a pris une grande extension sur le canal occidental de la Jumna; beaucoup de contrats de rigoles ont été signés pour une période de vingt ans.

Dépense des travaux.

Les travaux étaient estimés 35,543,000 fr. (141 laks de roupies); mais la dépense réelle dépasse 41,393,000 fr. (165 laks). Dans ce

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chiffre ne sont comprises ni la construction des rajbuhas, qui a été faite aux frais des zémindars, ni la *rémission* de la rente de la terre pour les terrains occupés. La traversée du Solani a coûté 7,362,000 fr. (30 laks). En donnant ces chiffres, je dois ajouter que les dépenses faites aux Indes sont peu comparables à celles d'Europe, eu égard au bas prix de la main-d'œuvre. Au canal du Gange, les maçons gagnaient de 32 à 87 cent. par jour, et les terrassiers de 29 à 32 cent. (de 3 à 6 annas, et de 2 à 3 annas).

Importance actuelle de Roorkee.

Roorkee a été choisi pour point central des opérations du canal du Gange; un atelier de construction de machines et une fonderie y ont été établis, et ce village est devenu une *station européenne* fort importante. M. Thomasson, gouverneur des provinces du nord-ouest, y a fondé pour les Anglais et les indigènes une école industrielle qui contribue à sa prospérité, et qui a déjà donné de bons résultats; des surveillants natifs formés dans cet établissement ont été employés avec avantage aux travaux du canal.

Je termine cette notice, quoiqu'elle soit bien incomplète; mais je n'ai pu avoir la pensée de faire connaître en quelques pages la plus vaste irrigation qui existe; j'ai seulement voulu signaler aux ingénieurs l'ouvrage remarquable de sir Proby Cautley, et donner une idée de la grandeur des travaux que les Anglais exécutent dans les Indes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

RAPPORT

SUR LE

PROCÉDÉ D'EXTRACTION DU SUCRE DE BETTERAVES

DE MM. POSSOZ ET PÉRIER,

PAR MM. MORIN ET PAYEN,

MEMBRES DE L'INSTITUT ET DE LA SOCIÉTÉ IMPÉRIALE D'AGRICULTURE DE FRANCE.

Nous avons été chargés, MM. Morin et moi, par la Société impériale et centrale d'agriculture, d'examiner le procédé d'extraction du sucre indigène que MM. Possoz et Périer nous ont fait connaître, et d'en rendre compte.

Afin de remplir cette mission, nous nous sommes rendus à l'usine de Flavy-le-Martel, chez M. Périer, où nous avons suivi toutes les opérations faites en grand et basées sur l'application de ce nouveau moyen.

Nous avons aussi pris connaissance d'une installation établie sur les mêmes bases, avec quelques simplifications, chez M. Linard, fabricant de sucre à Auffay, département de la Seine-Inférieure.

Nous avons en outre soumis à un examen attentif dans le laboratoire les principales phases de ces opérations, afin d'en mieux apprécier et préciser les résultats.

Le plan que nous annexons à ce rapport permettra de suivre et de bien comprendre les opérations successives qui sont pratiquées actuellement dans les conditions les plus simples.

Après que les betteraves ont été lavées, réduites en pulpe par le râpage, et que le jus en est obtenu, soit par la méthode de lévigation Schutzembach (encore usitée chez M. Périer), soit par la presse, on procède à la défécation.

A cet effet on ajoute dans le jus, chauffé entre 50 et 60 degrés par la vapeur mise en contact avec le fond de la chaudière au moyen d'un double fond, 0,003 de chaux préalablement hydratée [1].

[1] Pour peu que l'on ait à craindre un commencement d'altération spontanée du jus froid, on y délaye immédiatement 1/2 ou 1 millième de chaux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On laisse la température du mélange s'élever jusqu'à l'ébullition; puis, interrompant la communication de la chaleur, on soutire au clair le liquide interposé entre l'écume surnageante et le dépôt au fond du vase : réalisant ainsi, jusque-là, les conditions ordinaires de l'ancien système de défécation.

Les écumes et le dépôt soutirés ensuite sont réunis dans des sacs en toile pelucheuse de coton, puis graduellement pressés, afin d'en extraire le plus possible du jus liquide et de réserver pour l'engrais des terres le marc calcaire pressé, qui contient les matières albuminoïdes combinées à la chaux, outre les substances minérales et organiques insolubles en suspension dans le jus, primitivement trouble.

Le jus limpide provenant du soutirage des chaudières à déféquer s'écoule directement dans les chaudières dites de *carbonatation*, où il arrive très-chaud, et peut d'ailleurs être réchauffé (sans porter sa température jusqu'à 100°) à l'aide du double fond à circulation de vapeur dont ces dernières sont munies.

On ajoute dans ce liquide clair 0,04 de chaux, et dès que le mélange est opéré, on commence l'opération qui a pour objet la séparation de la chaux, et qu'on nomme la saturation, en faisant affluer dans le liquide un courant d'acide carbonique gazeux.

Cet acide est économiquement obtenu à Flavy en l'empruntant aux gaz perdus de la cheminée de l'usine.

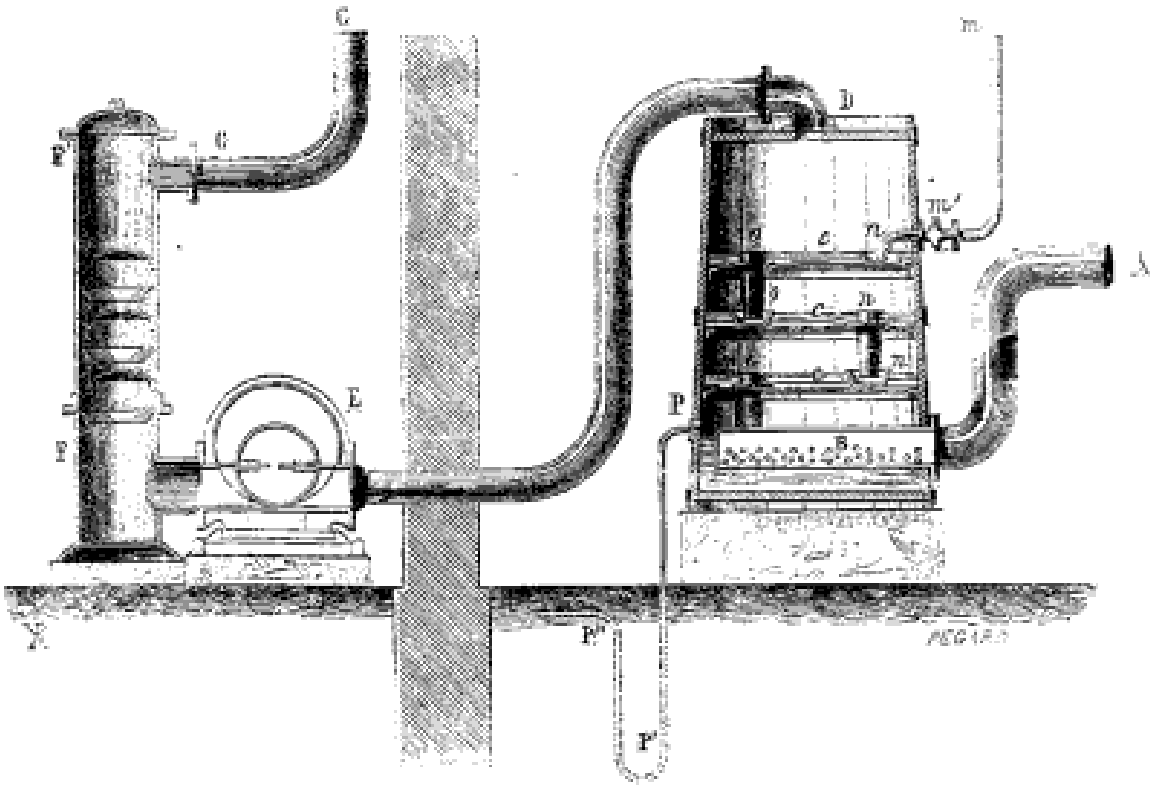
On peut se procurer l'acide carbonique plus économiquement encore et plus pur qu'en l'empruntant à la cheminée, en décomposant dans un four à chaux le carbonate calcaire par la chaleur de la combustion du coke, et aspirant les produits gazeux pour les refouler à volonté et les distribuer dans les jus déféqués [1].

En tout cas, le gaz, aspiré et refoulé par une pompe rotative

[1] La chaux, résidu de cette opération, suffit (sans notable excès) pour le traitement des jus déféqués par les trois additions de chaux. Ce moyen de produire l'acide carbonique, indiqué dans la 1re édition et les suivantes du *Précis de chimie industrielle*, est employé avec succès en Allemagne, notamment dans la grande usine de M. Robert-Florent à Sellovitz, comme chez M. Linard, d'Auffay; nous donnerons dans le numéro prochain la description d'une disposition nouvelle adoptée par MM. Possoz et Périer pour la production simultanée de la chaux et du gaz acide carbonique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

analogue à la pompe américaine ou de Beels E, doit être refroidi, puis épuré à l'aide des lavages, en passant d'abord dans une colonne ou cuve laveuse BcD au travers de 3, 4 ou 5 diaphragmes horizontaux *c*, *c*, *c*, couverts de 10 cent. d'eau et percés de trous de 1 cent. de diamètre, dont la somme des sections est égale à la section du tube principal d'arrivée et de sortie du gaz A, B, D.



Entre les diaphragmes sont pratiqués des *trous d'homme*, afin de permettre le montage et les nettoyages; des *lunettes* sont établies dans les mêmes intervalles pour laisser observer la marche du gaz. L'eau destinée au refroidissement et au lavage arrive d'un réservoir supérieur par le tube *m* et le robinet *m'* qui la fait couler dans la cuvette *n* du premier diaphragme; l'eau maintenue par le gaz qui la traverse s'écoule dans un tube *trop-plein o*, s'étend sur le deuxième diaphragme, passe par le deuxièm tube trop-plein *n n* sur le troisième diaphragme, d'où elle s'écoule par le dernier tube vertical *o* dans la partie inférieure de la cuve.

Cette eau, chargée de quelques parcelles de cendres, de gaz condensables, et graduellement échauffée par les gaz, passe d'un diaphragme à l'autre par les tubes verticaux plongeant dans de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

petites cuvettes à la Déparcieux et sort de la colonne par un tube trop-plein P P' P'' en syphon renversé [1].

Dans son trajet, le gaz acide carbonique rencontre un gros tube vertical à chicanes FF qui arrêtent au passage les gouttelettes d'eau et les poussières qu'elles entraînent. Il parvient par le tube G, ainsi épuré, des corps étrangers (sauf les gaz non condensables, oxygène, azote, etc.), alternativement dans l'une des quatre chaudières couvertes d'une hotte surbaissée.

On laisse ainsi affluer dans la chaudière l'acide carbonique jusqu'au moment où le jus ne contient plus que 0,001 à 0,002 de chaux [2], afin d'éviter qu'un excès, même minime, d'acide carbonique ne dissolve simultanément une partie du carbonate de chaux et des matières colorantes ou colorables entraînées avec le précipité calcaire.

Celle des 4 chaudières dans laquelle la première carbonatation est ainsi faite à la température de 60 à 65 degrés, se vide directement dans les bacs à déposer placés devant et au-dessous de chacune de ces chaudières.

Le dépôt retiré par un robinet de fond est mis dans des sacs et pressé, afin d'en extraire le liquide et de le réunir au jus décanté [3].

Tout ce jus clair de la première carbonatation est envoyé par un monte-jus dans trois autres chaudières fonctionnant à tour de rôle pour effectuer la troisième addition de chaux, 0,005, et une deuxième carbonatation, complète cette fois. On y dirige à cet effet un excès d'acide carbonique, de façon qu'un petit échantillon de ce liquide filtré trouble l'eau de chaux. On porte

[1] Il faut employer environ 40 litres d'eau froide à 12° environ pour laver et refroidir dans le même temps 60 mètres cubes de gaz qui arrivent dans la colonne à 300°, tandis que l'eau en sort à 55°.

[2] Ce que l'on reconnaît aisément à la propriété que présente le liquide trouble de laisser former promptement un dépôt en laissant la solution limpide, quelques secondes après en avoir pris un échantillon dans un verre à expériences. Il faut alors intercepter immédiatement l'arrivée du gaz.

[3] On peut envoyer les dépôts de première et de deuxième carbonatation par un monte-jus se mélanger aux dépôts très-alcalins et très-chauds de la défécation, afin de les faire égoutter ensuite dans des sacs et de les presser comme cela se pratique ordinairement ; on évite ainsi les altérations des jus peu alcalins des dépôts de première et de deuxième carbonatation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à l'ébullition, afin de chasser tout l'excès de l'acide carbonique et de faciliter ainsi la précipitation du carbonate de chaux.

Les 3 chaudières sont placées au même niveau que les 4 premières, et devant elles sont également disposés des bacs à déposer; mais le jus éclairci que l'on en tire s'écoule directement dans des filtres chargés de 15 hectolit. de noir animal en grains placés devant ces bacs à dépôt.

Le jus ainsi filtré sur le noir qui, pendant les 18 heures précédentes, avait servi à décolorer des sirops à 25°, est envoyé aux appareils évaporateurs à triple effet, où il se concentre jusqu'à 25°, puis on le dirige alors sur les filtres à noir neuf ou revivifié [1].

Un même filtre chargé de noir neuf ou revivifié sert pendant 18 heures pour les sirops à 25°, et ensuite pour les jus qui déplacent le sirop, se décolorent et s'épurent à leur tour.

Le noir est renouvelé après ces 36 heures. 6 filtres semblables suffisent pour une fabrication correspondante à 1,000 hectolit. par jour. On a constaté que les jus ainsi carbonatés sont beaucoup plus faciles à évaporer et à concentrer que ceux du procédé ordinaire, où l'on n'employait qu'une seule carbonatation.

Dans la sucrerie de Flavy, les jus qui ont été concentrés, comme nous venons de le dire, à 25°, par leur passage aux chaudières à triple effet sont envoyés à la chaudière à cuire dans le vide. Le sirop ou *clairce* qui en sort est d'une belle couleur blonde. L'ébullition dans cette chaudière pendant 45 minutes a suffi pour produire une concentration telle que 15 hectolit. de sirop se sont réduits à 10 h. 1/2 ou 70 pour 100 de leur volume.

Les sirops cuits, *grainés* dans le récipient réchauffoir, sont mis ensuite dans des cristallisoirs contenant 40 litres sur 0m,10 à 0m,12 d'épaisseur, et y restent 9 à 10 heures pour fournir les sucres de premier jet, que l'on passe ensuite aux centrifuges.

Les sirops extraits par ce premier passage aux appareils à force centrifuge sont cuits directement et mis dans des cristallisoirs de 25 hectolit., où ils restent huit jours.

Les sucres de deuxième jet qui en proviennent sont soumis à

[1] A Flavy-le-Martel comme à Auffay, tout en produisant du sucre blanc directement livrable à la consommation, le noir revivifié a été employé seul, durant toute la dernière campagne, et en quantité moitié moindre qu'en suivant les procédés usuels.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'égouttage forcé dans les turbines, et les sirops que fournit cette seconde opération sont recuits sans être clarifiés ni filtrés. On en obtient des troisièmes sirops, qui sont versés dans des cristallisoirs de 100 hectolit. de capacité, où ils restent 10 jours.

On reprend enfin les sirops, qui proviennent de l'égouttage forcé des sucres de ces troisièmes sirops, on les recuit et on les verse dans des citernes de 1,000 hectolitres, où ils restent 4 à 5 mois à cristalliser.

Les étuves des cristallisoirs de premier et de second jet sont maintenues à 35° ou 36° centésimaux de température.

Les sucres de deuxième et de troisième jet, après avoir subi l'égouttage forcé dans la turbine, sont refondus de manière à donner un sirop à 25° recuit avec les jus à 25° du premier jet, afin de ne tirer de tous ces sirops que des sucres de premier jet.

Quant aux sirops des quatrièmes jets, ils donnent des sucres bruns qui sont vendus pour l'exportation en Angleterre, où ils sont employés à la fabrication des alcools.

Dans l'opération de l'égouttage à la turbine, les sucres reçoivent une clairce à 37° Baumé, faite avec du sucre de premier jet. L'opération à la turbine dure 8 à 10 minutes pour une charge de 20 kilog., et ne se fait qu'une fois pour une même charge de sucre.

Les sucres de cette fabrication peuvent être livrés à Paris, droits et transport compris, à 120 fr. les 100 kilog. Il y a 33 fr. de droits et 2 fr. de transport [1].

Ce sont des sucres blancs pulvérulents acceptés déjà par un assez grand nombre de personnes pour entrer dans la consommation directe.

Dans l'usine d'Auffay, dirigée par M. Linard, les dernières opérations se font d'après le système de la cristallisation en chaudière.

C'est en effet par des charges successives dans la chaudière à cuire, et sans interrompre le vide ni le chauffage, que l'on effectue la concentration des sirops. Lorsque celle-ci est arrivée au point

[1] Ce n'est pas encore la limite du bon marché où le prix de ces sucres pourra descendre, car le but des installations nouvelles, qui se complètent ou se préparent, est d'obtenir de semblables produits à 70 fr., afin de les livrer aux consommateurs à 100 fr. les 100 kilog., droits compris.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de saturation pour la température de la masse liquide (45° à 50° du thermomètre centigrade), la cristallisation commence ; elle continue pendant l'évaporation, et produit cet effet remarquable que, sous une égale pression, la température de l'ébullition est moins élevée que pour les sirops qui demeurent en totalité liquides pendant la concentration. Ce phénomène est d'ailleurs facile à expliquer en tenant compte de la présence, dans le premier cas, des nombreux centres d'attraction des particules cristallines qui, fixant sans aucun délai ces particules, s'opposent aux effets de la sursaturation du sirop, sursaturation qui, dans les cuites ordinaires, augmente toujours la densité et élève d'autant la température du liquide.

Un autre avantage de cette méthode est de fournir des sucres en cristaux grenus transparents, à facettes et angles bien prononcés, très-faciles à égoutter dans les turbines, offrant d'ailleurs des garanties de pureté en raison même de leurs formes cristallines discernables à l'œil nu, et qui ne permettraient pas d'effectuer des mélanges inaperçus de substances étrangères amorphes ou opaques.

Les sucres en grains préparés ainsi commencent à se répandre dans la consommation : de pareils produits, sortis du premier jet de nos usines agricoles et consommables directement, sont de nature à réaliser, mieux encore que les sucres étrangers, les vues philantropiques du gouvernement, et très-dignes de sa haute protection, car ils tendent à populariser dans les campagnes un aliment agréable éminemment salubre; ils pourront concourir à élever le niveau du bien-être des populations et de l'hygiène publique [1].

Nous aurions pu borner là l'examen dont nous avions été chargés, mais il nous a semblé convenable de pousser plus loin nos investigations en vue de comparer, par une étude expérimentale dans le laboratoire, les résultats de l'application, sur le même

[1] Dix manufacturiers déjà préparent directement de premier jet des sucres blancs grenus: ce sont, dans le département de l'Aisne, MM. Périer à Flavy-le-Martel, Quequignon à Grugy-Saint-Quentin, Théry à Sérancourt, Santerre à Villeneuve-Saint-Germain; dans le département de l'Oise, MM. Frédéric Lallouette à Tracy-le-Val, Albert Lallouette à Nesle, Delby et Belseur à Crépy, Hette à Bresle; dans la Seine-Inférieure, M. Linard à Auffay, près Dieppe, et, dans les Ardennes, M. Varoquier à Charleville.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

jus de betterave, de ce procédé avec ceux de l'une des meilleures méthodes généralement en usage dans nos sucreries ; en un mot, nous avons voulu reconnaître si l'emploi de la chaux et la saturation à plusieurs reprises par l'acide carbonique donneraient des résultats différents de ceux que l'on obtiendrait, toutes choses égales d'ailleurs, en effectuant une seule addition de chaux et une seule saturation.

Voici comment nous avons opéré avec le concours assidu d'un jeune et habile chimiste, M. Billequin.

Un litre de jus de betterave blanche dite de Silésie, marquant au densimètre 1033, reçut la minime quantité de chaux nécessaire pour lui communiquer une très-faible réaction alcaline et prévenir le léger mouvement de fermentation qui peut prendre naissance vers 25° à 30° du thermomètre centigrade ; le liquide fut chauffé à 60°, et alors on y ajouta 5 grammes de chaux préalablement hydratée. La température du mélange fut portée jusqu'à l'ébullition, comme pour une défécation ordinaire.

Le liquide ayant été filtré, on y mélangea 10 grammes de chaux, et l'on satura incomplétement par un courant d'acide carbonique, de façon à laisser un léger excès de 0,001 à 0,002 de chaux, et en ayant le soin de maintenir la température à 60° ; le liquide fut alors passé une seconde fois au travers d'un filtre en papier.

Une nouvelle addition de 5 grammes de chaux fut faite dans le jus clair, et cette fois on y fit passer un excès d'acide carbonique ; on chassa cet excès en chauffant le liquide à l'ébullition, puis on filtra une dernière fois, et le jus filtré fut concentré à l'air libre jusqu'à la densité correspondante à la température de 115° de son ébullition.

Le sirop, d'une légère nuance blonde, fut versé dans un verre conique (dit à expériences), et l'on y ajouta, comme amorce de cristallisation, 1 gramme de sucre grenu ; la cristallisation se propagea dans toute la masse en quelques heures.

Nous avons constaté que le jus ainsi traité ne retenait que 0,000145 de chaux.

Le traitement comparatif du jus des mêmes betteraves par le meilleur procédé généralement en usage eut lieu dans les conditions suivantes.

Un litre de ce jus (marquant 1,033) reçut une minime dose de chaux hydratée, sa température ayant été élevée jusqu'à 60° ; on

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

y mélangea rapidement 15 grammes de chaux; la température fut élevée près de l'ébullition. Le liquide filtré reçut alors un courant de gaz acide carbonique en excès, et l'on fit bouillir un instant pour dégager cet excès d'acide. On filtra de nouveau, puis le jus clair fut évaporé jusqu'à 20°. Une troisième filtration parut nécessaire, afin de rendre au liquide une limpidité suffisante, et la concentration eut lieu jusqu'au degré correspondant à la température de 115° centésimaux. Le sirop ainsi concentré était notablement plus coloré que le produit du premier procédé (Possoz et Périer); il fut versé dans un verre à expériences; on y ajouta 1 gramme de sucre comme amorce; la cristallisation s'y propagea en quelques heures. Nous avons reconnu que le jus limpide obtenu suivant cette méthode retenait 0,000257 de chaux, c'est-à-dire presque le double de la proportion restée dans le jus qui avait subi les trois traitements successifs par la chaux et deux saturations par le gaz acide carbonique.

Il nous a paru intéressant de pousser plus loin nos investigations et de rechercher si, en prenant toutes les précautions nécessaires en vue de prévenir la formation de la glucose et des acides qui en dérivent, le procédé nouveau se prêterait à une élimination plus complète de tous les composés calcaires.

A cet effet, on a mélangé dans un litre d'un semblable jus de betteraves froid 5 gram. de chaux préalablement hydratée; le liquide ayant été éclairci par la filtration, on y ajouta 10 gram. de chaux, et l'on y fit passer un courant d'acide carbonique sans compléter la saturation; on jeta le mélange sur un filtre; puis dans le liquide passé limpide on ajouta encore 5 gram. de chaux, que l'on satura complétement par un courant d'acide carbonique. Une dernière filtration sépara le dépôt calcaire, et alors le jus limpide ne se troubla plus sous l'influence du plus sensible réactif, l'oxalate d'ammoniaque.

Il paraît donc évident que le nouveau système des additions répétées de chaux et de saturations, à deux reprises, par l'acide carbonique, effectue au double point de vue de la décoloration et de l'épuration des jus, comme aussi relativement à l'élimination des composés calcaires, des résultats plus favorables à l'extraction du sucre pur que les autres méthodes pratiquées jusqu'à ce jour.

En terminant ce rapport, nous avons cru devoir appeler l'at-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tention générale sur l'importance de ces procédés perfectionnés qui permettent de livrer à la consommation du sucre presque pur à des prix inférieurs à ceux des sucres raffinés, et de diminuer ainsi notablement le prix d'une denrée alimentaire dont l'usage ne peut qu'être très-avantageux à l'hygiène publique.

Ne serait-il pas contraire aux vues philanthropiques du gouvernement de l'Empereur que de semblables progrès fussent entravés par une application trop stricte de la loi, qui grèverait ces produits, obtenus directement et sans aucun raffinage, de l'impôt établi sur les sucres réellement raffinés ?

En considérant d'ailleurs que ces résultats favorables ont été obtenus en grand dans les deux fabriques de Flavy-le-Martel et d'Auffay, qu'ils se sont reproduits durant nos recherches expérimentales, nous avons cru pouvoir dire que le procédé de MM. Possoz et Périer était digne d'approbation, et ces conclusions furent adoptées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MÉMOIRE

SUR LA CONSERVATION DES BOIS

PAR M. PAYEN.

Production forestière.

Nous nous proposons de rappeler ici, dans un exposé rapide, les circonstances qui à plusieurs époques ont amoindri la culture forestière [1] et celles qui tendent à la développer aujourd'hui, en même temps que l'emploi de ses produits augmente. Nous indiquerons brièvement ensuite les causes principales de l'altération des arbres sur pied ou abattus. Nous signalerons les moyens imaginés à différentes époques en vue de mettre un terme à ces altérations spontanées, ou même de les prévenir. Sur ce dernier point, après avoir rendu compte des différents essais de conservation des bois soit en France, soit à étranger, nous nous attacherons surtout à décrire les procédés dont une pratique assez large a constaté les effets utiles. Nous chercherons enfin à montrer sous quelles conditions les meilleures garanties d'une longue durée peuvent être obtenues.

Le fait même d'un amoindrissement notable dans la production du bois en France ne peut être mis en doute. Si l'on consulte les statistiques administratives on trouve en effet les résultats suivants :

En 1789, la superficie du sol des forêts et plantations d'arbres de haute futaie en France s'étendait sur 9,500,000 hectares.

Cette superficie était réduite dès l'année 1831 à 8,860,000 hectares, dont 5,759,000 appartenaient à des particuliers et 3,101,000

[1] La disparition des forêts est un fait intimement lié aux progrès de la civilisation. La nature, dans son état primitif, est hérissée de vastes et profondes forêts d'autant plus éclaircies qu'on s'avance davantage au sud-ouest. C'est précisément la direction suivant laquelle la civilisation s'est propagée. Les peuples des pays les plus déboisés, Espagnols, Italiens, Français, Anglais, Grecs appartiennent à ces deux races pélasgique et celtique qui sont en civilisation les ainées des populations européennes. (M. Maury, *Acad. des Inscr. et Belles-Lettres*, 1860.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

aux communes et à l'État, ou faisaient partie des plantations publiques.

La diminution des cultures forestières ou des plantations de grands arbres était donc représentée par une étendue de 640,000 hectares en 60 ans.

Déjà Colbert, en voyant la production forestière s'amoindrir et la consommation du bois s'accroître, avait cru pouvoir, au dix-septième siècle, jeter ce cri d'alarme : *la France périra faute de bois.*

Changements survenus dans la consommation du bois.

Depuis cette époque, et surtout dans ces dernières années, les circonstances ont bien changé à plusieurs égards.

D'un côté, les immenses progrès de l'industrie manufacturière et agricole ont amené graduellement la substitution de la houille au bois pour le chauffage dans les usines et même dans l'économie domestique.

D'un autre côté, la consommation du bois dans les constructions et surtout pour l'établissement des voies ferrées et des lignes télégraphiques s'est développée suivant une progression rapide, qui n'est pas près de son terme. Puis sont venues les inventions successives en vue de la conservation des bois qui contrebalancent déjà dans une certaine mesure l'accroissement de la consommation.

Enfin, si le bois peut être, dans son application au chauffage, avantageusement remplacé par la houille, celle-ci, qui nous est léguée par les anciens âges du globe, ne se reproduit plus; elle devra donc s'épuiser dans un espace de temps qui ne s'étendra pas au delà de quelques siècles en admettant, d'ailleurs, que les progrès de sa consommation continuent dans les mêmes proportions [1].

« Il faudra alors recourir à nos forêts, retrouver dans la végé-
« tation actuelle, qui se renouvelle sans cesse, le combustible
« que nous avions demandé pendant deux ou trois siècles à la

[1] Dans un rapport inséré au *Bulletin de la Société d'encouragement*, en 1846, p. 700, M. Ad. Brongniart émettait l'opinion que la durée des couches les plus puissantes des terrains houillers ne pouvait être évaluée à plus de deux ou trois siècles. Les calculs de M. Combes, basés sur les richesses minérales non encore explorées, assignent un plus long terme aux exploitations houillères, qui toutefois seront anéanties un jour.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« végétation morte et ensevelie dès les premiers temps de notre « globe. L'équilibre entre la richesse et la puissance industrielle « des divers peuples de l'Europe, rompu par l'inégale réparti- « tion de ces immenses dépôts de combustible, pourra alors être « rétabli. » (Ad. Brong., *loc. cit.*)

La France heureusement possède, ainsi que le fait remarquer M. Chevandier, une étendue de sol suffisante pour opérer ce remplacement sur une vaste échelle, et si par des aménagements bien entendus, à l'aide des éclaircies assez fréquentes et des meilleurs soins que la sylviculture enseigne [1], mettant à profit l'action de l'air, des eaux, du sol et de la lumière sur la végétation forestière, on atteint les résultats favorables qui portent au pays de Baden le rendement annuel des futaies à 11 stères 1/2 par hectare, en moyenne, la production totale devenue lucrative, à notre époque, pourra préparer, en se développant, nos approvisionnements dans l'avenir en bois de chauffage et de construction.

Le reboisement des montagnes, encouragé par les concours des sociétés d'agriculture, de sages limites imposées aux défrichements des forêts, les plantations des arbres verts dont la croissance plus rapide que celle des autres essences est mieux appropriée à la mise en culture des sables et des terres peu fertiles dans les landes assainies de la Gironde et les terrains de la Sologne, sont en voie de réalisation; ces mesures et ces travaux exerceront prochainement une grande et décisive influence sur la production des substances ligneuses en France [2].

Les procédés de conservation des bois apporteront leur large

[1] De tous les faits qu'il a pu observer ou recueillir, M. Chevandier déduit cette conclusion : que la production forestière de la France pourrait être amenée, dans l'espace d'un siècle, à fournir trois fois environ l'équivalent de la consommation actuelle en combustibles minéraux, et même être rendue plus considérable encore par les améliorations à introduire dans la culture de nos forêts.

[2] Dans les landes de Gascogne, les magnifiques exploitations de pins résineux, si habilement dirigées par M. Javal, et les plantations récentes effectuées sur une grande étendue par M. Péreire, justifient et promettent de dépasser sur ce point les plus belles espérances.

Ce n'est pas d'ailleurs seulement le pin maritime que l'on peut avantageusement cultiver dans ces landes : deux espèces de chêne, mais surtout le *chêne blanc* (*quercus pedunculata*), s'y développent avec une remarquable

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

concours, en ménageant nos ressources, dans plusieurs applications importantes aux travaux publics.

Structure et composition des tiges ligneuses.

Avant de décrire les procédés de conservation des bois nous donnerons quelques détails sur la structure, la composition chimique des tiges ligneuses et les causes de leurs altérations spontanées.

Dans la structure des arbres, parmi les dicotylédonés que seuls nous considérons ici, on remarque au centre des tiges la moelle et l'étui médullaire qui l'environne ; à la périphérie des tiges et rameaux l'écorce et les couches corticales et du liber sous lesquelles une grande partie de la séve descendante concourt à l'accroissement de la masse ligneuse par la formation de la couche annuelle du tissu de l'*aubier*. Celui-ci, formé d'abord de cellules minces allongées, soudées bout à bout, désignées sous le nom de *fibres ligneuses*, est principalement composé de cellulose [1]; cette

énergie; dans sa rapide croissance, il s'élève en tiges droites estimées pour les constructions de la marine. Moins résistant en raison de sa plus faible densité apparente (dans le rapport de 0,700 cœur, 0,643 aubier, à 0,800 pour le cœur et 0,700 pour l'aubier des chênes venus en terrains secs), sa perméabilité plus grande facilite l'injection des solutions antiseptiques dans son tissu (V. la notice de M. le baron Roguet sur les produits forestiers des Landes, Bulletin Soc. imp. et centrale d'agriculture).

[1] Une substance dure, blanche, formée de cellules longues à parois très-épaisses et composées de cellulose presque pure, le périsperme des fruits du phytelephas, est employé dans l'industrie sous le nom d'*ivoire végétal;* il a une densité apparente de 1,184. Sa densité réelle s'élève à 1570 et se réduit à 1557 lorsqu'il est épuré des substances organiques grasses et minérales renfermées dans les cavités et pertuis des cellules ; sa composition immédiate, à l'état normal, peut se représenter ainsi :

Cellulose et substances congenères.	91,721	100
Matières azotées.	6,422	
grasses.	0,657	
minérales.	1,200	

D'après les déterminations que j'en ai faites avec M. Billequin, la cellulose, dans d'autres formations végétales, nous a présenté quelques différences dépendant sans doute du degré variable de sa cohésion ; nous avons trouvé dans trois sortes de fibres textiles les poids spécifiques suivants : le lin, 1,571, le chanvre, 1,465, le coton, 1,449.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

substance organique blanche, plus ou moins agrégée, constitue la trame des cellules et de tous les tissus des plantes, dont le poids spécifique est variable entre 1,449 et 1,57; sa composition élémentaire est représentée par la formule $C^{12} H^{10} O^{10}$ ou 0,444 de carbone et 0,556 d'hydrogène et oxygène dans les proportions de la composition de l'eau.

Dans la cavité cylindroïde des fibres de l'aubier se déposent successivement des couches concentriques de cellulose mêlée d'incrustations ligneuses en proportions graduellement plus fortes.

Aussi remarque-t-on que le bois, en se rapprochant de l'axe des tiges, contient des fibres à parois plus épaisses qui rendent la densité apparente plus considérable, sa dureté et sa résistance plus grandes; souvent des matières colorées en brun ou en noir comme dans le chêne et l'ébénier s'y ajoutent et établissent une ligne de démarcation entre l'aubier grisâtre et le cœur brun ou noir. Ce dernier, de plus en plus compacte avec l'âge, peut acquérir une densité dépassant celle de l'eau dans le rapport de 1170 (trouvée par M. Chevandier pour le cœur d'un chêne de 60 ans) à 1000, tandis que la densité de l'aubier ne s'élève pas au delà de 0,66 à 0,70 [1].

La matière organique incrustante qui injecte plus ou moins les fibres ligneuses des différents bois est variable dans sa composition immédiate et élémentaire, mais, en somme, elle est toujours plus riche en carbone et en hydrogène que la cellulose; il

[1] La densité du cœur de chêne complétement desséché ne dépasse pas ordinairement 0,80 à 0,85; la plupart des bois usuels et de construction ont une densité moindre; elle est en moyenne, pour le hêtre, de 75 à 80, le charme = 70 à 72, le pin maritime = 60 à 65, le sapin = 55 à 60, le saule rouge = 0,492, les divers peupliers = 0,40 à 0,55; on rencontre des bois plus légers encore : ainsi le bois du pauwlonia imperialis, essayé à l'âge de 5 ans, ne pesait que 0,38. La densité des bois est d'ailleurs assez généralement en raison inverse de la rapidité de la croissance des différentes essences forestières, et celles-ci, se développant plus vite dans certains terrains humides, donnent par cette raison des bois d'autant moins lourds : ainsi, sur un chêne blanc ou à glands pédonculés des landes âgé de 35 ans, dont le diamètre du tronc était de 45 cent., j'ai trouvé la densité du cœur = 70, et celle de l'aubier = 64. Quant aux densités réelles, on sait que Rumford avait trouvé pour les bois étuvés les nombres suivants : chêne, 1534, 4; hêtre, 1528, 4; peuplier, 1,485, 4; tilleul, 1,484, 6; sapin, 1,462.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en résulte que les bois lourds, fortement incrustés, donnent en brûlant plus de chaleur que les bois blancs, à poids égal, et à bien plus forte raison sous un égal volume [1].

On remarque en outre dans les cavités des fibres ligneuses (et en faibles proportions dans l'épaisseur de leurs parois), des matières azotées, grasses, sucrées, salines, etc.; ces substances occasionnent les principales altérations du bois soit parce qu'elles constituent des aliments appropriés à la nourriture des insectes et mollusques, dits *xylophages*, comme aux développements des ferments ainsi que des végétations cryptogamiques. Les matières azotées, dans toutes ces altérations, jouent un rôle important; aussi peut-on facilement comprendre que tous les composés antiseptiques qui conservent les substances animales préservent également les bois des diverses altérations spontanées [2].

Ces substances azotées se trouvent en proportions d'autant plus fortes que les tissus ligneux sont plus légers (c'est-à-dire dont

[1] Le tableau suivant indique la composition élémentaire et la puissance calorifique de plusieurs des bois usuels, comparativement avec la cellulose :

BOIS ANALYSÉ.	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.	Équivalent en charbon.
Sainte-Lucie	52,20	6,07	41,03	55,35
Sapin	51,70	6,28	41,93	54,70
Chêne	50,00	6,20	43,80	53,30
Hêtre.	49,25	6.40	44,65	51,40
Peuplier	47,00	5,80	47,20	47,20
Cellulose.	44,44	6,16	49,40	44,44

Abstraction faite des cendres qui, dans les bois de sciage durs et tendres, forment environ 0,5 à 1 pour 100 du poids total, et de l'azote qui ne dépasse guère ces proportions.

[2] Tels sont le bichlorure de mercure ou sublimé corrosif, dont 2 centièmes en solution dans l'alcool à 30°, maintenue à ce titre, ont pu servir à préserver des cadavres entiers de toute putréfaction, et suffisent, par une seule immersion, à conserver les divers échantillons de plantes dans les herbiers; que le chlorure de zinc conserve les pièces anatomiques et les substances végétales, que de même le tanin, la créosote, le sulfate de cuivre, l'alun, le sel marin, préservent les différents organismes animaux et végétaux des altérations spontanées, tous ces agents ont été essayés ou appliqués avec plus ou moins de succès à la conservation du bois.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les fibres ligneuses offrent les plus minces parois et les cavités les plus grandes ; une autre loi, plus générale encore, signale comme les plus riches en substances azotées les organismes végétaux les plus jeunes, qui sont doués aussi de la plus grande énergie vitale ; non-seulement il en est ainsi des différentes parties de toute plante herbacée ou ligneuse, mais encore on retrouve cette relation entre l'âge et la composition immédiate dans les différents tissus d'une même tige d'arbre.

C'est ainsi qu'en cherchant à vérifier la loi générale précitée nous avons obtenu, M. de Mirbel et moi, dans une série d'expériences exécutées au Conservatoire des arts et métiers, les résultats suivants de l'analyse effectuée sur les tissus ligneux d'un chêne âgé de 25 ans, et que nous venions de faire abattre au bois de Boulogne :

100 de la substance organique de l'écorce interne bien vivante = substances azotées.	10,79
100 de la substance organique de la couche d'aubier d'un an.	10,30
100 de la substance organique du cœur entre l'aubier et l'axe de l'arbre.	9,40
100 de la substance organique du cœur, 2e et 3e couche, près de l'étui médullaire.	6,75

Les matières solubles dans l'eau et l'ammoniaque de ces tissus ligneux contenaient, pour 100 parties, 28,25 de matières azotées, tandis qu'il n'était resté de ces substances dans les tissus lavés et séchés que 1,98 [1].

Des résultats analogues confirmant la même loi ont été obtenus de l'analyse comparée des parties de différents organismes plus ou moins âgés des écorces, tiges et moelle d'un sureau, et des tissus ligneux d'un marronnier.

On voit, au point de vue qui nous intéresse surtout ici, que les tissus ligneux les plus récemment formés, les dernières couches d'aubier, par exemple, renferment les plus fortes proportions des matières organiques les plus altérables, et exigent par

[1] Voy. les *Lois générales du développement des végétaux*, par M. Payen, dans les t. VIII et IX des *Mémoires des savants étrangers, Ac. des sciences de l'Institut*, et les t. XX et XXII des *Mémoires de l'Académie des sciences*, notice et dessins par MM. de Mirbel et Payen.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

conséquent des doses plus grandes de l'agent antiseptique. Heureusement ces tissus, offrant des fibres à plus minces parois, à cavités plus grandes et canaux séveux plus larges, opposent moins d'obstacles à la pénétration des liquides antiseptiques introduits par diverses méthodes [1]. Dans le cœur du bois non-seulement les matières azotées sont moins abondantes et les cavités moins larges, mais encore la densité plus grande et la plus forte cohésion des fibres plus épaisses défend ces parties contre l'action des divers agents de destruction. La résistance devient bien plus énergique encore lorsque l'homogénéité de la structure et de la composition est plus prononcée.

L'acacia est un des bois les plus remarquables à cet égard : ses fibres épaisses sont formées de cellulose mélangée de substance organique incrustante en moindres proportions que dans le chêne et le hêtre; en outre, ses rayons médullaires sont très-fins, et par cette raison il est moins sujet à se fendiller. Sa croissance cependant est, dans les bons terrains, trois fois plus rapide que celle du chêne; il résiste bien mieux que ce dernier aux frottements, et surtout aux fermentations et végétations cryptogamiques; aussi l'emploie-t-on avec grand succès dans le boisage des mines; là où la température continuellement douce et l'humidité régnante déterminent en 2, 3 ou 4 ans la pourriture du merisier, de l'aune, du hêtre, de l'aubier de chêne, les poteaux d'acacia résistent 10 à 15 ans. Une des causes de sa résistance aux altérations spontanées réside dans la ténuité et la régulière distribution des rayons médullaires au milieu de la masse ligneuse [2].

C'est également à cette particularité dans la structure (la minceur extrême des rayons médullaires et leur régulière distribution dans le tissu ligneux) que l'on peut attribuer en grande

[1] Certains bois, tels que le hêtre, offrent des canaux séveux plus nombreux et plus régulièrement répartis dans la masse ligneuse, ce qui facilite beaucoup l'infiltration des liquides en question.

[2] On parvient à extraire du bois d'acacia 0,6 de son poids de cellulose pure, tandis que les mêmes moyens analytiques ne permettent d'obtenir du cœur de chêne que 40 centièmes, le surplus étant formé d'incrustations organiques plus riches en carbone, contenant un peu d'hydrogène en excès, rendant par leur interposition les fibres ligneuses plus dures et plus cassantes. Voici comment on peut représenter l'influence de ces matières incrustantes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

partie la plus grande flexibilité et la résistance que le bois du châtaignier offre, soit au fendillement dans le sens des rayons, soit aux diverses altérations spontanées que ce fendillement facilite dans le chêne, le hêtre et beaucoup d'autres essences à rayons médullaires épais[1].

(lignose, lignone, lignin et ligniréose) sur la composition immédiate et les propriétés calorifiques du bois de hêtre, comparativement avec la cellulose :

Composition immédiate du hêtre lavé et de chacun de ses principes constituants.

SUBSTANCES analysées.	Bois 100 =	Cellulose 40 +	Matières incrust. 60 =	MATIÈRE INCRUSTANTE[1]. Lignose 24,2	Lignone + 10,8	Lignin + 21,6	Ligniréose + 2,4
Carbone.	50,00	44,44	54,75	56,10	50,10	62,25	67,01
Hydrogène. . . .	6,19	6,18	6,20	6,09	5,92	5,93	6,89
Oxygène.	48,81	49,38	40,05	37,81	44,08	31,82	25,20
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

1. Les substances incrustantes extraites du bois par la potasse qui les dissout et précipitées par un acide se séparent et se distinguent les unes des autres, car la ligniréose est soluble dans la potasse, la soude, l'ammoniaque, l'alcool et l'éther ; le lignin dans les quatre premiers réactifs, la lignone dans les trois premiers, la lignose dans les deux premiers, et la cellulose est insoluble dans tous.

[1] La durée remarquable observée dans les poteaux, échalas, lattes, treillages, cercles, et différents objets en châtaignier, avait donné lieu de croire que les charpentes bien conservées des anciennes cathédrales et d'un grand nombre de constructions en France avaient été faites avec ce bois ; jusqu'à ces derniers temps, la question, souvent agitée, entre les caractères distinctifs des deux bois de chêne et de châtaignier demeurait incertaine. Elle fut de nouveau débattue il y a trois ans au sein des sociétés Impériale et Centrale d'agriculture de France, et Impériale et Centrale d'horticulture. Chargé par ces deux sociétés d'essayer de la résoudre, j'ai reconnu que sur la coupe, par un plan perpendiculaire à l'axe des fibres ligneuses, on distingue facilement le chêne, dont les rayons médullaires sont directement visibles à l'œil nu, du châtaignier, dont il est impossible d'apercevoir les semblables rayons sans le secours d'une loupe ou du microscope ; appliquant ce moyen simple de détermination, j'ai constaté que tous les échantillons qui me sont parvenus des charpentes attribuées au châtaignier, provenant des démolitions dans Paris ou de réparations dans les églises et cathédrales des départements, étaient en essence de chêne.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

4. — *Historique des procédés d'injection dans les tissus ligneux, et de conservation des bois.*

Les notions succinctes que nous venons d'exposer sur la composition et la structure du bois, sur les principales causes de ses altérations spontanées et la nature des agents propres à sa conservation, suffiront pour faire comprendre les moyens employés en vue de prolonger la durée des bois de construction.

Nous rappellerons d'abord les observations antérieures sur lesquelles reposent les méthodes et appareils actuellement en usage pour atteindre ce but éminemment utile.

Aujourd'hui que l'on sait parfaitement à quoi s'en tenir sur les causes des détériorations spontanées du bois et sur les agents antiseptiques capables d'annihiler ou d'affaiblir beaucoup ces causes, la seule difficulté pour assurer leur longue conservation réside dans la pénétration des liquides antiseptiques au travers des masses ligneuses.

A cet égard, les recherches expérimentales sur l'ascension et les déplacements de la séve entreprises par plusieurs physiologistes et quelques savants physiciens ont pu guider les inventeurs industriels dans la voie qu'ils ont suivie.

Dès l'année 1709, Magnol indiquait l'infiltration dans les tissus ligneux des tiges et des rameaux de liquides colorés pour suivre la marche de la séve. De la Baisse en 1733, puis Hales, Bonnet et Duhamel ont employé dans ce but le même moyen. M. Biot mit à profit la filtration des liquides dans les canaux séveux des rameaux et des tiges pour extraire et analyser la séve des arbres.

Au point de vue des applications destinées à prolonger la durée du bois Reed en 1740 et Hales en 1756 proposèrent l'immersion dans la solution aqueuse et acide du goudron [1].

[1] Mémoire de John Knowles sur la conservation des bois, traduction dans les *Annales maritimes et coloniales*, 1825, t. XXVI, 2e partie. Parmi les agents antiseptiques proposés pour la conservation des bois on remarque dans ce Mémoire les sulfates de cuivre, de fer et de zinc, l'alun, l'acide arsénieux et le bichlorure de mercure. Le premier et le dernier de ces agents sont considérés aujourd'hui comme les plus efficaces; le sulfate de cuivre est le plus économique des deux et le plus généralement employé.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pallas, en 1719, conseillait de minéraliser le bois; son moyen consistait à le faire macérer dans une solution de *vitriol vert* (sulfate de protoxyde de fer) jusqu'à ce qu'il en fût pénétré, puis à le plonger dans l'eau de chaux afin de précipiter le *vitriol*.

Les boisages complétement imprégnés de sel des mines de Hallein, en Autriche (évêché de Salzbourg) se sont conservés intacts jusqu'à nos jours, et cependant une partie de ces boisages remontent aux premiers temps de l'exploitation antérieure à l'ère chrétienne.

En voyant ces bois dans un état aussi complet de conservation, le docteur Granville dit qu'ils étaient préférables à ceux qu'on prépare à l'aide de l'immersion dans une solution de bichlorure de mercure suivant la méthode de Kyan. M. Carny, de son côté, a reconnu que des madriers en sapin complétement imprégnés d'une solution saturée de sel marin étaient demeurés en parfait état de conservation dans la grande exploitation du sel gemme de Dieuze, depuis plus de 25 ans.

Avant l'emploi du procédé de Kyan, le baron Champy, en 1813, afin de rendre imputrescibles les bois destinés à des scellements dans les murs humides d'un magasin à poudre de guerre qu'il s'agissait de doubler en plomb, les « a fait bouillir dans un bain « de suif chauffé de 120 à 130° c.; ils y ont été immergés pen- « dant quatre heures; l'eau qu'ils contenaient a été réduite en « vapeur, le suif a pris sa place et les a pénétrés de part en part: « ils en ont absorbé à peu près le 3e de leur poids [1], etc. »

En employant le même moyen, élevant même un peu plus la température, j'ai pu introduire dans le tissu ligneux du peuplier humide encore une bien plus forte proportion de résine, dont la liquéfaction était facilitée par quelques centièmes de térébenthine. Le petit bloc cubique ayant 10 centimètres de côté absorba, sous l'influence de la pression atmosphérique au moment de la condensation de la vapeur d'eau, une telle quantité du liquide résineux, qu'il était devenu plus lourd que l'eau, tandis qu'un semblable cube du bois normal surnageait de plus de moitié de son volume.

[1] Extrait d'une brochure intitulée : *Expériences faites en vertu des ordres de S. Exc. le ministre de la guerre sur de nouveaux magasins à poudre.* (Bibliothèque du Conservatoire des arts et métiers.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le poids de la résine absorbée, vérifié en la dissolvant par l'alcool, était égal aux 0,6 du poids total ; or, en tenant compte du poids spécifique réel de la résine et de celui du tissu ligneux, on pouvait constater que dans l'ensemble du volume la résine occupait les 0,7 et le bois les 0,3, ce qui s'accordait encore avec la densité apparente de ce bois simplement desséché, densité égale à 450, l'eau pesant 1,000.

Ce moyen d'injection applicable aux mêmes objets peut servir à introduire du goudron dans les bois perméables, comme on l'a fait en Angleterre et chez M. Chemallé, de Tours, en France, pour pénétrer de grosses chevilles ou gournables en aubier de chêne avant de les comprimer dans des filières coniques.

Moll est parvenu à prolonger la durée des bois en les exposant dans un espace clos à la vapeur de la créosote, matière huileuse extraite du goudron de bois (Reichembach) et considérée, en raison de ses énergiques propriétés antiseptiques, comme le principe qui assure la conservation des diverses viandes fumées.

Mais il faut en convenir, tous ces procédés étaient insuffisants pour effectuer économiquement une injection profonde dans les tissus ligneux et pour assurer par une pénétration régulière la conservation durable des bois, lorsqu'en 1831 Bréant, chimiste manufacturier, directeur général des essais à la Monnaie de Paris, auquel on doit d'ingénieux perfectionnements pour traiter les bronzes par liquation, affiner et forger le platine, se livra à l'étude d'un moyen nouveau, fondé sur la pression énergique qui peut refouler les liquides dans les pores des tissus ligneux, décrit dans un brevet tenu cacheté jusqu'en 1838. Ce procédé devint de la part de son auteur l'objet de plusieurs perfectionnements.

L'appareil même, après différentes modifications, se composait d'un épais cylindre vertical en fonte à fermeture autoclave, dans lequel les pièces de bois à l'état ordinaire de siccité étaient renfermées, puis successivement soumises d'abord au vide imparfait que produisait la condensation de la vapeur, puis à une pression de 10 atmosphères que pouvaient exercer les liquides antiseptiques refoulés par différents moyens mécaniques.

Les remarquables résultats qu'il obtint ainsi étaient trop dispendieux pour réaliser les avantages que Bréant en avait espérés ; son invention devint praticable en grand lorsqu'à cette dernière époque (1838) elle fut introduite par Bethel, puis par Payn, en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Angleterre, et appliquée à l'aide d'appareils réellement manufacturiers composés de grands cylindres en tôle horizontalement disposés.

Le succès d'ailleurs de ces appareils se fonda sur l'emploi d'une substance antiseptique assez abondante et économique dans quelques grands centres de population en Angleterre, mais insuffisante en tout autre lieu et applicable seulement à certains travaux tels que les traverses des chemins de fer.

Le liquide auquel Béthel donna la préférence, désigné sous le nom impropre de *créosote*, est en réalité un mélange de divers hydrocarbures dont on obtient environ 0,25 du goudron de la houille recueilli dans les usines à gaz et soumis à la distillation entre les températures de 90° à 250°.

C'est un agent antiseptique des plus efficaces, d'après l'avis des ingénieurs anglais qui ont pu comparer la durée des bois ainsi préparés avec les bois injectés de différentes autres solutions salines.

On ne saurait espérer cependant parvenir à généraliser cet emploi des hydrocarbures du goudron non-seulement parce que les quantités dont on dispose [1] seraient insuffisantes, même en Angleterre, mais encore parce que l'odeur forte et désagréable de ces matières huileuses plus ou moins volatiles, ainsi que l'inflammabilité plus grande des bois qui en sont imprégnés, les font exclure des bâtiments civils et des constructions des hangars, chantiers et navires de la marine.

Quant à cette dernière destination, l'amirauté anglaise donna la préférence aux bois injectés de chlorure de zinc [2] à une époque

[1] Les applications nouvelles de ces hydrocarbures à divers degrés de densité et d'épuration, soit pour l'éclairage, soit pour les préparations des essences de parfumerie ou des riches couleurs employées en teinture, tendent à diminuer encore les ressources de ce genre applicables à la conservation des bois.

[2] Suivant le procédé Burnet, dans lequel on effectue, à l'aide de l'appareil Bethel-Payn, l'injection d'une solution aqueuse de chlorure de zinc à un centième, ce composé peut assurer une parfaite conservation des tissus ligneux, jusqu'au moment du moins où, par sa grande solubilité, ce chlorure, exposé aux lavages de l'eau pluviale, se trouve éliminé presque complétement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

où l'on n'avait pas encore reconnu les avantages des préparations bien faites avec le sulfate de cuivre.

L'appareil Bethel, légèrement modifié, fut encore employé en Angleterre pour injecter les différents bois de construction successivement de deux solutions salines : l'une, de sulfure de baryum, l'autre de protosulfate de fer, qui, par leur décomposition mutuelle dans le tissu ligneux, y déposaient deux produits insolubles, le sulfate de baryte et le sulfure de fer. Cette méthode, connue sous le nom de Payn, son inventeur, fut employée avec quelque succès ; mais elle est plus dispendieuse et nous semble offrir moins de garanties d'une longue conservation que les injections complètes au sulfate de cuivre.

C'est encore de l'année 1838 que datent les premières tentatives d'un inventeur français, M. Boucherie, sur un nouveau système de pénétration et de conservation des bois qui constitue la base du procédé par infiltration à l'air libre dans les tissus ligneux, appliqué depuis avec un remarquable succès aux arbres sur pied ou récemment abattus.

Cependant le premier mode d'injection à l'aide de l'aspiration vitale, ainsi que les agents de conservation (le *pyrolignite de fer* et le chlorure de calcium), auxquels l'inventeur donnait alors la préférence, ont été abandonnés et remplacés par les dispositions nouvelles que M. Boucherie adopta en 1846 et l'emploi du sulfate de cuivre, dont les effets préservateurs durant une période de sept ans furent authentiquement constatés en 1850 [1].

En 1852, une autre commission instituée par le ministre de la marine, donnant son approbation entière au procédé comme à l'emploi du sulfate de cuivre [2], déclarait que dès lors cette appli-

[1] Sous la direction d'une commission spéciale composée de MM. Avril, Didion et Mary, ingénieurs (*Annales des Ponts et Chaussées*, mars et avril 1850).

[2] Des billes de hêtre furent placées dans les mêmes conditions expérimentales ; enterrées au niveau d'un sol sablonneux, celles qui étaient imprégnées de pyrolignite de fer peu concentré, de chlorure de calcium et de pyrolignite de plomb, étaient entièrement pourries, tandis que cinq billes de hêtre injectées de sulfate de cuivre se trouvèrent dans un état parfait de conservation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cation « avait permis à l'État de réaliser une économie d'un mil-
« lion sur les lignes télégraphiques; économie résultant de la
« substitution de 100,000 poteaux de pin injectés, coûtant 6 fr.
« en moyenne, à 100,000 poteaux de chêne qui auraient coûté
« 16 fr. et qui auraient eu une durée moindre. L'économie an-
« nuelle peut être évaluée à 200,000 fr..... Il est hors de doute
« que, dans un avenir très-prochain, la substitution du hêtre au
« chêne permettra de réserver pour les besoins de l'industrie et
« de la navigation des quantités considérables de bois de chêne
« qui auraient été uniquement consacrés à faire des traverses de
« chemins de fer. »

Dès aujourd'hui on peut dire que cet avenir prochain prédit par la commission est arrivé, que même le succès qu'on en espérait a été dépassé, grâce à l'extension du procédé Boucherie appliqué aux arbres récemment abattus [1], et à l'emploi du système Légé et Fleury-Pironnet, plus récemment appliqué, qui utilise les bois abattus depuis longtemps, ceux-là même qu'on se procure par la voie des importations.

Système de MM. Légé et Fleury-Pironnet.

Ce ne sont pas seulement les pins, hêtres, charmes, peupliers, bouleaux et autres bois à tissu facilement perméable que l'on prépare ainsi; les chênes dont la croissance est favorisée par le sol et le climat, tels que ceux qui viennent le mieux dans les landes de Bordeaux, peuvent être injectés complétement dans l'aubier et assez avant dans le cœur pour que leur longue conservation soit assurée et qu'on puisse profiter en outre de leur

[1] Ce procédé est décrit *in extenso* dans un Mémoire que j'ai présenté en 1836 à la Société impériale et centrale d'agriculture de France, et avec les dessins des appareils et ustensiles dans la 4e édit. du *Précis de chimie industrielle* en 1859. Son succès est assuré pourvu que, suivant les observations de M. Petitjean, ingénieur, on ait le soin de renouveler les solutions cuivriques que la séve altère en y introduisant des ferments et des matières organiques susceptibles de développer des moisissures (voir le Bulletin de la Société d'encouragement pour 1860), *pourvu aussi que le sulfate de cuivre soit exempt de sulfate de fer*. MM. Magary, Tissier et Knab ont, de leur côté, préparé des bois de faible volume en les immergeant debout dans une solution de sulfate de cuivre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dureté naturelle, plus grande que celle des bois blancs et résineux.

La méthode de MM. Légé et Fleury-Pironnet, qui réalise ces avantages, est d'ailleurs nettement caractérisée par plusieurs dispositions nouvelles.

Le cylindre dans lequel l'injection s'effectue est tout entier *construit en épaisses feuilles de cuivre inattaquables par le liquide et capables de résister à une pression intérieure de* 12 *à* 15 *atmosphères, afin d'y employer une solution de cuivre* au lieu des liquides (hydrocarbures, sulfate de fer et chlorure de baryum, chlorure de zinc) qui seuls jusque-là avaient servi à préparer les bois en vases clos; la vapeur qu'on y injecte, au lieu de servir uniquement à faire le vide et d'être à cet effet condensée (dès que l'air est sorti du cylindre) par un arrosage d'eau froide sur la périphérie du vase, *doit prolonger durant* 20 *à* 60 *ou même* 120 *minutes son action, afin d'élever à* 65 *ou* 70° *cent. la température des pièces de bois, de dilater leurs pores de manière à rendre, en quelque sorte, le bois spongieux et à détruire les ferments.* Ces effets utiles sont complétés en introduisant dans le cylindre (inattaquable par ce liquide) la *solution de sulfate de cuivre*, non pas froide, comme on le faisait pour les autres solutions de sels métalliques, mais au contraire *préalablement échauffée à* + 70° *environ.* L'emploi des solutions chaudes produit cet excellent résultat d'éviter la condensation de la vapeur contenue dans le cylindre et engagée dans la masse ligneuse, et par suite de prévenir le resserrement des pores du bois et de maintenir l'état spongieux que l'on avait obtenu par l'action prolongée de la vapeur. *L'excès de la vapeur, après avoir été appliquée dans le cylindre à l'échauffement des pièces de bois, sert à échauffer ce liquide en circulant dans un serpentin;* l'eau de condensation est dirigée avec le reste de vapeur dans la solution cuivrique ou dans l'eau d'alimentation du générateur. *Le vide dans le cylindre est effectué* non par un arrosage externe, mais bien *à l'aide du condensateur séparé* dans lequel s'effectue la liquéfaction de la vapeur; celle-ci se trouve ainsi presque totalement enlevée du cylindre avec l'air et les gaz non condensables et sans occasionner un refroidissement notable, sans condenser la vapeur dans le bois lui-même, qui dès lors conserve sa température et son état spongieux. Le vide se trouve constamment maintenu par l'action des pompes à air, qui enlèvent continuel-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lement les eaux de condensation et maintiennent au degré voulu le vide dans le cylindre comme dans les canaux séveux et les interstices du bois, *au point de faire descendre de* 65 *ou* 70 *centimètres la colonne manométrique de mercure, tout en agissant sur les gaz intérieurs dilatés déjà par une température de* + 70° *environ;* enfin, *la pression* succédant au vide est *poussée par les pompes d'injection du liquide antiseptique jusqu'à* 12 *ou* 15 *atmosphères*, suivant le volume et la structure du tissu des bois. Un fait nouveau résulte d'ailleurs de toutes ces conditions spéciales au système, c'est qu'*au lieu de pratiquer seulement deux ou trois opérations en vingt-quatre heures, on en peut effectuer dix et même quinze; enfin, le volume du liquide injecté est plus considérable et son action sur les fibres ligneuses ainsi que sur les matières azotées est plus forte.*

Description de l'appareil.

La figure 1 ci-dessous indique une disposition générale d'un

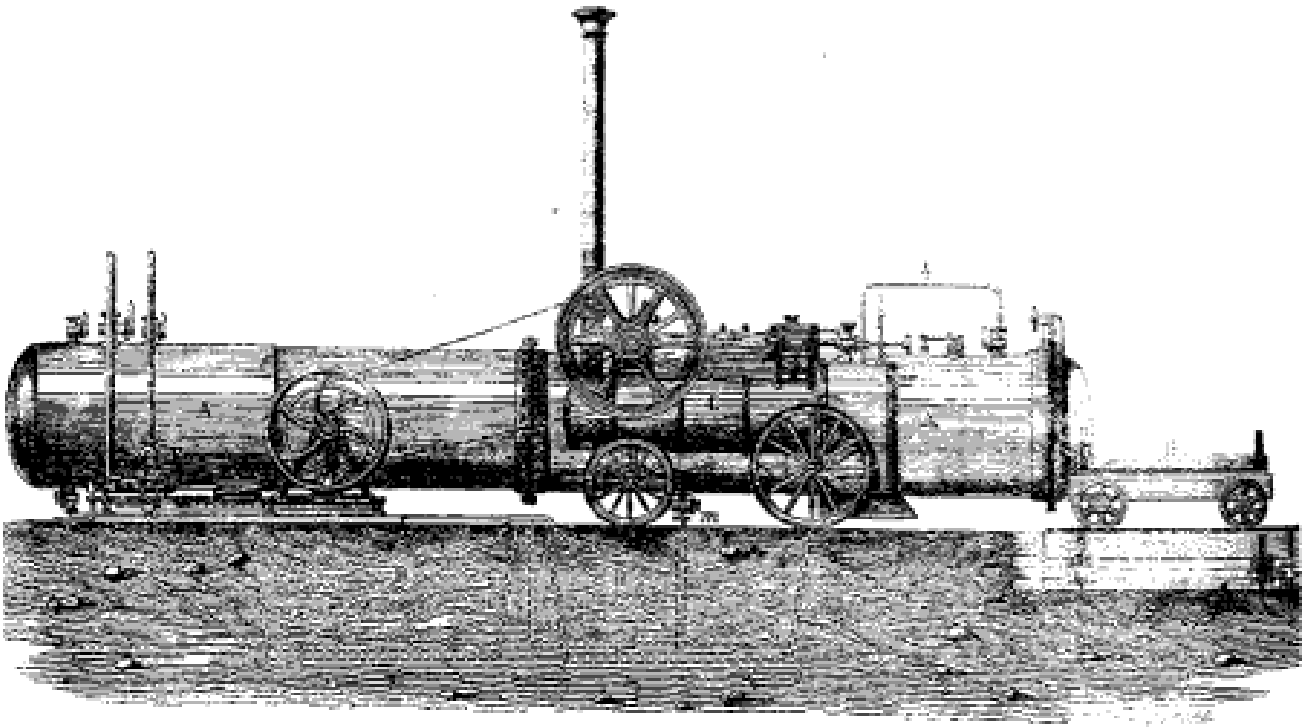


Fig. 1.

grand cylindre en cuivre de 12 mètres de longueur A A, devant lequel un truc B amène les chariots, qui, chargés des pièces de bois à injecture, sont successivement introduits dans le grand cylindre. Une locomotive C sert à fournir la vapeur de première injection par un tube H, et à transmettre la force mécanique aux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pompes, à faire le vide et injecter le liquide chaud (solution de sulfate de cuivre) sous une pression élevée.

Les détails dans lesquels nous allons entrer en décrivant le dernier appareil construit avec les nouveaux perfectionnements pour la compagnie du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée feront aisément comprendre les moyens d'obtenir les bons résultats que nous venons de signaler.

L'appareil entier comprend :

1° Deux cylindres en cuivre rouge destinés à recevoir alternativement les bois que l'on veut injecter; chacun de ces cylindres est terminé d'un bout par une calotte solidement rivée, et vers l'autre extrémité par une calotte mobile.

2° Les ustensiles annexes indispensables, tels que soupapes de sûreté, manomètre indicateur des pressions supérieures à l'atmosphère et du *vide* relatif, niveau d'eau, tubes et robinets de communication pour les liquides et les gaz.

3° Dix chariots à introduire dans le cylindre et dont les bâtis sont en bois, les armatures et roulettes en bronze, outre les cinq ou six trucs D, D (*fig.* 2 et 3, page 711), roulant sur les rails M' M', fixés sur le sol MM, sur lesquels ces chariots sont transportés, chargés des bois amenés du chantier ou conduits aux magasins après l'injection.

4° Deux pompes à double effet, pompes à air, pompes d'injection, condenseur à vide, transmissions de mouvements.

5° Locomobile et son générateur d'une force de 12 chevaux.

6° Enfin, cuves en bois doublées de cuivre, serpentin de chauffage et bâche à eau condensée.

Quelques détails de construction sur les parties principales de cet ensemble d'appareils rendront plus faciles les explications relatives au mode d'opérer ainsi qu'aux effets produits.

Cylindres ou vases clos à injecter le bois.

Chacun des cylindres A dans lesquels doit s'effectuer la pénétration des pièces en bois est formé de six manchons en cuivre rouge de 13 millim. d'épaisseur, réunis à recouvrement sur une largeur de 12 centimètres par une double cloüure de rivets en cuivre ayant un diamètre de 24 millim. rivés à froid; toute la superficie de cet assemblage est étamée; la longueur totale, non

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

compris le bombement des deux fonds, E, E', est de 6 mètres et le diamètre intérieur est de 1 m. 60 c.

A la partie inférieure est fixée une voie de rails B, B (*fig.* 2) en bronze présentant de chaque côté une table ou bande de 6 cent. de large à 1 mètre d'écartement d'axe en axe, destinée à recevoir les chariots à roulettes chargés des bois que l'on veut *préparer* (ou soumettre à l'injection par la solution de sulfate de cuivre).

A l'une des extrémités du cylindre, le fond bombé E (*fig.* 2), d'épaisseur égale aux autres parois, est fixé à demeure. A l'autre extrémité, le fond E' est mobile autour de l'axe d'un arbre horizontal en fer formant avec l'armature de ce fond une forte charnière; les bords de ce fond sont terminés par une large bride circulaire en bronze portant une saillie ou languette venue de fonte et qui s'adapte dans une rainure également annulaire pratiquée dans la bride semblable en bronze terminant le bord du cylindre et formant son embouchure.

Les oreillons en bronze, venus de fonte, sont traversés par l'arbre en fer qu'ils supportent, et dont on peut opérer le déplacement, à l'aide de vis de rappel, s'il se manifestait quelque dérangement entre les brides qui doivent exactement coïncider l'une avec l'autre.

Deux leviers à contre-poids F, équilibrant cette sorte d'obturateur ou couvercle articulé, facilitent tellement la manœuvre, qu'un seul homme peut aisément ouvrir et fermer le cylindre.

Afin d'obtenir une fermeture étanche, on introduit dans la rainure ou gorge circulaire de la bride du cylindre une torsade en bourre de chanvre que l'on comprime par la languette circulaire en serrant le couvercle, et que l'on double par une deuxième torsade semblable, également comprimée ensuite.

Le serrage des deux brides, du cylindre et du couvercle, s'effectue au moyen d'une rangée de boulons articulés adaptés tout autour de la bride du cylindre, se rabattant dans des créneaux ou échancrures, en sorte qu'on puisse, dès qu'ils sont ainsi rabattus, serrer les boulons dans leurs écrous aciérés par cémentation.

Ustensiles, robinets et tubes annexés aux cylindres.

Outre les ustensiles indicateurs de niveau du liquide, de la pression, du *vide* et la soupape de sûreté, chacun des cylindres est muni de robinets isolés, correspondants aux diamè-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

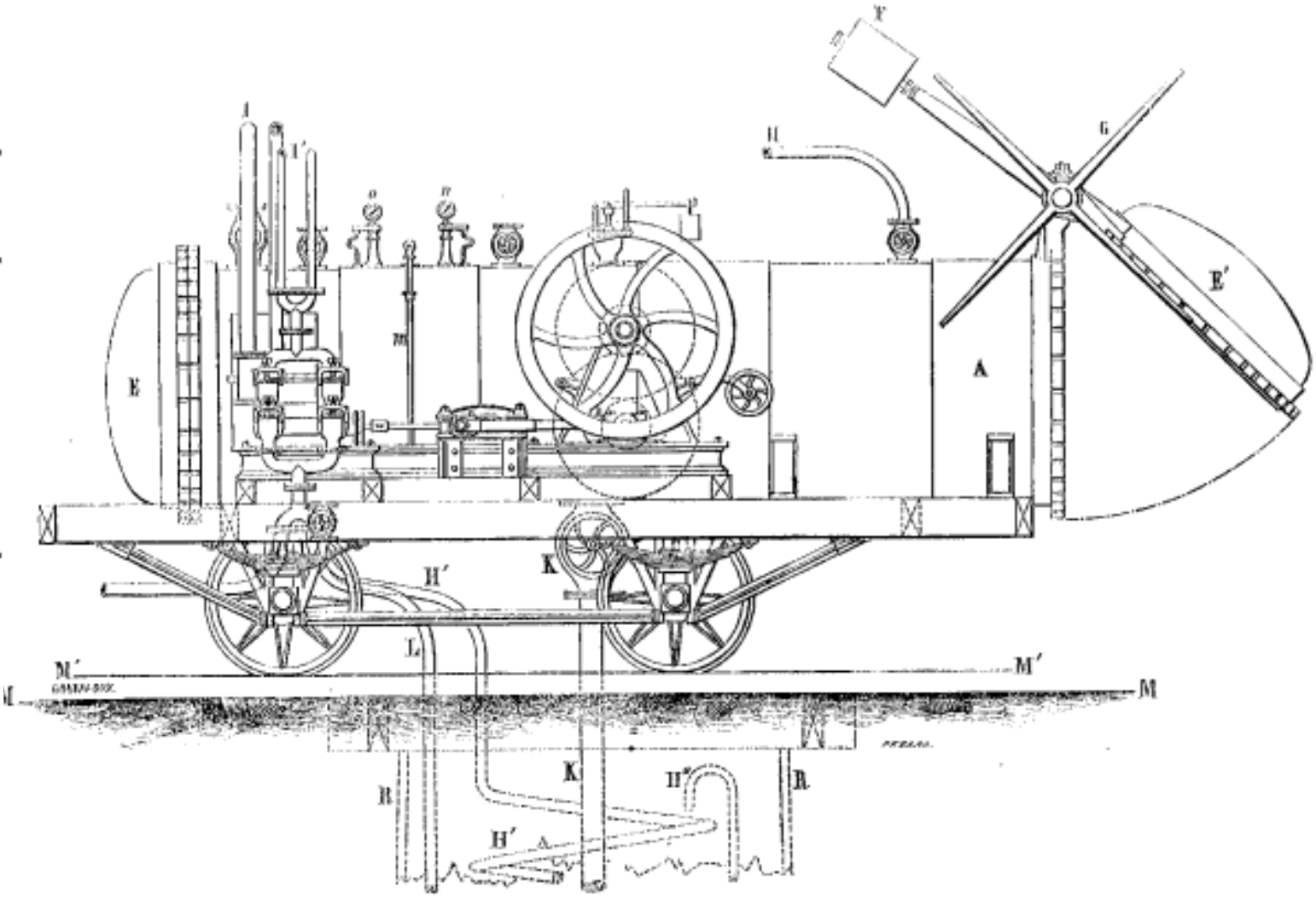


Fig. 2.

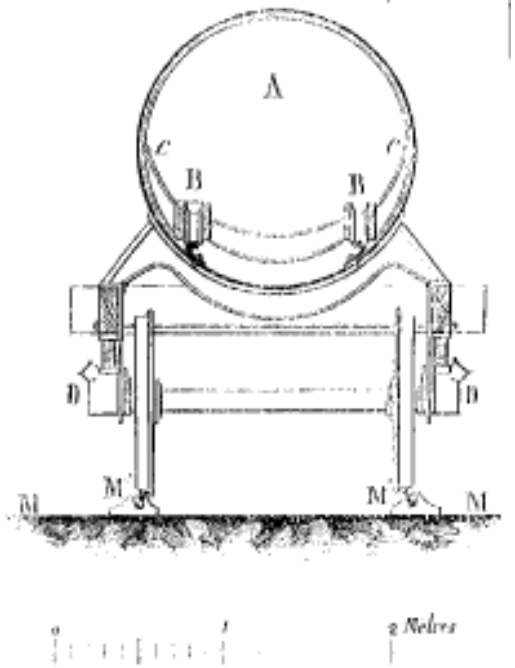


Fig. 3.

tres intérieurs des différents tubes en cuivre qui s'y trouvent adaptés, savoir :

Robinet de 60 millimètres, pour le dégagement de l'air.

Id.	—	id.	H servant à introduire la vapeur.
Id.	—	id.	I' destiné au refoulement de la solution.
Id.	—	id.	pour donner issue à la vapeur.
Id.	—	id.	correspondant à l'aspiration L de la pompe dans la cuve.
Id.	100	id.	I qui établit la communication avec le condenseur de la pompe à air.
Id.	150	id.	K pour introduire la solution lorsque le *vide* est fait, ou pour évacuer le liquide après que l'injection est accomplie.

Le serpentin en cuivre rouge H' correspondant au robinet d'évacuation de la vapeur, contourné en hélice autour des parois du réservoir, transmet la chaleur de l'eau de condensation qui doit élever à 70 degrés la température de la solution du sulfate de cuivre. L'excès de la vapeur est dirigé avec l'eau condensée vers une bâche destinée à l'alimentation du générateur, ou bien passe de l'extrémité inférieure du serpentin par un tube vertical recourbé H'' qui ramène dans le bain de sulfate de cuivre l'eau et la vapeur, contribuant ainsi à élever la température de ce bain.

Les fig. 4 et 5 montrent les détails de la fermeture d'un cylindre par une coupe suivant l'axe du cylindre, une vue de face et la figure grossie d'un boulon articulé; E coupe du bout du cylindre, E' coupe par le même plan vertical du couvercle indiquant les boulons articulés; F (*fig.* 4 et 5), contrepoids du couvercle E, E' montés au bout de chacun des deux leviers qui sont adaptés de l'autre bout à l'arbre horizontal G'; celui-ci tourne à volonté dans les coussinets des quatre bras de l'armature à l'aide du moulinet à quatre branches G G. La bride épaisse à rebords échancrés se remarque autour de l'embouchure du cylindre (*fig.* 5); trois des boulons y sont représentés engagés dans les échancrures correspondantes de la bride.

Chariots.

Chaque cylindre peut recevoir successivement et contenir à la fois deux chariots chargés de traverses (ou d'autres pièces en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bois à préparer), pendant que deux autres chariots sont en voie de chargement au chantier. Ainsi donc, huit chariots se trou-

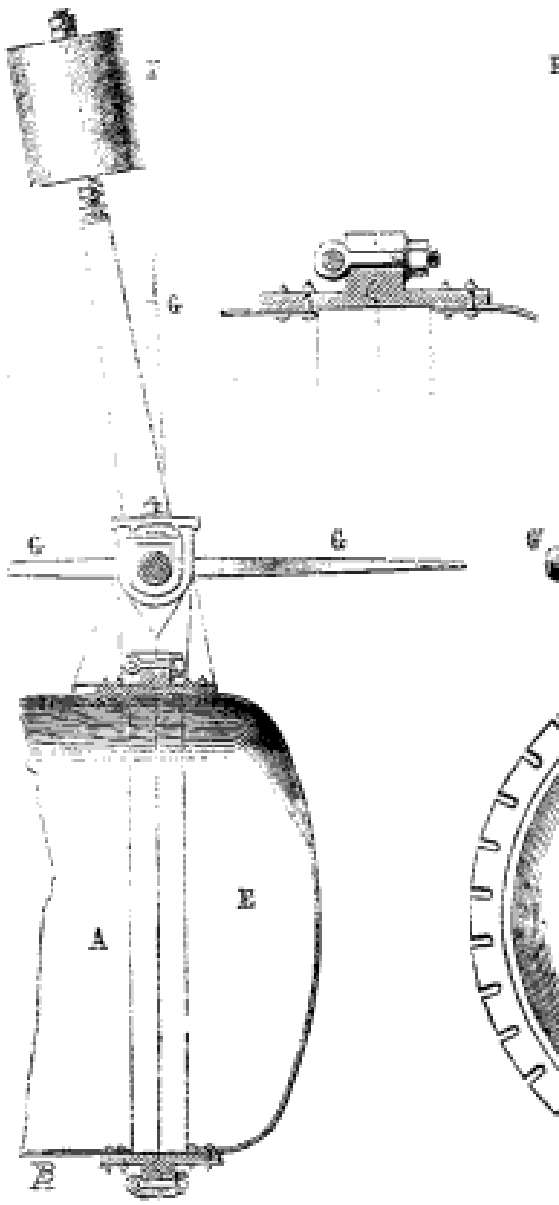


Fig. 4.

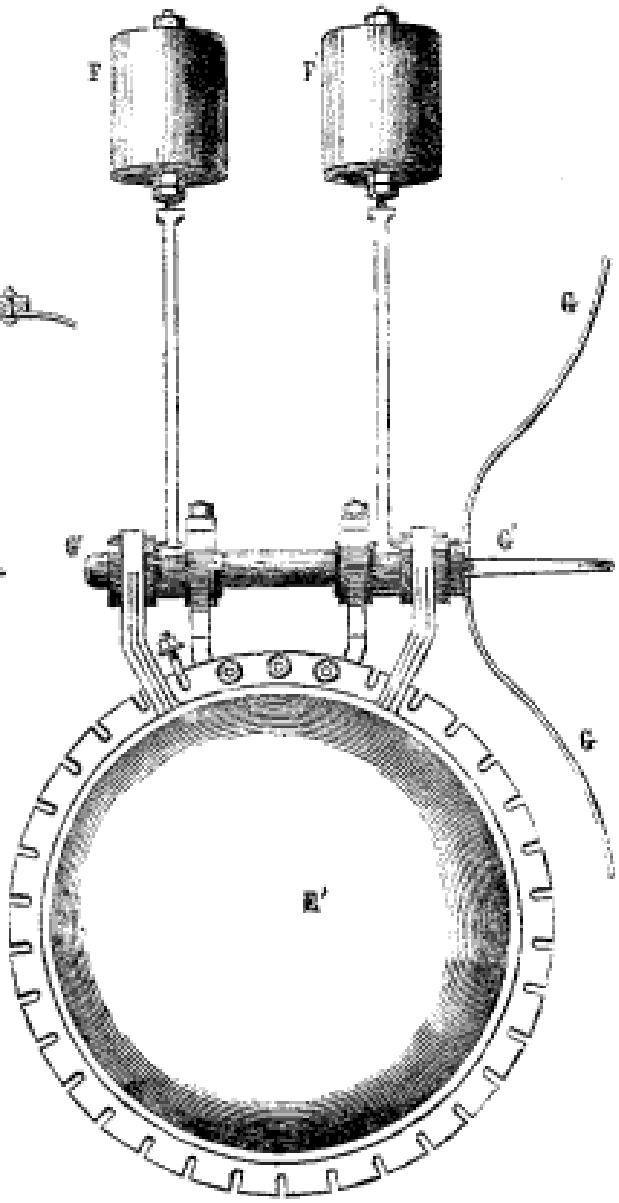


Fig. 5.

vent simultanément en fonction pour les deux cylindres ; on comprend la nécessité de deux autres chariots prêts à servir en cas de réparations ; ce sont donc en totalité dix chariots qui doivent être disponibles, afin d'assurer le service des deux cylindres sans avoir à craindre d'interruption.

Chacun de ces chariots B, B (*fig.* 2) est formé de deux longuerines en bois de chêne, d'orme, ou mieux encore d'acacia, réunies à l'aide de deux entretoises en bronze se prolongeant des deux côtés en arc de cercle C, C, jusqu'au niveau de la moitié de la hauteur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de la ligne diamétrale du cylindre. Deux portions de cercle, également en bronze, sont adaptées à charnière aux deux bouts arqués de chaque entretoise, de façon à compléter un cercle concentrique au cylindre et qui puisse se fermer par une clavette ; les traverses, successivement empilées, se trouvent ainsi maintenues sur chacun des chariots par les deux cercles en bronze.

Le chariot roule sur quatre roulettes ou galets à une joue débordant le rail à l'intérieur. Ces galets sont montés chacun sur un arbre horizontal tournant dans des boîtes encastrées dans les mortaises spéciales des longuerines. Toutes les pièces métalliques (galets, arbres, boulons, boîtes) sont en bronze.

Pompes.

Toute la machinerie des pompes repose sur un bâti unique très-solide ; dans ces pompes horizontales et à double effet, les pistons ont une course de $0^m,105$, donnant 50 coups doubles par minute.

Voici comment s'effectuent les transmissions de mouvement qui font agir les pompes : Une courroie principale, enroulée sur le tambour de la locomobile, meut alternativement trois poulies fixées chacune à un arbre indépendant ayant pour objet de mettre les pompes en mouvement ou d'interrompre complétement leur marche sans arrêter le moteur.

La poulie centrale est montée sur un arbre en fer tournant dans deux autres arbres creux en fonte munis de bagues en bronze. Chacun de ces arbres creux porte lui-même une poulie, un volant régulateur et un pignon denté commandant une roue garnie d'alluchons et fixée sur un arbre inférieur à manivelle.

Une bielle à fourche s'articule à la tige d'une des pompes au moyen d'un T formant galet et guidé dans des glissières.

Locomobile.

Le moteur se compose d'une locomobile de la force de douze chevaux-vapeur, sans roues ni essieux, portée par un châssis de wagon ordinaire.

De même que le moteur, les cylindres à injecter le bois et tout le mécanisme des pompes sont installés chacun sur un châssis roulant afin qu'on puisse les transporter facilement aux divers points où le besoin l'exige sur toute la ligne du chemin de fer.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Mode d'opérer.

Les opérations sont ainsi dirigées en faisant usage des appareils et ustensiles ci-dessus décrits.

Deux chariots chargés de traverses ou d'autres pièces de bois, brutes ou taillées, sont successivement amenés sur des trucks, garnis de deux rails transversalement fixés vis-à-vis l'embouchure de l'un des cylindres; on pose entre le truck et le cylindre, pour combler l'intervalle, deux bouts de rails mobiles qui établissent la continuité entre les rails du truck et ceux du cylindre, et permettent d'introduire, en les faisant rouler, les deux chariots dans ce vase. On abaisse alors l'obturateur, oscillant sans difficulté autour de l'axe supérieur et équilibré par les deux contre-poids à leviers, les boulons articulés sont aussitôt rabattus et fortement serrés. C'est à ce moment que l'opération proprement dite commence; la chaudière de la locomobile, chauffée d'avance, est mise en communication par le tube H avec l'intérieur du cylindre chargé de bois, qui se trouve aussitôt traversé par un courant de vapeur chassant l'air par le robinet spécial et passant en excès par le robinet inférieur qui la dirige dans les circonvolutions du serpentin, où elle se condense en échauffant la solution du sulfate de cuivre et se dirige ensuite soit vers la bâche d'eau d'alimentation, soit dans la solution par le bout recourbé du tube.

On doit laisser circuler ainsi le courant de vapeur pendant 15 minutes au moins, et quelquefois le prolonger durant 30 et même 60 minutes, suivant le volume et l'essence des pièces de bois renfermées dans le cylindre. Le but qu'on se propose étant d'élever la température de toute la masse ligneuse au point convenable (de 65 à 70 degrés) pour chasser les gaz engagés dans les tissus et rendre plus perméables tous les conduits, la masse étant rendue par là en quelque sorte spongieuse, et la perméabilité devenue plus facile en raison de la coagulation partielle des substances albuminoïdes.

Lorsque ces effets se sont produits, on ferme les robinets et l'on ouvre la communication entre le cylindre et le condenseur, dans lequel arrive aussitôt une injection d'eau froide que l'on évacue, ainsi que les gaz, à l'aide de l'une des pompes à air placées sur la locomobile; on interrompt alors l'injection d'eau et on

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pousse le vide jusqu'à réduction de la hauteur de la colonne de mercure, à 5 ou 6 centimètres durant 15 à 18 minutes (et même 25 minutes pour les essences le plus difficilement perméables, telles que le chêne venu en terrain sec).

A ce moment, on ouvre le gros robinet K qui établit la communication entre le cylindre et le réservoir contenant la solution à 0,02 de sulfate de cuivre chauffée jusqu'à 70 degrés par la vapeur perdue. Cette solution, poussée par la pression extérieure de l'atmosphère, se précipite dans le cylindre qu'elle remplit aux neuf dixièmes environ. On complète le remplissage à l'aide de la pompe foulante, qui introduit une nouvelle quantité de solution cuivrique chaude puisée dans le même réservoir. Le refoulement de ce liquide a pour but d'élever la pression dans le cylindre jusqu'à 12 atmosphères et de l'y maintenir pendant une demi-heure au moins.

On comprend que le petit volume des gaz qui restent encore engagés dans les tissus ligneux se trouve réduit, par l'effet de cette pression, des 11 douzièmes environ, et que le liquide, en prenant la place qu'ils occupaient, s'introduit d'autant plus avant et se met naturellement en contact avec les surfaces des cavités devenues libres.

En effet, lorsqu'on coupe en deux par un trait de scie une traverse qui vient d'être injectée, comme je l'ai fait exécuter en ma présence, afin de reconnaître par les réactifs la pénétration du sulfate de cuivre, on peut observer le bouillonnement des gaz qui se dilatent et sortent dès qu'ils se trouvent ainsi délivrés de la pression considérable qui les avait refoulés.

Lorsque la pression de 12 atmosphères a été, comme nous venons de le dire, maintenue pendant trente minutes dans le cylindre, on ouvre le gros robinet de vidange qui laisse retourner dans le réservoir à sulfate la solution non absorbée.

Il ne reste autre chose à faire alors que d'ouvrir le cylindre, retirer les chariots, les replacer sur le truck qui les transporte vers le magasin aux bois préparés, tandis qu'un autre truck amène successivement deux autres chariots chargés de pièces à injecter et que l'on introduit à leur tour pour recommencer une opération semblable.

Chacun des cylindres renfermant deux chariots chargés ensemble de 64 traverses, et les opérations pouvant être répétées

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

8 fois en 12 heures, on voit qu'il sera facile de préparer en une journée 1024 traverses dans les deux cylindres, ou leur équivalent en pièces de tout autre forme occupant en somme le même volume; si les commandes étaient urgentes, on pourrait doubler cette quantité en travaillant pendant 24 heures.

Dans les cylindres plus longs, primitivement construits, contenant chacun 4 à 6 longueurs de traverses, et par conséquent 4 à 6 chariots, on employait plus de temps pour le chargement et le déchargement, pour effectuer les injections, faire le vide, opérer la vidange; aussi ne parvenait-on, plus difficilement encore, à répéter que 6 fois les opérations : c'est ainsi que dans le cylindre de 17 mètres de longueur et $1^{m},30$ de diamètre fonctionnant près de Bordeaux sur la ligne du Midi, on charge sur 6 chariots 120 traverses, et l'on obtient en 12 heures de 6 opérations 720 traverses. Si l'on partageait en deux, comme on en a l'intention, le long cylindre injecteur, les deux cylindres qui en résulteraient, de moitié plus courts, permettraient de répéter 7 à 8 fois l'opération, ce qui produirait en 12 heures 1/6 à 1/3 de plus, c'est-à-dire 840 à 960 traverses au lieu de 720.

Les deux appareils sur le même système, établis à Amiens pour les départements du nord, ont, l'un $16^{m},30^{c}$ de longueur, l'autre 11^{m}, et tous deux $1^{m},25$ de diamètre; le premier contient à la fois 96 traverses sur 6 chariots, et le deuxième 64 sur 4 chariots; les 6 opérations accomplies en 12 heures fournissent 960 traverses préparées, ou environ 80 à 100 mètres cubes; ils ont déjà livré, pour les chemins de fer, les poteaux télégraphiques, la marine au port de Cherbourg, environ 10,000 mètres cubes de bois injectés, et doivent préparer 170,000 traverses pour la ligne du Nord en 1861, outre les poteaux, bois de construction, parquets, etc.

Les chemins de fer algériens, et l'extension des lignes en Allemagne, en Belgique, en Suède, en Russie, dans l'Espagne et l'Italie offrent de nouveaux et importants débouchés pour de semblables fournitures, ainsi que des créations favorables pour installer des appareils en différents lieux de ces contrées étrangères.

Quantités de sulfate de cuivre injectées.

Dans les conditions favorables où l'injection s'effectue, le volume de la solution qui pénètre au milieu des tissus ligneux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

varie suivant la texture plus ou moins serrée des bois venus sur des terrains plus ou moins secs et des essences forestières plus ou moins tendres ou dures. Mais en tout cas, si l'on proportionne au volume de la solution injectée la dose du sulfate cuivrique contenu dans cette solution depuis 0,015 au moins jusqu'à 0,020, en tenant compte de la quantité d'eau fournie par la condensation partielle de la vapeur, il est toujours facile de parvenir à compléter dans les tissus ligneux la quantité de 5k5 à 6 kil. par mètre cube, reconnue suffisante dans la pratique pour assurer une longue conservation.

Les nombreuses expériences faites par plusieurs commissions d'ingénieurs ne peuvent laisser de doute sur les volumes de la solution injectée dans les différents bois, et il ne sera pas inutile de citer ici quelques-uns des faits bien constatés à cet égard [1].

Quantité de solution injectée dans les différentes essences de bois.

Il est facile de conclure du volume de la solution introduite par mètre cube de bois les doses de sulfate de cuivre engagées dans les tissus ligneux, en tenant compte de quelques impuretés dans le sulfate et de l'affaiblissement de la liqueur normale occasionné par la condensation de la vapeur durant la première phase de l'opération.

A cet égard, les essais de M. de Hennezel, ingénieur des mines, et de M. Vétillard, chimiste manufacturier, ont montré qu'une solution primitivement faite dans les proportions de 2 centièmes de sulfate de cuivre n'en renfermait plus, par cette double cause, lorsqu'elle eut rempli le cylindre, que 1,728 ou 17gr28 par litre, ce qui, d'ailleurs, comme on peut le voir par le tableau suivant, avait largement suffi pour atteindre les proportions de sulfate utiles à une bonne conservation.

[1] Voir les rapports de M. Ch. Richoux, ingénieur des chemins de fer du midi de la France et du nord de l'Espagne; de M. Hennezel, ingénieur en chef des mines; de M. Vésignié, ingénieur de la marine au port de Cherbourg; de M. Sochet, directeur des constructions navales à Cherbourg; de M. Ricour, ingénieur des ponts et chaussées sur les expériences d'une commission de la Société du matériel agricole de la Sarthe et les notices de M. Émile Barault, ingénieur civil.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

NATURE ET ÉTAT DES BOIS.	Poids primitif du m. cube.	Liquide absorbé p^r 1 m.c.	= Sulfate fixé.
HÊTRE. — Prismes, pièces équarries, traverses équarries, trav. demi-rond., madriers[1] moyennes.	747	430	8,6
PIN MARITIME. — Traverses demi-rondes, bois sain, 6 mois de coupe (n^os 49 à 52).	589	461	9,2
CHARME. — Madrier équarri, cœur du bois, 8 à 10 ans de coupe, 5 ans de sciage.	737	610	12,2
PEUPLIER. — Traverses, demi-rondins, bois sain, 6 mois de coupe (n^os 54 à 58).	589	690	12,4

On peut remarquer dans ces résultats l'influence qu'exercent la texture, la densité apparente et l'essence des bois sur leur pouvoir d'absorption dans des conditions semblables.

Dans le cours de ses expériences M. de Hennezel a pu reconnaître qu'au moment où le passage de la vapeur avait eu lieu et le vide effectué, les pièces de bois s'étaient gonflées : sur l'une d'elles la surface de la section transversale avait augmenté de 17,640 millim. à 18,400 millim. ou :: 100 : 104 sans que la longueur se fût accrue sensiblement; le poids s'était élevé pour 6 pièces pesant ensemble 247 kil. à 255 kil., ce qui correspond à 0,02 du poids primitif; l'absorption d'un peu de vapeur condensée suffit à l'explication de ce fait.

En essayant sur la surface des coupes transversales l'action d'un réactif[2] qui décèle la présence du cuivre et donne des indications approximatives sur les quantités de sulfate de cuivre injecté, M. Hennezel a reconnu que les portions des bois (soumises à la préparation dans l'appareil) représentant l'aubier et celles qui ont éprouvé un peu d'*échauffement* se trouvent injectées en plus fortes proportions que les parties constituant le cœur ou les nœuds, surtout parmi les plus saines, mais que toutes, notamment au bout de quelques jours, contiennent des doses suffisantes de l'agent préservateur, et qu'enfin les portions les plus altérables sont

[1] Sur les 7 pièces mises en expérience, les quantités absorbées ont été d'autant plus fortes que le temps écoulé depuis l'abatage était plus considérable ; elles ont varié de 320^k à 568 par mètre cube pour des pièces ayant de 4 mois à 3 ans de coupe.

[2] La solution aqueuse en usage pour les essais des traverses contenant par litre 90 gram. de cyanoferrure de potassium, et qui donne au contact du bois imprégné de la solution du sulfate de cuivre un précipité brun rouge plus ou moins intense, suivant les quantités de ce sulfate cuivrique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

précisément celles qui fixent le plus de sulfate et sont le mieux défendues ; qu'à cet égard ainsi qu'au point de vue de la préparation facile, rapide, régulière, économique des bois les plus répandus dans le commerce spécial, tirés de France et de l'étranger, le procédé Légé et Fleury-Pironnet est celui qui semble offrir le plus de garanties et d'avantages réels.

Dans un grand travail comprenant des essais variés sur les effets de chacun des moyens successivement mis en action dans ce système, M. Vésignié, ingénieur de la marine, a montré comment les trois opérations sur lesquelles repose l'invention, utiles, dans tous les cas, pour faciliter la pénétration, sont essentielles lorsque quelques circonstances particulières augmentent la résistance des bois à l'injection; ses conclusions relatives à l'application aux bois de marine ont reçu l'approbation complète de M. Sochet, directeur des constructions navales.

Comparant ensuite ce procédé avec les autres procédés de préparation des bois au point de vue de leur conservation économique, M. Vésignié est conduit à penser qu'il offre plusieurs avantages considérables, même en se fondant sur l'emploi de l'appareil de 17 mètres de longueur et 1 mètre 30 de diamètre qui lui semble trop encombrant et d'une disposition trop dispendieuse, bien qu'en somme il lui ait paru bien fonctionner.

Nous avons donné, page 708, une vue générale de cet appareil, afin qu'on puisse le comparer avec l'appareil plus court et d'un diamètre un peu plus grand offrant plusieurs perfectionnements auquel les inventeurs accordent aujourd'hui la préférence et que nous avons décrit pages 710 et 713.

Prix coûtant du mètre cube injecté des bois de traverses et des pièces destinées aux constructions.

M. Vésignié, voulant établir ses calculs sur l'emploi d'appareils de dimensions convenables, les applique à un cylindre de 12 mètres (longueur généralement suffisante pour les poteaux télégraphiques) et de 1 mètre 60 de diamètre : avec les ustensiles accessoires, l'ensemble coûterait 60,000 fr., savoir :

Cylindre en cuivre, compris rails intérieurs et robinets.	36,108
8 chariots.	1,774
Pompes à air et à refoulement de liquide.	4,668

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Réservoirs, serpentins et tubulures.	1,150
Machine à vapeur locomobile de 12 chevaux.	11,000
Voies de chantier, hangars.	5,000
Total.	60,000

Supposant que les espaces utilisés sont de 0,50 de la capacité du cylindre, la charge de bois sera de 12 mètres cubes; chacune des opérations devant durer douze heures, douze hommes seront nécessaires pour le mouvement des bois et la manœuvre des wagons. En une journée de dix heures la dépense correspondante à 5 opérations fournissant 60 mètres cubes de bois injectés sera :

Pour 12 ouvriers à 3 fr.	36
1 chauffeur.	5
1 chef de chantier	6
Chauffage et entretien de la machine.	25
Sulfate de cuivre 360 kil. (6 k. par mètre cube), à 1 fr. 20 c.	432
Amortissement du capital de 60,000 en 10 ans.	23
Total.	527

ou par mètre cube $\frac{527}{60} = 8$ fr. 71 c., soit en nombres ronds 9 fr.

MM. Légé et Fleury-Pironnet, en portant le prix de l'appareil et des accessoires à 61,000 fr., admettant l'emploi de 385 kil. de sulfate à 0 fr. 90 c., à raison de 5 kil. 5 par mètre cube, supposant enfin qu'on injecte par jour 70 mètres cubes ou 700 traverses, admettent pour tous frais d'injection un prix de revient de 6 fr. 20 c. par mètre cube, ce qui correspond à 6 opérations par jour donnant chacune 11 mètres cubes 66 pour un cylindre d'une capacité de 24 mètres cubes. Si l'on ne faisait pas plus de quatre opérations en un jour, le calcul sur les mêmes bases porterait le prix coûtant de l'injection à 6 fr. 95 c. ou 7 fr. le mètre cube.

L'injection à l'huile créosotée dans l'appareil et suivant la méthode Bethel revient ordinairement à 16 fr. le mètre cube; ce prix s'élèverait davantage en raison de l'augmentation de valeur des produits distillés du goudron de houille.

En admettant la dépense de 7 fr. par mètre cube pour l'injection d'un mètre cube de bois, on voit que cette dépense est à peine équivalente à la dixième partie de la valeur du bois normal dont la durée cependant peut être triplée sous l'influence de l'agent antiseptique introduit dans le tissu ligneux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nous croyons devoir indiquer encore ici quelques-uns des résultats remarquables obtenus dans une série d'expériences faites en 1859 par une commission spéciale de la société du matériel agricole de la Sarthe [1].

Au premier rang des bois qu'il est facile et avantageux d'injecter par le système en question, la commission a placé le hêtre, pourvu que ce bois, comme tous ceux que l'on veut injecter dans de bonnes conditions, ait été abattu depuis quatre mois au moins.

Le charme, les peupliers, l'aune, les pins maritime et sylvestre, le sapin du Nord, soit en traverses de chemin de fer, soit en poteaux télégraphiques se sont facilement pénétrés; et dans l'érable-sycomore et le platane, l'injection a été complète; le frêne ne s'est que partiellement injecté; quant à l'acacia et au châtaignier, la commission n'a obtenu que des résultats à peu près négatifs; ce sont heureusement des essences qui, dans beaucoup d'applications, résistent sans aucune préparation, plus que toutes les autres.

Voici encore quelques observations de cette commission spéciale s'accordant avec tous les faits bien constatés.

Généralement, dans les diverses essences les tissus ligneux dont les canaux séveux se sont obstrués pendant que l'arbre était sur pied (*le bois mort*) ne s'injectent pas. Au contraire, les portions altérées, ou plus ou moins échauffées après l'abatage, absorbent en grande quantité la solution cuivrique.

Les *nœuds* s'injectent d'autant moins qu'ils sont plus petits;

[1] Cette commission était composée de MM. Capella, ingénieur en chef des ponts et chaussées, président; d'Angely, conservateur du musée agricole; de Bellemare, directeur divisionnaire des lignes télégraphiques; Béraud, inspecteur des eaux et forêts; Bollée, fondeur; Chalot-Pasquer, maire du Mans; de Chantemèle, propriétaire; Delanney, agent voyer en chef; Doré, fondeur; Gasselin, membre du conseil général du département; de Hennezel, ingénieur en chef des mines; de Longueval, vice-président du conseil général; Racois, membre de la Société d'agriculture et des arts; Richard, président de la Société d'agriculture; Ruillé, ancien sous-préfet; H. Thoré, ingénieur des ponts et chaussées; Triger, directeur des lignes télégraphiques; Vésignié, ingénieur de la marine; Vétillart, membre de la chambre de commerce; de Villiers de l'Isle-Adam, membre de la Société d'agriculture; et Ricour, ingénieur du service hydrographique, rapporteur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

c'est ainsi que dans le hêtre ils sont plus volumineux et s'injectent plus facilement que dans l'orme.

Toutes choses égales d'ailleurs, les bois débités ou travaillés s'injectent mieux que les bois en grume, car relativement aux premiers les gros vaisseaux disposés en couches concentriques dans les zones annuelles aboutissent à la superficie par un plus grand nombre de points, c'est-à-dire qu'à masse égale les sections ouvertes par lesquelles les gaz sortent et le liquide entre sont plus nombreuses. Aussi la dose de sulfate est-elle plus abondante près de la superficie que vers le centre des pièces.

Application des bois préparés.

Les rapports que nous avons cités signalent les applications les plus importantes des bois injectés; nous les rappellerons brièvement ici. M. Hennezel recommande leur emploi non-seulement pour traverses, les changements de voie des chemins de fer, mais encore pour les charpentes de toute espèce, les boisages des mines, certains bois de menuiserie, les pieux, échalas, tringles des treillages.

Dans le rapport de M. Vésignié, les applications aux constructions navales sont plus particulièrement mises en relief. Le hêtre, l'orme et le pin lui ont paru offrir les plus grands avantages à cet égard : le hêtre, dont l'injection en général est complète, l'orme qui, sauf quelques veines, est pénétré convenablement, et le pin, qui pourrait être employé avec son aubier dans les baux en sap, et si ce n'est dans les mâts d'une seule pièce, au moins dans les mâts d'assemblage.

« L'emploi de ce procédé apporterait une économie notable dans nos constructions, et aurait surtout l'avantage de ménager nos ressources forestières en chêne. »

M. le directeur des constructions navales Sochet ajoutait à ces considérations, en les approuvant, que pour les quilles et les épontilles on emploierait de grosses pièces de hêtre injectées avec soin, que même le peuplier acquerrait une immense utilité si on pouvait, en l'imprégnant, lui conserver son extrême légèreté spécifique[1]. Cette essence serait plus particulièrement réser-

[1] La densité ne serait effectivement accrue que d'environ 6 kil. par mètre cube représentant après la dessiccation le composé cuivrique resté dans le bois.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vée pour la confection des radeaux, des coffres de rade, des petites canonnières ou affûts flottants, des bateaux de sauvetage, etc.

Par suite de ces avis si bien motivés, des marchés importants ont été passés entre la marine impériale et MM. Legé et Fleury-Pironnet pour une fourniture de bois d'orme et de hêtre en plançons et bordages de 3,50 à 4 m. et de 8 m. à 9,50 de longueur sur 35 cent. d'équarrissage, livrables au port de Cherbourg.

Les applications des bois injectés de sulfate de cuivre ne sont pas limitées aux traverses de chemins de fer, poteaux télégraphiques, menuiseries et charpentes des constructions civiles, et diverses pièces des constructions maritimes qui jusqu'à ce jour ont donné le principal essor à cette industrie contemporaine.

Ces procédés de préparation commencent à rendre de nombreux services en s'étendant aux divers menus objets en bois dont on fait un fréquent usage dans les cultures spéciales, l'horticulture et la viticulture : les treillages des espaliers, tonnelles, berceaux, poteaux, tuteurs, châssis, caisses, bancs des jardins, continuellement exposés aux intempéries des saisons; plus particulièrement encore ceux de ces objets implantés dans le sol ou reposant à sa superficie, employés à l'état normal, se détériorent rapidement vers les points où le contact de la terre entretient une humidité constante qui favorise, avec le concours de l'air, le développement des végétations cryptogamiques, fermentations putrides, causes générales des altérations spontanées et de la destruction des bois dont la préparation au sulfate de cuivre peut les garantir.

Parmi les cultures spéciales, c'est surtout pour la viticulture que la conservation des bois offre une importante économie facile à établir. Nous essayerons d'en donner une idée en prenant pour base de nos calculs la consommation des échalas dans le département de la Gironde. Les vignobles y occupent une surface de 103,513 hectares répartis dans six arrondissements [1].

Les échalas [2] généralement usités pour les vignes du Bordelais

[1] Bordeaux, Bazas, Blaye, Lespare, Libourne et la Réole, produisant année moyenne 25,000,000 d'hectolitres de vins de différentes qualités.

[2] On remplace dans le Médoc les échalas par de longues perches ou lattes fixées avec de l'osier à des pieux nommés *carrassons* : ces sortes d'espaliers

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sont formés de tiges des jeunes pins maritimes extraits par les éclaircies des semis récents. Leur longueur est de 2 m. 30 c. à 2 m. 75 c., et leur diamètre de 3 à 4 c.

Les ceps étant espacés de 1 m. 50 c. dans les sols fertiles et à 2 m. dans les terrains secs, on évalue à 3,500 le nombre moyen des ceps ; par conséquent, en nombres ronds, les 100,000 hectares de la Gironde porteraient habituellement 380,000,000 d'échalas.

Pendant le cours de chaque année, le bout enterré se trouve détérioré (au niveau de la superficie du sol particulièrement). On retranche cette portion. La longueur primitive permet de répéter trois fois encore ce retranchement. Au bout de quatre années, ce qui reste des brins est trop court pour servir à un cinquième échalassement.

1,000 échalas de 2 m. 75 c., ayant 3 à 4 c. de diamètre, représentent un volume de 3 mètres cubes. En admettant une durée de quatre ans, on voit que la consommation annuelle serait de $\frac{350,000,000}{4} = 87,500,000$ d'échalas, équivalant à un volume de 250,000 mètres cubes de bois ; voici comment on peut se rendre compte de l'économie réalisable sur la dépense faite à cette occasion, en prolongeant la durée de ces échalas par une injection de sulfate de cuivre dans l'appareil ci-dessus décrit [1].

Achat de 1,000 échalas bruts sur pied	24 fr.	
Abatage, écorçage, mise en bottes et transport au chantier. . . .	21 —	
Sulfate de cuivre, 16k,65	15 —	69 fr.
Main-d'œuvre pour l'injection.	6 —	
Idem pour le bottelage après la préparation.	3 —	
Bénéfice et faux frais.	21 —	
	90 fr.	

Or, l'expérience en grand ayant prouvé que les échalas suffisamment pénétrés de sulfate dans les conditions précitées ont

sont établis à une hauteur de 40 centimètres ; ils exigent sensiblement une quantité de bois égale à celle que nécessiterait l'échalassement usuel.

[1] Déjà, depuis longtemps, on est parvenu à prolonger la durée des échalas dans cette contrée viticole, à l'aide du sulfate de cuivre, suivant la méthode de M. Boucherie d'abord, et ensuite à l'aide de l'immersion, d'après MM. Magary et Knab.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une durée de plus de dix ans sans qu'on soit obligé de retrancher le bout enfoncé dans le sol, on comprend que l'on puisse réduire leur longueur à 1 m. 36 c., et qu'alors les 3 mètres cubes, ne coûtant plus que la moitié de la dépense totale, bénéfice compris, ou 45 fr. au lieu de 90 fr., ce prix ne dépasserait pas le cours ordinaire des échalas écorcés et rendus chez les viticulteurs, et comme on pourrait compter sur une durée double, l'économie réelle serait de moitié au moins.

Dans plusieurs localités, les produits des éclaircies sur les jeunes plantations de pins pourraient, comme à Bordeaux, fournir les échalas de vigne, les poteaux et tuteurs des pépinières et jardins ; ailleurs on utiliserait aux mêmes usages les trembles et divers autres peupliers, les saules, aunes, bouleaux, etc.

Si l'on admet qu'en y comprenant ces applications l'ensemble des vignobles de France, couvrant environ 2,000,000 d'hectares, représente une consommation d'échalas comparée à celle de Bordeaux proportionnellement à la superficie, on voit que cette portion de la consommation représenterait 7,500,000 mètres cubes de bois à imprégner, dont on aurait à renouveler 0,1 ou 750,000 mètres cubes par an, tout en économisant la valeur de 375,000 mètres cubes ou de 125,000,000 d'échalas, coûtant, en tiges écorcées de jeunes pins, environ 5,625,008 fr.

Essais des liqueurs à injecter et des bois soumis à la préparation.

Dans les nombreuses et importantes applications des bois injectés, les conditions de succès reposent sur une répartition de la solution cuivrique en doses suffisantes dans toutes les parties de la masse ligneuse. A cet égard, aucune des précautions que nous avons signalées ne saurait être négligée sans qu'on s'exposât à compromettre l'opération, c'est-à-dire à perdre les garanties d'une longue conservation des bois.

Parmi ces précautions, la pureté du sulfate de cuivre, la dose dissoute dans le liquide à injecter, la quantité introduite dans les tissus ligneux, doivent être constatés à l'aide d'essais de facile exécution.

On reconnaît la bonne qualité du sulfate de cuivre commercial à son aspect offrant une nuance bleue comparable à celle du sulfate pur, pris comme type et pour des cristaux de même volume ; on doit, en outre, s'assurer de sa solubilité complète

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans l'eau, en présence d'un excès d'ammoniaque redissolvant son oxyde et ne donnant lieu à aucune précipitation d'oxyde étranger, notamment d'oxyde de fer.

Quant aux solutions aqueuses de sulfate de cuivre, destinées à la préparation, elles doivent contenir des doses de ces sulfates assez fortes pour compenser la petite quantité d'eau de condensation déposée dans le cylindre durant la première phase de l'opération; ces doses varient, d'ailleurs, suivant que les tissus plus lâches ou plus serrés des essences employées absorbent des volumes plus ou moins grands de la solution cuivrique.

Sur ce point, l'expérience démontre que pour les bois les plus légers et les plus perméables une solution contenant 1k,800 de sulfate dans 100 litres et représentant au moins dans le cylindre une proportion de 1k,500 est convenable, tandis que pour les essences les plus dures ou difficilement pénétrables, il faut pousser la dose jusqu'à 2 centièmes (2 kilog. pour 100 litres). Or, après chacune des opérations, le liquide de retour dans la cuve-récipient, située au-dessous de l'appareil, se trouverait affaibli par la vapeur condensée dans le cylindre et dans le serpentin, si on ne compensait cette double cause de diminution de la densité par une addition nouvelle de sulfate en cristaux.

Dans une marche bien dirigée des opérations, on parvient sans peine à régler ces additions successives; mais il est nécessaire, de temps à autre, de s'assurer des résultats en analysant la solution avant de s'en servir.

On peut obtenir à cet égard des indications approximatives en comparant, dans deux tubes d'égal diamètre, avec la solution normale, contenant soit 18, soit 20 millièmes de sulfate de cuivre, le liquide revenu dans la cuve-récipient, après avoir servi et s'être réchauffé par la vapeur; on ajoute dans ce liquide une quantité de sulfate de cuivre déterminée par tâtonnement et suffisante pour ramener la teinte à une intensité égale à celle de la solution normale. On constate ainsi la dose de ce sulfate qu'il faut faire dissoudre dans la cuve[1] pour ramener la solution au

[1] On parvient sans peine à effectuer la dissolution du sulfate de cuivre sans le pulvériser, en plaçant les cristaux plus ou moins volumineux de ce sel dans un panier doublé intérieurement d'une toile très-claire ou d'un gros canevas, que l'on maintient immergé au niveau de la superficie du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

degré qui convient, suivant l'essence et la perméabilité des bois à injecter.

Un procédé plus exact et d'une exécution facile a été proposé par M. Pelouze pour le dosage du cuivre dans les solutions salines : ce moyen peut s'appliquer à l'essai des liqueurs à injecter et du sulfate en cristaux (dont la formule Cu O SO^3, 5 HO lorsqu'il est pur représente 63,9 de sulfate sec, et 36,1 d'eau ou 25,4 de cuivre).

La liqueur d'essai se prépare ainsi : on se procure d'abord du sulfure de sodium en faisant passer durant trois ou quatre heures un courant de gaz acide sulfhydrique dans une solution de soude pure à 36° Baumé; il se produit des cristaux de monosulfure de sodium qu'on lave avec un peu d'eau.

En faisant dissoudre un poids de 140 grammes de ces cristaux dans de l'eau de façon à obtenir un litre de solution ; ce liquide, sous un volume de 30 à 32 centim. cubes, précipitera l'équivalent d'un gramme de métal dans une solution cuivrique ; pour reconnaître le volume exact de la liqueur d'épreuve correspondante à 1 gramme de cuivre, on fait oxyder et dissoudre cette quantité par 5 ou 6 centim. cubes d'acide azotique; on ajoute 45 à 50 cent. d'ammoniaque liquide qui d'abord précipite, puis redissout l'oxyde de cuivre, et dans la solution chauffée à l'ébullition (dont la température se trouve être de + 75 à + 80 degrés c^), on verse dans cette solution assez de la liqueur d'épreuve, contenue dans une burette graduée, pour précipiter tout le cuivre, ce qu'on reconnaît à la complète décoloration du mélange liquide (le précipité est un oxysulfure ayant pour formule Cu O, 5 Cu S) [1]. Si par exemple 30 centim. cubes de la liqueur d'épreuve contenue dans une burette divisée en 100 degrés ont suffi pour la précipitation totale de la solution cuivrique qui renferme 1 gramme de métal, on en

liquide; lorsque la dissolution est achevée, il suffit d'agiter de bas en haut toute la masse pour répartir également la solution plus dense qui s'est spontanément déposée en partie au fond du vase, et c'est alors que l'on peut constater la dose dissoute et faire usage du liquide.

[1] Le résultat obtenu serait exact, lors même qu'il se trouverait dans la solution du fer, du zinc, du plomb ou de l'antimoine, sur lesquels la réaction du sulfure alcalin ne commencerait qu'après la précipitation complète du cuivre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

conclura que dans toute autre solution cuivrique dont on ignore le titre, 100 divisions de la burette représentant 1 gramme de cuivre, 50 divisions équivaudront à la précipitation de 5 décig., 75 divisions à 75 centig. etc., et ces quantités équivaudront en sulfate de cuivre cristallisé à leur poids multiplié par 3,937.

La même méthode volumétrique peut s'appliquer à la détermination du sel cuivrique engagé dans les tissus ligneux ; il suffit en effet de diviser par un trait de scie transversal les pièces de bois à essayer pour obtenir dans la sciure que l'on recueille un échantillon moyen des différentes parties de l'aubier et du cœur composant chacune des pièces de bois.

La sciure desséchée, incinérée, traitée par l'acide azotique, donne une solution cuivrique dans laquelle le dosage précité détermine les proportions de sulfate, ou d'oxyde, ou de cuivre métallique que le bois contenait [1].

On peut obtenir suivant la même méthode une autre indication, celle qui montre les quantités de sulfate de cuivre susceptibles de résister jusqu'à un certain point à des lavages par l'eau pure : il suffit en effet d'effectuer comparativement ces lavages avant de doser le cuivre dans la sciure pour apprécier les résultats obtenus sur de semblables essences par l'application de plusieurs procédés de pénétration des bois.

C'est dans cette dernière direction que j'ai cherché, avec M. Billequin, à comparer les effets réalisés sur des bois de pins adressés, en mars 1860, à l'administration du Conservatoire impérial des arts et métiers par la direction des lignes télégraphiques.

La pénétration s'était faite suivant deux procédés distincts : l'un agissant par infiltration dans les bois récemment abattus, l'autre agissant sur des bois abattus depuis longtemps, et successivement par un courant de vapeur, par le *vide* ou aspiration des gaz, puis par pression de la solution froide ou chaude. Ce furent les échantillons des bois injectés suivant ce dernier mode

[1] On peut aussi, dans les conditions où le cuivre est le seul métal contenu dans la solution, le précipiter par la potasse caustique : on chauffe à l'ébullition, afin de transformer l'oxyde hydraté en oxyde anhydre facile à laver ; on calcine au contact de l'air cet oxyde, et on le pèse ; il se trouve alors dosé à l'état de l'oxyde $Cu\,O$ = cuivre 393,6 + oxygène 100.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'opérer, le plus complet, et réalisant les conditions du système de MM. Légé et Fleury-Pironnet, qui présentèrent à l'analyse les plus fortes doses de cuivre, comme on va le voir.

10 grammes de la sciure du bois préparé par infiltration, lavée par 30 fois son poids d'eau (jusqu'à ce que l'eau de lavage filtrée ne donnât plus de coloration rouge-brun par le prussiate de potasse) retenaient après dessiccation 0ᵍ,046 d'oxyde de cuivre équivalant à 0ᵍ,144 de sulfate de cuivre cristallisé (CuO SO^3, 5HO) ou 1,44 pour 100 parties du bois analysé.

10 grammes de la sciure du bois injecté après le vide sous 6 atmosphères de pression avec la solution froide de sulfate de cuivre contenaient, après lavage et dessiccation : dans l'aubier, 0ᵍ,026 d'oxyde représentant 0ᵍ,032 de sulfate sec ou 0ᵍ,081 de sulfate cristallisé ; dans le cœur, 0ᵍ,011 d'oxyde équivalant à 0ᵍ,022 de sulfate sec, ou 0ᵍ,034 de sulfate cristallisé = 0,34 pour 100; enfin la sciure du bois injecté sous les influences de la vapeur, du vide, puis de la pression et du liquide chaud, avait retenu (lavée et séchée) 0ᵍ,08 d'oxyde représentant 0ᵍ,16 de sulfate sec ou 0ᵍ,254 cristallisé, c'est-à-dire 2,51 pour 100. Ainsi la comparaison entre les résultats du procédé par infiltration et du procédé complet par le vide et la pression de la solution chaude a donné pour le premier 1,44, et pour le deuxième 2,51 de sulfate cristallisé ou d'oxyde équivalent resté dans 100 parties du tissu ligneux après les lavages [1].

CONCLUSIONS.

Nous nous sommes attaché dans le cours de ce mémoire à signaler les causes générales qui tendent à diminuer la production des forêts en France et les efforts heureux qui, réagissant en sens contraire, ont eu pour but de développer la culture des arbres de haute futaie. Déjà l'on est parvenu à mieux utiliser les ressources spéciales, trop négligées jusqu'à nos jours, qu'offrent à cet égard de vastes terrains de landes sableuses, des étangs et marais à assainir.

[1] Probablement, dans tous les cas, un lavage beaucoup plus prolongé enlèverait, en plus fortes proportions, le sel de cuivre, mais de telles conditions ne se rencontrent guère dans la pratique, surtout pour les portions des bois fixées dans le sol ou les constructions.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nous avons montré que plusieurs essences à croissance rapide parmi les conifères, les bois blancs et même le *robinio*, dit acacia [1], commencent à combler le déficit dans nos approvisionnements des bois de construction, de travail et de chauffage.

Qu'à ce dernier point de vue, la production du bois en France devra un jour subvenir à l'épuisement de notre combustible *minéral*.

Nous avons voulu établir par des faits nombreux et incontestés que les causes initiales des diverses altérations du bois résident surtout dans la présence des substances organiques quaternaires comptant l'azote au nombre de leurs éléments (carbone, hydrogène, oxygène, azote), que ces substances, soit en déterminant la formation des ferments et amenant l'invasion des différentes fermentations alcooliques, acides et putrides, soit en offrant avec les matières grasses, sucrées, gommeuses et salines qui les accompagnent dans tous les tissus végétaux, des aliments aux insectes et aux mollusques, comme aux végétations cryptogamiques, occasionnent la destruction lente ou rapide du bois, suivant les conditions locales dans lesquelles il séjourne.

Nous avons fait voir que les substances azotées molles ou solubles, les premières en proie aux altérations spontanées aussi bien parmi les débris des animaux que dans les plantes arrachées ou les bois abattus, pouvaient être également préservées de ces promptes altérations à l'aide de semblables agents antiseptiques, et nous avons cité sur ce point de grands exemples pris dans les temps anciens et parmi les expériences contemporaines de Champy, Carny, Bréant, MM. Boucherie, Bethel, et celles de nos ingénieurs des ponts et chaussées, des mines, de la marine et de l'École centrale.

Alors passant en revue les principaux systèmes de pénétration des bois par les meilleurs agents antiseptiques, nous avons été conduit à mettre en relief les trois procédés qui demeurent au-

[1] Préféré au chêne pour confectionner les gournables de la marine dans les États-Unis du nord de l'Amérique, très-estimé chez nous depuis quelques années pour préparer les rais des roues, les alluchons des machines, les bobines des filatures de lin, les échalas, poteaux, boisages des mines et divers autres objets exposés à l'humidité de l'air ou du sol.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

jourd'hui acquis à la pratique : ce sont ceux de Bethel, plus particulièrement usité dans la Grande-Bretagne; du docteur Boucherie, employé en France et à l'étranger pour la préparation des tiges d'arbres abattus depuis peu de temps; enfin, de MM. Légé et Fleury-Pironnet, appliqué très-avantageusement en tous lieux à la préparation des bois depuis longtemps abattus en France ou importés du dehors, aussi bien des pièces débitées ou façonnées que des *billes* ou bois en *grume*.

Nous avons démontré par les résultats, soit des épreuves en grand, soit des analyses de laboratoire, qu'aucune des précautions recommandées par les auteurs de ce procédé (élévation de la température du bois par la vapeur, *vide* soutenu, injection de la solution cuivrique chaude sous une forte pression) ne devait être négligée, sous peine de compromettre le succès définitif de l'opération en France comme à l'étranger où la nouvelle méthode se propage.

En comparant les prix et la durée des bois durs non préparés et des essences plus ou moins tendres injectées, nous avons pu faire ressortir les avantages de ces moyens de prolonger la durée des bois, et nous avons indiqué les principales applications des bois préparés réalisées en grand sur toutes les lignes des chemins de fer ou qui sont en voie de s'étendre dans les divers travaux de construction, de menuiserie, de confection des bâtiments et ustensiles variés en bois, utiles aux industries manufacturières, agricoles et horticoles.

Nous avons enfin exposé avec quelques détails les méthodes d'essai à l'aide desquelles il est facile et fort important de constater les quantités de sulfate de cuivre introduites dans les pièces de bois et que les ingénieurs ont fixées entre 5 kil. 1/2 et 6 kilos 1/2 pour chaque mètre cube, puis nous avons présenté le résumé succinct des principaux sujets traités dans ce mémoire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ÉTUDES

SUR LA

CONDUCTIBILITÉ DES LIQUIDES

DANS LES TUBES CAPILLAIRES;

RHÉOSTAT DESTINÉ A LA COMPARAISON DES GRANDES RÉSISTANCES

PAR M. EDMOND BECQUEREL.

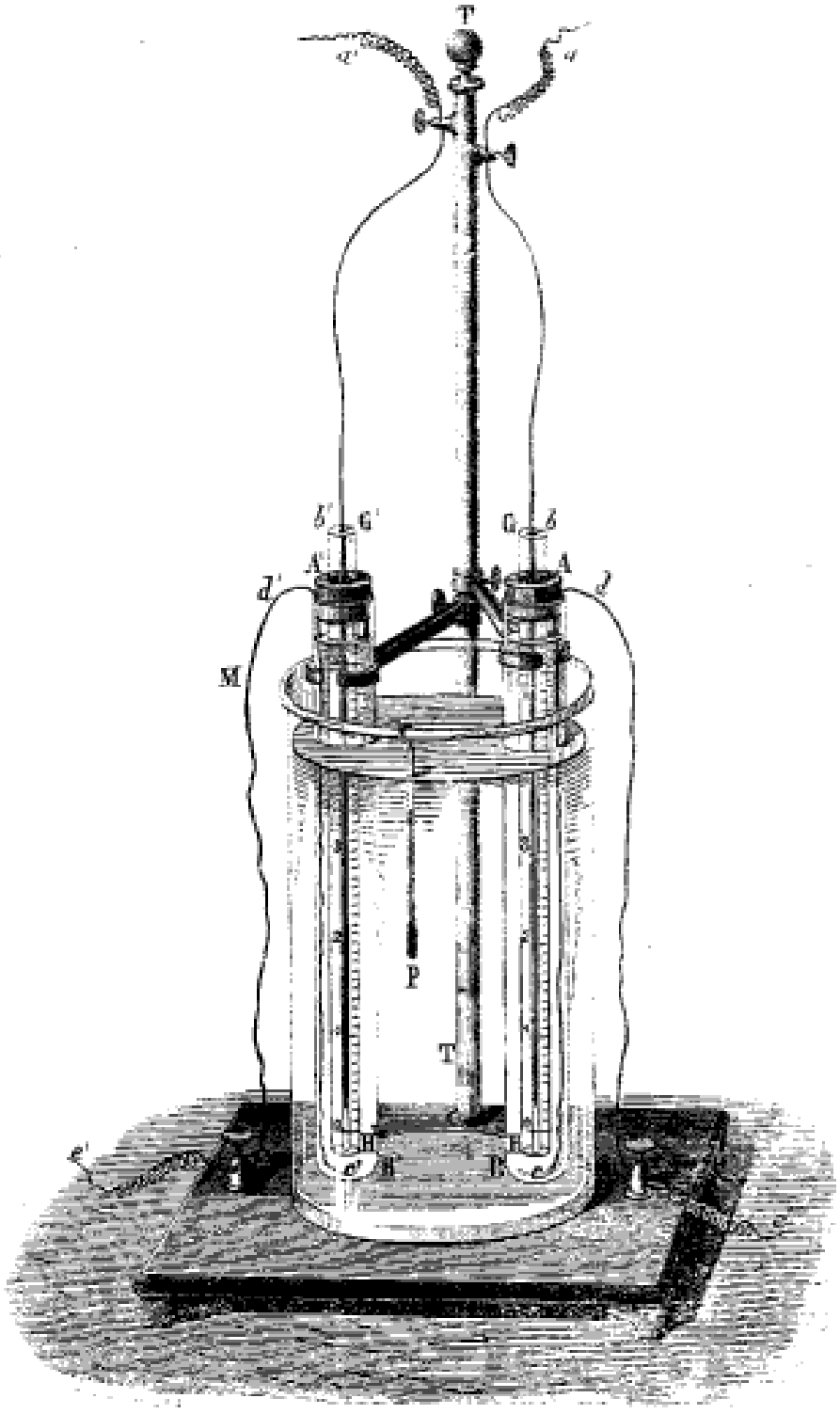
§ I. CONDUCTIBILITÉ DES LIQUIDES RENFERMÉS DANS LES TUBES CAPILLAIRES.

Ayant eu dernièrement l'occasion de comparer différents rhéostats destinés à l'évaluation de grandes résistances, j'ai repris l'examen d'un appareil que j'avais employé en 1853 (*Ann. de chim. et de phys.*, t. XXXIX, p. 364 et suivantes), pour la détermination du pouvoir conducteur des gaz à des températures élevées; cet appareil consiste essentiellement dans une colonne liquide d'un très-petit diamètre, contenue dans un tube capillaire, et dont on fait varier la longueur à volonté. J'ai disposé de nouveau des appareils de ce genre, et je suis arrivé à reconnaître que non-seulement leur emploi présente de grands avantages pour l'étude de certaines questions relatives à la conductibilité électrique, notamment dans la télégraphie, ainsi que pour la comparaison des résistances des parties conductrices des corps organisés, mais encore qu'il permet de reconnaître plusieurs particularités concernant le pouvoir conducteur des liquides, et qui me semblent devoir attirer l'attention.

L'appareil que j'ai employé dans les recherches actuelles se compose d'un tube en verre AB, fermé à la partie inférieure en B et ouvert en A; il a de 25 à 30 mill. de diamètre et 50 à 60 cent. de hauteur; il est maintenu verticalement à l'aide d'une pince fixée à un support en bois TT, de façon à reposer sur le fond d'un grand vase en verre MN, à peu près de même hauteur que le tube AB et de 20 centim. de diamètre. Le tube AB constitue donc une longue éprouvette en verre, que l'on peut remplir de liquide, lequel est maintenu à une température déterminée au

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moyen d'eau que l'on place dans le vase extérieur MN. Un thermomètre P donne la température du liquide.



Un tube capillaire GH, parfaitement calibré, d'égal diamètre dans toute sa longueur, et divisé sur verre par demi-millimètre comme une tige de thermomètre, plonge dans ce tube AB de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

manière à en occuper l'axe. Il est ouvert par les deux bouts, et se trouve maintenu à la partie supérieure A du gros tube par un bouchon en liége. On comprend aisément qu'à l'aide de cette disposition le liquide placé dans l'éprouvette AB pénètre dans le tube capillaire GH et forme, dans ce dernier, une colonne d'égal diamètre dans toute sa longueur.

Un fil métallique *c d e*, en cuivre, en zinc, en argent ou en platine, suivant les expériences, plonge dans l'éprouvette AB, en passant entre le bouchon et l'orifice A, et vient jusqu'à la base se présenter près de l'extrémité inférieure du tube capillaire GH. Un autre fil rigide et aussi droit que possible, *a b*, est introduit dans le tube capillaire GH par la partie supérieure, de sorte qu'en l'enfonçant plus ou moins on fait varier la longueur de la colonne liquide comprise entre l'extrémité inférieure du tube *ab* et la base H du tube capillaire GH. Ce fil est attaché en *a* au support en bois, de sorte qu'en le tirant à la main, ou en l'enfonçant dans le tube, il se maintient de lui-même par son frottement contre les parois intérieures du tube dans la position qu'on lui donne, et à l'aide d'une loupe on peut lire, au travers du verre, la division vis-à-vis de laquelle l'extrémité du fil se trouve arrêtée.

On voit donc que si l'on introduit dans un circuit voltaïque le système *a b c d e*, formé des deux fils et du tube capillaire, le courant est forcé de passer au travers de la colonne liquide comprise entre l'extrémité inférieure du fil *a b* et la base H du tube, et si l'on fait mouvoir le fil *ab* à la main, on fait varier rapidement et facilement la longueur de cette colonne de très-petit diamètre, mais dont la section est partout la même.

Si l'on veut se servir de cette colonne liquide comme corps conducteur de longueur variable pour la comparaison des résistances, il est nécessaire, bien que les deux fils *a b*, *c d*, soient entièrement plongés dans le liquide contenu dans AB, que le courant électrique ne passe qu'entre l'extrémité du fil en question et la base du tube, et que l'on puisse considérer l'électricité comme débouchant par l'extrémité du fil dans toute l'étendue de la section de la colonne qui lui correspond. On ne peut être certain de ce résultat, mais on s'en rapproche autant que possible en prenant le fil métallique d'un diamètre seulement un peu inférieur à celui du tube capillaire, de sorte que ce fil étant droit, son extrémité inférieure forme presque piston dans le tube; il

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

suffit que les fils soient étirés avant de s'en servir, et qu'on puisse les faire mouvoir avec facilité dans le tube. Si l'on réfléchit que les métaux conduisent plusieurs millions de fois mieux l'électricité que les liquides les meilleurs conducteurs, on voit que la différence d'action due à ce que la section de l'extrémité du fil est un peu plus petite que celle du tube est négligeable. Du reste, comme on le verra plus loin, les erreurs de lecture que l'on peut commettre dans l'appréciation des longueurs sont plus grandes que celles qui résulteraient de cette disposition particulière.

L'appareil est disposé de façon à recevoir une seconde éprouvette A'B' et un second système semblable au premier AB, de sorte qu'on peut comparer les conductibilités de deux liquides contenus dans les deux éprouvettes, et cela à la même température, qui est celle de l'eau ambiante renfermée dans MN.

Il est facile de comprendre que cette disposition permet, avant chaque expérience, d'enlever les fils *ab*, *a'b'*, des tubes capillaires, d'insuffler de l'air par la partie supérieure de ces tubes, et de faire arriver une nouvelle quantité de liquide, de sorte qu'à l'intérieur de ces tubes le liquide peut être considéré comme ayant la même composition que dans les éprouvettes. Si l'on voulait déterminer directement les longueurs des colonnes liquides variables soumises à l'expérience, on pourrait, à la place de MN, se servir d'un vase à faces planes, et évaluer les longueurs à l'aide d'un cathétomètre; mais il m'a paru plus simple de faire diviser avec soin les tubes dans les parties où ils sont bien calibrés, et de lire ces longueurs sur la tige avec une loupe, ou mieux, pour éviter les erreurs de parallaxe, avec une petite lunette mobile.

Il est nécessaire, pour se garantir des effets de polarisation sur les fils conducteurs plongés dans les liquides, de prendre des fils formés par des métaux dont l'oxyde constitue la base des sels dissous. Ainsi, quand on se sert d'une dissolution de sulfate de cuivre, on emploie des fils de cuivre; avec le sulfate de zinc, des fils de zinc; avec le nitrate d'argent, des fils d'argent, etc. L'expérience a démontré en effet que dans ces conditions il ne se manifestait aucune polarisation (voir *Annales de chimie et de physique*, 3e série, tome XX, page 68). Mais il est nécessaire, pour éviter les dépôts métalliques sur les fils intérieurs mobiles *a b*, *a' b'*, de rendre ces fils positifs, les fils *c d*, *c' d'* devant communiquer

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avec le pôle négatif des couples voltaïques employés. Bien que l'action chimique intérieure soit très-faible, le bout de chaque fil s'altère un peu, et on le coupe de temps à autre pour que la section reste la même. D'un autre côté, le liquide intérieur se renouvelle lui-même lorsque l'opérateur insuffle de l'air dans le tube capillaire, et ainsi qu'on l'a déjà dit plus haut.

J'ai commencé par comparer les pouvoirs conducteurs d'un même liquide placé dans l'intérieur de différents tubes capillaires bien calibrés. Pour effectuer cette comparaison, j'ai fait usage de la méthode que j'ai décrite, en 1846, dans un travail sur la détermination des pouvoirs conducteurs des liquides (*Annales de physique et de chimie*, 3e série, tome XVII, page 268). Le même liquide a été placé dans les deux longues éprouvettes A B, A′ B′, et l'on a divisé le courant électrique provenant d'une pile de Bunsen d'un nombre d'éléments variable de 1 à 10, en deux circuits; dans l'un s'est trouvé le liquide contenu dans le tube G H, dans l'autre celui qui était dans le tube G′ H′. Ces deux courants ont été dirigés en sens contraire dans un galvanomètre à deux fils très-sensible (chaque fil faisant 1,300 tours environ autour du cadre), de sorte que quand les courants étaient égaux, l'aiguille aimantée se tenait au zéro. Comme la résistance des liquides contenus dans les tubes capillaires est très-grande, l'intensité du courant est assez diminuée pour que l'aiguille astatique du galvanomètre conserve sa sensibilité; il faut seulement avoir soin d'augmenter graduellement le nombre des éléments de la pile à mesure que l'on allonge les colonnes liquides qui font partie des circuits voltaïques.

Ce procédé, comme on le sait, est indépendant de la polarisation des fils, car si l'on part de la position du zéro de l'aiguille du galvanomètre, et que l'on allonge simultanément les deux colonnes liquides, de façon à ce que cet état d'équilibre subsiste toujours, les quantités dont on aura allongé les colonnes liquides seront équivalentes en conductibilité. Du reste, en opérant avec du sulfate de cuivre et des fils de cuivre, il n'y a pas de polarisation. On peut aussi, tout en divisant le circuit voltaïque en deux circuits partiels dont chacun des deux fils du galvanomètre fait partie, placer les deux colonnes liquides à la suite l'une de l'autre dans le même circuit; si l'on allonge alors l'une des colonnes, on est obligé de diminuer la longueur de l'autre, et quand on arrive

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de nouveau à la position du zéro de l'aiguille du galvanomètre, l'accroissement d'une des colonnes liquides est équivalent en conductibilité à la quantité dont on a diminué l'autre. Ce second moyen a l'avantage de permettre d'opérer toujours avec la même intensité électrique, ce qui est nécessaire quand les fils sont polarisés ; la méthode précédente conduit au même résultat, comme je m'en suis assuré, lorsqu'il n'y a pas polarisation. Quand le zéro est établi dans le galvanomètre, l'aiguille se maintient parfaitement fixe lors même que l'on change le nombre des couples de la pile, ce qui montre que l'égalité de résistance des deux colonnes subsiste. Du reste, une petite lunette permet d'apprécier, à moins de $\frac{1}{10}$ de degré, la position exacte de l'aiguille aimantée sur le cercle divisé du galvanomètre.

Il est facile de comprendre que les deux colonnes liquides ayant même température initiale à l'aide du bain ambiant M N, comme les courants électriques qui les traversent sont égaux en intensité et que les pouvoirs conducteurs de ces deux colonnes sont également égaux, l'élévation de température (quoique d'ailleurs très-petite) qui se produit par suite du passage du courant est la même de chaque côté, de sorte qu'il n'y a pas de cause d'erreur possible à ce point de vue.

Les expériences ont été faites avec une dissolution de sulfate de cuivre renfermant 100 grammes de sulfate pur cristallisé dans de l'eau, de façon à former 1 litre de liquide. Dans A B on a mis un tube étalon G H de 60 centimètres de longueur sur $0^m.7607$ de diamètre intérieur, bien calibré, divisé en demi-millimètres sur le verre, et qui a servi dans les diverses expériences citées plus loin. Dans A′ B′ on a placé des tubes également calibrés, mais divisés seulement en parties d'égale largeur par des traits tracés de 5 centimètres en 5 centimètres.

Il fallait vérifier si la loi des longueurs et des sections a lieu comme avec les fils métalliques. Les expériences suivantes ont été faites avec des tubes capillaires mis successivement à la place de G′ H′ et comparés au tube étalon G H ; ils seront désignés sous les nos 2 et 3 et leur diamètre sera indiqué plus loin.

On a eu, lorsque l'aiguille du galvanomètre à deux fils était au zéro :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TUBES en expérience.	Divisions du tube capillaire depuis la partie inférieure du tube.	TUBE ÉTALON. Divisions depuis la partie inférieure.	TUBE ÉTALON. Différence ou longueur équivalente à 50 millim. du tube capillaire.	Nombre de couples employés.
		Divisions.		
Tube n° 2 . . .	0	51,5	263,5	1 couple Bunsen.
	1 = 50 millim.	315,0	261,0	6 couples.
	2 = 100 mill.	576,0	262,0	idem.
	3 = 150 mill.	838,0		idem.
		Moyenne.	262,2	
Tube n° 3 . . .	0	40,0	192,0	1 couple.
	1 = 50 millim.	232,0	192,5	6 idem.
	2 = 100 mill.	424,5	193,3	6 idem.
	3 = 150 mill.	617,8		6 idem.
		Moyenne.	192,6	

On reconnaît à l'inspection de ce tableau que dans ces tubes capillaires les longueurs des colonnes liquides équivalentes en conductibilité restent toujours sensiblement dans le même rapport, comme on l'a démontré depuis longtemps avec les colonnes liquides à grandes sections, car les différences entre les résultats, et qui ne dépassent guère $\frac{1}{100}$, peuvent provenir de ce que les tubes, bien que choisis parmi un très-grand nombre, ne sont pas exactement cylindriques dans toute leur étendue. Je me bornerai à citer ces résultats, car ceux que j'ai obtenus avec d'autres tubes, et dont je vais donner le résumé plus loin, conduisent également à la conclusion que les résistances à la conductibilité sont proportionnelles aux longueurs des colonnes liquides traversées par l'électricité.

La facilité avec laquelle ces mesures peuvent être prises m'a engagé à faire quelques déterminations avec plusieurs autres tubes capillaires et à comparer les résistances prises avec des tubes de diverses sections, car si la loi des sections se vérifie comme avec les fils métalliques, le produit de la résistance d'une même longueur par la section correspondante doit être constant pour le même liquide pris à la même température.

On sait que les tubes capillaires ne présentent pas à l'intérieur un volume très-régulier; cependant, si l'on agit sur une longueur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui ne dépasse pas certaines limites, et qui dans les expériences a été de 5 centimètres, on peut considérer la section comme la même, et cette section peut être évaluée au moyen du poids du mercure contenu dans une étendue déterminée. Pour faire cette évaluation, les tubes ont été desséchés, et à plusieurs reprises on a introduit du mercure pur, non-seulement dans l'air, mais en maintenant les tubes dans le vide, afin qu'aucune couche d'air n'adhérât entre les tubes et le mercure introduit; du reste, à différentes reprises, les résultats obtenus ont été assez concordants pour qu'il n'y ait pas une erreur s'élevant à plus de 1 à 2 millièmes du poids obtenu. On a eu :

NUMÉROS des tubes capillaires.	RÉSISTANCE à la conductibilité d'une longueur de 50 millim. par rapport aux divisions du tube étalon à la même températ.	DIAMÈTRE du tube.	CARRÉ du diamètre.	PRODUIT de la résistance par le carré du diamètre.
	divisions.	millim.		
N° 1	16,40	1,8576	3,4506	56,5901
N° 4	60,90	0,9552	0,9124	55,5670
N° 3	192,60	0,5367	0,2880	55,4688
N° 2	262,20	0,4584	0,2102	55,1002
N° 5	408,50	0,3660	0,1340	54,7259
Tube ayant servi de tige à un thermomètre	Max. 969,0	0,2364	0,0559	54,1671
	Min. 909,9	id.	id.	50,8634

La température a varié de 9° à 14°, mais a toujours été la même pendant la comparaison des tubes avec le tube étalon. Pour le dernier tube (la tige thermométrique), qui n'avait que $\frac{2}{10}$ de millimètre de diamètre environ, la détermination a été très-difficile, car il faut introduire dans ce tube un fil de cuivre qui n'a que $0^{mm},11$, et étiré parfaitement droit ; c'est pour ce motif que j'ai indiqué les limites extrêmes de plusieurs déterminations qui ont varié peut-être en raison du défaut de cylindricité du tube moins bien choisi que les précédents.

L'on reconnaît, d'après le tableau précédent, que les nombres contenus dans la 4e colonne ne sont pas égaux et diminuent avec le diamètre. Si l'on cherche quelles devraient être les résistances, si les produits de ces résistances par les carrés des dia-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mètres étaient égaux à 36,3901, dans la supposition où les diamètres auraient été déterminés exactement, on trouve :

NUMÉROS des tubes.	RÉSISTANCE observée.	RÉSISTANCE calculée d'après la loi des diamètres.	DIFFÉRENCE.
N° 1.	16,40	16,4	+ »
N° 4.	60,90	62,20	+ 1,3
N° 3.	192,60	193,90	+ 3,3
N° 2.	262,20	269,30	+ 7,1
N° 5.	408,50	422,40	+ 13,9
Tube thermométrique . .	de 969 à 909,9	1012,4	de + 43,1 à + 102,5

c'est-à-dire que les différences sont supérieures aux erreurs que l'on peut commettre dans les évaluations des résistances à la conductibilité.

Doit-on conclure de là que le pouvoir conducteur ne varie pas proportionnellement à la section comme avec les colonnes liquides à grands diamètres? Cela ne peut se déduire immédiatement des expériences que si l'on est assuré d'avoir exactement les diamètres intérieurs des tubes. On n'est jamais certain de la parfaite régularité de ces tubes; mais en opérant sur des longueurs variant de 5 centimètres en 5 centimètres, on peut supposer que dans cette étendue leur section est sensiblement la même. D'un autre côté, comme le mercure ne mouille pas le verre, on peut craindre que la très-petite quantité d'air interposée entre le mercure et le verre ne fasse que le poids de la colonne de mercure introduite, ne représente pas le poids d'un volume de mercure égal au volume intérieur du tube. C'est ce motif qui m'a engagé à déterminer à plusieurs reprises les sections en plaçant les tubes dans le vide, et malgré toutes les précautions prises, les nombres obtenus de cette manière ne vérifient pas la loi d'après laquelle le pouvoir conducteur est proportionnel à la section.

Pour expliquer la cause de cette différence on ne peut faire que deux hypothèses : ou le procédé employé ne donne pas la section des tubes capillaires, et conduit à un nombre un peu plus faible que celui que l'on devrait avoir, ou bien l'action moléculaire exercée entre les parois des tubes et les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

liquides modifie la conductibilité électrique de manière à ce que le pouvoir conducteur augmente un peu à mesure que les espaces capillaires sont plus petits. D'un autre côté, il peut se faire que les parois intérieures du verre lui-même servent de conducteur, comme mon père l'a observé dans ses recherches électrochimiques, en 1833 (*Ann. de chim. et de phys.*, 2e série, t. LIII, p. 108), soit en vertu de la conductibilité propre du verre, soit en raison de l'augmentation de densité de la couche liquide par suite de l'attraction moléculaire. Mais je ne suis pas en mesure actuellement de décider l'alternative entre ces deux hypothèses, car il s'agit de différences assez faibles que des erreurs dans la détermination de sections pourraient expliquer ; j'espère, par des expériences faites d'une autre manière, m'assurer de la cause des effets dont il s'agit.

On pourrait aisément connaître les rapports des résistances des colonnes liquides indiquées plus haut à celles d'un fil d'argent de même diamètre, si l'on remarque que la résistance d'un fil d'argent de même section étant $\frac{1}{100\,000\,000}$, celle d'une colonne de sulfate de cuivre contenant un poids q de sulfate de cuivre estimé en grammes dans 1,000 grammes d'eau, à une température t, est :

$$R = 0{,}1115 \left\{ 1 + \frac{232{,}3}{q} \right\} \left\{ \frac{1 + 0{,}0286 \times 10}{1 + 0{,}0286 \times t} \right\}.$$

Cette formule n'a été vérifiée que lorsque q varie entre 30 grammes et 200 grammes de sulfate par litre d'eau ; le coefficient 0,1115 est aussi relatif au sulfate employé, car si ce sulfate est plus ou moins acide, ce nombre peut varier ; mais le nombre 232,3 a été obtenu à peu près le même dans plusieurs déterminations expérimentales.

On a donné également page 319 de ce Mémoire le moyen d'arriver à une évaluation du même genre en partant d'une dissolution de sulfate de cuivre pur saturée à froid, que l'on étend plus ou moins d'eau.

§ II. RHÉOSTAT LIQUIDE DESTINÉ A LA COMPARAISON DES GRANDES RÉSISTANCES.

Pour comparer de très-grandes résistances à la conductibilité,

[1] Voir *Annales de chimie et de physique*, 3e série, tome XVII, p. 272.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

on est dans l'habitude de se servir de fils de platine, de fer ou de maillechort, d'une section très-petite, dont on fait varier la longueur introduite dans le circuit; c'est une méthode qui peut être bonne quand le fil est bien homogène; mais il est certaines résistances au delà desquelles on ne peut aller. En ayant recours, au contraire, aux liquides contenus dans les tubes capillaires, si l'on se sert de tubes bien calibrés, comme la loi des longueurs se vérifie, et on a vu précédemment qu'elle se vérifiait d'une manière suffisamment exacte quelle que soit la section, on a un moyen simple et facile d'exécuter les comparaisons entre des limites d'une immense étendue; on n'a pas à se préoccuper des effets dus aux différences de diamètre signalées plus haut, car il suffit de comparer les tubes dont on se sert à des bobines de fils parfaitement déterminées au moyen d'expériences préliminaires et à des températures connues. L'on peut mesurer ainsi des résistances énormes, puisqu'un tube capillaire de $^1/_5$ de millimètre de diamètre intérieur environ, contenant une dissolution saturée de sulfate de cuivre à $+ 10°$, serait tel que chaque millimètre de longueur équivaudrait à près de 20 kilomètres de fil de cuivre de même diamètre, ou plus de 350 kilomètres de fils télégraphiques en fer de 4 millimètres.

Il est essentiel, dans certaines circonstances, non-seulement de comparer des résistances de cet ordre, et cela très-rapidement, mais encore de graduer des galvanomètres, afin de comparer l'intensité des courants que l'on observe. J'ai pensé qu'on pourrait y arriver aisément à l'aide d'une pile voltaïque, en interposant dans le circuit une colonne liquide d'un très-petit diamètre et d'une longueur variable. Il est nécessaire de vérifier si la formule ordinaire de la pile peut s'appliquer à ces énormes résistances; cela était d'autant plus probable que les résistances des couples sont très-petites par rapport aux résistances que l'on mesure, de sorte que leurs variations, s'il en existe, ne peuvent pas affecter les déterminations, les erreurs d'observation, d'après les procédés d'expérimentation eux-mêmes, pouvant donner des différences plus grandes. Quant aux effets de polarisation sur les fils plongés dans le sulfate de cuivre, ils ne sont pas appréciables si le courant électrique est de quelque intensité.

J'ai d'abord fait usage de la balance électro-magnétique décrite antérieurement dans ce recueil, page 266 de ce volume, et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ayant pour résistance autour des bobines deux fils formant, par leur ensemble, un circuit de 3,780 mètres d'un fil de cuivre de $0^{mm},11$ de diamètre, en admettant que ce fil soit pur et non écroui. Cette résistance est équivalente à 312 kilomètres de fil de cuivre de 1 millimètre de diamètre.

On a pris une pile de Bunsen de 4 éléments, dont la résistance de chaque élément était environ de 10 mètres de fil de cuivre de 1 mill. de diamètre, et l'on a interposé dans le circuit les deux bobines de la balance et la dissolution de sulfate de cuivre mentionnée plus haut, renfermée dans le tube étalon GH de la figure représentée page 734. Ce tube avait, comme on l'a vu, 0,7607 de diamètre. La température de l'eau ambiante dans MN était de 10°,50. En augmentant graduellement la longueur de la colonne liquide depuis la 10e division jusqu'à la 1000e, c'est-à-dire depuis 5 millimètres jusqu'à 50 centimètres, on a eu les résultats suivants; on indiquera plus loin comment ont été obtenues les valeurs calculées :

LONGUEUR de la colonne liquide interposée dans le circuit.	POIDS nécessaire pour établir l'équilibre de la balance électromagnétique.		DIFFÉRENCE
	par expérience.	par le calcul.	
Divisions.	milligr.	milligr.	
10	171,00	172,00	+ 1,0
20	123,00	122,90	— 0,1
30	97,00	95,50	— 1,5
40	79,50	78,20	— 1,3
50	67,00	66,20	— 0,8
100	37,25	37,40	+ 0,15
200	20,00	20,00	0
300	12,50	13,60	+ 0,9
400	8,75	10,30	+ 1,55
500	7,50	8,30	+ 0,8
1000	4,25	4,23	— 0,02

Les nombres calculés ont été déduits de la formule $p = \frac{4,20}{15 + d}$, p étant le poids nécessaire pour rétablir l'équilibre de la balance et d le nombre de divisions du tube capillaire. La résistance des fils des bobines par rapport au tube étalon est de 10 div. 3; comme la base du tube capillaire H est au-dessous du zéro de quelques divisions, la résistance totale du circuit à partir du rhéostat se

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trouve être environ 15. Il y a des différences entre les nombres calculés et les nombres observés, mais qui sont tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre; elles peuvent tenir à des variations dans le diamètre du tube, et peut-être à de faibles changements dans la température du liquide : en effet, l'intensité du courant ayant diminué depuis le commencement de l'expérience, l'élévation de température qui est due au passage du courant lui-même a dû diminuer. D'un autre côté, quand le courant passe, on a observé que le poids nécessaire pour rétablir l'équilibre augmente pendant quelque temps ; ce n'est qu'après plusieurs minutes que l'on a un nombre constant.

J'ai fait une seconde série d'expériences en prenant une pile de 8 éléments de Bunsen et le même tube, la température de l'eau ambiante en MN étant de 11°,50. On a commencé par placer le fil positif intérieur à la division 1000, puis on a diminué la longueur de la colonne liquide; ensuite, après s'être arrêté à + 10, on a augmenté de nouveau la longueur et l'on a pris dans chaque cas la moyenne des poids pour chaque position du fil, aller et retour.

LONGUEUR de la colonne liquide interposée dans le circuit.	POIDS nécessaire pour établir l'équilibre de la balance électro-magnétique.		DIFFÉRENCE.
	par expérience.	par le calcul.	
Divisions.	milligr.	milligr.	
1000	7,50	7,50	0
800	9,30	9,50	— 0,2
600	13,00	12,40	— 0,6
500	14,62	14,80	+ 0,2
400	19,75	18,30	— 1,45
300	25,00	24,10	— 0,9
200	34,00	35,30	+ 1,3
100	65,25	66,09	+ 0,8
50	117,00	116,90	— 0,1
40	140,00	138,20	— 1,8
10	304,00	304,00	0

Les nombres ont été calculés par la formule $p\,\frac{7,60}{15+d}$.

On voit que la formule de la pile est suffisante pour rendre compte des effets observés et que les variations de résistances à la conductibilité des couples et de la force électromotrice pen-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dant le cours de l'expérience, qui a duré une heure et demie environ, n'affectent pas sensiblement les résultats observés, probablement en raison de l'énorme résistance des circuits; en effet, cette résistance est telle qu'une longueur de la colonne liquide occupant 10 divisions du tube étalon représente plus de 300 kilomètres de fil de cuivre d'un millimètre de diamètre ou bien 600 kilomètres de fil de fer télégraphique de 4 millim.; ainsi les 1,000 divisions du tube donnent une résistance cent fois plus grande.

J'ai cherché à vérifier si la même expression simple, lors de la détermination des longueurs d'une colonne liquide d'égal diamètre et très-résistante, suffirait pour permettre de comparer les intensités des courants donnés par les indications galvanométriques.

J'ai fait usage d'abord d'un galvanomètre à deux fils de Gourjon de 3,000 tours, construit d'après le principe donné par mon père en 1823 (*Ann. de physique et de chimie*, t. XXXII, page 420). J'ai déterminé les intensités au moyen de ce double circuit, par la méthode qu'il a donnée et qui est si précise, puis simultanément à l'aide de la colonne liquide du rhéostat à sulfate de cuivre introduite dans le circuit. Voici quel a été le mode d'opérer :

On a pris les deux tubes GH, G'H' de l'appareil représenté plus haut, dont l'un est le tube étalon du rhéostat; puis on s'est arrangé pour former deux circuits différents et isolés, chacun à l'aide de trois couples de Bunsen, d'un des tubes GH, et d'un des fils du galvanomètre; la température du vase MN était de 11°30. Si les deux courants passent en sens inverse dans le galvanomètre, en allongeant ou en diminuant l'une des colonnes liquides, l'aiguille aimantée est ramenée au 0, ce qui est facile à obtenir, surtout en prenant les précautions indiquées page 737. Cela fait, on a disposé un commutateur dans un des circuits, de façon à intercepter un des deux courants partiels ou à changer son sens dans le galvanomètre, tout en le laissant passer dans le même sens dans le tube capillaire du circuit; on a dans les deux cas une déviation différente dans le galvanomètre; la première correspond à un courant d'une intensité 1, et la seconde à un courant d'une intensité rigoureusement double, puisque les deux courants partiels sont égaux. Si l'on fait cesser l'un des courants partiels et qu'on diminue la colonne liquide du rhéostat, jusqu'à ce que la déviation avec un seul courant devienne égale à celle qui avait lieu précé-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

demment avec deux, on sera certain que le nouveau courant partiel sera double des précédents; alors, en établissant de nouveau le zéro sans changer la position de fil du tube capillaire étalon, mais en faisant varier celle de l'autre fil, on aura un deuxième courant partiel d'une intensité 2, et en faisant passer les deux nouveaux courants dans le même sens, la nouvelle déviation correspondra à un nombre quadruple des premières. On pourra ainsi aller toujours en doublant l'intensité des courants; on comprend combien cette méthode est précise pour faire une table indiquant quelles sont les intensités des courants qui correspondent à des déviations déterminées.

Pour fixer avec soin la position de l'aiguille, j'ai fait usage d'une lunette qui permettait d'avoir les déviations du galvanomètre à 1/10e de degré près. J'ai eu ainsi, dans une expérience avec 3 couples de Bunsen, dans chaque circuit :

DÉVIATION de l'aiguille aimantée par un courant passant dans un seul circuit.	DIVISION du tube du rhéostat correspondant à la déviation.	INTENSITÉ du courant déduite de l'expérience.	INTENSITÉ déduite du calcul par la formule de la pile.	DIFFÉRENCES entre les intensités calculées et mesurées.
	divisions.			
10°0.	963,6	1	1,004	+ 0,004
15,0.	636,0	1,5	1,513	+ 0,013
19,9.	477,5	2	2,012	+ 0,012
28,2.	319,0	3	3,003	+ 0,003
34,9.	238,3	4	4,008	+ 0,008
43,9.	158,5	6	5,987	— 0,013
49,9.	118,0	8	7,992	— 0,008
58,0.	»	12	»	»
63,2.	57,8	16	15,904	— 0,096
75,3.	27,2	32	32,019	+ 0019
84,0.	»	64	»	»

Si la formule de la pile s'applique encore sensiblement au cas dont il s'agit, les intensités i seront données par une formule de la forme $i = \frac{e}{d+r}$, d étant la longueur de la colonne liquide contenu dans le tube du rhéostat. Or, en faisant $e = 967$ et $d = 3$, on a $i = \frac{967}{3+d}$, expression d'où l'on déduit les nombres de la quatrième colonne, qui ne diffèrent que bien peu des résultats observés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On voit, d'après cela, que le mode de graduation qui consiste à n'employer qu'un fil et un rhéostat liquide, et à faire usage de la formule citée plus haut, donne des résultats semblables à ceux auxquels on est conduit par la méthode précise employée par mon père. Du reste, on doit remarquer qu'il est plus facile de déterminer exactement les longueurs sur le tube capillaire du rhéostat que de mesurer les degrés sur le cercle divisé du galvanomètre, et que dès lors le mode de graduation basé sur ce principe est d'une précision plus que suffisante pour ce genre de recherches.

Il est des circonstances où l'on est obligé d'avoir recours aux déviations du galvanomètre, bien que cet appareil ne soit en général employé que comme indicateur, et non comme mesureur; mais alors il faut le graduer, et la méthode précédente me semble la seule qui puisse convenir aux galvanomètres à fils très-résistants et à un seul circuit. Quand il s'agit de galvanomètres à fils courts, on peut faire usage de la méthode de Nobili et de Melloni; mais, quand les circuits deviennent très-résistants, la pile thermo-électrique, employée par ces physiciens, n'agit plus avec assez d'intensité, et d'ailleurs le procédé indiqué précédemment me semble préférable.

On sait, du reste, comme l'a démontré M. Laprovostaye (*Annales de chimie et de physique*, 3e série, tome LIV, page 129), que l'on ne peut songer à déduire les intensités des courants des déviations galvanométriques, et qu'il faut alors avoir recours à l'expérience. Cependant, quand les déviations ne dépassent pas 30 ou 35°, on peut sensiblement prendre les tangentes des déviations comme servant à comparer les intensités, et dans ce cas l'appareil sert de boussole des tangentes.

L'expérience faite plus haut met également ce fait en évidence : on a en effet :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DÉVIATIONS.	TANGENTES des déviations.	INTENSITÉS du courant.	RAPPORT des tangentes à l'intensité.
10°,0.	0,1763	1	0,1763
15 ,0.	0,2679	1,5	0,1786
19 ,9.	0,3620	2	0,1810
28 ,2.	0,5362	3	0,1787
34 ,9.	0,6976	4	0,1744
43 ,9.	0,9623	6	0,1604
49 ,9.	1,1875	8	0,1484
58 ,0.	1,6003	12	0,1334
63 ,2.	1,9797	16	0,1237
75 ,3.	3,8118	32	0,1191
84 ,0.	9,5144	64	0,1487

On voit donc que jusqu'à 35° les intensités sont sensiblement proportionnelles aux tangentes des déviations.

J'ai voulu m'assurer si à l'aide d'une autre pile que celle à acide nitrique, on obtiendrait les mêmes résultats; l'expérience suivante a été faite avec le galvanomètre précédent, dont les deux fils étaient réunis bout à bout, et à l'aide d'un couple ordinaire à sulfate de cuivre. On a placé dans le rhéostat le tube de 0 millim. 7607 de diamètre; le liquide employé était la dissolution de sulfate de cuivre à la température de 12°,70. On a eu :

DÉVIATIONS de l'aiguille du galvanomètre.	TANGENTES des déviations.	DIVISIONS du rhéostat correspondant aux déviations.	INTENSITÉS du courant par le calcul,
40°,8.	0,8632	70	0,9419
33 ,0.	0,6494	100	0,6621
24 ,1.	0,4473	150	0,4429
18 ,8.	0,3404	200	0,3327
12 ,6.	0,2235	300	0,2222
7 ,5.	0,1317	500	0,1335
3 ,8.	0,0664	1000	0,0668

Les intensités sont données par la formule $i = \frac{66,8798}{d+1}$, et l'on voit que jusqu'à 30° elles sont sensiblement proportionnelles aux tangentes des déviations. L'intensité primitive du courant, pourvu que ce courant provienne d'un couple à courant constant, n'a donc pas d'influence sur le résultat obtenu; on sait du reste que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la formule simple de la pile peut s'appliquer aux appareils dans lesquels les électrodes ne sont pas polarisées.

Cependant, dans des circonstances spéciales, il peut se présenter des effets qui viennent compliquer la simplicité avec laquelle on détermine l'intensité du courant d'après la longueur de la colonne liquide introduite dans le circuit. C'est lorsqu'il s'agit de courants électriques d'une très-faible intensité, tels que ceux que l'on étudie au moyen des galvanomètres analogues à ceux que construit maintenant M. Rumkorf pour les effets physiologiques, et qui ont de 25 à 30 mille tours de fil autour du cadre de l'appareil. Il faut alors, avec les colonnes liquides de $\frac{1}{2}$ de millimètre de diamètre, des couples d'une force électromotrice très-faible, comme ceux à sulfate de plomb, et même encore, dans ce cas, les intensités électriques sont-elles trop fortes. Je me suis assuré qu'un couple thermo-électrique, bismuth et antimoine, dont les soudures sont l'une à 0, l'autre à 100°, pouvait suffire, et que ce faible courant déviait plus ou moins l'aiguille du galvanomètre, suivant la longueur de la colonne liquide introduite dans le circuit.

Mais en cherchant à opérer ainsi, l'on trouve qu'il est très-difficile d'avoir dans le rhéostat deux fils de cuivre *ab*, *cd* (voir page 734), qui ne donnent pas par eux-mêmes un courant électrique, venant compliquer l'action mesurée sur le galvanomètre; comme l'intensité de ce courant varie suivant une loi assez compliquée, et analogue à celle qui règle l'intensité du courant d'un couple simple dans lequel la polarisation a lieu, on ne peut donc plus appliquer la formule ordinaire de la pile voltaïque.

J'ai fait usage dans le rhéostat d'une dissolution de sulfate de zinc et de fils de zinc; d'une dissolution de nitrate d'argent et de deux fils d'argent; mais je n'ai pas obtenu de meilleurs résultats qu'avec le sulfate de cuivre neutre et le cuivre. En nettoyant bien les fils de ce dernier métal, on diminue beaucoup cet effet secondaire si on ne l'anéantit pas complétement.

Comme couple actif, au lieu d'employer un couple d'une force électromotrice très-faible, j'ai préféré faire usage d'un couple de Bunsen, dont les deux pôles étaient déjà réunis par un fil de cuivre très-court; une portion du courant traversait donc déjà le fil; en attachant alors aux deux pôles les extrémités du fil du galvanomètre dans le circuit duquel se trouvait le rhéostat, on

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avait un courant dérivé dans le circuit, de sorte que le premier fil restant constant pendant l'expérience, ce courant suivait les lois de variation de l'intensité du courant d'un couple constant qui traverse un conducteur dont on fait varier la résistance par une augmentation de longueur.

Les résultats suivants ont été obtenus de cette manière, en plaçant dans le rhéostat un tube capillaire de $0^{mm},236$ de diamètre dans lequel un fil de cuivre de $0^{mm},11$ de diamètre se mouvait facilement à la main.

On a d'abord déterminé directement, par expérience, les résistances à la conductibilité des circuits métalliques très-résistants traversés par l'électricité, et cela à l'aide de la dissolution de sulfate de cuivre déjà citée. On a eu :

RÉSISTANCES :	Par rapport au tube étalon de $0^{m},7607$ de diamètre.	Par rapport au tube de $0^{m},236$ de diamètre.
	div.	div.
1° Des deux bobines de la balance électro-magnétique (ayant 3780^{m} de fil de cuivre de $0^{mm},11$ de diamètre). .	10,3	1,03
2° Du cadre du grand galvanomètre de 30,000 tours dont la longueur de fil est inconnue.	14,0	1,40

Ainsi le fil qui entoure le cadre de ce galvanomètre équivaut à $3780 \times 1,33$, ou environ à 5,100 mètres de fil de cuivre de $0^{mm},11$ de diamètre.

En mesurant les déviations observées sur le galvanomètre, on a eu :

DÉVIATIONS de l'aiguille du galvanomètre.	TANGENTES des déviations.	DIVISION du rhéostat à partir du zéro du tube.	INTENSITÉS du courant par le calcul.
72°,2.	3,1146	0	6,7830
62 ,1.	1,8887	43,0	2,9417
51 ,9.	1,2753	31,0	1,6440
44 ,2.	0,9725	50,5	1,1094
39 ,1.	0,8127	67,5	0,8709
32 ,3.	0,6322	98,0	0,6333
26 ,5.	0,4986	127,5	0,4841
22 ,0.	0,4040	157,5	0,3841
17 ,3.	0,3115	199,5	0,3084
14 ,6.	0,2549	235,0	0,2619
10 ,9.	0,1926	308,0	0,1979
9 ,0.	0,1584	374,0	0,1609
6 ,7.	0,1175	494,0	0,1181

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Comme la résistance du fil extérieur est 1,4 et que le tube capillaire continue encore au delà, on voit que la résistance du circuit sera, dans chaque cas, un peu plus forte, et cela environ de 10 divisions ; si l'on évaluait les intensités d'après la formule $i = \frac{e}{d+10}$, on trouverait que les différences entre les tangentes des déviations et les intensités calculées vont en croissant à mesure que la déviation augmente même jusqu'à 30°, quoique d'une petite quantité.

J'ai voulu voir si l'on ne pourrait pas arriver à tenir compte de la valeur même de la polarisation qui a lieu sur les fils du rhéostat, d'après une expression semblable à celle que j'ai donnée dans le Mémoire cité plus haut, et qui est telle que la force électromotrice due à cette polarisation varie sensiblement, comme l'indiquerait une résistance additionnelle de la forme $a + \frac{b}{i} + \frac{c}{i^2}$, etc., i étant l'intensité du courant. En s'arrêtant à ces trois termes, la formule qui donnerait l'intensité du courant serait $i = \frac{e}{R + r + a + \frac{b}{i} + \frac{c}{i^2}}$, d'où en réduisant $i = \frac{e - b - \frac{c}{i}}{R + r + a}$, c'est-à-dire $e - b$ et $R + a$ étant des constantes A et B, $i = \frac{A - \frac{c}{i}}{B + r}$, i et r étant seules variables.

En calculant alors les intensités par la formule $i = \frac{68 - \frac{1}{i}}{d+10}$ qui conduit à $i = \frac{1}{d+10}\left\{34 + \sqrt{1156 - (d+10)}\right\}$, on arrive aux nombres contenus dans la quatrième colonne du tableau précédent. On voit alors que jusqu'à 32°,3 les intensités sont sensiblement proportionnelles aux tangentes des déviations.

L'expérience suivante a été faite en prenant un couple d'une force électromotrice très-faible : fer, sulfate de fer, et plomb, sulfate de plomb ; l'effet secondaire exercé sur les fils de cuivre du rhéostat s'est trouvé plus marqué. On a fait usage du tube capil-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

laire étalon de 0m,7607 de diamètre et d'une dissolution de sulfate de cuivre; on a eu :

DÉVIATIONS du galvanomètre.	TANGENTES des déviations.	DIVISIONS du rhéostat.	INTENSITÉS du courant par le calcul.
8°,20.	0,1465	1200,0	0,1449
11 ,0	0,1944	900,0	0,2106
13 ,8	0,2456	775,0	0,2509
17 ,4	0,3134	635,7	0,3134
22 ,2	0,4081	498,0	0,4081
29 ,9	0,5750	358,8	0,5743
35 ,8	0,7212	270,0	0,7583
44 ,1	0,9691	177,0	1,1363
50 ,0	1,1908	124,5	1,6104
59 ,1	1,6709	68,0	2,7561
65 ,0	2,1445	35,8	4,5957
70 ,3	2,7929	18,0	7,2526
77 ,4	4,4738	3,0	14,0813

Les intensités ont été calculées par la formule $i = \frac{225,81 - \frac{7,05}{i}}{d+13}$,

c'est-à-dire $i = \left\{ \frac{225,81 + \sqrt{50990,1561 - 28,2\,(d+13)}}{d+13} \right\}$, et l'on voit non-seulement que les valeurs calculées sont à peu près les mêmes que celles qui ont été obtenues dans l'expérience précédente, mais encore que les intensités relatives sont peu différentes de celles que l'on a trouvées page 749 avec le galvanomètre, de 3,000 tours.

Cependant, il est préférable d'éviter, autant que possible, d'avoir à tenir compte des effets de polarisation sur les fils métalliques; il faut opérer, comme il a été dit précédemment, avec des fils très-fins et des tubes capillaires d'une section très-petite. Du reste, la graduation de ces galvanomètres à fils extrêmement longs montre que la disposition des circuits est plus irrégulière qu'avec ceux qui sont composés d'un moindre nombre de tours de fils, car si l'on fait passer successivement un même courant électrique dans les deux sens, l'aiguille du galvanomètre se dévie bien inégalement; ainsi dans le galvanomètre dont il est question ici, un courant électrique qui déviait l'aiguille de 5° dans un sens la déviait de 26° dans l'autre sens.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On voit d'après les résultats qui sont exposés dans ce travail que l'emploi des liquides contenus dans des tubes capillaires peut être très-utile dans les recherches relatives aux conductibilités électriques, notamment dans l'étude des résistances des longs circuits télégraphiques et dans celle des corps organisés. Mais il faut avoir soin d'opérer à l'aide de courants électriques qui sont plus énergiques que les courants secondaires qui peuvent se manifester avec les fils conducteurs qui se trouvent dans les appareils eux-mêmes, afin d'éviter une cause d'erreur qui ôte à l'emploi du rhéostat que je propose toute sa simplicité. On a vu qu'avec des appareils convenables les effets secondaires n'exercent pas d'influence appréciable.

On pourrait également éviter ces causes d'erreur en substituant le mercure à la dissolution de sulfate de cuivre dans les tubes capillaires, et en donnant à ces tubes A B, A′ B′ la forme de tube en *u*; on aurait un appareil analogue à celui qui a été décrit antérieurement page 303; mais bien qu'il puisse permettre d'estimer des résistances plus grandes que ce dernier appareil, on serait encore bien loin des résistances énormes que l'on peut évaluer avec les dissolutions salines et qui équivalent à plusieurs centaines de mille de kilomètres de fil métallique en cuivre de 1 millimètre de diamètre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ÉTUDES SUR LA VENTILATION.

PAR M. LE GÉNÉRAL MORIN.

1. A un moment où l'administration s'occupe avec une sollicitude que l'on ne saurait trop louer d'assainir et d'améliorer les établissements publics, les lieux de grandes réunions, les hôpitaux, les prisons, les salles de spectacles, toutes les questions qui se rattachent directement ou indirectement au difficile et complexe problème de la ventilation ont un tel intérêt, qu'il m'a semblé utile de me livrer à des recherches qui en embrassent une partie. Mais de semblables travaux, longs, minutieux, variés et parfois délicats, exigent beaucoup de temps, un personnel exercé, des instruments divers et ne peuvent être accomplis que successivement. Un long intervalle pourrait s'écouler avant qu'ils fussent terminés et qu'il devînt possible de les réunir et de les coordonner pour en faire l'objet d'un travail complet.

Il m'a donc paru utile, dès à présent, de scinder les résultats obtenus et de les faire connaître successivement, par parties détachées, sous le titre d'*Études sur la ventilation*. C'est ce que je me propose de faire, en portant à la connaissance des lecteurs des *Annales du Conservatoire des arts et métiers* les résultats auxquels je serai parvenu.

Les questions que je traiterai se présenteront donc, non pas dans l'ordre qu'une étude méthodique indiquerait, mais au fur et à mesure qu'un ensemble de résultats obtenus permettra d'établir quelques conclusions utiles au progrès de l'art et de la science.

L'une des questions les plus graves et les plus controversées que soulève le problème général de la ventilation est celle de savoir si, pour produire l'introduction et l'évacuation de l'air dans des lieux habités, il convient de se contenter d'utiliser, le plus directement possible, les effets de dilatation et d'aspiration que produit la chaleur, ou d'ajouter à cette action celle de ventilateurs plus ou moins puissants. Quoique dans les mines, dans les usines, l'on emploie depuis longtemps des ventilateurs aspirants et qu'il ait été indiqué, par divers auteurs, et essayé quelquefois de les appliquer aussi à la ventilation des lieux habités, l'on s'est

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

presque exclusivement, dans ces dernières années, occupé de l'usage de la ventilation par refoulement, et la question spéciale qui divise aujourd'hui le plus les ingénieurs est celle-ci :

La ventilation par le moyen de ventilateurs insufflants, aidés de l'action de la chaleur, est-elle préférable et supérieure, quant aux effets, et avantageuse sous le rapport de l'économie, à la ventilation par aspiration uniquement due à l'action de la chaleur convenablement employée ?

En un mot, y a-t-il lieu de joindre aux effets que l'on peut obtenir de la chaleur ceux d'appareils mécaniques plus ou moins énergiques ?

Je ne dissimulerai pas que, pour la solution d'un problème où la chaleur est toujours l'agent qui produit le résultat, il m'a toujours paru évident, *a priori*, que s'il y avait moyen d'atteindre en l'employant le but désiré, le procédé le plus simple et le plus direct devait être le meilleur.

Mais, dans l'étude des questions de physique et de mécanique appliquées, il faut souvent se méfier des raisonnements, et l'on ne saurait trop s'attacher à consulter l'expérience et à se mettre en garde contre des idées préconçues, si fondées qu'elles nous puissent paraître en raison.

Aussi lorsqu'en 1852 M. le ministre de l'intérieur me fit l'honneur de me consulter sur le choix à faire pour l'hôpital Lariboisière, alors appelé l'hôpital du Nord, entre deux systèmes, dont l'un procédait par insufflation et l'autre par aspiration, je n'hésitai pas à lui adresser un rapport [1] qui concluait en ces termes :

« Je conclus donc à ce que les appareils de M. Léon Duvoir-
« Leblanc soient adoptés pour trois des bâtiments de l'hôpital
« du Nord, et ceux de MM. Farcot, Grouvelle, Thomas et Lau-
« rens pour les trois autres. »

Cet avis prévalut et il fut décidé que trois des pavillons de l'hôpital Lariboisière seraient chauffés par circulation de vapeur dans des poêles contenant de l'eau et ventilés à l'aide de ventilateurs insufflants, et que les trois autres seraient chauffés par la circulation de l'eau dans des poêles ou récipients et ventilés par aspiration.

Mais une commission, dont la création avait été demandée en

[1] Voir ce rapport à la suite de cette note.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

même temps, et qui devait suivre attentivement et avec persévérance les résultats fournis par ces deux systèmes, ne fut pas constituée et la question si importante de la préférence à accorder à l'un des deux ne fut pas résolue.

Depuis cette époque, d'autres dispositifs ont été proposés et appliqués ; les uns procédant par aspiration, les autres à l'aide de moyens mécaniques. Je n'ai pu les étudier tous; mais parmi ces derniers, il en est un sur lequel j'ai été appelé à faire des expériences et à donner mon opinion : c'est celui qui a été établi dans un pavillon à l'hôpital Beaujon, à l'hôpital Necker et plus récemment à l'asile impérial du Vésinet. Avec le concours de M. Tresca, sous-directeur du Conservatoire, j'ai exécuté dans ce dernier établissement une nombreuse série d'expériences, qui, jointes à celles que j'ai fait faire à l'hôpital Lariboisière sur les effets de l'insufflation, peuvent, je pense, servir à établir une conclusion nette de la question.

Les faits étant en pareille matière la plus sûre des démonstrations, je vais faire connaître dans leur entier les résultats de nos observations.

2. Hopital Lariboisière. *Expériences comparatives sur l'influence des effets de la chaleur et de l'aspiration et de ceux du ventilateur insufflant sur la ventilation du pavillon n° 4. Système Farcot.*

L'on sait que dans les pavillons de cet hôpital, où l'on a établi le système Farcot, le chauffage des salles est produit par la circulation de la vapeur dans des poêles qui contiennent de l'eau, et que cette vapeur condensée retourne ensuite aux chaudières. La ventilation est opérée à l'aide d'un ventilateur à palettes planes, placé dans les caves, qui aspire une partie de l'air qu'il doit fournir par une haute cheminée établie dans le clocher de la chapelle. Cet air est refoulé dans une longue conduite appelée artère principale, d'où, par des branchements horizontaux perpendiculaires à la direction de cette artère, il arrive sous chaque pavillon et de là s'élève dans des conduits verticaux, qui sont, à chaque étage, en communication avec des carneaux horizontaux établis dans l'axe et sous le plancher de chaque salle. Ces carneaux amènent l'air sous les quatre poêles de chaque salle, qui offrent à la circulation 12 tuyaux verticaux ayant ensemble une section de passage de $0^{mq},146$.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'extraction de l'air de la salle se fait par 19 cheminées verticales, ménagées dans l'épaisseur des trumeaux, pour chaque étage, et toutes ces cheminées débouchent dans le grenier, sous le toit, dans deux conduits collecteurs horizontaux, placés dans l'angle formé par les longs pans du toit avec ce plancher.

Ces conduits se réunissent au centre de chaque pavillon pour déboucher dans une cheminée unique en zinc, sans revêtement intérieur en maçonnerie et de $2^{m},20$ seulement de hauteur au-dessus du toit.

L'on voit par cette description succincte que la ventilation a lieu habituellement dans ce pavillon par l'action simultanée du ventilateur et de l'aspiration due à l'excès de la température des conduits d'évacuation et de la cheminée, et que si l'on arrêtait le ventilateur, elle devait être due uniquement à la différence des températures et des densités de l'air.

Il était donc facile, en observant successivement les volumes d'air écoulés par la cheminée générale d'évacuation, quand le ventilateur fonctionnait ou quand il était arrêté, de reconnaître la part proportionnelle des deux causes dans l'effet général ; c'est ce qui a été fait à sept reprises différentes, ainsi qu'il suit.

3. *Mode d'expérimentation et résultats des expériences.*

L'on a commencé par observer les volumes d'air qui passaient dans la cheminée générale d'évacuation, quand le ventilateur fonctionnait seul, à la manière ordinaire, en laissant le chauffeur régler la vitesse de la machine comme il l'entendait. Puis l'on a répété les mêmes observations après avoir fait arrêter la machine, et lorsqu'un intervalle de temps suffisant s'était écoulé pour que le mouvement de l'air fût arrivé à l'état de régime.

Les résultats de ces observations sont réunis dans le tableau suivant, qui contient ceux de sept expériences comparatives exécutées, comme nous venons de le dire, dans le but de connaître la part proportionnelle du ventilateur dans le volume d'air total évacué par la cheminée générale.

La 3e colonne indique la vitesse moyenne de l'air à son passage par la section où était placé l'anémomètre et qui avait $1^{mt},207$ de superficie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tableau récapitulatif des résultats des expériences sur l'influence du ventilateur de l'hôpital Lariboisière sur la ventilation générale du pavillon n° 3.

DATES	CIRCONSTANCES de l'expérience.	VITESSE de l'air en 1'.	VOLUME d'air écoulé en 1".	VOLUME d'air écoulé en 1 heure.	DIFFÉRENCE de volume dû au ventilat.	PART proportionnelle dans l'effet total. Ventilateur	PART proportionnelle dans l'effet total. Ventilation due à la chaleur.	TEMPÉRATURES extérieure.	TEMPÉRATURES dans la cheminée.	TEMPÉRATURES dans les salles.	VOLUME d'air de ventilation générale par heure et par lit avec le ventilateur.
		m.	mc.	mc.	mc.						mc.
13 déc. (*)	avec le ventilateur à 70 tours.	C 4,20 R 4,29	4,534	5542	732	0,133	0,867	+ 6°	43°	18 à 20°	52,00
	sans ventilateur	C 4,19 R 4,07	4,328	4780							
15 déc.	avec le ventilateur à 72 tours.	C 4,33 R 4,25	4,534	5522	687	0,124	0,876	+ 3 à 4	42	18 à 20	52,09
	sans ventilateur	C 4,18 R 4,09	4,343	4835							
10 janv. (**)	avec le ventilateur à 74 tours.	4,56	4,882	6768	1216	0,178	0,822	— 3	9	19	63,85
	sans ventilateur	4,28	4,545	5552							
	avec le ventilateur à 74 tours	4,49	4,798	6473	1440	0,220	0,780	— 3	9	19	60,94
	sans ventilateur	4,46	4,400	5040							
12 janv.	avec le ventil. à 78 tours en 4'.	4,64	4,943	6994	1426	0,161	0,839	— 3	10 9	19	65,88
	sans ventilateur.	4,35	4,629	5863							
14 janv (***)	avec le ventilateur à 60 tours.	4,42	4,714	6170	651	0,106	0,894	— 2	10	19	58,15
	sans ventilateur.	4,27	4,532	5519							
	avec le ventilateur à 68 tours.	4,45	4,750	6300	781	0,124	0,876	— 2	9	En présence de la commission	59,43
	sans ventilateur	4,27	4,533	5519							
Moyenne générale.						0,149	0,851				58,90

Nota. — Les nombres de tours indiqués sont ceux de la machine à vapeur. Le ventilateur marchait quatre fois plus vite.

(*) Dans les expériences du 13 et du 15 décembre, pour s'assurer si l'on pouvait se contenter de mesurer la vitesse de l'air au centre de la cheminée ou s'il fallait l'observer en plusieurs points pour en déduire une valeur moyenne d'une exactitude suffisante, on a fait des observations successives au centre et à une distance de la paroi égale à un quart du rayon. Les résultats particuliers de ces observations sont indiqués à la colonne des vitesses par les lettres C et R. Leurs faibles différences ont montré qu'il suffisait de déterminer la vitesse au milieu de la section, et c'est ce que l'on a fait pour toutes les autres expériences.

(**) Expérience faite avec le concours de M. Tréhat, professeur de constructions civiles au Conservatoire des arts et métiers.

(***) Expérience répétée en présence de la commission chargée d'examiner les projets de chauffage et de ventilation présentés pour les nouveaux théâtres de la place du Châtelet.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La 4e et la 5e colonne contiennent les volumes d'air écoulés par seconde et par heure.

La 6e donne l'excès de la ventilation générale obtenue avec le ventilateur sur la ventilation sans ventilateur.

La 7e indique la part proportionnelle du ventilateur dans la ventilation générale.

La 8e indique la part proportionnelle de la ventilation due à la chaleur seule ou de l'appel dans la ventilation générale.

Les 9e, 10e et 11e contiennent les températures observées à l'extérieur dans la cheminée et dans les salles.

Enfin la 12e colonne indique quel était, par suite des observations faites, le volume d'air moyen qui était évacué par la cheminée générale, par heure et par lit.

4. *Conséquences des résultats contenus dans le tableau précédent.*

L'ensemble des observations dont les résultats sont consignés dans le tableau précédent montre que l'effet de l'action du ventilateur agissant par insufflation est beaucoup moins considérable qu'on ne l'a supposé jusqu'à ce jour.

Les propagateurs de ce mode de ventilation avaient d'abord pensé que l'affluence forcée de l'air dans les salles aurait pour résultat d'y accroître la pression intérieure, pour assurer la sortie de l'air vicié et la ventilation générale. Mais des expériences ultérieures, faites par M. Grassi, pharmacien, ayant montré que dans aucun cas, et même en bouchant aussi bien que possible les cheminées d'évacuation, tout en continuant de faire fonctionner le ventilateur, la pression intérieure des salles restait toujours inférieure à la pression extérieure de l'air, et d'une autre part les rentrées naturelles d'air froid qui se font par toutes les portes et par les fenêtres indiquant un résultat analogue, il avait bien fallu admettre que le ventilateur ne produisait dans les salles aucun excès de la pression intérieure sur la pression extérieure.

Il était donc évident que l'évacuation de l'air des salles par les cheminées n'était due, pour la plus grande partie, qu'à l'aspiration produite par les différences de température, et d'un autre côté, il n'était pas contestable que le ventilateur devait aussi y contribuer dans une certaine proportion. Mais il était difficile de penser que la part de cet appareil dans le produit total de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ventilation générale ne s'élevât en moyenne qu'à 0.149 soit 0.15, et restât même le plus souvent au-dessous de cette proportion.

Aussi n'ai-je pas été, en ce qui me concerne, médiocrement surpris de ce résultat, et me suis-je cru obligé de répéter l'expérience à plusieurs reprises et d'en faire constater les résultats par la commission chargée d'examiner les projets présentés pour le chauffage et la ventilation des nouveaux théâtres, en présence de laquelle ils ont donné des résultats encore inférieurs à la moyenne générale.

Il est important de remarquer, comme on l'a déjà indiqué plus haut, que la cheminée générale d'évacuation de ces pavillons est en zinc, sans aucune garniture intérieure qui s'oppose à son refroidissement, de sorte que l'air des salles y perdait une portion notable de sa chaleur, augmentait de densité et de poids, et que les expériences précédentes ayant été faites par un temps assez froid, l'action de la ventilation naturelle a été très-notablement diminuée par ces circonstances défavorables. Si, au contraire, la cheminée avait été plus élevée et préservée contre les refroidissements par une chemise intérieure en maçonnerie, l'air s'y serait beaucoup moins refroidi ; si, de plus, ce qui était et ce qui est encore facile aujourd'hui, la cheminée contenait un récipient d'eau chauffée par circulation de vapeur, comme les poêles, la température de l'air affluent des salles se serait élevée dans cette cheminée, et l'aspiration aurait acquis plus de puissance.

Il est donc permis de conclure des expériences précédentes que rien ne serait plus facile que d'accroître, à très-peu de frais, l'action de l'aspiration par rapport à celle du ventilateur.

Il y a de plus lieu d'ajouter que dans les expériences précédentes, lorsque le ventilateur était arrêté, l'air extérieur, pour arriver aux poêles, descendait encore, comme dans le cas où le ventilateur fonctionnait, par la cheminée du bâtiment de l'horloge, traversait le ventilateur arrêté et parcourait tous les conduits qu'avait nécessités l'appareil mécanique, tandis que si l'on renonçait à ces organes, l'on serait naturellement conduit à supprimer toute cette circulation et à amener directement l'air aux poêles de chauffage par des prises faites dans les faces du bâtiment à chaque étage et indépendantes les unes des autres. Par ces dispositions, toutes les résistances au mouvement de l'air affluent, les pertes de force vive qu'il éprouve dans les conditions

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

actuelles seraient considérablement diminuées, et je ne doute guère que l'on n'obtint une affluence d'air au moins aussi considérable que par le système compliqué et dispendieux qui existe aujourd'hui.

5. *Volume d'air total extrait des salles du pavillon n° 4 de l'hôpital Lariboisière.*

Les expériences dont on vient d'examiner les résultats au point de vue des effets comparatifs de la ventilation due aux différences de température et de l'effet des ventilateurs, nous fournissent aussi des conséquences intéressantes quant au volume d'air total qui sort des salles de ce pavillon.

La vitesse de la machine à vapeur n'a pas toujours été la même, et bien qu'elle doive être régulièrement fixée à 76 tours en 1', elle descend très-souvent au-dessous, et assez habituellement, pour économiser le combustible, on la réduit à 60 et quelques tours en 1' et parfois à moins encore.

C'est entre ces limites qu'ont été faites les observations précédentes, et, par les résultats qu'elles ont fournis, l'on voit que le volume d'air moyen, évacué par la cheminée générale, a été, par heure et par lit, de $58^{mc},90$; il s'est élevé à $63^{mc},88$ lorsque la machine marchait à 78 tours en une minute; mais à la vitesse de 70 tours, par un temps un peu mou, alors que la température extérieure était de 6° au-dessus de zéro, ce volume s'est abaissé à $52^{mc},00$ par heure et par lit.

L'on voit donc que si les appareils de ventilation par insufflation établis dans trois des pavillons de l'hôpital Lariboisière satisfont habituellement, comme cela n'est pas contestable, à la condition de renouveler l'air, à raison de 60 mètres d'air par heure et par lit, leur effet ne dépasse pas beaucoup ce chiffre dans le service courant.

6. *De l'influence du vent sur la ventilation générale dans ces pavillons.*

Les expériences dont il vient d'être question avaient été commencées le 8 décembre par un vent violent du sud-ouest, qui, ayant amené de la pluie, força de les interrompre; mais l'on avait déjà pu faire une première observation sur le volume d'air total évacué par la cheminée sous l'action simultanée de la ventilation naturelle et du ventilateur, alors que la machine fonctionnait à 80 tours en une minute.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces expériences avaient été faites en observant, comme il a été dit, la vitesse de l'air au centre de la cheminée, et à $0^m,25$ de ses parois. Nous en consignons les résultats partiels dans le tableau suivant, parce qu'ils montrent, une fois de plus, que l'on peut se contenter des observations faites au centre d'une cheminée.

Expériences faites le 8 décembre 1860 au pavillon n° 4 de l'hôpital Lariboisière.

NUMÉROS des expériences.	NOMBRE de tours de l'anémomètre. en 1"	en 1"	VITESSE de l'air en 1".	VOLUME d'air passé par la section en 1". A	B	VOLUME d'air total écoulé en 1".	en 1 h.	VOLUME d'air évacué par heure et par lit.
			m.	mc.	mc.	mc.	mc.	mc.
1	530 (B	9,12	0,93		0,287			
2	545 (B					1,173	4230	51,57
3	560 (A	9,54	0,98	0,888				
4	583 (A							

Section A = $0^{mc},903$
Section B = 0 ,302
$0^{mc},207$

Formule de l'anémomètre : $V = 0^m,1392 + 0^m,08852\,N$.

La température de l'air était de 11° à l'extérieur, de 14° dans la cheminée, et de 18 à 19° dans les salles.

Les expériences précédentes ayant montré que, dans des circonstances analogues de températures extérieure et intérieure et avec des vitesses notablement moindres de la machine, le volume d'air total évacué par la cheminée ne descendait pas au-dessous de 52 mètres cubes par heure et par lit, la faiblesse du résultat obtenu le 8 décembre ne peut être attribuée qu'à l'action du vent violent qui régnait ce jour-là, et qui, en s'introduisant sous le chapeau de la cheminée, contrariait considérablement l'action de la ventilation.

Un pareil effet ne se produirait pas, à beaucoup près, au même degré, sur une cheminée plus haute, moins sujette au refroidissement, et encore moins si elle était chauffée à l'intérieur. Ce qui montre l'avantage de cette dernière disposition. — Peut-être

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

même serait-il bon de surmonter ces cheminées, comme on le fait souvent pour les cheminées ordinaires, d'un chapeau tournant, d'une mître percée de trous, ou au moins d'un ajutage conique allongé, qui, quoique diminuant le volume d'air écoulé, augmenterait la vitesse, et donnerait plus de stabilité à l'écoulement.

7. *Influence du ventilateur sur le volume d'air fourni par les poêles.*

Après avoir déterminé l'influence que l'action du ventilateur pouvait exercer sur la ventilation générale, qui se compose de l'air entré par les poêles et de celui qui afflue par les portes et par les fenêtres, il était nécessaire de chercher à reconnaître l'influence directe que le ventilateur pouvait exercer sur le volume d'air fourni par les poêles, quoique, sous le rapport de l'introduction par aspiration, l'arrivée de l'air à ces poêles fût disposée de la manière la plus défavorable.

A cet effet, une expérience comparative a été faite le 11 janvier 1861 sur le poêle n° 2 de la salle du rez-de-chaussée, et sur le poêle n° 2 de la salle du deuxième étage du pavillon n° 4.

La première expérience a été exécutée avec un anémomètre dont la tare était :

$$V = 0^{m},36 + 0,086\,N.$$

La deuxième avec l'anémomètre qui avait servi à toutes les expériences précédentes, et dont la tare est

$$V = 0^{m},1391 + 0,08852\,N.$$

Les résultats de ces observations sont consignés dans le tableau suivant.

Il est bon de faire remarquer que, dans ces expériences, les couvercles des poêles avaient été enlevés, afin de faciliter autant que possible le passage de l'air, tandis que dans le service courant la présence des grilles et des couvercles réduit la section de passage de l'air dans le rapport de 1.00 à 0.653 [1].

[1] Il résulte, en effet, des mesures prises avec beaucoup de soin par M. Trélat dans ses expériences sur ces appareils, que la somme des sections de passage des tubes étant estimée à $0^{mq},147,244$, celle des orifices carrés offerts par les grilles n'est que de $0^{mq},096,249$; donc le rapport à la précédente est 0,653.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Expériences de ventilation faites à l'hôpital Lariboisière le 11 *janvier* 1861, *pavillon n°* 4 (système Farcot).

(Chauffage Thomas.)

TOURS à l'anémomètre par seconde.	VITESSE de l'air.	VOLUME d'air écoulé par heure.	TEMPÉRATURES dans les salles.	TEMPÉRATURES à l'extérieur.	TEMPÉRATURES à l'anémomètre.	OBSERVATIONS.
La machine en marche 70 tours.						La section du tuyau dans les 2 séries d'expériences = 0mq,147.
10,45	1m,06	568mc	19°	—3°	43°	
La machine arrêtée.						V=0m,1392+0,08852N
6,57	0m,72	378mc	49°	—3°	48°	
10 janvier 1862.						
La machine fait 74 tours.						
11,20	1m,32	695mc				
La machine arrêtée.						V=0m,36+0,086 n.
4,75	0m,77	407mc				

8. *Examen des résultats contenus dans le tableau précédent.*

L'expérience faite sur le poêle n° 2 du rez-de-chaussée apprend que ce poêle, par l'effet de la ventilation due à la différence de température, sans le concours du ventilateur, fournissait le 10 janvier 407 mètres cubes, et qu'avec le ventilateur et la ventilation due à la chaleur il donnait 695 mètres cubes.

Le rapport $\frac{407}{695} = 0{,}59$ indique donc la part de l'appel dans le produit total, celui du ventilateur étant ainsi 0,41 du tout.

Le 11 janvier, l'expérience faite sur le poêle n° 2 du deuxième étage du même pavillon a donné pour le volume d'air fourni par ce poêle :

Par l'effet de la ventilation due à la chaleur seule.	378 mèt. cubes.
Avec le ventilateur et la ventilation due à la chaleur. . . .	568 —

Le rapport $\frac{378}{568} = 0{,}66$ montre que, dans ce cas, l'appel fournissait les 0,66 de l'effet total et le ventilateur les 0,34.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La moyenne de ces deux expériences conduit à conclure que, pour l'arrivée de l'air par les poêles, l'aspiration produite par la chaleur contribue à l'effet pour les 0,625, et le ventilateur pour 0,375.

Si l'on se rappelle ce que nous avons dit plus haut des dispositions tout à fait défavorables à la ventilation due à la chaleur dans ces pavillons, et nécessitées par l'emploi d'un ventilateur, tandis qu'elles auraient pu être bien plus avantageuses si l'on avait voulu faire arriver l'air par appel, et si l'on remarque que l'effet de ces dispositions pèse entièrement sur l'arrivée de l'air par les poêles, l'on sera sans doute disposé à admettre avec nous que la part proportionnelle de la ventilation due à la dilatation de l'air serait considérablement augmentée, et très-probablement d'un quart à un tiers, si les arrivées de l'air étaient directes, ce qui en élèverait l'effet à 0,80 au moins de l'effet total, appréciation qui ne s'éloigne pas beaucoup du résultat auquel les expériences directes sur la ventilation générale nous ont conduit.

9. *Expériences sur le volume d'air fourni par les poêles du pavillon n° 4 chauffé à la vapeur et ventilé par insufflation.*

Désirant constater avec le soin convenable les effets d'introduction d'air frais produits dans les pavillons chauffés à la vapeur et ventilés par insufflation, j'ai commencé par faire reconnaître l'influence qu'exerçait la présence du couvercle qui, placé sur les poêles, tend à occasionner une perte de vitesse et de force vive à l'arrivée de l'air, et par suite une diminution dans la ventilation.

A cet effet, l'on a successivement opéré sur le poêle n° 1 du premier étage, en enlevant et en replaçant le couvercle, et en se servant d'un tuyau qui, recouvrant tout le poêle, laissait à l'air un débouché de $0^{mq},147$, à très-peu près égal à la somme des aires de section des tubes, qui est de $0^{mq},146$, et dont les contours convenablement tracés n'occasionnaient aucune déviation brusque.

Les observations ont fourni les résultats suivants :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

10. *Résultats des expériences faites le* 18 *janvier* 1861 *sur le poêle n° 1 du premier étage du pavillon n° 4.*

TOURS de l'anémomètre en 1".	VITESSE moyenne de l'air.	VOLUME d'air introduit par heure	TEMPÉRATURES			OBSERVATIONS.
			extérieure.	dans la salle.	dans les tubes du poêle.	
Le couvercle étant sur le poêle.						Formule de l'anémomètre: $V = 0,1392 + 0,08852N$.
40,01	m. 1,02	mc. 536	+ 1	18°	40°	La surface de passage de l'air par le tuyau est de $0^{mq},147$.
Le couvercle étant enlevé.						
42,87	1,28	678	+ 1	18°	45°,3	

Nota. — On a eu soin, pendant ces expériences, de veiller à ce que les portes fussent fermées.

Il résulte des chiffres consignés dans ce tableau que la présence du couvercle des poêles réduit le volume d'air qu'ils peuvent fournir dans le rapport d'environ 678 à 536 ou de 1 à 0,795.

Ce rapport pourrait sans doute varier notablement; mais, sans regarder sa détermination comme très-exacte, il est permis de conclure de l'expérience qui précède que les couvercles des poêles devraient être modifiés pour tirer des appareils tout le parti convenable.

Une comparaison des résultats des observations faites dans le tuyau unique d'expérimentation avec le couvercle enlevé, et de celles qui ont été faites séparément et successivement sur les douze tubes d'admission de l'air a montré, le même jour, que l'emploi de ce tuyau n'occasionnait aucune diminution dans le débit des poêles, par suite de l'égalité de surface de son débouché et de la somme des sections des tuyaux des poêles.

En effet, en observant la vitesse de l'air dans chacun des douze tubes, dont la somme des sections était de $0^{mq},146$, l'on a obtenu pour vitesse moyenne $1^{m},25$, et pour le volume d'air passé par heure 632 mètres cubes, tandis que l'observation faite avec le grand tuyau, le couvercle étant enlevé, a donné $1^{m},28$ pour vitesse moyenne et 678 mètres cubes pour le volume débité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Expériences faites le 18 *janvier* 1861 *sur le volume d'air fourni par tous les poêles du pavillon n° 4.*

Après ces observations préliminaires, l'on a observé, le même jour et successivement sur les quatre poêles de chacune des salles des trois étages du même pavillon, les volumes d'air neuf qu'ils fournissaient, alors que la machine marchait à 68 tours en une minute. Les résultats de ces observations sont consignés dans le tableau suivant :

Expériences faites le 18 *janvier* 1861 *sur le volume d'air fourni par les poêles du pavillon n° 4, chauffé à la vapeur et ventilé par insufflation.*

SITUATION et numéros d'ordre des poêles à partir de l'entrée.		NOMBRE de tours de l'anémomètre en 1'.	VITESSE de l'air en 1".	VOLUME d'air fourni par les poêles en 1 heure.	TEMPÉRATURES extérieure.	dans les salles.	de l'air sortant des poêles.
			m.	mc.			
Rez-de-chaussée.	1	13,35	1,49	788	1°	19°,5	53°
	2	11,37	1,14	601			39
	3	10,97	1,11	577			41
	4	11,85	1,18	623			49
		Total		2589			Moy. 44,5
Premier étage.	1	13,03	1,29	683	1°	19°,5	30
	2	10,73	1,09	576			44
	3	10,38	1,05	549			37
	4	10,11	1,03	575			38
		Total		2343			Moy. 37,2
Deuxième étage.	1	12,87	1,28	678	1°	18°,0	40,5
	2	8,67	0,90	476			34,0
	3	7,24	0,77	407			38,0
	4	10,70	1,09	576			30,0
		Total		2137			35,6
Total gén. pour le pavillon.				7069			Moy. 39,8

Observations. — Les couvercles de tous les poêles ont été enlevés pour ces expériences, tandis que dans le service courant les couvercles restant en place, la section libre de passage à travers les tuyaux est réduite par la présence de la grille dans le rapport de 1 à 0,653, comme on l'a vu au n° 7, et le volume écoulé dans un rapport très-notable (n° 10).

Formule de l'anémomètre : $V = 0^m,1392 + 0^m,08852\ N$.

La section transversale du tuyau dans laquelle l'anémomètre était placé est égale à $0^{mq},147$.

La machine marchait à 68 tours en 1' pendant la durée de toutes les expériences.

11. *Conséquences des résultats contenus dans le tableau précédent.*

Les résultats des observations qui précèdent prouvent que les poêles n° 1, qui sont les plus voisins des conduits d'arrivée de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'air, débitent des volumes qui excèdent ceux des poêles du milieu des salles de 0,27 et même de 0,41. Mais cette inégalité, qu'il serait assez difficile d'éviter, n'a pas d'inconvénient sérieux.

La ventilation est aussi plus énergique au rez-de-chaussée qu'au 1er étage et surtout qu'au second. La différence, qui est de 0,17 entre le rez-de-chaussée et le second étage, peut être attribuée en partie à l'influence de la hauteur des cheminées d'évacuation et en partie à la plus grande proximité de la machine. La température des poêles étant aussi plus grande au rez-de-chaussée qu'aux autres étages, il ne serait pas difficile de rétablir une plus égale répartition de l'air, mais les différences ne sont pas assez grandes pour constituer un inconvénient grave. Il y a lieu cependant de remarquer que, dans les expériences, comme dans le service habituel, la température des salles de ces pavillons est toujours trop élevée de 2 à 3 degrés au moins, ce qui, en favorisant l'action de l'appel, augmente le volume d'air introduit. Le volume d'air total fourni par les douze poêles des trois étages, quand ils étaient complétement découverts, s'élevant à 7069mc pour les 96 lits contenus dans ces salles, le volume d'air que ces poêles pouvaient introduire dans ces salles par heure et par lit s'élevait donc à 73mc,63, quantité supérieure aux conditions imposées aux constructeurs.

Mais l'on a vu que la présence habituelle des couvercles des poêles pouvait réduire ce volume d'air aux 0,795 de sa valeur, de sorte que dans le service ordinaire et avec les couvercles le volume d'air total aurait été réellement réduit à 0,795×7059 mèt. = 5619mc. 8, ou à 58mc,54 par heure et par lit, quantité encore suffisante et qui aurait évidemment été dépassée si la machine avait marché à plus de 68 tours en 1'. Il est d'ailleurs bon de remarquer que ce dernier chiffre s'accorde exactement avec le résultat moyen des observations faites sur la cheminée d'évacuation rapporté au n° 3.

12. *Observation faite le* 18 *janvier* 1861 *sur le volume d'air total évacué par la cheminée générale du même pavillon.*

Immédiatement après les expériences dont on vient de parler, l'on a observé le volume d'air qui sortait de la cheminée générale d'évacuation, tous les poêles ayant encore leur couvercle. L'expérience a donné les résultats suivants :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

NOMBRE de tours de l'anémomètre en 1".	VITESSES de l'air en 1".	VOLUME d'air écoulé par heure.	TEMPÉRATURES extérieure.	TEMPÉRATURES dans les salles.	TEMPÉRATURES dans la cheminée.	OBSERVATIONS.
11.90	m. 4,19	m. c. 3170	4°	19° 5	11°	

Ce volume d'air de 3170^{mc} est un peu inférieur à celui qui se serait écoulé par les poêles munis de leurs couvercles et qui, d'après les expériences précédentes, devait être d'environ 3619^{mc}. 8; mais il faut remarquer que ce jour-là le vent avait tourné au sud-ouest, et nous avons vu au n° 6 que l'influence d'un vent violent pouvait diminuer dans une proportion énorme le volume d'air que cette cheminée, trop basse et facile à refroidir, pouvait débiter et l'abaissait même à 4230^{mc} par heure, tandis que dans les mêmes conditions de température intérieure et extérieure et à la même vitesse du ventilateur par un temps calme, le volume d'air écoulé peut être beaucoup plus considérable.

13. *Influence du mode de construction de la cheminée.*

Nous avons déjà fait remarquer que la construction de la cheminée générale d'évacuation de l'air établie en zinc, sans chemise intérieure en maçonnerie, avait pour résultat fâcheux d'occasionner un refroidissement considérable de l'air, qui venait des salles, et l'on a pu voir par l'examen des tableaux précédents que le refroidissement de cet air qui, dans les salles, est habituellement à 19°, pouvait être de 8 à 10°, ce qui contrariait et diminuait beaucoup l'évacuation. Cet abaissement de température, en rendant plus grande la densité de l'air qui passe dans la cheminée, crée à son échappement une résistance qui favorise sa sortie par les portes toutes les fois qu'on les ouvre, ce qui est continuel; cette cheminée, où la température est habituellement plus basse que dans les salles, n'exerce donc par elle-même aucune action d'appel qui s'ajoute à celle que produit la température des salles, et il n'est pas étonnant que dans ce dispositif les volumes d'air évacués par la cheminée générale ne soient presque jamais supérieurs et se trouvent, au contraire, très-souvent inférieurs à ceux qui sont introduits par les poêles.

L'égalité approximative de ces deux volumes qui, sauf les cir-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

constances accidentelles, s'observe ordinairement, ainsi que l'ont aussi constaté d'autres expérimentateurs, se trouve donc complétement expliquée et justifiée par ces réflexions.

14. *Influence de la vitesse du ventilateur.*

Les expériences dont les résultats sont consignés au tableau du n° 10 ne sont relatives qu'au cas où la machine marchait à 62 tours, ce qui est à la vérité sa vitesse à peu près normale, en service courant; mais il était bon de reconnaître dans quelle proportion le volume d'air qui débouche des poêles croît avec la vitesse du ventilateur; car, s'il est à peu près vrai que dans des limites assez étendues le volume d'air que fournissent les appareils de ce genre, quand cet air débouche librement dans des tuyaux complétement ouverts, est proportionnel à leur vitesse, il n'était pas probable qu'il en pût être de même, dans le cas actuel, du volume d'air sortant par les poêles.

A cet effet des expériences directes ont été exécutées sur le poêle n° 3 du premier étage du pavillon n° 4, en faisant fonctionner la machine à des vitesses très-différentes. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Expériences faites le 16 *février* 1861 *sur le poêle n° 3 du* 1er *étage du pavillon n° 4 de l'hôpital Lariboisière.*

NOMBRE de tours de la machine en 1'.	NOMBRE DE TOURS de l'anémomètre		VITESSE de l'air en 1''.	VOLUME d'air écoulé par heure	TEMPÉRATURES		
	en 1'.	en 1''.			extérieure.	de l'air affluent.	des salles.
			m.	m. c.			
48	610	10,17	1,04	550	11°	43°	21°
60	707	11,78	1,18	624	11	43	21
74	751	12,51	1,25	661	11	44	21
84	833	13,88	1,37	724	11	44	21

OBSERVATIONS. — Section du débouché du tuyau placé sur le poêle, dont le couvercle était enlevé, $0^{mq},147$. On rappelle que le nombre de tours du ventilateur est quadruple de celui de la machine.

En représentant graphiquement ces résultats, en prenant les nombres de tours pour abscisses et les volumes d'air fournis par le poêle pour ordonnées, l'on reconnaît que les points, ainsi déterminés, sont, dans l'étendue des expériences, situés sur une ligne

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

droite, qui, prolongée, ne passerait pas l'origine des coordonnées, et qui montre qu'en poussant la vitesse de la machine à 68 tours au lieu de 58, le volume d'air fourni par le poêle se serait accru dans le rapport de 620 à 645 ou de 1 à 1.04, et qu'en allant à 90 tours au lieu de 68, le volume d'air fourni par le poêle se serait accru dans le rapport de 730 à 630, ou de 1 à 1.154 seulement.

La même proportion devant à très-peu près s'établir pour tous les poêles, l'on voit que si à 68 tours de la machine le volume d'air fourni était, sans les couvercles, de $73^{mc},63$ par heure et par lit, et avec les couvercles de $58^{mc},54$, il aurait été à la vitesse de 76 tours sans les couvercles de $77^{mc},61$ par heure et par lit, avec les couvercles de $61^{mc},70$ par heure et par lit, et à celle de 90 tours :

Sans les couvercles, de. . . $85^{mc},00$ par heure et par lit.
Avec les couvercles, de. . . $67^{mc},55$ —

Cette faible influence de l'accroissement de la vitesse du ventilateur sur le volume d'air introduit par les poêles n'a d'ailleurs rien qui doive surprendre, puisque nous avons vu par les expériences relatées au n° 3 que cet appareil ne produit en moyenne que 0.13 de l'effet total de la ventilation, et que 0.373 de l'effet d'introduction de l'air neuf par les poêles. Ce n'est donc que sur ces fractions de l'effet total que l'accroissement de vitesse de l'appareil pourrait agir.

15. *Accord des résultats précédents avec ceux des autres expérimentateurs.*

Il n'est pas inutile de faire remarquer que les résultats des expériences qui viennent d'être rapportées sont, à très-peu près, d'accord avec ceux qui ont été obtenus par d'autres expérimentateurs et que j'ai résumés dans le rapport sur les projets de chauffage et de ventilation des bâtiments du palais de justice, imprimé par ordre de la préfecture de la Seine.

En effet, l'on peut voir dans ce rapport qu'en ramenant tous les résultats à la vitesse de 76 tours de la machine, les volumes d'air introduits dans la salle par les poêles ont été trouvés, quand les couvercles des poêles étaient enlevés, par

M. Grassi, égaux à . . . . . $60^{mc},09$ par lit et par heure.
M. Trélat. . . . . 73 ,70
M. Thomas. . . . . 75 ,20

Moyenne générale. . . $70^{mc},00$ par heure et par lit.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tandis qu'à la vitesse de 68 tours seulement nous avons trouvé un volume de $73^{mc},63$.

Il en est de même pour les volumes d'air écoulés par les cheminées générales d'évacuation, lesquels ont été trouvés

Par M. Grassi, égaux à	$76^{mc},4$ par heure et par lit.
Par M. Trélat	68 ,5
Moyenne	$72^{mc},45$ par heure et par lit.

Les résultats qu'indiquent nos expériences n'ont donc rien qui ne s'accorde avec ceux des autres expérimentateurs, mais ils mettent en évidence des circonstances sur lesquelles leur attention ne nous paraît pas s'être suffisamment attachée, et au premier rang desquelles se place l'influence relative des effets directs et naturels de la chaleur, ce qui les a conduits à attribuer trop exclusivement les effets obtenus à l'action des appareils mécaniques.

16. *Ventilation d'été.*

Les expériences précédentes, non plus que celles des autres observateurs qui se sont occupés de cet hôpital, ne nous apprennent rien sur la ventilation d'été dans les pavillons ventilés par insufflation. C'est une lacune fâcheuse que nous chercherons à combler lorsque la saison des chaleurs permettra de faire sur cette partie importante de la question des expériences concluantes. Nous croyons, en attendant, devoir nous abstenir.

17. *Conclusions générales.*

En résumé, les expériences dont nous venons de rapporter les résultats prouvent :

1° Que dans les pavillons de l'hôpital Lariboisière, où l'on a employé des ventilateurs insufflants, la ventilation générale ou le volume d'air évacué par la cheminée d'évacuation de l'air vicié pendant l'hiver est, dans l'état actuel, due pour les 0.85 à l'aspiration produite par l'échauffement de l'air qui arrive dans les salles à travers les poêles, et que le ventilateur n'y contribue que pour les 0.15 ;

2° Que pour l'affluence de l'air nouveau par les poêles, l'aspiration produit environ les 0.625, et le ventilateur les 0.375 du volume admis ;

3° Que par des dispositions plus avantageuses aux effets de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'aspiration, l'on pourrait augmenter notablement ces effets et se passer de l'usage d'appareils mécaniques ;

4° Que la cheminée d'évacuation devrait être garnie d'une cheminée intérieure en maçonnerie et recevoir un appareil de chauffage pour empêcher, pendant l'hiver, le refroidissement de l'air et y produire l'été un appel qui suppléerait à l'action du ventilateur; que de plus cette cheminée devrait être exhaussée autant qu'il serait possible pour assurer la stabilité de son tirage;

3° Que l'accroissement de vitesse du ventilateur au delà de sa vitesse normale, et dans les limites de 60 à 90 tours de la machine, ne peut augmenter que dans une assez faible proportion le volume d'air neuf introduit dans les salles.

Toutes ces conclusions confirment et dépassent même celles qui avaient été formulées dans le rapport relatif aux bâtiments des salles d'assises, et qui avaient été déduites de la discussion des résultats d'expériences faites par d'autres observateurs [1].

[1] *Rapport sur les projets présentés pour le chauffage et la ventilation de l'hôpital du Nord (mai 1852).*

Monsieur le ministre,

Les projets de chauffage et de ventilation proposés pour l'hôpital du Nord, sur lesquels vous m'avez fait l'honneur de me demander mon opinion, ont été examinés avec le plus grand soin par une commission présidée par M. Regnault, et qui comptait dans son sein M. Pelouze et d'autres personnes très-compétentes pour juger de semblables questions.

Il m'est bien difficile, dans le peu de temps dont je puis disposer, et au moment de partir pour une mission que me donne M. le ministre de la guerre, d'approfondir assez l'étude de ces projets pour pouvoir émettre une opinion personnelle, surtout si elle devait être différente de celle de mon savant confrère M. Regnault.

Je tâcherai cependant de vous faire connaître les doutes qui se sont élevés dans mon esprit après la lecture des pièces qui m'ont été communiquées, et je crois pouvoir le faire d'autant mieux que les principaux ne portent pas sur les qualités ou les défauts des systèmes présentés, mais sur le fond même des questions et sur la manière d'assurer le service de ce vaste hôpital.

Il s'agit, dans ces projets, de chauffer et de ventiler à la fois les salles occupées par les malades. La commission a distingué avec raison les projets où la ventilation doit être produite directement par les appareils de chauffage proprement dits de ceux où elle doit être déterminée, soit par un chauffage spécial, soit par des moyens mécaniques.

En présence des inégalités qu'ont souvent présentées dans leur marche

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les dispositifs, tels que ceux de M. Léon Duvoir, qui ventilent par appel direct produit par les appareils de chauffage, elle s'est prononcée en faveur du système de ventilation indépendante.

Dans ce dernier mode, deux projets lui étaient présentés : l'un par M. Grouvelle, qui se propose de produire la ventilation par aspiration au moyen d'un fourneau spécial d'appel; l'autre, par M. Farcot, qui emploie des ventilateurs destinés à insuffler ou à refouler de l'air dans les salles.

Elle a donné la préférence à ce dernier projet, qui lui paraît assurer la régularité de la ventilation, indépendamment de toute variation de température et de la plus ou moins grande exactitude que les chauffeurs apporteraient à leur service.

Je ne puis que reconnaître la sagesse de ces motifs : mais, avant d'aller plus loin, je crois devoir appeler votre attention sur les bases mêmes qui ont été admises dans le programme du concours. La condition posée aux concurrents était d'assurer :

1° Une ventilation continue d'air chaud pendant l'hiver et d'air froid pendant la saison chaude à raison d'au moins 20 mètres cubes par lit et par heure dans les salles de malades ; et 2° une ventilation, pendant le jour seulement, dans les chauffoirs à raison de 10 mètres cubes par lit du pavillon correspondant.

J'ai été étonné, je l'avoue, de l'exiguïté des quantités d'air à renouveler qui ont été ainsi demandées pour un aussi vaste hôpital, destiné à servir de modèle à l'amélioration si désirable de tous les autres. Des expériences qui avaient une précision suffisante, et que j'ai faites en 1847 à l'hôpital Beaujon, ont montré que, dans le pavillon Clémentine, les appareils de chauffage et de ventilation simultanés produisaient, par lit et par heure, une aspiration d'environ :

66^{mc} au rez-de-chaussée,
60 6 au premier étage,
42 » au deuxième étage.

Cette ventilation abondante a produit sur l'état hygiénique du pavillon les résultats les plus favorables, et cependant elle n'est pas encore suffisante pour enlever toute mauvaise odeur, lorsqu'il y a des blessures et des opérations graves.

Il me semble donc résulter de ces faits que le minimun du volume d'air à enlever aurait dû être fixé à *soixante* mètres cubes, par lit et par heure, dans les salles, et à *vingt* mètres cubes, par lit et par heure, dans les promenoirs, ce qui est plus que double de la quantité demandée au programme.

Il serait regrettable qu'au moment où l'administration municipale de Paris va réaliser un perfectionnement si désirable dans le service des hôpitaux, il ne fût introduit que d'une manière incomplète et avec une parcimonie aussi fâcheuse.

Il résulterait certainement de l'augmentation de la ventilation un accrois-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sement de dépense ; mais, outre qu'il ne serait pas proportionnel au volume d'air, il faut songer qu'il ne s'agit pas ici d'une question d'argent, mais bien d'une question d'humanité ; et, d'ailleurs, la plus grande rapidité des guérisons, la diminution de la durée du séjour dans les hôpitaux, la moindre gravité des maladies ne tarderaient pas à fournir, au point de vue financier seulement, une ample compensation à cet accroissement des dépenses.

Je crois donc, monsieur le ministre, abstraction faite de toute considération des différents systèmes proposés, devoir vous prier d'exiger que le minimum des volumes d'air expulsé par lit des salles de malades soit fixé à 60 mètres cubes, et pour les promenoirs à 20 mètres cubes, avec obligation de doubler cette quantité dès que l'administration en reconnaîtrait la convenance ou la nécessité, sans que la dépense excédât, dans une proportion donnée (20 p. °/₀ par exemple), la dépense normale.

Quant aux systèmes eux-mêmes, je reconnais avec la commission municipale qu'il convient d'assurer le service de la ventilation indépendamment de celui du chauffage : mais s'ensuit-il qu'il y ait lieu de préférer la ventilation mécanique à la ventilation par la chaleur, et, dans ce dernier cas, que la ventilation mécanique par pulsion ou refoulement de l'air dans des conduites de plusieurs centaines de mètres de développement soit préférable à la ventilation mécanique par appel ? Je l'ignore complétement, et, en l'absence de documents authentiques et comparables au cas présent, je ne puis m'empêcher d'avoir des doutes sérieux.

Je crains surtout que, la pression produite par le ventilateur allant sans cesse en décroissant depuis l'origine des conduites et du premier pavillon au dernier, il n'y ait dans la ventilation une très-grande irrégularité malgré les dispositions prises pour l'éviter.

Faut-il, en outre, malgré l'avantage que présente un seul appareil de chauffage et de ventilation, courir les risques de voir, par un simple dérangement de cet appareil double en partie, le service de tout l'hôpital interrompu ? Je vous avoue que je ne le crois pas.

Enfin, en présence d'un système, celui de M. Léon Duvoir, qui fonctionne convenablement, qui a pour lui la sanction de grands et nombreux succès, qui le premier a satisfait aux conditions d'une abondante ventilation au moyen de laquelle depuis cinq ans bientôt les déplorables accidents qui se produisent si souvent dans les autres hôpitaux et dans les autres pavillons de l'hospice Beaujon ont presque complétement disparu, de celui qui en est pourvu, et dont les irrégularités ne sont imputables pour la plupart qu'à des négligences qui résultent d'un défaut de surveillance et pourraient être évitées par des moyens divers de contrôle, est-il sage de tenter, sur une aussi veste échelle, l'expérience d'un système en apparence plus rationnel, mais qui n'a pas été éprouvé dans les conditions auxquelles il se trouverait soumis ? C'est une question que je ne puis prendre sur moi de résoudre affirmativement jusqu'à plus ample information.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

S'il ne s'agissait que de faire un essai comparatif sur l'un ou l'autre des bâtiments, ou même sur la moitié de part et d'autre, je n'hésiterais pas, parce que, sans me préoccuper des intérêts financiers, je ne verrais dans cette tentative, qui dans les deux cas assurerait, au moins à peu près, des deux côtés une amélioration considérable, qu'une grande expérience dont le résultat final, en apportant au régime des hôpitaux une immense amélioration, donnerait des moyens sûrs de la généraliser.

C'est à vous, monsieur le ministre, qu'il appartient d'apprécier toute l'importance de la question à ce point de vue général, et de ne pas la circonscrire à l'hôpital du Nord.

Quant à moi, par les motifs que je vous ai signalés, et d'après le peu de temps que je puis à présent consacrer à cette importante question, obligé de partir dans deux jours pour accomplir une mission, en présence des opinions émises par mon savant confrère M. Regnault, je ne puis exprimer que des doutes sur l'opportunité qu'il y aurait à adopter d'une manière absolue la solution qu'il croit préférable et sur l'efficacité de laquelle l'expérience n'a pas prononcé. J'aimerais mieux, je l'avoue, augmenter un peu les dépenses à la charge de la ville de Paris, et mettre en présence les deux systèmes opposés, en donnant la moitié du service à chacun d'eux : la concurrence les maintiendrait dans le meilleur état possible, et avant peu le gouvernement serait en mesure d'opérer avec certitude et de doter tous les hôpitaux et toutes les casernes d'une immense amélioration.

Je conclus donc à ce que les appareils de M. Léon Duvoir-Leblanc soient adoptés pour trois des bâtiments de l'hôpital du Nord, et ceux de MM. Farcot, Grouville, Thomas et Laurent pour les trois autres.

L'avenir décidera quel est celui des deux systèmes dont l'emploi doit être généralisé.

ASILE IMPÉRIAL DU VÉSINET.

18. *Expériences sur les appareils de chauffage à l'air chaud et de ventilation par insufflation. — Description sommaire.*

L'asile impérial du Vésinet, consacré aux femmes convalescentes, se compose de plusieurs corps de bâtiment.

Pour y assurer le service du chauffage et de la ventilation, mais malheureusement après que les constructions étaient à peu près terminées, le ministre de l'intérieur a traité avec la société Van Hecke et C^e^, qui y a établi des calorifères, dont le nombre s'est successivement élevé à cinq, et un ventilateur, mû par une petite machine à vapeur dont la force peut être évaluée à 2 chevaux. Ces circonstances défavorables ont pu obliger le constructeur de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ces appareils à des dispositions moins convenables que s'il avait été complétement libre.

La machine à vapeur et le ventilateur sont placés au centre du pavillon d'administration, et doivent servir à refouler dans tous les bâtiments et à tous les étages, par des canaux souterrains, l'air qui est aspiré dans les cours.

Cet air arrive dans des caves ou chambres à air où sont établis des calorifères composés chacun d'une cloche en fonte, et de tuyaux de chaleur ou de fumée en tôle, et qui, sur trois faces sont isolés dans ces chambres. Deux orifices d'appel et d'introduction d'air, égaux en sections à ceux des canaux souterrains venant du ventilateur, ont été récemment pratiqués à droite et à gauche du foyer, et amènent de l'air dans la chambre des calorifères, qui, en service ordinaire, se trouve ainsi alimentée par l'aspiration que provoque la chaleur développée par les calorifères et par l'action du ventilateur, auquel l'on attribue une grande part des effets de ventilation.

Des canaux souterrains, dirigés dans l'axe des bâtiments, conduisent l'air des chambres des calorifères sous les murs de refend, dans lesquels sont pratiqués des conduits verticaux.

Cet air arrive ainsi dans les salles de chaque étage, et chacun de ces conduits est partagé en trois parties, dont une par étage. A leur débouché, qui est à hauteur du plancher des salles, et dans les parois verticales des murs de refend, ces conduits présentent, à droite et à gauche, des ouvertures égales qui permettent à l'air de se répandre dans l'une ou dans l'autre des deux salles contiguës. Ces ouvertures circulaires, partagées en secteurs, sont garnies de registres ou papillons, que l'on peut ouvrir ou fermer plus ou moins à volonté.

Des cheminées d'évacuation de l'air vicié sont pratiquées dans les murs de face; une ou deux pour chaque salle et chaque étage.

Ces cheminées débouchent dans les greniers, au niveau du plancher, sous le toit, et les jours qui existent naturellement entre les chevrons et le sommet des murs n'ont pas été bouchés.

Tel est l'ensemble du système de chauffage et de ventilation qui a été établi par le docteur Van Hecke à l'asile du Vésinet. Je passe sous silence quelques dispositions de détail, en me réservant d'en parler lorsqu'il y aura lieu.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Des rapports adressés à l'administration et plusieurs notices publiées ayant attribué à ces appareils une supériorité considérable sur ceux que l'on employait auparavant, j'ai été conduit, en 1860, à l'occasion des projets présentés pour le palais de justice, à examiner les résultats qu'ils avaient produits à l'hôpital Beaujon, à l'hôpital Necker et à l'asile du Vésinet. Cet examen, ainsi que tous les renseignements que j'avais recueillis, soit seul, soit avec mes confrères MM. Rayer et Pelouze, auprès des directeurs, des médecins et des sœurs, ne m'ayant pas paru confirmer les éloges donnés à ces appareils, j'ai dû exprimer mon opinion à ce sujet, et je l'ai fait dans le rapport qui a été adressé par la commission que présidait M. Dumas [1], et qui avait à juger les projets présentés pour le palais de justice.

Peu de temps après la remise de ce rapport, qui avait été imprimé par ordre de M. le préfet de la Seine, M. le ministre de l'intérieur, par dépêche en date du 5 octobre 1860, m'a prié de présider à des expériences qui seraient faites à l'asile impérial du Vésinet sur les appareils de chauffage et de ventilation qui y avaient été établis.

Dès le 31 octobre, je me suis rendu à cet asile, que j'avais déjà visité deux fois, et je l'ai parcouru de nouveau avec M. Laval, architecte de l'établissement; mais à cette époque, des travaux complémentaires s'exécutaient encore aux appareils, la saison n'était pas favorable pour des expériences, et je dus attendre l'hiver.

Pour l'exécution de ces expériences j'ai fait appel au dévouement et à l'habileté de M. Tresca, sous-directeur du Conservatoire des arts et métiers; nous nous sommes rendus au Vésinet le 29 janvier 1861, accompagnés de deux jeunes ingénieurs attachés au Conservatoire, et nous y avons trouvé M. Laval et M. le docteur Van Hecke.

La présente note a pour but de faire connaître en détail tous les résultats de nos observations, et d'en déduire les conclusions auxquelles ils conduisent.

[1] Cette commission était composée de MM. Dumas, membre de l'Institut, président; De Vienne, premier président de la Cour impériale; Choix-d'Est-Ange, procureur général: Pelouze, membre de l'Institut; Rayer, id.: Caristie, id.; général Morin, id., rapporteur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

19. *Expériences sur les appareils de chauffage et de ventilation établis par le docteur Van Hecke à l'asile impérial du Vésinet. — Janvier* 1861.

Pour reconnaître les effets des appareils de ventilation et distinguer la part qui pouvait appartenir à la ventilation naturelle produite par l'aspiration et l'échauffement de l'air, de celle qui était due à l'action du ventilateur, nous avons procédé de la manière suivante. Il ne nous était pas possible d'opérer le même jour sur toutes les parties du bâtiment, ce qui, d'ailleurs, eût été superflu, et nous avons choisi pour l'expérimentation le pavillon F, dont les deux ailes, perpendiculaires l'une à l'autre, contiennent l'une quatre, l'autre trois salles à chaque étage, et comprennent ensemble 122 lits. Ce pavillon, ses corridors, ses escaliers et autres dépendances sont chauffés par un seul calorifère placé à 80 mètres environ du ventilateur. L'air arrive dans la chambre à air de ce calorifère par deux ouvertures en communication avec le conduit de ventilation, et ayant chacune $0^m,50$ sur $0^m,60$ ou $0^{mq},3000$ d'ouverture. A droite et à gauche de la porte du foyer, et immédiatement au-dessus des ouvertures, dont on vient de parler, sont ménagés deux autres orifices d'introduction de l'air par lesquels l'air extérieur peut librement pénétrer dans la chambre à air.

Ces ouvertures auxiliaires, ajoutées depuis la première installation des appareils, sont maintenant habituellement ouvertes en entier, et leur existence nous a permis de comparer aussi exactement que possible les effets de la ventilation mécanique à ceux de la ventilation naturelle ou de l'aspiration.

A cet effet, nous avons d'abord fait fermer les orifices auxiliaires d'introduction de l'air dont il vient d'être parlé, afin d'observer les effets de la ventilation qui se produisait par les conduits de ventilation, tant par l'action du ventilateur que par celle de l'aspiration que la chaleur développée par le calorifère détermine dans ces conduits.

Nous avons ensuite fait arrêter le ventilateur et rouvrir les orifices auxiliaires seuls, pour reconnaître les effets de la ventilation qui pouvaient se produire sans le concours du ventilateur.

Enfin nous avons laissé fonctionner simultanément le ventila-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

teur et l'aspiration développée par la chaleur pour constater les effets de ce concours des deux moyens.

Pour assurer, autant que possible, la facile arrivée de l'air dans toutes les salles, nous avons eu soin de faire tenir toutes les ouvertures d'admission ouvertes en plein, et de même, pour qu'aucun obstacle ne gênât l'appel par les cheminées d'évacuation, tous les meubles qui pouvaient se trouver devant leur entrée en ont été éloignés. Les fenêtres de toutes les salles sont restées fermées, et l'on a veillé à ce que les portes ne fussent ouvertes que le temps nécessaire à la circulation des malades seulement.

Une partie des grilles qui recouvrent les cheminées avait été enlevée; mais nous n'en avons pas moins fait des observations sur tous les orifices d'évacuation, en faisant abstraction de la présence des grilles qui y étaient restées. L'observation des vitesses d'écoulement par les cheminées centrales, qui sont bifurquées à leur débouché dans le grenier par suite de leur rencontre avec les entraits, et dont une moitié était recouverte par sa grille, tandis que l'autre était libre, nous a montré que la vitesse dans la partie libre était en général plus grande que dans la partie grillée, et comme la section de passage réel y était aussi plus considérable, il s'ensuit qu'en faisant abstraction de la présence des grilles, nous avons estimé plutôt trop haut que trop bas les volumes d'air écoulés par les orifices recouverts de ces grilles. Comme d'ailleurs nous avons opéré de même dans les trois séries d'expériences, les résultats n'en sont pas moins restés très-comparables entre eux. L'on a indiqué dans les tableaux par la lettre G, placée à droite des surfaces des orifices, ceux où la grille avait été conservée.

Dans les deux premières séries d'expériences l'on a observé à tous les étages et sur tous les orifices d'évacuation de l'air la vitesse de sortie, ce qui a permis de calculer le volume total d'air évacué dans chaque cas.

Pour la troisième série, l'heure avancée et l'obscurité n'ayant pas permis d'opérer sur tous les orifices, l'on a été obligé de se contenter de faire des observations sur dix-neuf de ces orifices; mais l'on a eu soin de répartir les expériences sur tous les étages, et spécialement sur toutes les grandes salles, de sorte que la comparaison des résultats obtenus sur ces orifices dans cette série, avec ceux qu'on avait recueillis sur les mêmes orifices, dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les deux autres séries, a permis d'apprécier les rapports des effets de ventilation dans les trois cas.

Dans toutes les séries, les mêmes observateurs et les mêmes instruments ont été employés aux mêmes cheminées, de sorte que les erreurs personnelles et celles des instruments devaient se trouver identiques dans chaque cas.

Les températures dans les salles ont été observées sur les thermomètres à alcool placés dans les salles, et dont on avait vérifié la concordance suffisante avec de bons thermomètres à mercure.

La température de l'air affluent dans les salles, celle de l'air dans les cheminées, dans la chambre à air et dans les conduits ont été déterminées avec des thermomètres à mercure très sensibles.

L'anémomètre tenu par M. Lafon, et dont les indications sont précédées de la lettre L, a pour formule :

L. $$V = 0^m,1392 + 0^m,08852\ N.$$

L'anémomètre tenu par M. Villermé, et dont les indications sont précédées de la lettre V, a pour formule :

V. $$V. = 0^m,35 + 0^m,084\ N.$$

Tous les résultats obtenus dans les trois séries d'expériences sont consignés dans le tableau suivant, pour l'intelligence duquel il est bon de dire que certaines salles ont deux cheminés d'évacuation, tandis que d'autres n'en ont qu'une.

Ces tableaux se composent de deux parties, l'une relative aux observations faites sur l'aile gauche, qui se termine au pavillon A du plan général, l'autre aux observations faites sur l'aile droite qui s'arrête au pavillon F.

Chacune de ces parties des tableaux comprend trois séries d'expériences.

La première, exécutée quand le ventilateur fonctionnait seul avec le concours de l'aspiration qui pouvait se produire dans ses conduits particuliers débouchant dans la chambre à air, à droite et à gauche du calorifère.

La deuxième exécutée quand le ventilateur était arrêté, et que les orifices auxiliaires d'admission de l'air dans la chambre du calorifère étaient ouverts, et qu'ainsi la ventilation se faisait uni-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

quement par l'appel, qui se produisait à la fois par ces orifices auxiliaires, ainsi que par les conduits et même par la cheminée d'introduction de l'air au ventilateur.

La troisième série contient les résultats des observations faites quand l'air affluait dans la chambre à air par les orifices auxiliaires et par l'action du ventilateur.

Dans chacune des deux premières séries, l'on a totalisé les volumes d'air sortis par les cheminées, d'abord par galerie, puis par aile de bâtiment, et ensuite l'on a ajouté les volumes partiels pour établir les volumes d'air totaux évacués de ce pavillon.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ASILE IMPÉRIAL DU

Expériences faites

AILE GAUCHE.

1re SÉRIE.

Le ventilateur fonctionne seul.

Désignation des galeries et de l'étage.	Numéros des salles.	Température des salles.	Température de l'air affluent.	Température de l'air sortant.	Désignation de l'observateur.	Nombre de tours de l'anémomètre en 1".	Vitesse de l'air évacué en 1".	Dimensions et sections des orifices.	Présence ou absence de la grille.	Volumes d'air écoulés en 1".
		°	°	°			m.	m. m. m.		lit.
Galerie Ste Clotilde. — Rez-de-chaussée.	1	19	22	17	L	500	0.87	0.30×0.15=0.0450	O	39.15
						400	0.73	0.30×0.15=0.0450	G	32.85
	2	18.5	22	..	V	425	0.96	0.37×0.15=0.0550	O	52.80
						258	0.73	0.30×0.15=0.0450	G	32.85
	3	17	21	16	L	200	0.43	0.30×0.15=0.0450	G	18.35
	4	20.5	21	17	L	208	0.44	0.30×0.15=0.0450	O	19.80
	5	....	..	10	V	220	0.47	0.52×0.29=0.1508	G	70.88
	7	....	..	..	V	100	0.50	0.39×0.21=0.0819	G	40.95
	Corridor	12.5				0	0.00	0.30×0.20=0.0600	G	0.00
Totaux par galerie.....										307.63
Galerie Ste Élisabeth — 1er étage.	1	18	..	17	L	346	0.65	0.75×0.15=0.1125	O	73.13
	2	15	19	..	V	320	0.82	0.80×0.15=0.1200	G	98.40
	3	18	..	17	L	506	0.88	0.75×0.15=0.1125	O	99.00
	4	18.5	.	..	L	370	0.68	0.40×0.29=0.1160	G	78.88
	5	....	..	..	V	180	0.62	0.40×0.21=0.0840	G	52.08
	7	....	..	..	V	95	0.49	0.35×0.20=0.0700	G	34.30
	Corridor	12								
Totaux par galerie.....										435.79
Galerie Ste Félicité. — 2e étage.	1	17	..	..	L	330	0.62	0.80×0.15=0.1200	G	74.40
	2	17	..	..	V	380	0.88	0.73×0.15=0.1095	O	96.36
	3	17	..	..	L	410	0.74	0.80×0.15=0.1203	G	88.80
	4	17	..	15	L	334	0.63	0.37×0.29=0.1075	G	67.60
	5	.....	..	18	V	370	0.08	0275×0.79=0.0798	G	70.22
	7	....	..	15	V	330	0.83	0.65×0.08=0.0520	G	43.16
	Corridor	10								
Totaux par galerie.....										440.54
Totaux généraux par série et par aile.....										1183.96

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VÉSINET. — PAVILLON A.

le 29 janvier 1861.

AILE GAUCHE.

2e SÉRIE.

L'aspiration fonctionne seule.

Température des salles.	Température de l'air sortant.	Désignation de l'observateur.	Nombre de tours de l'anémomètre en 1″.	Vitesse de l'air évalué en 1″.	Volumes d'air évalués en 1″.
°	°	°		m.	lit.
17.5	..	L	458	0.81	36.45
		L	382	0.70	31.50
14.5	17	V	335	0.84	46.20
		V	258	0.73	32.85
16.0	16	L	160	0.37	16.65
		L	150	0.36	16.20
19.0	..	L	155	0.37	55.80
....	..	V	73	0.46	37.67
....	..	V	0	0.00	0.00
13					
					273.32
18.5	17	L	492	0.86	96.75
18	15	V	200	0.64	76.80
19.5	..	L	552	0.95	106.87
19	..	L	456	0.81	93.96
....	14	V	350	0.86	72.24
....	11	V	250	0.72	50.40
12					
					497.02
18	19	L	418	0.75	90.00
18.5	..	V	440	0.99	108 41
18.5	18	L	434	0.78	93.60
18.5	..	L	350	0.65	69.75
....	..	V	405	0.94	75.00
....	14	V	370	0.89	24.28
11.5					
					483.05
					1253.39

3e SÉRIE.

Le ventilateur et l'aspiration fonctionnent simultanément.

Température des salles.	Température de l'air sortant.	Désignation de l'observateur.	Nombre de tours de l'anémomètre en 1″.	Vitesse de l'air évalué en 1″.	Volumes d'air écoulés en 1″.
°	°			m.	lit.
19.5	..	L	124	0.76	34.20
....	..	L	450	0.80	36.00
19.5	..	V	450	1.05	55.55
°					
16					
18.5					
18	18	L	390	0.71	79.78
15.5	..	V	235	0.70	84.00
20					
19.5					
19.5	18	L	488	0.85	102.00
19.5	16	V	463	1.02	111.69
16					
18.5					

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Suite des expériences

AILE DROITE.

1re SÉRIE.

Le ventilateur fonctionne seul.

Désignation des galeries et de l'étage.	Numéros des salles.	Température des salles.	Température de l'air affluant.	Température de l'air sortant.	Désignation de l'observateur.	Nombre de tours de l'anémomètre en 1".	Vitesse de l'air évalué en 1".	Dimensions et sections des orifices.	Présence ou absence de la grille.	Volumes d'air écoulés en 1".
		°	°	°			m.	m. m. m².		lit.
Galerie Ste Marie. — Rez-de-chaussée.	6	17			L	206	0.44	0.30×0.21=0.0630	G	27.72
					L	234	0.48	0.34×0.21=0.0714	G	34.27
					L	286	0.56	0.28×0.19=0.0532	O	29.79
					L	230	0.37	0.28×0.19=0.0532	G	19.68
	5	....			V	190	0.63	0.30×0.20=0.0600	G	37.80
					V	165	0.60	0.30×0.20=0.0600	G	36.00
					V	358	0.88	0.30×0.18=0.0540	O	47.52
	4	....			V	300	0.79	0.30×0.20=0.0600	G	47.40
					L	464	0.82	0.32×0.18=0.0576	G	47.23
					TOTAUX PAR GALERIE.....					327.41
Galerie Ste Cécile. — 1er étage.	8	17			V	200	0.61	0.35×0.21=0.0735	G	47.04
	7	18.5			L	354	0.66	0.64×0.21=0.1344	G	88.71
					L	326	0.62	0.63×0.19=0.1197	G	74.21
	6	16			V	305	0.80	0.68×0.20=0.1360	G	108.80
					V	211	0.66	0.70×0.20=0.1400	G	92.40
	5 Corridor	15.5 11.5			L	252	0.51	0.28×0.18=0.0504	G	25.70
					TOTAUX par galerie.....					436.86
Galerie Ste Marthe. — 2e étage.	8	17			V	365	0.88	0.40×0.21=0.0840	G	73.92
	7	19			L	294	0.57	0.61×0.26=0.1282	G	70.07
					L	324	0.62	0.68×0.19=0.1292	O	80.11
	6	15			V	228	0.69	0.67×0.18=0.1206	G	83.21
					V	200	0.64	0.64×0.20=0.1280	G	81.92
	5 Corridor	 11			L	432	0.77	0.34×0.17=0.8578	G	44 50
					TOTAUX PAR GALERIE.....					436.74
TOTAUX par série et par aile.....										1201.01
TOTAUX GÉNÉRAUX par série.....										2384.94

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VÉSINET. — PAVILLON F.

faites le 29 janvier 1861.

AILE DROITE.

2e SÉRIE.

L'aspiration fonctionne seule.

Température des salles.	Température de l'air sortant.	Désignation de l'observateur.	Nombre de tours de l'anémomètre en 1″.	Vitesse de l'air évacué en 1″.	Volumes d'air écoulés en 1″.
°	°			m.	lit.
17.5	..	L	200	0.43	27.09
....	..	L	133	0.53	23.56
....	..	L	312	0.60	31.92
....	..	L	130	0.53	17.55
15	..	V	105	0.54	32.40
....	..	V	110	0.56	33.60
....	..	V	0	0.00	0.00
....	..	V	0	0.00	0.00
18	17	L	396	0.72	41.47
					207.59
....	..	V	413	0.95	69.83
12.5	17	L	320	0.61	81.92
....	17	L	342	0.64	76.61
16.0	15	V	320	0.82	111.52
....	..	V	405	0.94	131.60
....	..	L	215	0.45	22.68
11.5					494.22
....	..	V	410	0 90	75.60
19	18	L	302	0.58	74.36
....	16	L	284	0.55	71.06
15	..	V	322	0.68	82.01
....	..	V	220	0.08	87.04
....	..	L	445	0.79	45.66
10					435.73
					1137.34
					2390.93

5e SÉRIE.

Le ventilateur et l'aspiration fonctionnent simultanément.

Température des salles.	Température de l'air sortant.	Désignation de l'observateur.	Nombre de tours de l'anémomètre en 1″.	Vitesse de l'air évacué en 1″.	Volumes d'air écoulés en 1″.
°	°			m.	lit.
16	16	L	152	0.36	25.7
....	14	L	268	0.53	27.20
13	..	V	170	0 60	36.0
	..	V	0	0.00	0.00
10.5					
19.5	18	L	312	0.60	80.64
....	17	L	276	0.54	64.64
15.5	15	V	240	0.70	95.20
....	..	V	243	0.71	99.4
11.5					
17					
18	16	L	340	0.64	48.59
....	17	L	210	0.44	58.85
15	..	V	243	0.71	85.63
....	..	V	240	0.70	89.60

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

20. *Examen des résultats consignés dans le tableau précédent.*

Les résultats contenus dans ce tableau sont intéressants et très-concluants ; nous les examinerons dans l'ordre de leur importance, au point de vue des conséquences que l'on peut en déduire pour l'art de la ventilation.

21. *Effets comparatifs de l'action des ventilateurs insufflants et de la ventilation due à l'action de la chaleur.*

Dans la première série d'expériences l'action du ventilateur et celle de l'aspiration que provoquait par la cheminée d'introduction dans les conduits souterrains et dans les cheminées d'évacuation, l'échauffement de l'air par le calorifère, concouraient à produire la ventilation totale qui s'est élevée à $2^{mc},38494$ par seconde.

Dans la 2e série le ventilateur étant arrêté et les orifices auxiliaires ménagés à droite et à gauche du fourneau étant ouverts, la ventilation n'était due qu'à l'aspiration que produisait l'échauffement de l'air par le calorifère. Le volume total d'air évacué par toutes les cheminées s'est élevé à $2^{mc},39093$. Ce dernier volume étant presque exactement le même que le précédent, l'on peut conclure, sans crainte d'erreur, que, dans les circonstances de l'expérience, l'aspiration due à l'action du calorifère seul produisait presque exactement les mêmes résultats que l'effet combiné du ventilateur et de l'aspiration.

Il convient d'ailleurs de faire remarquer que, pendant les expériences où le ventilateur était arrêté, l'aspiration par la cheminée d'introduction de l'air et par les conduits généraux de ventilation continuait à se faire avec une grande énergie, ce qui montre que cette aspiration n'est pas due à la seule action du ventilateur et fait voir que dans un système qui fonctionnerait seulement par appel, l'on pourrait très-bien, si on le jugeait utile, amener l'air nouveau à introduire dans les salles au moyen d'une cheminée prenant cet air à une certaine hauteur au-dessus du sol. C'est ce qui résulte d'ailleurs aussi des observations faites à l'hôpital Lariboisière, ainsi qu'on l'a déjà fait remarquer.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

22. *Comparaison des résultats obtenus dans chaque aile.*

Si, au lieu de comparer les résultats généraux et totaux observés dans le pavillon composé de deux ailes, nous voulions mettre en regard ceux qui sont relatifs à chacune des ailes séparément, nous arriverions exactement aux mêmes conséquences.

En effet, les tableaux nous fournissent les résultats suivants :

	lit.
AILE GAUCHE.	
1re *Série*. Le ventilateur fonctionnant seul, volume total évacué . .	1183,90
2e *Série*. L'aspiration fonctionnant seule, volume total évacué . .	1253.39
AILE DROITE.	
1re *Série*. Le ventilateur fonctionnant seul, volume total évacué . .	1201,90
2e *Série*. L'aspiration fonctionnant seule, volume total évacué. .	1137,54

Les différences dans les résultats, toujours très-faibles, tantôt en plus, tantôt en moins, sont de l'ordre des erreurs inévitables dans de semblables recherches, et les résultats partiels s'accordent avec les résultats généraux pour montrer que la ventilation due à l'action du calorifère produit les mêmes effets quand elle agit seule que quand elle a pour auxiliaire le ventilateur.

23. *Effets de la ventilation par l'action simultanée du ventilateur et de l'introduction directe de l'air dans la chambre à air.*

Ainsi que nous l'avons dit, cette troisième série d'expériences n'a pas été étendue comme les autres à toutes les cheminées d'évacuation, mais comme elle a été faite sur dix-neuf de ces cheminées, qui sont au nombre total de quarante-deux, ou environ sur la moitié du nombre total des cheminées et sur toutes les grandes salles, il est facile, en comparant les résultats obtenus dans les trois séries d'expériences sur ces dix-neuf cheminées, d'en tirer des conclusions utiles.

A cet effet, nous avons extrait des tableaux généraux du n° 2, et réuni dans le tableau suivant les résultats relatifs à ces cheminées et nous y avons totalisé les volumes d'air évacués dans chaque série.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tableau comparatif des résultats des expériences faites au Vésinet le 29 janvier dans le pavillon F.

DÉSIGNATION DES GALERIES ET DES SALLES.		VOLUMES D'AIR ÉCOULÉS EN 1". 1re Série. Le ventilateur fonctionne seul.	2e Série L'aspiration fonctionne seule.	3e Série Le ventilateur et l'aspiration fonctionnent simultanément.
		AILE GAUCHE		
		lit.	lit.	lit.
Galerie Sainte-Clotilde	n° 1	39,45	36,45	34,20
	n° 2	32,85	31,50	36,00
		52,80	50,20	55,33
Galerie Sainte-Élisabeth	n° 1	73,13	96,75	79,78
	n° 2	98,40	76,80	84,00
Galerie Sainte-Félicité	n° 1	74,40	80,00	102,00
	n° 2	93,36	108,45	111,69
Totaux pour l'aile gauche		464,19	486,40	503,22
		AILE DROITE		
Galerie Sainte-Marie	n° 6	34,27	27,56	25,70
	n° 6	29,79	31,92	27,20
	n° 5	37,80	32,40	36,90
	n° 5	47,52	00,00	00,00
Galerie Sainte-Cécile	n° 7	88,71	81,98	80,64
	n° 7	74,21	76,61	64,64
	n° 6	108,80	111,52	95,20
	n° 6	92,40	121,60	99,40
Galerie Sainte-Ma.the	n° 7	73,07	74,36	43,59
	n° 7	89,41	71,06	58,85
	n° 6	83,21	82,01	85,63
	n° 6	81,92	67,04	89,60
Totaux pour l'aile droite		831,81	804,06	706,45
Totaux généraux par série		1295,90	1293,16	1209,67

24. *Conséquences des résultats contenus dans le tableau précédent.*

En résumant les résultats ci-dessus l'on reconnait que le volume d'air sorti par les dix-neuf cheminées a été :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	Et.
1° Dans la première série, ventilation mécanique aidée par l'aspiration naturelle à travers les conduits généraux de	1295,90
2° Dans la deuxième série, ventilation due à la seule action de la chaleur par les conduits généraux et par les orifices latéraux du fourneau de.	1290,16
3° Dans la troisième série, ventilation mécanique aidée par l'aspiration naturelle à travers les conduits généraux et par les orifices latéraux du fourneau de	1209,67
Volume moyen.	1265,24

Ces trois résultats, presque identiques, montrent de nouveau que l'influence du ventilateur, sur le volume d'air évacué par les cheminées est sensiblement nulle.

25. *Conséquence générale des trois séries d'expériences.*

Il résulte donc de cette comparaison des résultats obtenus dans ces trois séries une seconde confirmation complète de l'opinion que j'avais émise dans le rapport de la commission chargée d'examiner les projets de ventilation présentés pour le palais de justice, que, dans la plupart des cas, l'action de l'aspiration, convenablement réglée et déterminée par des appareils de chauffage bien proportionnés, suffit pour produire les effets de ventilation nécessaires, et qu'il n'y a aucun avantage à recourir à l'usage des ventilateurs insufflants.

Quant aux propriétés spéciales que M. Van Hecke attribue à son ventilateur, il faudrait, pour les apprécier, des expériences directes que nous ne pouvions faire au Vésinet.

26. *Rapport entre les volumes d'air introduits dans la chambre à air et les volumes sortis des salles.*

Outre les expériences dont on vient de parler, nous en avons fait d'autres pour déterminer, autant que cela était possible dans de semblables circonstances, les volumes d'air qui étaient introduits dans la chambre à air et les comparer aux volumes d'air sortis des salles, afin de reconnaître le rapport qui pouvait s'établir entre ces volumes.

A cet effet l'on a opéré pendant la deuxième et la troisième série d'expériences, en observant les vitesses d'introduction de l'air dans la chambre à air par les deux débouchés des canaux généraux de ventilation et par les deux orifices auxiliaires ouverts

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à droite et à gauche du foyer. Ces quatre orifices avaient à très-peu près la même section, et en pénétrant dans la chambre à air l'on a pu, malgré la température de 32° qui régnait dans la partie supérieure, faire les observations avec soin. Les résultats de ces expériences sont consignés dans le tableau suivant.

Expériences faites, le 19 janvier 1861, à l'Asile impérial du Vésinet, sur les volumes d'air introduits dans les chambres du calorifère.

DÉSIGNATION des ORIFICES.	TEMPÉRATURE de l'air à l'entrée.	DIMENSIONS des ORIFICES.	DEUXIÈME SÉRIE. APPEL SEUL. Observations.	Tours de l'anémomètre en 1".	Vitesse en 1".	Volume d'air introduit en 1".	TROISIÈME SÉRIE. VENTILATEUR ET APPEL. Observations.	Tours de l'anémomètre en 1".	Vitesse en 1".	Volume d'air introduit en 1".
		mq.			m.	mc.				
Orifice latéral. . . .	9°	0,488 × 0,64 = 0,3123	V	910	1,66	0,5183	V	595	1,21	0,3788
Orifice latéral. . . .	9°	0,50 × 0,60 = 0,3000	V	900	1.65	0,4950	V	618	1,34	0,3720
Orifice du ventilateur.	9°	0,50 × 0,60 = 0,3000	L	238	0,47	0,1441	L	718	1,19	0,3570
Orifice du ventilateur.	9°	0,50 × 0,60 = 0,3000	L	250	0,50	0,1500	L	924	1,50	0,4500
Volumes totaux.						1,3044				1,5578

27. *Examen des résultats consignés dans ce tableau.*

Les résultats que l'on vient de faire connaître sont importants à plus d'un point de vue.

La valeur des volumes totaux d'air introduits dans la chambre à air montre d'abord que, pour l'introduction de l'air dans la chambre du calorifère, le ventilateur n'a guère plus d'influence que pour l'ensemble de la ventilation puisque l'aspiration seule, même dans les conditions très-défavorables dans lesquelles elle agissait en partie, a produit un volume d'air de $1^{mc},3044$ qui est les 0,84 du volume introduit par l'action simultanée du ventilateur et de l'appel, et le résultat aurait encore été plus favorable à l'action de l'appel, si les orifices latéraux avaient été suffisamment grands pour dispenser d'en laisser arriver par les conduits du ventilateur. C'est ce qui est rendu évident dans la deuxième série d'expériences faites avec l'appel seul par la différence des volumes introduits par les orifices latéraux qui ont été de $0^{mc},5183$ et $0^{mc},4950$, tandis que ceux qui sont passés par les orifices venant du ventilateur n'ont été que de $0^{mc},1441$ et $0^{mc},1500$.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

28. *Rapport du volume d'air introduit dans la chambre à air au volume total évacué par les cheminées.*

Le volume total introduit par l'appel seul a été de $1^{mc},3044$ en 1", tandis que dans les mêmes conditions de température intérieure et extérieure, le volume d'air évacué par les cheminées avait été trouvé (2e série, n° 2) égal à $2^{mc},3909$; le rapport de ces deux volumes égal à

$$\frac{1.3044}{2.3909} = 0.546$$

montre que, dans le pavillon où les expériences ont été faites, malgré l'attention que l'on a toujours eue de veiller à la fermeture des portes et des fenêtres, l'air introduit par la circulation naturelle s'est élevé à $2^{mc},3909 - 1^{mc},3044 = 1^{mc},0855$ par seconde,

ou à
$$\frac{1.0855}{2.3909} = 0.455$$

du volume d'air total évacué par les cheminées. Ce résultat, qui montre sous un autre point de vue toute l'influence de la ventilation produite par les différences de température, est d'ailleurs d'accord avec ce que nous avons observé à l'hôpital Lariboisière sur les pavillons ventilés par appel.

29. *Influence de la disposition respective des conduits ou des courants d'air.*

Dans celles des expériences précédentes où l'on opérait par appel seul, la facilité de l'introduction de l'air par les orifices latéraux assurait au courant d'air qui les traversait une prépondérance que nous avons déjà signalée. Mais quand le ventilateur agissait, le courant, qu'il aidait de son action, diminuait beaucoup l'entrée de l'air par les orifices latéraux en augmentant un peu la pression dans l'intérieur de la chambre, et comme le volume total introduit n'était guère accru, il s'ensuivait que l'action du ventilateur était presque plus nuisible qu'utile; mais en outre cette circonstance montre que le volume d'air qui peut arriver dans une semblable chambre ne croît pas toujours proportionnellement au nombre des canaux d'affluence, quoiqu'il y ait d'ailleurs avantage à exagérer un peu leur dimension.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

30. *Observations sur les calorifères.*

Les appareils de chauffage établis par M. Van Hecke se composent d'une cloche en fonte placée directement au-dessus de la grille et de tuyaux en tôle pour la circulation de la fumée. L'ensemble se trouve isolé, du moins sur trois de ses côtés, dans l'intérieur de la chambre et loin de ses parois ; la cloche, même quand le feu est modéré, est chauffée au rouge, ainsi que nous l'avons observé le 19 janvier, et il doit en être de même d'une partie des tuyaux quand il fait très-froid. Nous devons dire cependant que le jour de nos expérimentations la température, dans la chambre à air, n'était que de 20° en bas et de 32° dans la partie supérieure, tandis que dans la salle elle était en moyenne de 16 à 19°. Mais quand il fait très-froid il doit en être tout autrement.

Les tuyaux en tôle peuvent, il est vrai, se diviser, quant à la circulation de la fumée, en deux groupes distincts présentant des développements inégaux qui permettent d'envoyer cette fumée dans la cheminée d'évacuation après un parcours plus ou moins long, selon que l'on veut échauffer l'air à une température plus ou moins élevée.

L'emploi de la tôle pour les tuyaux de fumée a été depuis longtemps abandonné par tous les bons constructeurs de calorifères, parce que la tôle se brûle facilement l'hiver et s'oxyde surtout l'été pendant que les appareils ne fonctionnent pas et qu'il en résulte, outre les frais de réparations, des chances d'incendie dangereuses. Par ce dernier motif surtout, il me semble que l'on n'aurait donc pas dû admettre l'emploi de ces tuyaux en tôle.

31. *De la distribution de la chaleur dans les salles.*

Lors des expériences du 29 janvier 1861, nous avons constaté avec soin la température de l'air affluent dans les salles et celle de ces salles elles-mêmes. L'air extérieur était à 9° au-dessus de zéro ; le chauffage était donc facile et pouvait être modéré. Aussi avons-nous trouvé généralement qu'à son arrivée dans les salles l'air avait une température de 22°, et que celui des salles était à 18 ou 19°, ce qui dépasse le degré nécessaire. Cette température était d'ailleurs à très-peu près uniforme dans toutes les salles, et celle des corridors variait de 10 à 11°. C'est ce que constate le tableau suivant :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Températures observées dans les salles du pavillon F de l'hospice du Vésinet.

GALERIE SAINTE-CLOTILDE Rez-de-chaussée.				GALERIE SAINTE-ÉLISABETH 1er étage.				GALERIE SAINTE-FÉLICITÉ 2e étage.			
Numéros des salles.	Nombre des lits.	TEMPÉRATURES des salles.	TEMPÉRATURES du corridor.	Numéros des salles.	Nombre des lits.	TEMPÉRATURES des salles.	TEMPÉRATURES du corridor.	Numéros des salles.	Nombre des lits.	TEMPÉRATURES des salles.	TEMPÉRATURES du corridor.
1	6	19°,5	12	1	6	18°,0	12	1	6	18°,0	10,5
2	6	19,5		2	6	15,5		2	6	19,5	
3	6	16,0		3	6	20,0		3	6	19,5	
4	3	18,5		4	3	19,5		4	3	»»,»	
	21	18,4			21	18,25			21	19,0	
GALERIE SAINTE-MARIE Rez-de-chaussée.				**GALERIE SAINTE-CÉCILE 1er étage.**				**GALERIE SAINTE-MARTHE 2e étage.**			
4	9	17°,5	10	5	1	17°,0	11,5	5	1	»°,»	11
5	9	14,5		6	9	17,5		6	9	15,0	
6	1	16,5		7	9	19,0		7	9	18,5	
				8	1	19,5		8	1	19,0	
	19	16,2			20	18,2			20	17,3	

Total des lits, aile gauche 63, aile droite 59, total : 122 lits.

Pour nous éclairer sur les dispositions à l'aide desquelles M. Van Hecke était parvenu à réaliser une semblable uniformité de température, que nous regardions comme assez remarquable pour mériter notre attention, d'autant plus qu'en 1839 l'on était loin de l'avoir obtenue, nous avons été forcé de faire pénétrer dans la chambre à air nos collaborateurs pour chercher à connaître les dispositions des galeries de ventilation et des tuyaux de prise et d'ascension de l'air. L'on y a aussi observé une disposition ingénieuse spécialement applicable, il est vrai, à des cas analogues à celui qui nous occupe, mais qui est cependant assez remarquable.

Après notre visite, M. Laval, architecte de l'établissement, a eu l'obligeance de nous procurer le dessin de cette disposition dont un des éléments principaux est représenté dans la figure de la page 797, et que nous allons chercher à décrire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

32. *Description des galeries inférieures de distribution de l'air chaud.*

Ainsi que nous l'avons dit, l'air échauffé au contact et par la radiation des parois du calorifère se répand dans la chambre de cet appareil, qui y est presque complétement isolé, et par suite de l'arrivée continue d'air frais, il s'établit dans cette chambre des couches d'air à des températures croissantes et très-différentes depuis le sol jusqu'à la voûte.

Deux galeries, partant de la chambre à air, un peu au-dessus de son sol, se dirigent vers l'axe longitudinal des ailes gauche et droite et sont destinées à conduire l'air chaud dans toute la longueur de ces ailes. L'intrados des voûtes de ces galeries, qui ont $0^m,75$ de largeur dans œuvre est de niveau sur toute leur longueur ; leur sol, ou radier, a une rampe ascendante de $0^m,035$ par mètre, à partir de la chambre à air; de sorte que la hauteur sous clef, qui est à l'origine pour l'aile gauche de $2^m,00$, n'est à l'extrémité sous la salle n° 4 que de $0^m,96$. A leur passage au-dessous des murs de refend ces galeries communiquent avec trois conduits verticaux, qui répartissent l'air dans les salles correspondantes. Mais lors de la première mise en activité des appareils, la facilité plus grande d'accès que l'air trouvait vers les conduits et les salles les plus voisines du calorifère occasionnait des différences très-considérables dans les températures et dans les volumes d'air répartis dans les salles, de sorte que les plus éloignées ne recevaient, à certaines époques, que peu ou point de chaleur, et qu'en outre il ne restait aucun moyen direct de ventiler les lieux d'aisances qui, en tout temps, répandaient une mauvaise odeur.

M. Van Hecke a cherché depuis à remédier à ce défaut par la disposition suivante.

L'inégalité de température de l'air dans la chambre à air, dont la partie supérieure est à 32°, tandis que la partie voisine du sol n'est à peu près qu'à la température de 20°, se propageait immédiatement dans les galeries où des différences analogues se produisaient aussi et étaient évidemment l'une des causes principales des différences observées dans la répartition de la chaleur dans les salles.

Pour corriger, autant que possible, ce défaut, M. Van Hecke a établi au-dessous de chaque mur de refend des dispositions

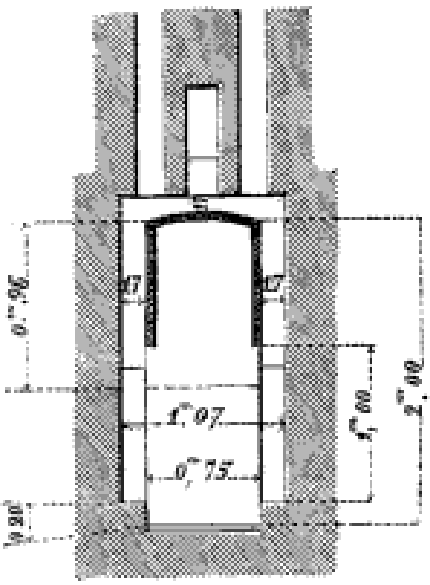
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui ont pour but et, à certaines époques, pour effet, comme nous l'avons déjà constaté, de régulariser beaucoup mieux la température. Au-dessous de chacune des séries de tuyaux ascendants il a pratiqué dans les conduits un élargissement de 0m,17 de chaque côté à l'origine, et qui se réduit successivement à 0m,16 et à 0m,15 vers l'extrémité. Cet élargissement, qui règne sur toute la hauteur du conduit, offre vers le bas, à droite et à gauche, des orifices horizontaux d'introduction ou de passage à l'air dont les dimensions sont les suivantes, pour l'aile gauche, par exemple :

Salles	1	2	3	4
Hauteur	0m ,17	0m ,16	0m ,16	0m ,15
Largeur	0 ,50	0 ,50	0 ,50	0 ,50
Surface	0mq,085	0mq,085	0mq,080	0mq,075

Au-dessus de ces orifices sont placés des espèces de diaphragmes en zinc en forme de voûte surbaissée, qui forment de chaque côté avec la paroi du précédent des canaux latéraux par lesquels l'air arrive aux conduits verticaux.

La figure ci-jointe représente en section transversale cette disposition qui a les résultats suivants :



Au-dessous du premier mur de refend, salle 1, la prise d'air ne permettant que l'accès de l'air des couches situées à 1 mètre au plus au-dessus du sol et à 1 mètre au-dessous de l'intrados horizontal de la voûte, l'air qui y pénètre se trouve mêlé d'air relativement frais et d'une portion d'air chaud. Au-dessous du second mur, la prise d'air est à 0m,70 en contre-bas de la voûte; au troisième mur, elle est à 0m,50, et au quatrième, à 0m,35. Ces ouvertures admettent donc de l'air pris d'autant plus près de la voûte ou dans la région où il est chaud qu'elles sont plus éloignées de la chambre; mais en même temps, par l'effet de la circulation, le mélange des couches de différentes températures s'est opéré de plus en plus, tandis que, d'autre part, l'air le plus chaud a, dans certains cas, pu se refroidir un peu, et il résulte

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de ces causes concordantes et de l'égalité presque complète des aires de passage pour les salles nos 1, 2 et 3 de l'aile gauche dont nous parlons, que pour le cas des températures modérées d'hiver, les volumes d'air et les températures peuvent être assez uniformément réparties. Mais il ne s'ensuit pas nécessairement qu'il en puisse être de même en tout temps et surtout par de très-basses températures extérieures, parce que les caloriferes devant alors fournir beaucoup plus de chaleur, la répartition des températures aux différentes hauteurs de la chambre à air et des galeries pourrait être tout autre, et que, dès lors, des inégalités très-sensibles pourraient s'établir entre les températures des diverses salles. Les hauteurs auxquelles il convient de prendre l'air dans ce dispositif dépendent donc de circonstances variables, et quoiqu'il permette de régulariser assez bien les températures à un même étage, il y a des circonstances où il serait nécessaire de modifier ces hauteurs. C'est ce qu'il serait, du reste, assez facile de faire, en adaptant aux diaphragmes en zinc de petites ventelles mobiles.

Les résultats des observations de températures faites cet hiver par M. le directeur de l'asile et relatés plus loin montrent en effet que si, dans l'aile gauche du pavillon F, les températures, quoique parfois trop basses, ont été assez uniformes à un même étage, il n'en a pas été à beaucoup près de même dans l'aile droite, où il a fait généralement trop froid, et dont les salles les plus éloignées du calorifère ont été beaucoup moins bien chauffées que celles qui en étaient plus rapprochées.

L'on peut se demander si l'inégalité de température qui s'établit dans les chambres à air, aux conséquences de laquelle le dispositif que l'on vient de décrire a pour objet de remédier, et qui sont le résultat de la grande capacité de la chambre et de l'isolement du calorifère des parois de cette chambre, est en définitive avantageuse ou nuisible.

Elle crée, comme on vient de le voir, une difficulté assez grande à l'uniformité de température des salles; mais, d'une autre part, l'isolement du calorifère a pour effet que si une partie de l'air, celle qui s'est le plus échauffée par le contact des surfaces métalliques portées au rouge, a pu éprouver quelque altération, le reste, qui n'est chauffé que par le rayonnement de l'appareil et par un mélange incomplet avec la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

première portion, doit avoir conservé son humidité et sa pureté naturelle; de sorte que le mélange qui se fait ultérieurement n'est pas aussi insalubre qu'il l'aurait été, si le calorifère avait été entouré de plus près par les parois de la chambre. Cette dernière opinion n'a rien d'improbable, et si elle était tout à fait exacte, l'isolement des calorifères à air chaud serait un moyen de diminuer les inconvénients qu'on leur reproche avec raison.

Nous devons faire observer que la forme donnée par M. Van Hecke à son diaphragme en zinc et la manière dont il est placé produisent une inégalité très-sensible dans le volume d'air qui passe par le conduit vertical du milieu de chaque mur de refend, lequel alimente le rez-de-chaussée. C'est ce dont il est facile de se rendre compte par l'examen du profil représenté précédemment, et c'est aussi ce qui explique comment, dans toutes nos expériences, les volumes d'air évacués par les cheminées des galeries du rez-de-chaussée n'ont été que les 0.70 à 0.75 environ de ceux qui étaient extraits des deux autres étages, malgré l'avantage que la hauteur de la cheminée d'évacuation devait au contraire donner à ces galeries. Mais cet inconvénient serait facile à corriger en supprimant une partie des cloisons inférieures en briques de ce conduit central.

Malgré ce que cette disposition offre d'ingénieux et le succès qu'elle obtient pour des températures modérées de l'air extérieur qui n'obligent pas à chauffer trop fortement l'air de la chambre du calorifère, l'on ne parvient pas à obtenir dans les salles et dans les corridors ou galeries les températures convenables lorsque le thermomètre descend de plusieurs degrés au-dessous de zéro. Dans le cours du dernier hiver, il est arrivé souvent que la température de certaines salles n'a pu être élevée au-dessus de six, huit ou neuf degrés au-dessus de zéro, et que celle des galeries ou promenoirs n'était en même temps que de un degré et demi, deux degrés et demi à trois degrés; ce qui était certainement bien insuffisant pour des femmes convalescentes et pour des salles destinées à des nourrices et à des enfants nouveau-nés. C'est ce qui est d'ailleurs constaté dans les tableaux suivants relevés par les soins de M. le directeur de l'asile.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Températures observées en janvier 1861 *dans les salles et les corridors du pavillon F de l'asile du Vésinet.*

AILE GAUCHE.

DATES.	GALERIE SAINTE-CLOTILDE. Rez-de-chaussée.			GALERIE SAINTE-ÉLISABETH. Premier étage.			GALERIE SAINTE-FÉLICITÉ. Deuxième étage.			TEMPÉRATURE extérieure.
	Numéros des salles.	TEMPÉRATURES des salles.	TEMPÉRATURES des corridors.	Numéros des salles.	TEMPÉRATURES des salles.	TEMPÉRATURES des corridors.	Numéros des salles.	TEMPÉRATURES des salles.	TEMPÉRATURES des corridors.	
Janv. 9	1	17°	5°	1	17°	8°	1	15°	5°	matin 14°
	2	16		2	18		2	16		midi 7
	3	11		3	19		3	13		soir 9
	4	16		4	18		4	16		
13	1	14	4	1	16	7	1	16	3	matin 12
	2	13		2	17		2	16		midi 5
	3	10		3	21		3	13		soir 7
	4	11		4	14		4	14		
16	1	14	2,5	1	17	6	1	16	1,5	matin 12
	2	12		2	18		2	16		
	3	10		3	19		3	14		
	4	10		4	12		4	12		

AILE DROITE.

DATES.	GALERIE SAINTE-MARIE. Rez-de-chaussée.			GALERIE SAINTE-CÉCILE. Premier étage.			GALERIE SAINTE-MARTHE. Deuxième étage.			TEMPÉRATURE extérieure.
	Numéros des salles.	TEMPÉRATURES des salles.	TEMPÉRATURES des corridors.	Numéros des salles.	TEMPÉRATURES des salles.	TEMPÉRATURES des corridors.	Numéros des salles.	TEMPÉRATURES des salles.	TEMPÉRATURES des corridors.	
Janv. 9	1	13°	5°	2	14°	5°	2	12°	5°	matin 14°
	2	15		3	14,5		3	10		midi 7
	5	13		5	11		5	11		soir 9
	6	16		7	16		7	13		
13	1	8	4	2	6	5	2	5	3	matin 12
	2	9		3	7		3	5		midi 5
	5	9,5		5	12		5	10		soir 7
	6	12		7	16		7	16		
16	1	6	3	2	6	4	2	6	3	matin 12
	2	9		3	8		3	6		
	5	10		5	12		5	11		
	6	13		7	17		7	14		

Il est donc bien établi que, malgré l'accroisement successif du nombre des calorifères, les moyens de chauffage sont encore

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

insuffisants pour la saison d'hiver, puisque dans certaines salles la température s'est abaissée à six, sept et huit degrés, et que, dans les corridors qui servent de promenoirs, elle est descendue à un degré cinq dixièmes, deux degrés cinq dixièmes.

33. *Excès de température de l'air affluent.*

D'autre part, si pour obvier à cette insuffisance on augmente l'intensité du feu, il en résulte des inconvénients graves qui m'ont été signalés dans une visite que j'ai faite le 31 octobre 1860 à l'asile.

M. le docteur Guionis, médecin de l'établissement, faisant sa tournée au moment de mon arrivée, je l'ai rencontré dans une des salles consacrées aux nourrices, au premier étage; il était accompagné de deux sœurs et de ses deux aides. — Il m'a été affirmé, tant par les femmes convalescentes que par M. Guionis et les autres personnes présentes, qu'il arrivait souvent que les femmes et surtout les enfants dont le lit était placé près des bouches de chaleur étaient tellement incommodés par la haute température de l'air affluent, que plusieurs fois l'on avait été obligé de les changer de place. Ce fait, analogue à celui qui m'avait été antérieurement signalé à l'hôpital Necker, pour des appareils du même constructeur, justifie pleinement les objections faites à l'emploi des calorifères à air chaud dans les hôpitaux, où il importe, plus que partout ailleurs, que l'air affluent soit pur et à une température modérée.

Enfin, si la disposition adoptée par M. Van Hecke et par laquelle ses calorifères et leurs tuyaux sont complétement isolés des parois de la chambre à air et de toute maçonnerie, permet d'utiliser de suite la chaleur qu'ils développent pour échauffer rapidement l'air que l'on veut envoyer dans les salles, elle offre l'inconvénient de rendre aussi le chauffage très-variable, selon l'activité du feu, et pour peu que le chauffeur se néglige, ce qui ne peut manquer d'arriver, surtout la nuit, il doit y avoir des alternatives fréquentes d'excès et d'absence de chaleur.

Toutes ces irrégularités ne se présentent pas au même degré dans les hôpitaux chauffés à l'aide de poêles à eau chaude par circulation d'eau ou de vapeur quand ils sont bien proportionnés; l'expérience a prouvé depuis longtemps que l'on pouvait en toute saison régler la température au degré voulu et lui donner la sta-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bilité désirable. Par tous ces motifs, je ne puis donc que persister dans l'opinion que j'ai émise au sujet de l'emploi des calorifères à air chaud dans les hôpitaux, et en général dans tous les lieux habités où le chauffage doit être continué avec régularité et modération pendant un laps de temps considérable.

34. *De l'évacuation de l'air.*

L'on a vu plus haut quels étaient les résultats généraux des appareils de ventilation établis par M. Van Hecke; mais il nous reste encore à examiner comment les volumes d'air évacués sont répartis entre les diverses salles d'un même étage ou de différents étages.

L'air afflue dans les salles par des cheminées verticales pratiquées dans les murs de refend, et qui ont à droite et à gauche leur débouché à même hauteur dans les deux salles séparées par un même mur. Ces ouvertures circulaires sont munies d'un registre ou papillon de même forme, que l'on peut tourner à la main, de manière à découvrir ou à fermer en partie les huit secteurs ménagés dans les registres. Il en résulte, il est vrai, pour les malades, la facilité de modérer la chaleur des salles; mais ce n'est qu'aux dépens du volume d'air affluent.

Cette disposition, qui établit une communication directe d'une chambre à l'autre, présente des inconvénients et apporte dans certains cas un trouble complet, ou tout au moins une grande inégalité, dans la ventilation.

C'est ce que nous ont montré les expériences, ainsi qu'on peut s'en assurer par l'examen du tableau qui en contient les résultats.

Ainsi, par exemple, tandis que dans la première série, où le ventilateur agissait seul, l'on voit que dans la galerie Sainte-Clotilde, dont les salles n° 1, n° 2, et n° 3, contiennent chacune six lits, et ont deux cheminées d'appel, il a été évacué par ces cheminées.

	Nombre de lits.	Volume d'air fourni en 1'.	par heure et par lit.
		lit.	mc.
de la salle n° 1. . .	6	72,00	43,20
n° 2. . .	6	85,65	51,39
n° 3. . .	6	38,15	22,89

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans la galerie Sainte-Élisabeth il est sorti :

	Nombre de lits.	Volume d'air fourni en 1'. par lit.	par heure et par lit.
		lit.	mc.
de la salle n° 1. .	6	73l,13	43,88
n° 2. . .	6	98 ,40	59,04
n° 3. . .	6	99 ,00	59,40
n° 4. . .	6	78 ,88	94,66

Mais le fait le plus curieux et qui a été constaté dans les deux dernières séries d'expériences, c'est que, malgré la libre ouverture des deux cheminées d'évacuation de la salle n° 5 de la galerie Sainte-Marie du rez-de-chaussée, qui contient neuf lits, il ne s'y est fait par l'une des cheminées aucune évacuation d'air pendant une partie de la journée, et que les orifices d'introduction d'air chaud dans cette salle ne lui fournissaient rien.

Il est de plus remarquable que toutes les salles de cette galerie, malgré sa situation au rez-de-chaussée, n'ont fourni à l'évacuation qu'un volume d'air bien inférieur à celui des salles correspondantes des autres étages, et cependant les températures n'y étaient guère plus basses que celles des autres salles, puisque l'on y a fait les observations suivantes :

GALERIE SAINTE-MARIE. Rez-de-chaussée.			GALERIE SAINTE-CÉCILE. Premier étage.			GALERIE SAINTE-MARTHE. Deuxième étage.		
Salle 4 . . .	18°	corridor	Salle 5 . . .	15°,5	corridor	Salle 5 . . .	17°	corridor
Salle 5 . . .	15	10°	Salle 6 . . .	16 ,0	11°,5	Salle 6 . . .	19	14°
Salle 6 . . .	17		Salle 7 . . .	18 ,5		Salle 7 . . .	15	
			Salle 8 . . .	17 ,0		Salle 8 . . .	»	

Il suit donc de ces remarques, que nous pourrions multiplier, que le renouvellement de l'air dans les salles est très-irrégulièrement assuré, et que, quand certaines salles fournissent à l'évacuation 94mc,66 par heure et par lit, d'autres n'en donnent que 22mc,89, et quelques-unes point du tout.

Si l'évacuation de l'air à un même étage est irrégulière, on voit qu'il en est à peu près de même en prenant les résultats moyens par étage et par lit. Aussi, en réunissant les volumes d'air évacués à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chaque étage et à chaque galerie par les cheminées des chambres de ces galeries, l'on forme le tableau suivant :

Résumé des résultats des observations faites le 29 janvier 1861 sur les effets de la ventilation dans les salles du bâtiment F de l'hospice du Vésinet.

GALERIE SAINTE-CLOTILDE Rez-de-chaussée			GALERIE SAINTE-ÉLISABETH 1er étage.			GALERIE SAINTE-FÉLICITÉ 2e étage.		
Nombre de lits.	Volume d'air évacué en 1 heure. Total par lit et par heure.		Nombre de lits.	Volume d'air évacué en 1 heure Total par lit et par heure.		Nombre de lits.	Volume d'air évacué en 1 heure. Total par lit et par heure.	
	m. c.	m. c.		m. c.	m. c.		m. c.	m. c.
21	960,05	45,71	21	1257,87	59,90	21	1177,78	56,09
GALERIE SAINTE-MARIE Rez-de-chaussée.			GALERIE SAINTE-CÉCILE 1er étage.			GALERIE SAINTE-MARTHE 2e étage		
19	m. c.	m. c.		m. c.	m. c.		m. c.	m. c.
	1188,68	62,56	20	1572,70	78,63	20	1572,34	78,61

35. *Conséquences de ces résultats.*

L'examen de ce résumé ainsi que celui des résultats comparatifs des salles d'un même étage montrent que la ventilation n'est pas régulière par salle et surtout par lit, puisque la moyenne pour un même étage varie de $45^{mc},71$ par heure et par lit jusqu'à $78^{mc},63$, et que d'une salle à l'autre d'un même étage elle varie du simple au triple.

Malgré leur irrégularité ces volumes d'air évacués seraient en moyenne suffisants si les conditions du marché, que je ne connais pas, avaient fixé les volumes d'air à extraire des salles à 30^{mc} par heure et par lit.

36. *Instabilité de la ventilation.*

Les circonstances que nous avons signalées plus haut montrent que la ventilation dans les différentes salles est loin d'être

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

régulière, mais elle a en outre le défaut très-grave d'être très-peu stable et soumise à l'action perturbatrice des vents. L'isolement des cheminées, qui débouchent toutes séparément dans les greniers à hauteur de leur sol, est la cause de ces deux inconvénients, que j'ai déjà signalés tant pour l'asile du Vésinet que pour l'hôpital Necker.

Il résulte, en effet, de la faiblesse et de l'irrégularité du tirage de ces cheminées, où la vitesse n'est en moyenne que de $0^m,60$ à $0^m,70$ ou 1 mètre, et descend souvent bien au-dessous de ces valeurs, que, par les vents violents d'ouest et du sud-ouest, l'air est refoulé dans les salles. Je l'avais constaté antérieurement par les renseignements pris auprès des femmes convalescentes, et le fait m'a été de nouveau confirmé le 31 octobre 1860 par M. le docteur Guionis, médecin de l'hospice, par les sœurs et par les aides du médecin, qui m'ont unanimement déclaré que ces rentrées d'air étaient parfois assez fortes pour qu'on fût obligé de faire changer de lit les malades qui étaient placées près des bouches d'appel de l'air.

Ce défaut, qui tient, ainsi que je l'ai dit, à la faiblesse de l'aspiration, pourrait être corrigé en réunissant, comme je l'ai indiqué, tous les débouchés des cheminées dans des conduits qui mèneraient l'air dans une cheminée générale d'appel convenablement construite et qui devrait être chauffée, l'hiver, au moins, par les tuyaux de fumée des calorifères, s'il est encore possible de modifier les dispositions existantes. Mais pour la ventilation de nuit si nécessaire l'été, il serait indispensable de recourir à des dispositions spéciales, telles qu'un foyer ou des becs de gaz auxiliaires.

37. *Conclusions générales.*

En résumé, toutes les expériences dont je viens de faire connaître les résultats, et qui ont été exécutées avec le concours de M. Tresca, en présence de M. Laval, architecte de l'établissement, et de M. le docteur Van Hecke (pour la première série), prouvent d'une manière que je regarde comme incontestable :

1° Que l'usage d'un ventilateur pour l'introduction et l'évacuation de l'air dans les salles est complétement inutile pendant la saison d'hiver, alors que l'on peut utiliser les effets d'aspiration que produit la dilatation de l'air ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2° Que dans l'état actuel des dispositions locales, cet appareil n'exerce qu'une très-faible influence sur l'arrivée de l'air dans la chambre des calorifères, et que l'aspiration, favorisée par de bonnes dispositions, y ferait seule arriver autant d'air ;

3° Que la ventilation est irrégulière, et n'a pas la stabilité suffisante, par suite de l'absence d'une cheminée générale d'évacuation convenablement construite et chauffée ;

4° Que la température, bien qu'uniformément répartie lorsque celle de l'air extérieur est modérée, n'est pas suffisante en temps d'hiver, et que, dans cette saison, l'air affluent dans certaines salles est souvent beaucoup trop chaud ;

5° Que le volume d'air fourni et évacué n'est pas assez également réparti, et que parfois la ventilation de certaines salles est tout à fait nulle, ce qui tient aux communications directes établies à tort entre les salles contiguës.

Les observations dont on vient de discuter les conséquences ayant été faites l'hiver, il y a lieu de limiter les conclusions précédentes à la saison pendant laquelle les calorifères sont en activité. Un nouvel examen serait nécessaire pour constater les effets de la ventilation dans la saison d'été.

---

1. *Expériences sur les appareils de chauffage par circulation d'eau chaude et de ventilation par aspiration établis à l'hôpital Lariboisière. — Description des appareils.*

L'on connaît la disposition générale des appareils dont nous voulons nous occuper dans cette note ; mais il ne sera pas inutile d'indiquer en quelques mots quelles sont en particulier celles des pavillons de l'hôpital Lariboisière où l'on a appliqué ce système de chauffage et de ventilation.

La chaudière qui fournit au service général de la circulation d'eau est située dans les caves, et de son sommet part un tuyau qui se prolonge en forme de serpentin dans la cheminée d'évacuation de la fumée. — Ce tuyau, par lequel l'eau chaude mêlée de vapeur s'élève aux parties supérieures, arrive dans le grenier où il se bifurque pour conduire l'eau dans les récipients disposés au bas de la cheminée d'appel.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces poêles ou récipients d'eau chaude sont au nombre de dix-sept dont :

1	au centre présentant une surface de chauffe	$4^{mq},1819$
8	autour du précédent, surface de chauffe	16 ,3656
8	répartis par groupes de 4 à droite et à gauche, surface de chauffe.	66 ,9784
		$87^{mq},5259$

Les neuf premiers réservoirs servent à l'échauffement de la cheminée pendant la saison d'hiver, où l'on dispose ainsi dans cette cheminée d'une surface de chauffe de $20^{mq},5475$. Les huit autres, qui peuvent être mis en service par groupes de quatre ou tous ensemble, permettent d'élever, selon les besoins, la surface de chauffe à 34^{mq}, 0367 et à $87^{mq},5259$. Cette surface totale a été proportionnée pour assurer le service de la ventilation d'été.

Les communications entre les divers récipients peuvent être à volonté établies ou interrompues par des robinets.

Du récipient central partent quatre tuyaux de retour indépendants, dont trois sont destinés à conduire l'eau de circulation à chacun des étages, et le quatrième à la ramener, si l'on veut, directement à la chaudière, lors du service d'été où l'on ne chauffe pas les salles.

Chacun des tuyaux de circulation destiné à un étage y arrive dans un caniveau pratiqué sous le plancher dans l'axe des salles, et débouche dans une sorte de petit réservoir allongé qu'on nomme bouteille. — De ce réservoir partent deux autres tuyaux qui, suivant le caniveau, conduisent l'eau chaude, l'un dans les deux poêles les plus voisins, et l'autre dans les deux derniers de chaque salle. Sur le parcours de ces tuyaux sont disposées d'autres bouteilles destinées à augmenter la surface de chauffe dans le caniveau et à y accroître la température de l'air affluent.

Les poêles à eau chaude de ce système sont cylindriques, en tôle et traversés par des tuyaux réservés pour le passage de l'air. — Ces tuyaux sont au nombre de treize, dont un au centre de $0^{m},38$ de diamètre, et 12 au pourtour de $0^{m},10$ de diamètre intérieur, mais dont l'orifice n'a au débouché que $0^{m},084$ de diamètre. — L'eau chaude arrive d'un côté dans le fond de ces poêles, y circule et s'échappe de l'autre côté par un tuyau de retour qui la conduit au poêle suivant ou la ramène à la chaudière.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'on voit par cette disposition que l'on peut chauffer à volonté deux ou quatre poêles dans chaque salle, établir ou interrompre la circulation pour chacune des salles. L'on peut même, en ouvrant plus ou moins les robinets de circulation dans chacun des tuyaux de retour partant des récipients supérieurs, accélérer ou ralentir dans chacun d'eux la circulation de l'eau.

L'air nouveau, qu'il est nécessaire de faire arriver dans les salles, y est à chaque étage introduit par des orifices pratiqués au droit des murs d'appui des fenêtres sur chacune des faces longitudinales des pavillons; il est conduit au caniveau central par d'autres caniveaux plus ou moins courbes, et de là passe dans les tuyaux d'échauffement des poêles. — D'autres conduits d'arrivée sont en outre disposés aux extrémités des salles et y amènent de l'air appelé de l'extérieur.

L'air vicié qu'il faut extraire des salles est appelé par des cheminées verticales pratiquées dans les trumeaux, une pour chaque étage et au nombre de dix-huit pour chaque salle, plus une pour une chambre à deux lits réservée dans chaque pavillon.

Les trois conduits pratiqués dans chaque trumeau débouchent séparément au grenier dans un conduit qui réunit l'air qu'ils amènent et qui se rend dans la cheminée d'appel, où il s'échauffe encore et acquiert ainsi une densité moindre, qui détermine son écoulement par cette cheminée à la vitesse convenable.

Tous ces conduits sont soigneusement recouverts d'un enduit en plâtre peu conducteur; le grenier est exactement fermé et il y règne habituellement l'hiver une température notablement supérieure à celle de l'air extérieur, ce qui évite ou atténue le refroidissement de l'air appelé.

Outre le foyer principal et sa chaudière, il y a aussi un autre appareil de chauffage à circulation qui sert à chauffer des étuves, à fournir l'eau des bains et qui peut, au besoin, être mis en communication avec le serpentin du chauffage général. — Ce dernier appareil sert à assurer la ventilation quand on ne chauffe pas et que la température est modérée. — Son effet peut être accru de toute la puissance de l'appareil principal, lorsque l'élévation de la température oblige à donner à l'aspiration toute son énergie.

L'on voit par cette description, que nous avons cherché à rendre aussi succincte que possible, que le jeu de cet appareil peut être très-varié, qu'il se prête à beaucoup de circonstances

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

diverses, mais que, pour en étudier les effets dans chaque cas particulier, il faut régler sa marche d'une manière convenable; sans quoi des observations, exactes en elles-mêmes, pourraient conduire à des appréciations fausses.

Passons maintenant aux expériences que nous avons exécutées dans le cours de cet hiver.

2. *Expériences d'ensemble sur le volume d'air fourni par les poêles du pavillon n° 4 de l'hôpital Lariboisière.*

Le volume d'air neuf qui peut être introduit dans les salles de cet hôpital a été l'objet d'appréciations assez diverses, et quoiqu'en définitive la discussion ait pu montrer que tous les résultats obtenus ne différaient pas autant les uns des autres, eu égard aux différences de température au moment des observations, qu'on pouvait le supposer, il m'a paru indispensable d'entreprendre une série d'expériences directes qui fussent à l'abri des objections que l'on pouvait adresser aux précédentes.

A cet effet, et pour ne laisser aux constructeurs aucun prétexte pour atténuer les conséquences des résultats, en même temps que pour être certain d'opérer sur ces appareils dans des conditions où ils pouvaient produire tout leur effet relativement à la saison où je voulais opérer, j'ai invité M. L. Duvoir à faire visiter tous les poêles et récipients, à les faire nettoyer et à régler la circulation de l'eau de manière qu'elle se fît avec toute la régularité possible.

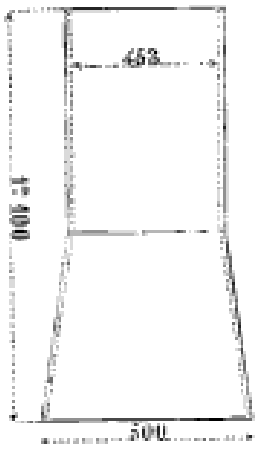


Fig. 1.

Pour l'exécution même des expériences, l'on a employé un tuyau en zinc, dont la figure ci-contre indique les dimensions, et qui était terminé par une partie cylindrique de $0^m,60$ de hauteur, et dont la section transversale égale à $0^{mq},1611$ était à très-peu près la même que la somme des sections de tous les tuyaux des poêles, égale à $0^{mq},1797$. L'on a enlevé les couvercles pour éviter les effets d'obstruction qu'ils occasionnaient, ainsi que toutes les chicanes qui existaient dans les poêles.

D'une autre part, l'on a veillé à ce que rien ne fût changé dans le mode habituel de chauffage et à ce que la température des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

salles ne dépassât pas celle de 15 à 16 degrés, qui est prescrite par les marchés, afin de ne pas donner à l'aspiration une énergie supérieure à celle qu'elle doit avoir habituellement. Dans le fait cette température n'a été, comme on le verra, que de 15°.

L'on a eu d'ailleurs soin de ne laisser aucune porte ouverte d'une manière permanente, sans toutefois interrompre la circulation ordinaire.

Ces dispositions prises, l'on a fait successivement des observations sur chacun des quatre poêles de chaque salle du pavillon n° 3, et ensuite l'on a déterminé le volume d'air total écoulé par la cheminée générale d'appel.

Les expériences ont été répétées les 11 et 20 janvier 1861, et les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Expériences faites à l'hôpital Lariboisière sur les volumes d'air écoulé par les poêles et par la cheminée générale d'appel du pavillon n° 3, chauffé et ventilé par circulation d'eau et par appel, le 11 janvier 1861.

EMPLACEMENT et DÉSIGNATION des poêles.		NOMBRE de tours de l'anémomètre en 1".	VITESSE de l'air en 1".	VOLUME d'air écoulé en 1 h.	TEMPÉRATURES extérieure.	TEMPÉRATURES dans les salles.	TEMPÉRATURES dans les poêles.	VOLUME d'air écoulé total par salle.
			m.	mc.				mc.
Rez-de-chaussée.	1	5,33	0,61	353	— 5°	+ 15°	27°	2122
	2	9,76	1,00	580			30	
	3	11,36	1,14	661			32	
	4	8,71	0,91	528			34	
Premier étage.	1	3,86	0,48	278	— 5	+ 15	26	1911
	2	10,21	1,04	603			26	
	3	7,63	0,81	468			31	
	4	9,41	0,97	562			32	
Deuxième étage.	1	4,58	0,54	313	— 5	+ 15	25	2097
	2	11,16	1,13	655			22	
	3	11,43	1,13	666			21	
	4	7,55	0,80	463			33	
Total pour le pavillon. . . .				6130	. . . .	. . . .	. . . .	6130
Chemin. gén. d'appel		14,18	1,39	12808	— 5	+ 15	19	

OBSERVATIONS. — Les numéros d'ordre des poêles indiquent leur position à partir de la porte d'entrée.

La section du tuyau dans lequel l'anémomètre était placé est égale à $0^{mq},1611$.

Formule de l'anémomètre : $V = 0^{m},1392 + 0,08852\ N$.

Section de la cheminée : $2^{mq},360$.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le 20 janvier 1861.

EMPLACEMENT et DÉSIGNATION des poêles.		NOMBRE de tours de l'anémomètre en 1".	VITESSE de l'air en 1".	VOLUME d'air écoulé en 1"		TEMPÉRATURES		
				par poêle.	total par étage.	extérieure.	dans la salle.	dans les poêles.
			m.	m. c.				
Rez-de-chaussée.	1	5,93	0,66	382	2005	— 2	15°	29°
	2	9,55	0,98	529				32
	3	9,17	0,95	551				32
	4	9,05	0,94	543				35
Premier étage.	1	3,58	0,45	259	1751	— 2	15°	19
	2	9,78	1,00	580				33
	3	8,03	0,85	489				28
	4	6,75	0,73	423				30
Deuxième étage.	1	4,77	0,56	324	2130	— 2	15°	25
	2	11,48	1,15	666				33
	3	12,85	1,28	744				28
	4	6,27	0,69	399				32
Total pour les trois étages. . . .					5886			
Cheminées générales.		12,50	1,24	10533		— 2	15°	18 [1]

[1] Dans la cheminée générale.

3. *Conséquences de ces deux séries d'expériences.*

Les résultats consignés dans ces deux tableaux d'expériences montrent d'abord que les volumes d'air nouveau fourni par les poêles du pavillon n° 3, dans des conditions de chauffage très-modéré, ont été :

Au rez-de-chaussée	2122 mèt. cubes.	2005 mèt. cubes.
Au premier étage.	1911 — —	1751 — —
Au deuxième étage.	2097 — —	2130 — —
Total pour les trois étages.	6130 mèt. cubes.	5886 mèt. cubes.
Moyenne des deux forces. . . .	6008 mèt. cubes.	

Il y a 32 lits par salle ou 96 pour les trois salles. Le volume d'air nouveau fourni par les poêles a donc été de $62^{mc},58$ par heure et par lit.

Si le chauffage avait été fourni plus activement de manière à obtenir, comme cela arrive habituellement dans les pavillons chauffés à la vapeur et ventilés par insufflation du même hôpital,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une température de 19° dans les salles et surélevée à proportion dans la cheminée générale, il est incontestable que le volume d'air introduit aurait été encore plus considérable.

4. *Répartition de l'air aux différents étages.*

En examinant les volumes d'air totaux introduits à chaque étage, l'on reconnaît qu'ils s'approchent à peu près autant de l'égalité qu'on peut l'espérer dans de semblables circonstances.

5. *Comparaison des volumes d'air fournis par les différents poêles d'une même salle.*

L'on remarque, au contraire, des différences considérables entre les volumes d'air introduits dans une même salle par les différents poêles. Les poêles n° 1 à tous les étages ne donnent la plupart que 0.40 à 0.50 du volume fourni par les poêles n° 2 et n° 3, dont les produits diffèrent peu, et les poêles n° 4 fournissent seulement environ les 0.66 du produit des poêles n° 2 et n° 3.

Ce résultat, qui aurait pu être évité, provient sans doute de quelque différence dans la facilité de la circulation de l'air par les poêles.

Quoi qu'il en soit de ce défaut, qui n'est pas inhérent au système, l'on voit que le renouvellement de l'air par les poêles est abondant et régulier.

6. *Rapport du volume d'air introduit par les poêles aux températures extérieure et intérieure.*

Les tableaux montrent que dans les expériences du 11 janvier la température extérieure était de — 5° et la température intérieure des salles de + 15°; il en résultait une différence de 20°, qui produisait l'appel avec une énergie suffisante.

Sans vouloir pour le moment comparer les effets aux surfaces de chauffe, nous nous bornerons à faire remarquer que pour des températures extérieures plus élevées, la température des salles ne devant guère monter au delà de 18° l'appel des poêles diminuerait d'énergie et qu'il faudrait y remédier. Les moyens en sont faciles, puisque pour ces circonstances l'on peut augmenter dans des proportions considérables la surface de chauffe des récipients supérieurs d'appel, et qu'on peut aussi augmenter les orifices d'admission de l'air extérieur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

7. Ventilation générale.

Le résultat le plus remarquable de ces expériences c'est l'effet de la ventilation générale produite par la cheminée de ces pavillons, par suite de sa construction assez convenable et de l'action échauffante du récipient d'eau chaude, qui reçoit sans cesse l'eau envoyée par la chaudière.

L'on voit, en effet, que l'on a observé l'écoulement des volumes suivants par cette cheminée.

Le 11 janvier 1860 12808^{mc} par heure, température extérieure —3°
Le 20 » 10533 » » —2°

Ces chiffres, pour des pavillons qui contiennent en tout 102 lits, correspondent respectivement à une extraction d'air des salles de 125^{mc},50 et de 103^{mc},20 par heure et par lit.

Si l'on se rappelle que M. Grassi a trouvé, en décembre 1855, par une température extérieure de + 4° et une température intérieure des salles de + 16°, une évacuation de 11664^{mc} et de 11160^{mc} par heure ou en moyenne de 111^{mc},78 par heure et par lit, l'on voit que, quoique les différences de température exercent sur cet appel une influence considérable, le volume d'air extrait des salles excède de beaucoup la limite de 60^{mc} par heure et par lit qui avait été fixée, chiffre que je ne regarde d'ailleurs que comme à peine suffisant.

8. Observation relative à l'action de la cheminée générale d'appel.

C'est ici le lieu de faire remarquer que l'action de la cheminée générale d'appel donne à la ventilation et à l'évacuation de l'air vicié des salles une stabilité qu'elle n'a pas et qu'elle ne saurait avoir dans les autres appareils de ventilation, où l'on s'est privé de cette ressource naturelle. Ainsi, tandis que dans les pavillons du même hôpital ventilés par insufflation l'ouverture des portes et des fenêtres et l'action extérieure du vent troublent complétement l'évacuation de l'air et parfois produisent des rentrées en sens contraire, ainsi que cela résulte des expériences de M. Grassi et surtout de celles de MM. Trélat et H. Péligot, il arrive au contraire que l'appel de cette cheminée produit dans les salles un renouvellement d'air d'autant plus grand qu'il y a plus de portes et de fenêtres ouvertes et en double parfois le volume, ce qui

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

donne pour la ventilation d'été, pendant le jour, des facilités naturelles très-grandes et indique pour celle de nuit un moyen aussi simple qu'économique, et qui consiste à ménager dans toutes les salles des ouvertures auxiliaires d'admission de l'air frais, ainsi que nous l'avons proposé dans un rapport fait à M. le préfet de la Seine à la date du 22 juillet 1860.

Nous devons cependant ajouter que l'on mettrait encore mieux les cheminées à l'abri de l'action défavorable du vent en les surmontant de mitres mobiles à girouette qui, en s'orientant, favoriseraient même l'appel de l'air et utiliseraient à cet effet l'action du vent.

9. *Des mesures à prendre pour assurer en tous lieux le renouvellement de l'air.*

Il importe de remarquer que dans les conditions de température extérieure et intérieure où nous avons opéré, il existait entre la température de 15° des salles et celle de l'air extérieur à — 3 et à — 2° une différence de 20 et de 17°, et entre la température de l'air de la cheminée à 19 et 18°, et avec celle de l'air extérieur une différence de 24 et de 20°, ce qui était éminemment favorable à l'action des appels naturels. Or, dans d'autres saisons, les circonstances pouvant être tout autres, il n'est pas étonnant que ces différences jointes à d'autres causes inaperçues peut-être par les observateurs, telles que le nombre des récipients supérieurs en activité, des résultats beaucoup moins favorables aient été constatés. Mais il ne s'ensuit pas pour cela que le système soit défectueux, et il faut examiner quelles précautions il y a lieu de prendre pour lui assurer en tout temps une efficacité proportionnée aux besoins.

L'appel de l'air et son écoulement par les cheminées d'évacuation des salles et par la grande cheminée générale étant déterminé par l'excès de densité de l'air extérieur sur celui que concontiennent les salles et ces cheminées, il est évident qu'il convient de rechercher les moyens d'obtenir la même différence de densité en toutes saisons pour obtenir le même résultat ; c'est à quoi l'on peut parvenir par la bonne proportion des appareils placés dans la cheminée d'appel et par une conduite convenable du feu.

Remarquons d'abord que dans l'expérience du 11 janvier la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

température de l'air extérieur était de — 5° et la densité de cet air égale à

$$\frac{1,298}{1-0,003665\times 5}=1^k,322 \text{ au mètre cube,}$$

tandis que dans la cheminée la température de l'air était de + 30° et la densité correspondante égale à

$$\frac{1,298}{1+0,003665\times 30}=1,169.$$

La différence de densité ou de pression par mètre carré et par mètre de hauteur de la cheminée d'appel entre l'air extérieur et l'air dans la cheminée était donc de

$$1^k,322-1^k,169=0^k,153.$$

C'est cette différence qu'il importe de rendre constante pour avoir un appel de même énergie dans tous les cas.

Si l'air extérieur est à + 10°, sa densité sera

$$\frac{1,298}{1+0,003665\times 10}=1^k252,$$

et si l'air de la cheminée était à 50°, sa densité serait

$$\frac{1,298}{1+0,003665\times 50}=1^k,097.$$

La différence de ces deux densités serait donc

$$1^k,252-1^k,097=0^k,155,$$

c'est-à-dire à peu près la même que dans l'expérience du 11 janvier.

Enfin, en supposant que dans l'été où l'on n'a besoin de s'occuper que de la ventilation de nuit, puisque celle de jour se fait par les portes et les fenêtres ouvertes, la température de l'air soit la nuit de 15°, la densité de cet air extérieur serait

$$\frac{1,298}{1+0,003665\times 15}=1^k,230.$$

En échauffant l'air de la cheminée à 35°, sa densité serait

$$\frac{1,298}{1+0,003665\times 35}=1^k,080,$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et la différence de densité entre l'air extérieur et celui de la cheminée serait encore

$$1^{k},230 - 1^{k},080 = 0^{k},150.$$

Or, la température des poêles de la chambre et de la cheminée générale d'appel peut s'élever à 70 ou 80° et même peut-être plus haut. Les surfaces de chauffe peuvent varier de $20^{mq},5475$, qu'elles étaient cet hiver, jusqu'à $27^{mq},5259$; il est donc assez naturel de penser qu'à l'aide de ces ressources, la température de l'air contenu dans cette chambre et dans la cheminée pourra s'élever à 50° et 55°. Il est cependant à craindre que la disposition défavorable donnée aux récipiens d'eau chaude ne permette pas de dépasser la température de 40° malgré leur grande surface de chauffe. C'est ce que nous nous proposons de vérifier cet été à l'époque des chaleurs.

Il a d'ailleurs été constaté dans la nuit du 4 au 5 octobre 1857, par M. Grassi, lorsque la température extérieure était de 14° 2, celle des salles de 18° 2, et celle de la chambre chaude de 34° 5 seulement, que le volume d'air sorti par heure par la cheminée générale d'appel était de $9194^{mc},4$ par heure, ou de $90^{mc},1$ par heure et par lit, et cependant la densité de l'air extérieur n'était que de

$$\frac{1,298}{1+000\ 3,665\times 14°5} = 1^{kil.}234 ;$$

tandis que celle de l'air de la chambre chaude était égale à

$$\frac{1,298}{1\times 0.00\ 365\times 34°5} = 1^{kil.}153.$$

La différence de ces densités n'était donc que :

$$1^{kil.},234 = 1^{kil.},153 = 0^{kil.},081,$$

et cependant le volume d'air évalué a été trouvé égal à $9194^{mc},4$ par heure.

L'on voit donc que par une bonne conduite des appareils, l'on peut déjà obtenir entre l'air extérieur et celui de la cheminée des différences de densités qui assureraient à elles seules la ventilation sans chauffage à des moments très-défavorables, et alors que la nuit les portes des salles devaient être fermées.

Il convient d'ailleurs de rappeler, ainsi que nous venons de le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

faire, que le constructeur s'est réservé les moyens de faire varier selon les températures extérieures et les besoins du service les surfaces de chauffe des récipients placés dans la cheminée générale d'appel.

En effet, les poêles ou récipients d'eau placés dans cette cheminée sont, comme on l'a dit, au nombre de 17 l'une :

L'un central offre une surface de chauffe, de.	$4^{mq},1819$
La première série extérieure des 8 poêles A a une surface totale de.	66 ,9784
La deuxième série de 8 poêles B, plus petits, a une surface totale de.	16 ,3656
La surface totale est donc de.	$87^{mq},5259$

Lorsque l'on fait circuler l'eau dans une partie ou dans la totalité de ces poêles l'on peut faire varier entre des limites très-étendues la surface de chauffe, et par conséquent la température dans la cheminée.

Lors des expériences des 11 et 20 janvier dernier, le poêle central et les petits poêles B étaient seuls en service, et par conséquent la surface de chauffe n'était en tout dans la cheminée d'appel que de $20^{mc},5475$. Il est donc permis de penser qu'en employant tous les récipients y produisant une circulation active d'eau chaude, l'on pourra obtenir pendant les soirées et les nuits d'été une ventilation suffisamment active, surtout si les orifices d'admission et de l'air sont convenablement multipliés.

Nous devons toutefois répéter que les conditions locales ont obligé les constructeurs à limiter beaucoup trop la hauteur de la cheminée générale d'une machine, et à disposer les récipients d'eau chaude qu'elle contient d'une manière très-défavorable à l'utilisation de la surface considérable de chauffe qu'ils développent, ce qui s'oppose sans doute l'été à ce que la température puisse atteindre même 40° dans cette cheminée d'évacuation.

10. *Orifices accessoires.*

Il y a d'ailleurs bien des moyens auxiliaires très-simples qui, en facilitant l'accès de l'air, accroîtraient beaucoup le volume d'air frais introduit dans les salles et par suite celui de l'air évacué par la cheminée générale. L'un des plus faciles à appliquer, et que j'ai déjà indiqué dans le rapport sur les projets de ventilation relatifs au palais de justice, consiste à ouvrir à chaque étage sous les planchers et entre les poêles des conduits

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'introduction de l'air extérieur débouchant sur les deux faces des pavillons et qui mèneraient dans les salles un surcroît d'air frais égal à celui qui y pénètre par les poêles. Le nombre et la grandeur de ces conduits pourraient être tels que le volume d'air admis fût accru dans une proportion aussi grande qu'on le jugerait nécessaire.

11. *Emploi de la chaleur développée par des becs de gaz.*

Enfin j'ai indiqué déjà le parti que l'on pourrait tirer de la chaleur développée par la combustion du gaz d'un certain nombre de becs auxiliaires, et comme j'en ferai le sujet d'une note spéciale, dans laquelle je rapporterai les résultats des expériences que j'ai fait exécuter, je me borne pour le moment à rappeler l'usage de ce moyen aussi commode qu'énergique.

12. *Des diverses circonstances qui peuvent influer sur le volume d'air fourni par les appareils de chauffage.*

Quelques constructeurs, pour accroître la température de l'air qui traverse leurs appareils de chauffage, ont cherché à ralentir sa vitesse de passage sans se préoccuper assez de la diminution qui pouvait en résulter dans le volume de cet air. Quand il ne s'agit que du chauffage, les dispositifs plus ou moins capricieux que l'on emploie en pareil cas ne présentent guère d'inconvénients, l'élévation de température de l'air compensant la diminution de son volume. Mais lorsque le chauffage est combiné avec la ventilation, il n'en est plus de même, et il est bon de tenir compte de l'effet de ces chicanes. C'est ce que j'ai cru nécessaire de faire en particulier pour celles que M. L. Duvoir a établies dans les poêles de l'hôpital Lariboisière.

Ce constructeur, pour assurer l'échauffement de l'air qui traverse le tuyau central de son poêle, lequel avait $0^m,380$ de diamètre extérieur, y a disposé trois ou quatre chicanes dont la présence nuit au mouvement de l'air et tend à diminuer le volume d'air neuf qui afflue dans les salles. Cela me semble une erreur fâcheuse en pareil cas, surtout pour la saison d'été, pendant laquelle l'on doit certainement oublier souvent d'enlever ces chicanes.

D'après une expérience que j'ai fait faire, la présence de ces

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

entraves occasionnerait dans le débit d'un poêle une diminution qui pourrait s'élever à 40^{mc} par heure, ou pour les quatre poêles d'une même salle à 160^{mc}, ce qui est presque le volume d'air neuf à fournir à trois lits ou environ 0.08 du volume d'air fourni par salle.

13. *Disposition vicieuse des couvercles.*

Non-seulement les couvercles des poêles et leur grillage ne laissent à l'air qu'un passage d'une superficie notablement moindre que la somme des sections transversales des tuyaux; mais encore, pour y adapter ce grillage, on l'a monté sur un cercle en tôle, qui descend de champ au-dessous du couvercle et vient obstruer le débouché des petits tuyaux. Aussi l'ensemble de ce dispositif joint à l'effet des chicanes produit-il une réduction d'environ 85^{mc} par heure dans le débit d'un poêle, ou de 300 à 340^{mc} par salle, ce qui est l'équivalent du volume d'air neuf à fournir pour six lits ou environ 0.13 à 0.17 du volume total fourni à une salle.

14. *Influence des toiles d'araignée.*

Enfin, chose assez singulière, malgré le mouvement de l'air, il se forme dans les petits tuyaux de ces poêles des toiles d'araignée, sur lesquelles la poussière vient se déposer, et qui peuvent obstruer complétement ces passages, ainsi que j'ai eu l'occasion de le constater. C'est aussi ce qui a été observé par feu M. le colonel du génie Livet à la prison Mazas.

15. *Conséquences de ces observations.*

Il résulte donc de ce qui précède que, quand on veut apprécier à leur vraie valeur de semblables appareils, l'on ne saurait les examiner avec trop de soin et qu'il faut tenir compte de toutes les circonstances accidentelles qui peuvent se présenter, ainsi que j'ai cherché à le faire dans les expériences dont j'ai rapporté les résultats au commencement de cette note.

16. *Expériences sur l'influence des différents modes d'observation employés pour déterminer le volume d'air fourni par les poêles.*

La disposition des poêles ou des dispositifs qu'on leur substitue, tels que bouches de chaleur, etc., pour faire arriver dans les salles

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'air chaud des calorifères, présente souvent beaucoup de difficulté pour la détermination des volumes d'air réellement introduits et la rend même souvent impossible. Elle oblige la plupart du temps à adopter pour les observations des moyens plus ou moins sujets à induire en erreur les expérimentateurs les plus soigneux, ce qui conduit à des divergences d'opinion regrettables.

Les poêles à eau, chauffés par circulation d'eau, établis à l'hôpital Lariboisière offrent un exemple de ces difficultés. Ils ont tous un couvercle percé d'une ouverture garnie d'un grillage, et tellement disposée qu'elle fournit à l'écoulement de l'air un obstacle directement opposé à son débouché, et que la somme des passages libres y est sensiblement moindre que la somme des sections transversales des tuyaux.

La grille placée sur les couvercles ou sur les bouches de chaleur présente un empêchement assez sérieux à l'emploi des anémomètres. Quand on l'enlève, les tuyaux de passage de l'air sont souvent assez petits pour qu'il soit difficile d'y introduire les instruments ordinaires.

L'on a recours alors à diverses dispositions accessoires, et entre autres à l'emploi d'un tuyau placé sur le couvercle ou sur le poêle et par lequel l'on oblige tout l'air fourni par l'appareil à passer. Mais l'usage de ce tuyau doit être réglé avec soin, pour ne pas conduire à des erreurs plus ou moins graves.

Il est, pour ainsi dire, évident qu'il convient de le disposer de façon qu'il n'apporte aucun obstacle au mouvement de l'air, et qu'une portion de sa longueur ait une forme cylindrique sur une étendue telle que le parallélisme des filets s'y établisse assez exactement pour qu'en multipliant l'aire de section de cette partie par la vitesse observée, l'on puisse en déduire avec l'approximation convenable le volume d'air écoulé. Mais il importe surtout que l'aire de la section d'écoulement soit au moins égale à la somme de toutes les sections offertes à son passage à travers les poêles ; sans cette précaution, l'on s'expose à commettre involontairement des erreurs graves dans l'appréciation des volumes d'air.

Mais quel est le rapport qui s'établit entre les sections des tuyaux et le volume d'air qui les traverse sous l'influence de causes extérieures constantes, ou pour préciser davantage la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

question dans le cas actuel, les pressions ou les températures extérieures et intérieures restant les mêmes, quel est le rapport des sections de passage et du volume d'air écoulé?

L'on conçoit, en effet, que, quand une colonne d'air en mouvement dans un tuyau rencontre un rétrécissement de section plus ou moins bien raccordé avec les parois, il doit s'y produire, d'une part, des remous, des tourbillonnements qui occasionnent une perte de force vive ou de travail, et de l'autre une augmentation de la pression en amont de l'orifice. — Ce dernier effet détermine un accroissement de la vitesse; mais la force vive perdue dans les tourbillonnements ne pouvant l'être qu'aux dépens de celle que possédait le fluide à une certaine distance, en amont de l'orifice, il s'ensuit nécessairement que la force vive de sortie doit être moindre que celle qui avait lieu dans le tuyau, ce qui implique une diminution dans le volume d'air écoulé.

Quoique ces conclusions soient parfaitement conformes aux principes de la science, il était nécessaire de leur donner la sanction de l'expérience, et surtout de déterminer par l'observation dans quelle proportion se produisent l'accroissement de la vitesse et la diminution du volume.

17. *Expériences spéciales sur l'effet du rétrécissement du débouché des cheminées.*

Cette question, qui ne s'était présentée à mon attention qu'accidentellement à l'occasion des expériences faites sur les appareils de chauffage de l'hôpital Lariboisière, étant d'ailleurs très-importante au point de vue du tirage des cheminées, il m'a paru nécessaire de faire exécuter quelques recherches directes sur l'influence du rétrécissement du débouché des cheminées.

Première série d'expériences pour d'autres recherches analogues. — A cet effet, j'ai profité d'une installation que nous avions faite au Conservatoire des arts et métiers, et pour laquelle un tuyau de tôle de $0^m,24$ de diamètre et de $12^m,00$ de hauteur a été placé dans la tour de la galerie d'observation, à l'abri de tous les vents et du soleil. Il se trouvait ainsi dans une situation où ces influences extérieures avaient le moins d'action possible.

Dans le bas de ce tuyau pénétrait un bec de gaz destiné à y produire un courant d'air par l'élévation de la température qu'il

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

occasionnait et dont la dépense était chaque fois déterminée par un compteur.

Le sommet du tuyau a été d'abord laissé tout à fait libre et ensuite surmonté d'un ajutage conique dont les arêtes faisaient avec l'axe un angle de 3 degrés, et qui avait en premier lieu $1^m,00$ de hauteur, présentant alors un orifice de $0^m,10$ de diamètre. — Puis l'on a successivement raccourci ce tuyau, de manière que l'orifice a eu les diamètres de $0^m,10$, $0^m,14$, $0^m,18$, et $0^m,22$.

Par suite de ces dispositions, l'on a pu déterminer le volume d'air écoulé par un tuyau vertical de $0^m,24$ de diamètre, et dont l'orifice supérieur a eu successivement les diamètres de :

$$0^m,24,\ 0^m,22,\ 0^m,18,\ 0^m,14 \text{ et } 0^m,10,$$

présentant des sections d'écoulement dont les surfaces étaient

$$0^{mq},04524 \mid 0^{mq},03800 \mid 0^{mq},02545 \mid 0^{mq},01538 \mid 0^{mq},00785$$

qui se trouvaient par conséquent dans les rapports des nombres

$$1 \mid 0,84 \mid 0,56 \mid 0,33 \mid 0,17$$

variant par conséquent dans le rapport de 5 à 1 à peu près.

L'on a tenu note dans chaque expérience des températures ambiantes, en haut et en bas, et de celle de l'air dans le tube, de la quantité de gaz brûlé, et l'on a déterminé la vitesse d'écoulement au bas par l'orifice désigné par la lettre B, et au sommet du tuyau dont l'orifice désigné par la lettre A a eu successivement les sections indiquées plus haut.

L'on employait à cet effet deux anémomètres, dont la tare était pour le

$$n^o\ 5 \quad V = 0^m,36 + 0^m,086\ N,$$
$$n^o\ 22 \quad V = 0^m,1392 + 0^m,08852\ N.$$

Les résultats des observations sont consignés dans le tableau suivant :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Expériences faites au Conservatoire des arts et métiers, le 8 février 1860, sur le rétrécissement du débouché des cheminées.

Numéros des expériences.	Diamètre de l'orifice supérieur.	Durée des expériences.	Nombre de becs allumés.	Consommation de gaz par heure.	TEMPÉRATURES dans les tuyaux.	TEMPÉRATURES AMBIANTE en haut.	TEMPÉRATURES AMBIANTE en bas.	NOMBRE de tours de l'anémomètre. en A à 6 m. en haut.	NOMBRE de tours de l'anémomètre. en B à 22 m. en bas.	VITESSES de l'air en A en haut.	VITESSES de l'air en B en bas.	VOLUMES d'air écoulés en A en haut.	VOLUMES d'air écoulés en B en bas.
	m. c.				°	°	°			m.	m.	lit.	lit.
1	0,24	1'	4	319	13	5,75	5,75	1246	1385	2,146	2,18	96	99
2		1'	4					1235	1424	2,130	2,24	97	101
3	0,22	1	4	387	21	8,5	6,0	1390	1390	2,75	2,19	89	99
4		1	4					1420	1325	2,395	2,09	91	94
5	0,18	1'	4	379	21,5	8,5	6,0	1710	1184	2,81	1,88	72	85
6								1700	1160	2,80	1,85	71	84
7	0,14	1'	4	387	25	8,5	6,0	1912	736	3,10	1,22	48	55
8								1980	754	3,20	1,25	49	565
9	0,10	1	4	387	30	8,5	6,0	2702	642	4,23	1,09	33	49
10								2790	740	4,36	1,25	44	55

18. *Conséquences des expériences précédentes.*

Je ne veux pas discuter les résultats de ces expériences sous le rapport de toutes les conséquences que l'on peut en tirer, parce qu'elles font partie d'un ensemble de recherches que nous avons entreprises, M. Tresca et moi, et que nous publierons, je l'espère, assez prochainement. Je me bornerai à ce qui se rapporte directement à la question dont je m'occupe dans cette note.

La simple inspection du tableau précédent montre combien l'influence du rétrécissement du débouché d'une cheminée ou d'un tuyau d'évacuation de l'air est considérable.

L'on voit, en effet, que si la vitesse augmente dans une proportion notable et rapide, à mesure que la section de l'orifice diminue, le volume d'air écoulé devient au contraire de plus en plus petit.

Le rétrécissement du débouché d'une cheminée a donc pour effet d'augmenter la vitesse d'écoulement par le débouché et peut présenter l'avantage de donner plus de stabilité à l'écoulement, de le rendre moins exposé à des perturbations par l'action des vents extérieurs; mais en même temps il diminue le débit dans une proportion qui, pour le cas de nos expériences, paraîtrait se rapprocher beaucoup de celle des diamètres ou des racines carrées des sections.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Deuxième série d'expériences sur l'influence de la forme des extrémités des tuyaux. — La forme des parties qui terminent une cheminée ou un tuyau destiné à l'écoulement de l'air a souvent une influence plus grande encore sur les volumes de fluide qui en traversent l'orifice final. L'on vient de voir, en effet, par la série d'expériences précédentes, que quand le tuyau est terminé par un ajutage conique dont les arêtes ont une inclinaison de 3° sur l'axe, la réduction des volumes d'air écoulés suit à peu près le rapport des racines carrées des sections ou celui des diamètres des orifices s'ils sont circulaires.

Mais lorsque l'inclinaison des arêtes du cône augmente et atteint seulement 45°, les résultats sont différents et l'influence de rétrécissement du passage devient bien plus sensible : c'est ce que montrent clairement les expériences suivantes exécutées, le 8 mars 1861, au Conservatoire des arts et métiers dans le but de reconnaître à peu près jusqu'à quel point l'on pouvait restreindre les cheminées des lustres de spectacle sans nuire à la combustion des becs de gaz.

A cet effet, l'on avait fait établir au-dessus d'un lustre de 34 becs un chapiteau tronconique en tôle, surmonté d'une cheminée de $0^m,21$ de diamètre et de $5^m,00$ de hauteur.

Cette cheminée, d'abord entièrement libre à son débouché supérieur, a reçu successivement des ajutages tronconiques du diamètre de

$0^m,200$ | $0^m,180$ | $0^m,138$ | $0^m,138$ | $0^m,115$ | $0^m,095$ | $0^m,082$

de sorte que les orifices d'évacuation ont présenté les aires de passage suivantes :

$0^{mq}, 03462$ | $0^{mq}, 03142$ | $0^{mq}, 02345$ | $0^{mq}, 01960$ | $0^{mq}, 01495$ | $0^{mq}, 01040$ | $0^{mq}, 00710$ | $0^{mq}, 00525$

et ont ainsi varié dans le rapport de 6,56 à 1,00.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Expériences sur l'influence du rétrécissement de la cheminée des lustres faites au Conservatoire des arts et métiers le 8 mars 1861.

NUMÉROS des expériences.	DIAMÈTRES de l'orifice.	SURFACE de la section d'écoulement.	NOMBRE DE TOURS. Total de l'anémomètre.	NOMBRE DE TOURS de l'anémomètre en 1″.	VITESSE correspondante de l'air en 1″.	VOLUME D'AIR écoulé en 1″.	VOLUME D'AIR écoulé moyen.	TEMPÉRATURE de l'air évacué.	VOLUME D'AIR évacué en mètres cubes ramené à 10°.
	m.	mq.			m.	lit.	lit.	0	lit.
1	0.21	0.03462	4300	71.67	4.117	142.5	141.1	78	113.58
1			4200	70.00	4.031	139.7			
1	0.20	0.03142	4400	73.33	4.200	132.0	132.0	82	105 20
1			4400	73.33	4.200	132.0			
1	0.180	0.02545	4400	73.33	4.200	106.9	107.9	88	84.49
1			4500	75.00	4.280	108.9			
1	0.158	0.01960	5000	83.33	4690	91.9	91.9	100	70.28
1			5000	83.33	4.690	91.9			
1	0.132	0.01495	5300	88.33	4.934	73.8	78.5	105	55.57
1			5250	87.50	4.894	78.2			
1	0.115	0.01040	5700	95.00	5.262	54.7	54.7	120	38.94
1			5700	95.00	5 262	54.7			
1	0.095	0.00710	6700	111.67	6.080	43.1	42.25	128	29.80
1			6700	106.67	5.834	41.4			
1	0.082	0.00528	6600	110.00	6.000	31.7	31.45	132	21.95
1			6500	108.33	5.900	31.2			

Ces expériences ont duré depuis 11 h. 15′ jusqu'à 4 h. 30′. — La consommation de gaz a été régulière de 2m.281 par heure. — Le nombre de becs allumés étant de 34, cette consommation revient à lit. 67.2 par bec et par heure.

Conséquences de ces expériences. — Sans vouloir, quant à présent, discuter les résultats de ces expériences au point de vue des conséquences que l'art de la ventilation peut en tirer, nous nous contenterons de faire remarquer l'énorme influence que le rétrécissement des orifices d'évacuation d'un tuyau exerce sur le volume de gaz dont l'appel et l'écoulement sont déterminés par un développement de chaleur à très-peu près constant.

Ainsi, alors que la surface de l'orifice d'écoulement a varié dans le rapport de $0^{mq},03462$ à $0^{mq},00528$ ou de 6,56 à 1,00, les volumes d'air écoulés par seconde et réduits à la température de 10° ont varié dans celui de $144^{lit},1$ à $31^{lit},45$ ou de 5,17 à 1,00.

Si l'on représente par une construction graphique les résultats de ces expériences, en prenant les aires des sections de passage

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

au sommet du tuyau pour abscisses et les volumes d'air écoulés réduits à ce qu'ils auraient été à 10°, ce qui était, lors des expériences, la température de la galerie d'expérimentation du conservatoire, l'on voit que les volumes d'air écoulés paraissent varier à peu près en raison directe des sections de passage. Cette conséquence n'est toutefois qu'approximativement vraie et dépend d'ailleurs évidemment de la forme de l'ajutage.

Comparaison des résultats des deux séries d'expériences précédentes. — La série d'expériences faites avec un tuyau ou ajutage conique dont l'arête était inclinée sur l'axe du tuyau à 2° environ, nous a montré que les volumes d'air écoulés variaient alors à peu près dans le rapport des diamètres ou des racines carrées des surfaces des orifices; la seconde, où les arêtes de cône formant ajutage étaient inclinées à 45° sur l'axe, semble indiquer que la réduction de dépense serait plus grande et que les volumes dépensés varieraient à peu près comme les aires des sections de passage, ainsi que je l'avais admis dans un rapport relatif aux appareils de chauffage et de ventilation du palais de justice. Mais les différences indiquées par ces deux séries dans la réduction du volume d'air selon la forme de l'ajutage employé, montrent qu'il convient de faire des expériences spéciales pour chacune des formes dont on se sert.

19. *Observations relatives aux poêles de l'hôpital Lariboisière.*

Les expériences précédentes mettent bien, en effet, en évidence l'influence très-notable que le rétrécissement des débouchés laissés à l'air peut exercer sur le volume d'air qui les traverse, et la nécessité de n'employer dans les expériences qui ont pour but de mesurer ces volumes d'air que des appareils qui n'altèrent pas les superficies, ni le mode d'action de ces débouchés. Mais elles ne fournissent pas une règle assez positive pour qu'on puisse l'appliquer avec sûreté pour comparer les unes aux autres des séries d'expériences faites dans des conditions différentes sous ce rapport.

En discutant les résultats d'observations faites par deux expérimentateurs qui ont opéré avec soin sur les poêles chauffés par circulation d'eau de l'hôpital Lariboisière, j'ai reconnu qu'ils avaient employé, pour déterminer les volumes d'air écoulés par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ces poêles, un tuyau conico-cylindrique dont le débouché n'offrait qu'une superficie égale à $\frac{1}{2,68}$ de la somme des aires de passage à travers la grille qui recouvre ces poêles. D'après ces observations, et en tenant compte de la dilatation de l'air échauffé, j'ai cru pouvoir rectifier les résultats obtenus par ces observateurs sur ces poêles en les multipliant par 2,46.

Cette rectification est notablement trop forte, ainsi que me l'ont fait connaître des expériences que j'ai pu faire depuis et dont je vais rapporter les résultats.

20. *Expériences comparatives faites avec deux tuyaux de sections différentes.*

Pour constater l'influence des sections des tuyaux employés pour déterminer les volumes d'air formés par les poêles des pavillons de l'hôpital Lariboisière, chauffés et ventilés par circulation d'eau, j'ai fait faire deux tuyaux en zinc, de même hauteur et de même diamètre à la partie inférieure, qui était conique et reposait sur le dessus du poêle, de manière à en envelopper la grille, mais dont la partie cylindrique de $0^m,60$ de hauteur avait pour l'un $0^m,297$ de diamètre intérieur, ou $0^{mq},0691$ de surface, à peu près comme celui dont s'est servi M. Grassi et dont la section était de $0^{mq},0613$. — L'autre tuyau avait à sa partie cylindrique un diamètre moyen de $0^m,453$ et une section de $0^{mq},1611$ à très-peu près égale à la somme des sections de passage de l'air à travers la grille de ces poêles et qui est de $0^{mq},1642$. Ces deux tuyaux représentés dans la figure ci-contre sont désignés, le petit par la lettre A, le grand par la lettre B.

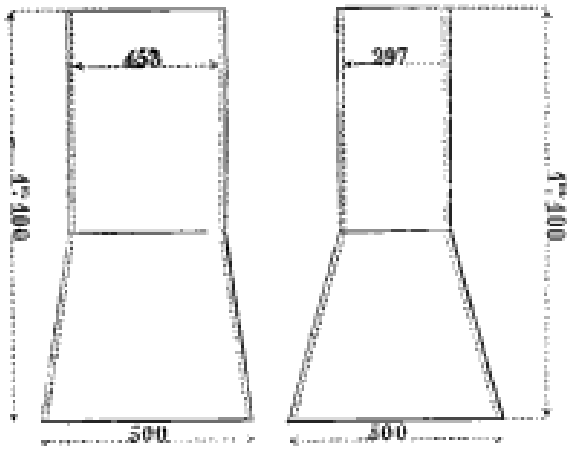


Fig. 2.

Les expériences comparatives ont été faites les 3 décembre 1860 et 11 janvier 1861 sur le poêle n° 3 du rez-de-chaussée du pavillon n° 3; et les résultats sont consignés dans le tableau suivant.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Expériences comparatives faites les 3 *décembres* 1860, 11 *janvier et* 16 *février* 1861 *avec les tuyaux* A (section 0^{mq},0613) et B (section 0^{mq}, 1611).

DÉSIGNATION du tuyau employé.	NOMBRE de tours de l'anémomètre en 1".	VITESSE de l'air en 1".	VOLUME d'air écoulé en 1 heure.	RAPPORT des volumes d'air débités par les tuyaux B et A.	TEMPÉRATURES extérieure.	TEMPÉRATURES dans la salle.	TEMPÉRATURES dans le poêle.
Expériences du 3 décembre 1860.							
		m.	lit.		°	°	°
Grand tuyau B	6,55	0,72	417,60	1,57	10,5	19	30
Petit tuyau A	10,61	1,08	266,00		10,5	19	30
Expériences du 11 janvier 1861.							
Grand tuyau B	11,38	1,11	661 moy.	1,40	— 5	15	32
	9,76	1,00	580 620,5		— 5	15	30
Petit tuyau A	17,83	1,72	428 441,5		— 5	15	36
	13,13	1,83	455		— 5	15	30
Expériences du 16 février 1861.							
Grand tuyau B	6,37	0,70	406	1,24	+ 11	17	»
Petit tuyau A	13,43	1,33	331		+ 11	17	»
Moyenne.				1,40			

21. *Conséquences des expériences précédentes.*

L'examen du tableau qui précède montre que l'emploi du petit tuyau A, dont la partie cylindrique n'avait qu'une section égale à 0^{mq},0613, inférieure à celle des débouchés du poêle, a induit en erreur les observateurs qui s'en sont servis sur l'appréciation des volumes d'air fournis par les poêles des pavillons de l'hôpital Lariboisière, chauffés et ventilés par circulation d'eau chaude, et que tous les volumes qu'ils ont déduits de leurs observations doivent être multipliés par le rapport moyen 1,40, qui, d'après les expériences que l'on vient de rapporter, exprime le rapport des volumes observés sur le même poêle avec le gros tuyau B, dont la section de 0^{mq},1611 est à peu près égale à celle des débouchés du poêle, qui est de 0^{mq},1642, et avec le tuyau A, de section égale à 0^{mq},0613.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'erreur à laquelle les observateurs ont été conduits est donc moindre que je ne l'avais pensé d'abord, mais elle est encore assez importante, et en la rectifiant, l'on trouverait que le volume moyen qui était fourni par les poêles de ces pavillons, au lieu de ne s'élever qu'à $35^{mc},00$ [1] par heure et par lit, comme l'a trouvé M. Grassi, aurait été, dans ses expériences de nuit du mois de décembre 1851, égal à

$$35 \times 1,40 = 49^{mc},00.$$

Si l'on ajoute à ces observations que, pour les expériences publiées jusqu'à ce jour, l'on a opéré sur ces poêles en y laissant les couvercles et les chicanes qui diminuent (n° 12) le volume d'air qui peut y passer d'environ 0,15 et parfois plus, l'on verra que les résultats obtenus dans les expériences antérieures à celles qui sont rapportées au n° 3 se rapprochent beaucoup de ceux que nous avons observés, en laissant toute liberté à la circulation de l'air à travers ces poêles.

Je n'ai insisté sur ces expériences comparatives que parce qu'elles montrent toute l'importance des bonnes proportions des dispositifs d'observation, et combien il est dangereux de modifier les sections de passage de l'air quand on veut faire des observations exactes. Elles m'ont d'ailleurs conduit à rectifier une erreur d'appréciation que j'avais commise moi-même, ce que j'ai cru devoir m'empresser de faire.

Expériences faites par le colonel du génie Livet. — Cet officier supérieur très-distingué, qui a succombé récemment aux fatigues de l'expédition de Chine, a fait, en 1856, au ministère de la guerre, un rapport dans lequel se trouvent consignés de nombreux résultats d'expériences. Il a entre autres observé les volumes d'air fournis par les poêles, et les volumes écoulés par les cheminées d'évacuation du pavillon n° 3, chauffé et ventilé par les appareils du système de M. L. Duvoir-Leblanc. Les résultats de ses expériences, faites le 1er septembre et le 7 octobre 1856, sont résumés ainsi qu'il suit dans ce rapport, page 69 :

[1] *Annales d'hygiène*, t. V, n° 6, page 207.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VENTILATION. — Système Léon Duvoir. — PAVILLON N° 3.

SALLE SAINTE-JEANNE.	SALLE SAINTE-JOSÉPHINE.	SALLE SAINTE-CLAIRE.	MOYENNES.
Volume d'air entrant par les poêles par heure et par malade.			
1er septembre. 59,90 mc.	7 octobre. 42,10 mc.	7 octobre. 47,60 mc.	49,86 mc.
Volume d'air sortant des salles par heure et par malade.			
1er septembre. 94,87 mc.	7 octobre. 64,85 mc.	7 octobre. 82,75 mc.	80,82 mc.

Le volume d'air sortant par la cheminée d'appel a été trouvé, par heure et par malade, égal à $90^{mc},92$.

Dans ces expériences, le couvercle et les chicanes étant restés en place, et leur action diminuant notablement le volume d'air qui peut passer par les poêles, ainsi qu'on vient de le voir d'après les expériences spéciales précédentes, les résultats observés par M. le colonel Livet aux mois de septembre et d'octobre, alors que le chauffage des poêles devait être peu ou point activé, s'éloignent, comme on le voit, fort peu de ceux que nous avons obtenus en janvier 1861.

22. *Conclusion des expériences sur les appareils de chauffage par circulation d'eau chaude et de ventilation par appel de l'hôpital Lariboisière.*

Il résulte de l'ensemble des expériences que nous avons rapportées dans cette note :

1° Que le volume d'air nouveau qui est fourni par les poêles peut s'élever en moyenne à 60 mètres par heure et par lit.

2° Que les températures et les volumes d'air peuvent être facilement réglés avec une uniformité suffisante à tous les étages.

3° Que les volumes d'air introduits par tous les poêles d'une même salle ne sont pas exactement les mêmes, ce qui devrait être évité autant que possible.

4° Que le volume d'air vicié évacué par la cheminée générale d'appel a varié de 120 à 100 et à 90 mètres cubes par heure et par lit, selon les températures.

5° Que la disposition de la cheminée et l'action des récipients d'eau chaude qu'elle contient donnent à la ventilation une stabilité convenable, mais qu'il serait encore utile d'augmenter.

6° Qu'il serait facile d'assurer pour la saison d'été une plus

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

grande introduction d'air nouveau dans les salles, afin d'augmenter le renouvellement de l'air pendant la nuit.

Lorsque la saison des chaleurs sera venue, je me propose de répéter ces expériences, afin de reconnaître si les proportions données aux appareils sont suffisantes pour assurer un renouvellement assez abondant de l'air des salles, surtout pendant la nuit.

Il y a d'ailleurs lieu de remarquer que la disposition générale des salles dans chaque pavillon n'est pas la plus favorable à un bon service de ventilation, et que celle des récipients supérieurs d'eau chaude pourrait aussi être plus heureuse. Il est arrivé dans cet hôpital ce qui se produit malheureusement presque toujours en pareil cas, que l'on ne s'est occupé du chauffage et de la ventilation que quand les bâtiments étaient à peu près terminés, et que les constructeurs des deux systèmes que nous avons examinés dans cette note ont été obligés de plier les installations de leurs appareils aux travaux existants.

23. *Conclusion générale des expériences comparatives sur les systèmes de ventilation.*

De l'ensemble des expériences comparatives qui ont été rapportées en détail dans cette étude il ressort comme conséquence évidente que l'action seule de la chaleur convenablement employée suffit pour produire une ventilation énergique, stable et régulière, et que l'emploi de ventilateurs insuffisants est inutile quand les circonstances locales permettent d'utiliser l'action de la chaleur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

AU CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS

SUR UNE MACHINE A AIR CHAUD

D'ERICCSON.

MM. Lucquin et Clara, représentants en France de M. Ericcson, de New-York, ont fait construire par M. Kurtz une machine à air chaud, en tout semblable à celles que l'inventeur construit en grand nombre aux États-Unis. Cette machine a été installée au Conservatoire, et des expériences de consommation et de travail ont été faites avec grand soin sur ce spécimen, dont la conduite était dirigée par un des contre-maîtres de M. Ericcson, envoyé spécialement à Paris pour cet objet. Il a lui-même mis en place les différentes parties de la machine; il a présidé au montage, vérifié l'exactitude de toutes les pièces, et les expériences de consommation n'ont été commencées officiellement qu'après une marche prolongée suffisamment pour qu'on se soit assuré que tous les organes fonctionnaient régulièrement, que les surfaces étaient rodées, qu'en un mot la machine était dans le meilleur état de fonctionnement.

MM. Thirion et de Mastaing, ingénieurs à Paris, ont d'ailleurs coopéré à tous les essais pour représenter, au point de vue technique, les fondés de pouvoir de M. Ericcson.

Dans les essais préparatoires, on avait reconnu que la régularité du chauffage avait une grande influence sur la bonne marche de la machine, et cette circonstance nous a engagé à faire les déterminations définitives avec deux combustibles différents, la houille et le coke.

L'expérience au coke a été faite le 15 février 1861; le nombre de tours de la machine a été parfaitement régulier et de 42,26 par minute; le temps mort était cependant très-marqué, comme il l'est en général dans toutes les autres machines à simple effet, par suite de l'insuffisance du volant; un frein de Prony, dont le bras de levier avait 1m,50 de longueur, et qui portait à son extré-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mité une charge de 21 kilogrammes, a été maintenu en état d'équilibre pendant toute la durée de l'expérience, c'est-à-dire pendant $3^h,40'$.

Le nombre total des tours accusé par un compteur a été de 13 686, et la puissance de la machine, dont les propriétaires eux-mêmes avaient réglé la marche dans les conditions les plus favorables, se trouva donnée par la formule

$$T = \frac{2\pi \times 1,50 \times 21 \times 13686}{3600 \times 5,67 \times 75} = 1,77.$$

Dans cette formule, le temps $5^h,67$ est estimé en heures et fractions décimales de l'heure.

Pendant le même temps, la consommation en coke de gaz a été de $41^k,40$, dont 12,70 ont été retirés de la grille et du cendrier sous forme de scories et de cendres.

La consommation de la machine est donc de $\frac{41,40}{5,67 \times 1,77} = 4^k,13$ de coke par force de cheval et par heure.

L'expérience à la houille a été faite le 10 février. Le frein est resté dans les mêmes conditions que précédemment; mais le nombre total des tours de la machine ne s'étant élevé qu'à 11155 en $5^h,88$, ou à 36,47 par minute, la machine n'a réellement fourni que 1,61 cheval. La consommation totale en houille de Mons s'est élevée à $48^k,10$, ce qui représente une dépense de 5,88 par cheval et par heure.

On ne saurait attribuer l'augmentation de dépense à la qualité de la houille, qui n'a laissé pour résidu que $3^k,20$ de cendres, quantité qui ne représente que $\frac{3,20}{48,10} = 0,07$ du poids du combustible brûlé. Il faut plutôt chercher la raison de cette différence dans la plus grande difficulté de maintenir dans le foyer une température bien uniforme, avec les variations inévitables dues à la flamme de ce combustible. C'est aussi à cette circonstance qu'est dû sans doute le ralentissement de la vitesse de la machine.

Au reste, la vitesse moyenne a été parfaitement régulière, et l'on n'a pas remarqué que l'appareil marchât moins bien à la fin de l'expérience qu'au commencement. M. Ericcson a d'ailleurs pris des dispositions fort ingénieuses pour que le gaz chaud ne puisse

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

jamais faire retour dans la partie du cylindre qui doit rester froide.

L'évaluation du travail par tour se déduit immédiatement dans les deux expériences des conditions d'établissement du frein; ce travail est mesuré par

$$2\pi \times 1.50 \times 21 = 197.92 \text{ kilogrammètres,}$$

et il était intéressant de comparer ce travail disponible sur l'arbre de la machine au travail développé sur le piston. A cet effet nous avons établi un indicateur de pression sur le bâti de la machine, et nous l'avons mis en communication constante avec le gaz du cylindre au moyen d'un tube en caoutchouc fixé au piston moteur. La figure ci-jointe reproduit l'un des diagrammes obtenus à

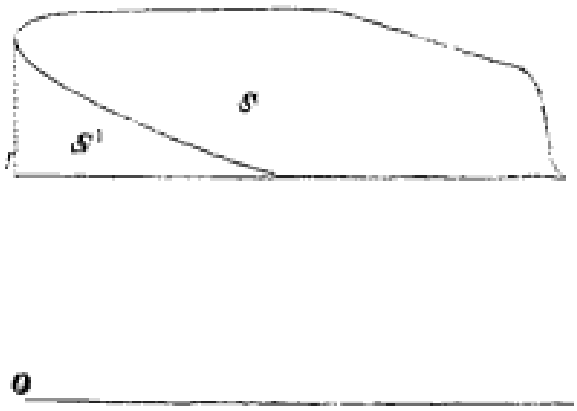


Fig. 1.

la vitesse de 35 tours par minute, en représentant la course du piston moteur par 5 centimètres, et la pression d'une atmosphère par 2 centimètres.

Pour bien comprendre les différents éléments du tracé, il est nécessaire de dire quelques mots des fonctions remplies par les deux pistons de la machine Ericcson.

L'un de ces pistons, celui qui est extérieur et qui porte le nom de piston moteur, est muni de soupapes d'aspiration par lesquelles l'air extérieur entrera dans l'espace compris entre les deux pistons toutes les fois que la pression dans cet espace s'abaissera au-dessous de la pression atmosphérique. Quant au piston alimentaire qui se meut à l'intérieur du même cylindre, il se rapproche du piston moteur de manière à augmenter la pression de l'air contenu entre eux, et il force cet air à se déplacer de manière à venir au contact des parois chaudes du foyer.

Ce piston alimentaire, pendant la période d'aspiration, qui est

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

aussi celle de l'échappement de l'air qui s'est échauffé à ce contact, marche donc entre deux pressions atmosphériques égales pendant la période d'aspiration.

Pendant les autres périodes, il est de même soumis à deux pressions égales sur ses deux faces, de manière que le seul travail moteur est en définitive celui qui est développé sur le piston moteur.

Dès lors le travail développé sur ce piston pourra être mesuré à la manière ordinaire par un indicateur de pression, au papier duquel on aura donné un déplacement proportionnel au déplacement de ce piston même.

La portion S' du diagramme représentera dans ces conditions le travail de compression effectué par le piston moteur; la portion S indiquera le travail effectif sur ce piston, déduction faite de ce travail de compression, que l'on pourrait désigner aussi sous le nom de travail d'alimentation.

On voit par ce tracé que la pression est toujours très-basse, elle ne s'élève jamais au delà de 1.75 atmosphère, et le travail de compression, relativement très-faible, représente seulement les 0.21 du travail développé sur le piston.

La différence de ces deux quantités de travail, qui est celle comprise à l'intérieur du diagramme, s'élèverait, d'après ces données, à 427.54 kilogrammètres.

En comparant ce résultat au travail du frein, qui est de 197.92 kilogrammètres, on voit que les différents travaux sont proportionnels aux chiffres suivants :

Travail moteur sur le piston.	545
Travail d'alimentation.	117
Travail disponible sur l'arbre du frein.	198
Travail dépensé par les résistances passives. . .	280

Le travail disponible ne représente que $\frac{117}{427,54} = 0,27$ du travail mesuré à l'indicateur, et l'on sait que cette utilisation s'élève dans les machines à vapeur à 0,80 environ. Il est vrai que dans le système Ericcson le travail perdu par les résistances passives s'augmente de toutes les dépenses faites par le piston alimentaire pour déterminer la circulation des gaz, de l'extérieur à l'intervalle compris entre les pistons, de cet espace dans les canaux qui entourent le foyer, et de ces canaux dans l'atmosphère, lors de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'échappement. Quelque ingénieuses que soient les transmissions de mouvement de la machine Ericcson, elles sont cependant défectueuses, à ce point d'absorber en résistances passives près de trois quarts de la puissance motrice.

Cette circonstance et la faible pression sous laquelle la machine fonctionne expliquent son volume relativement considérable, qui est la principale cause du poids tout à fait exceptionnel de l'appareil sur lequel nous avons expérimenté. Il pèse 2,500 kilogrammes, c'est-à-dire plus qu'une machine locomobile à vapeur, de même puissance, avec sa chaudière. Le diamètre du cylindre est de 0,610; la course du piston moteur est de 0,286; et ces dimensions représenteraient une machine à vapeur de 20 chevaux.

Le capitaine Ericcson a entièrement renoncé à ses toiles métalliques dites régénérateurs; il a vu que pour recueillir dans ces toiles la chaleur emportée par l'air à l'échappement, il fallait créer des résistances, et avec elles un travail résistant qu'étaient loin de compenser les avantages résultant d'une meilleure utilisation de la chaleur.

Pour apprécier la perte ainsi faite, nous avons cherché à déterminer la température de l'air à l'échappement :

Un thermomètre à mercure nous a indiqué.	270°
Dans une expérience calorimétrique faite lorsque la machine était chauffée avec le coke, nous avons trouvé.	239
Dans une pareille détermination, faite le 20 février.	307
Moyenne.	272°

Le volume de l'air admis à chaque tour correspond à un écartement de 343,5 millimètres entre les 2 pistons, et il a par conséquent pour mesure $\pi R^2 \times 0{,}3435 = \pi \times 0{,}305^2 \times 0{,}3435 = 0{,}292 \times 0{,}3435 = 0^{mc},100$.

Ces 100 litres pèsent $0{,}100 \times 1{,}293 = 0^k{,}129$ et le poids dépensé par heure, à la marche normale de 45 tours, sera $0^k{,}129 \times 45 \times 60 = 348^k{,}3$. Le nombre des calories perdues par l'échauffement sera d'après ces données :

$$348{,}3 \times 272 \times 0{,}2669 = 25283 \text{ calories.}$$

Cette quantité de chaleur comparée à celle que dégage la combustion de 4 kilogrammes de coke, soit 30000 calories, fait voir que l'échappement de l'air chaud fait perdre les cinq

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sixièmes de la chaleur de la combustion; cette circonstance suffirait pour expliquer la consommation assez grande qui est le résultat de nos observations.

La pression maximum de 1,75 observée dans le cylindre indique que la température moyenne du gaz moteur n'est jamais fort élevée. En effet, la pression due à la compression initiale est à peine dépassée pendant la période d'échauffement, alors que le volume d'admisssion qui correspond à une hauteur du cylindre de 343,3 millimètres ne dépasse jamais pendant toute la durée du fonctionnement de la machine celui de 308,3, abstraction faite des espaces compris autour du foyer. Le rapport entre ces volumes étant de $\frac{308.3}{343.3} = 1.48$, on voit que la température à pression constante ne dépasserait pas 131°, pour laquelle le module de dilatation a cette valeur. Elle est certainement plus élevée sur certains points, mais il résulte évidemment des chiffres qui précèdent que sous ce rapport la machine actuelle d'Ériccson est placée dans des conditions bien plus favorables que la plupart des machines à air.

L'air sort par un orifice de soupape, qui est fermé par un ressort tant qu'un levier mis en mouvement par une came ne l'abaisse pas au-dessous de son siége; dans la machine expérimentée les organes de cette transmission donnent lieu à des chocs que l'on éviterait en partie par une disposition différente, mais ce n'est pas le seul bruit incommode de cette machine. Dans les circonstances de l'expérience l'air s'échappait dans la cheminée en produisant un ronflement très-intense, dont la sonorité de la salle n'était pas faite pour diminuer les inconvénients. Il paraît, au reste, que cet effet se rencontre dans la plupart des machines Ericcson.

Nous pensions d'après les renseignements qui nous étaient parvenus que la consommation par cheval et par heure serait moindre. Elle atteint et dépasse même celle d'une locomobile à vapeur ordinaire, mais la machine conserve toujours ce précieux avantage de n'avoir pas besoin de chaudière et de fonctionner sans eau; c'est ce qui lui assure dans l'industrie certains emplois déterminés. Elle partage, d'ailleurs, avec les machines à gaz d'éclairage cette propriété de pouvoir être installée au milieu des ateliers, à tous les étages d'une maison, et mieux qu'elles encore

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

elle remplit cette condition de ne laisser dégager que de l'air pur, qui pourrait contribuer d'une manière utile à chauffer le lieu dans lequel se trouve la machine.

Paris, le 13 mars 1861.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers, H. TRESCA.

Vu : Général MORIN.

Depuis le moment où la première machine Ericcson fit une si grande sensation en France vers 1852, depuis la perte de cette machine lors des essais faits aux États-Unis, elle était restée presque dans l'oubli, même sur le continent américain, et c'est seulement depuis quelques années que, modifiée tout à la fois dans son principe et dans sa construction, elle est devenue populaire à New-York, mais pour les faibles puissances seulement.

Plusieurs modèles sont livrés journellement par le constructeur, mais il ne s'est pas encore écarté des types de 1 demi-cheval, 2 chevaux, 3, 4 et 25 chevaux. Ses machines de 8 et de 50 chevaux sont le résultat de la réunion sur un même arbre de deux machines de 4 ou de 25.

La seule industrie de New-York possède, dit-on, plus de 200 petites machines de ce genre; il n'existe encore que deux machines de 50 chevaux.

Ce mouvement si marqué vers l'emploi des machines à air chaud avait été attribué surtout à la faible consommation annoncée, mais il résulte des renseignements qui nous ont été fournis par le contre-maître de M. Ericcson que cette consommation, pour les machines semblables à celle que nous avons expérimentée, est à fort peu près la même.

Cette concordance donne à notre constatation un intérêt de plus, et cet intérêt nous engage à entrer dans quelques détails sur les particularités très-remarquables du nouvel appareil.

Si nous supposons qu'un corps de pompe horizontal soit fermé à l'une de ses extrémités par un couvercle fixe, A, portant une soupape d'aspiration; à l'autre extrémité par un couvercle, B,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

également fixe, fermé par une soupape qui puisse s'ouvrir de dedans en dehors, lorsque la pression intérieure aura atteint une certaine limite, et si dans ce corps de pompe on imagine de faire mouvoir un piston C, muni d'une soupape en tout semblable à celle du premier couvercle, il est facile de voir quels seront les divers effets d'un pareil système.

Si le piston C, d'abord au contact du couvercle, A, se meut de A vers B, le vide se fera en amont de ce piston, et l'air se précipitera par la soupape d'aspiration de manière à remplir l'espace développé par ce piston. En même temps l'air contenu dans le cylindre, en aval du piston, sera comprimé et bientôt s'échappera par la soupape d'échappement, lorsque la pression sera devenue suffisante. Au retour du piston la soupape du piston s'ouvrira seule et l'air qui vient d'être admis dans la première chambre du cylindre passera dans la seconde chambre par cette ouverture.

On aura ainsi une véritable pompe à air, aspirante et foulante, qui, pendant un de ces parcours, aspirera et refoulera tout à la fois, et qui lors du mouvement en sens contraire du piston ne produira d'autre effet que de déplacer d'une chambre à l'autre l'air aspiré l'instant précédent.

Le piston de cette pompe constitue le piston alimentaire de la machine Ericcson ; sa soupape s'ouvre dans le même sens et aussitôt que la pression dans la chambre d'amont devient un peu supérieure à celle de la chambre d'aval.

Si le mouvement du piston est déterminé par la rotation d'un arbre moteur, les mêmes circonstances pourront se reproduire pour chacun des tours de cet arbre, et le volume d'air dépensé sera chaque fois mesuré par le volume du cylindre compris entre le couvercle A et la position extrême de la face intérieure du piston C.

Supposons maintenant que l'on remplace le couvercle A par un piston qui puisse lui-même se mouvoir dans le corps de pompe, les mêmes faits se reproduiront à la condition que le piston A marchera plus vite que le piston C pendant la période d'aspiration, et le volume d'air débité ne sera plus mesuré que par le plus grand volume compris dans le cylindre entre les deux faces en regard des deux pistons, dans l'une de leurs positions simultanées. Si ensuite les deux pistons se rapprochent, cet air

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

emprisonné entre eux passera, comme dans l'hypothèse précédente, à l'aval du piston C, pour ensuite être expulsé par le couvercle B. Ce qui caractérise essentiellement la machine Ericcson, c'est que ce couvercle B est formé par les parois chaudes d'un fourneau, et que l'air en passant de la chambre d'amont s'échauffe, tend à se dilater, et augmente de pression à ce contact. Cet échauffement s'opère pendant que les deux pistons se rapprochent, et par conséquent pendant que la soupape du piston est ouverte, en telle sorte que, comme précédemment, ce piston C, pressé de la même manière sur les deux faces, ne remplit d'autre office que de faire passer l'air du froid au chaud.

Quant au piston extérieur A, que l'on désigne avec raison sous le nom de piston moteur, il est toujours soumis par sa face externe à la pression atmosphérique, et c'est seulement sur sa face interne que se développeront successivement des efforts variables.

Pendant la période d'aspiration, cette face interne n'est soumise qu'à la pression atmosphérique, même un peu amoindrie; pendant la période de déplacement, elle est au contraire poussée par la pression, peu variable d'ailleurs, qui résulte à la fois du changement de volume et du changement de température.

Ce déplacement s'opère dès avant la fin de la course du piston moteur, aussitôt que son mouvement devient plus rapide que celui du piston alimentaire, et dans cette période la pression la plus grande s'exerçant en sens contraire de la marche de ce piston, on voit qu'il se produira un travail résistant en tout semblable au travail de compression de certaines machines à vapeur.

Ces trois phases, l'alimentation, la compression et l'action, sont nettement caractérisées par le diagramme de la page 834. Pour en apprécier avec exactitude les différents éléments, il est nécessaire d'étudier les organes qui déterminent les mouvements relatifs des deux pistons; mais avant d'aborder cette étude, il importe de bien caractériser le fonctionnement de la machine elle-même.

On voit qu'elle ne diffère de la pompe à air ordinaire qu'en ce que l'air est chauffé avant son expulsion, et que pendant cet échauffement il agit par l'augmentation de volume et de pression qui en résulte sur un piston moteur, ramené à chaque

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tour à sa position primitive, pendant que l'air traverse sa soupape d'aspiration, et par conséquent sans que ce mouvement en sens contraire donne lieu à une dépense notable de travail.

Le travail d'alimentation est presque nul, et l'on voit par le diagramme que les mouvements sont assez bien combinés pour que la pression atteignant son maximum au commencement de la course du piston moteur, s'y maintienne jusqu'à la période de détente, qui se produit un peu après le milieu de cette course. Ce résultat ne pouvait être réalisé que par une relation convenable entre le mouvement du piston alimentaire qui détermine l'échauffement d'une plus ou moins grande quantité d'air, et le mouvement du piston moteur qui détermine le volume total.

Il était d'ailleurs nécessaire que le volume compris entre les deux pistons pendant l'échauffement se réduisît constamment dans une proportion telle que l'air chaud n'eût aucune tendance à rentrer dans cet espace, auquel cas les conditions fondamentales du fonctionnement auraient pu être troublées d'une manière notable. Si la portion dans laquelle se fait l'alimentation pouvait s'échauffer, il ne pourrait y entrer qu'un moindre poids d'air à chaque pulsation, et par suite l'action de la chaleur du foyer ne produirait plus des effets aussi considérables.

Quant aux organes de transmission qui déterminent les déplacements successifs du piston alimentaire et du piston moteur, nous en devons à l'obligeance de M. Mastaing une étude complète, d'autant plus intéressante qu'elle démontre avec quelle facilité la combinaison des bielles et des manivelles permet de résoudre les problèmes les plus compliqués des mouvements relatifs. On verra par les détails qui suivent avec quelle précision M. Ericcson a satisfait aux conditions assez complexes des mouvements de ses deux pistons.

Mouvement du piston moteur. — Soit O le centre de l'arbre du volant que nous considérerons comme l'arbre moteur, D le centre d'un arbre intermédiaire, OA représentera la manivelle du premier arbre, DE la manivelle du second, et le point E sera en outre assujetti à se tenir constamment à la même distance AE de l'extrémité mobile A de la première manivelle. Par suite de cette disposition, il est facile de voir que le point E décrira l'arc PQ du centre D, et que le point E′ de la manivelle DE décrira en même temps l'arc P′Q′ : c'est ce point E′ qui, au moyen d'une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

petite bielle articulée, dont l'emploi est nécessaire pour compenser la courbure de l'arc P'Q', détermine le déplacement du piston moteur.

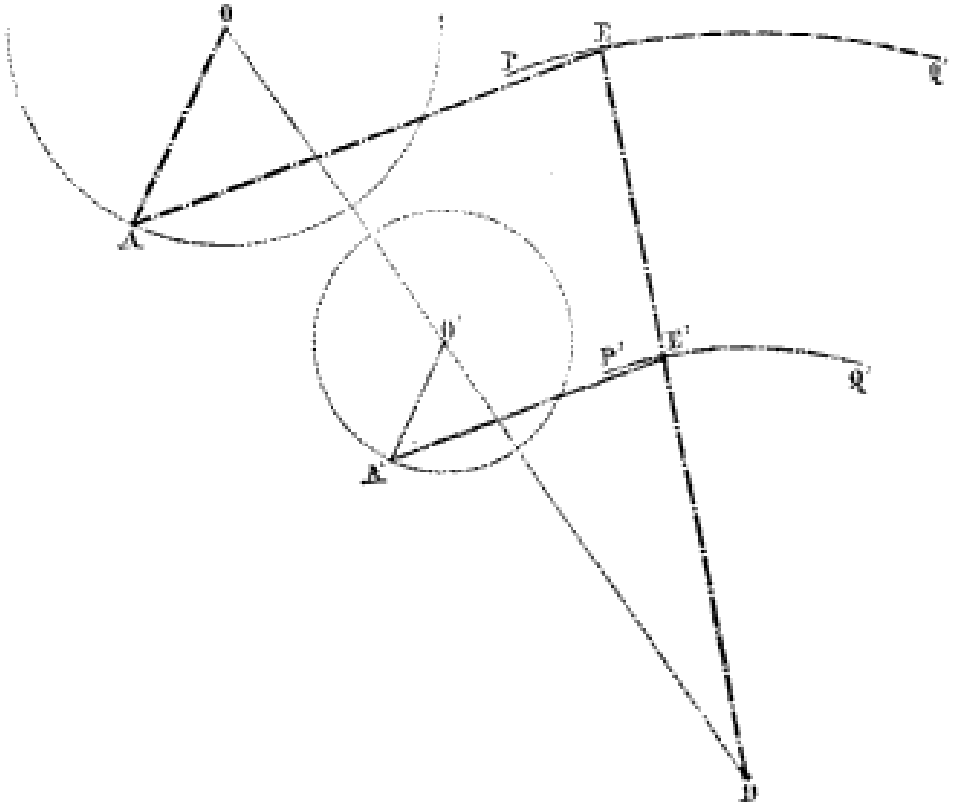


Fig. 2.

Dans la machine dont nous nous occupons OA = 244,6 millimètres, AE = 571,7, DE = 844,5 millimètres, OD = 1430; DE' = 489 millimètres; et si l'on fait l'épure de la transmission, on trouve que PQ = 493 millimètres, P'Q' = 285 millimètres; cette dernière longueur donne la mesure de la course du piston moteur.

Pour déterminer la loi du mouvement du piston moteur, en partant de l'hypothèse d'une rotation uniforme de l'arbre O, M. de Mastaing a pu simplifier les constructions de la manière suivante.

Si l'on réduit DA en DA' dans la même proportion que DE en DE', au moyen d'une parallèle A'E' à AE, et si l'on mène A'O' parallèle à AO, le point O' pourra être considéré comme le centre d'un cercle de rayon A'O', dont tous les points resteront à distance constante de l'arc P'Q' qu'il s'agit de décrire. On tracera donc ce cercle de rayon A'O' = 141,8 millimètres, en prenant DO' = 605 millimètres; et l'on se bornera à tracer la suite des points E' qui se trouveront à la fois à une distance A'E' = 331.6 mil-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

limètres de chacun des points de la circonférence A' O' et à une distance D E' = 489,1 millimètres du point fixe D.

Déterminé par l'une ou l'autre méthode, le mouvement du point E' est très-variable : d'abord très-lent à partir du point Q', il s'accélère progressivement, et il décrit l'arc P' Q' dans le sens de Q' à P' plus rapidement que dans le sens contraire.

Mouvement du piston alimentaire. — La transmission du mouvement au piston alimentaire est tout à fait analogue. O est toujours le centre de l'arbre moteur, O A la même manivelle que précédemment. C est un autre point fixe, qui a pour manivelle C B, et le point B est assujetti, au moyen d'une bielle A B, à décrire l'arc M N de la figure ci-jointe. Les données numériques sont les suivantes : O C =

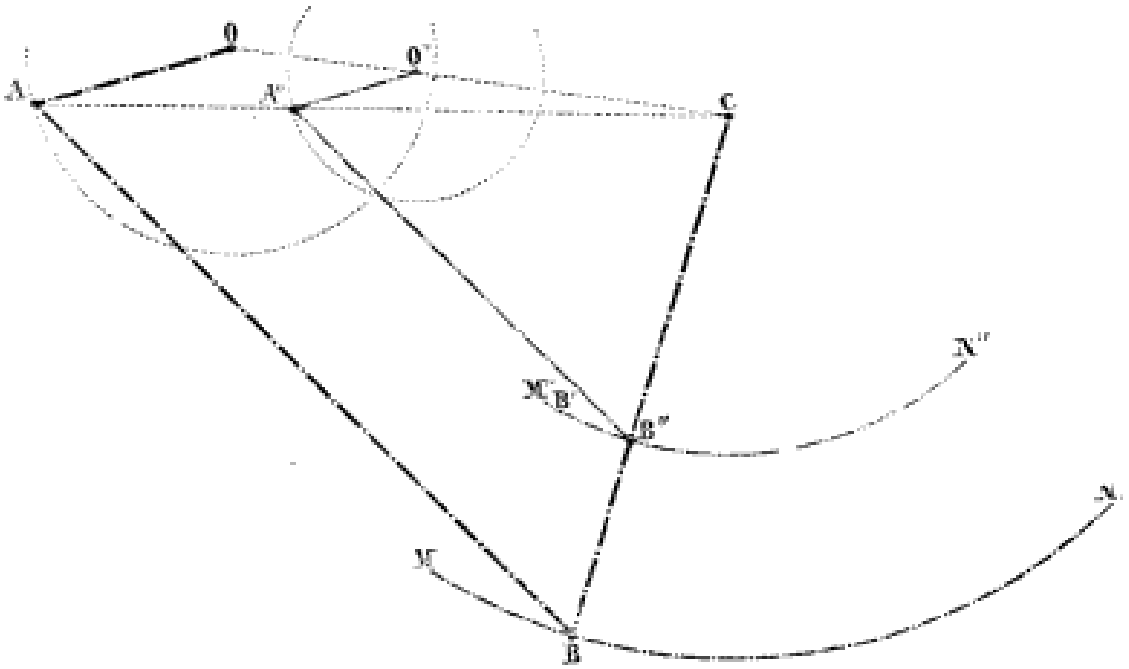


Fig. 3.

675 millimètres ; B C = 622,7 millimètres ; A B = 876,3 millimètres ; quant au point B'' qui doit conduire le piston alimentaire, il est placé à une distance C B'' = 393,9 millimètres du point fixe C.

Une simplification analogue à la précédente peut être apportée dans l'épure du mouvement relatif. Il suffit, en effet, de mener la parallèle A''B'' à A B, d'arrêter cette parallèle en sa rencontre en A'' avec A C ; de déterminer le point O'' d'intersection avec O C de la parallèle A''O'' à A O, et de décrire une circonférence du point O'' comme centre avec O''A'' pour rayon ; on pourra considérer le déplacement du point B'' comme étant directement obtenu par cette double condition qu'il devra rester dans toutes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ses positions à une distance $A''B'' = 552$ millimètres de l'extrémité de la manivelle $A''O''$ et à une distance $CB'' = 393{,}9$ millimètres du point fixe C. Le mouvement du piston alimentaire est d'abord beaucoup plus rapide que celui du piston moteur, mais il se ralentit ensuite et l'arc $N''M''$ est décrit dans un temps beaucoup plus court que l'arc $M''N''$.

On voit sur le dessin que la corde $M''N''$ n'est pas horizontale, ce qui serait un grand inconvénient si le point B'' devait, comme nous l'avons indiqué, conduire la tige horizontale du piston : pour éviter cet inconvénient, Ericcson détermine, en réalité, son mouvement, par l'extrémité B' d'une autre manivelle calée sur le même arbre C sous un certain angle $B''CB' = 7°$, qui est celui qui convient, pour que les deux extrémités de l'arc décrit du point B' soient à la même hauteur. La courbure de l'arc décrit par le point B' est d'ailleurs rachetée par un assemblage à rotule.

Il ne serait pas possible, avec les dimensions dont nous disposons dans nos gravures, de reproduire avec une exactitude suffisante les courbes représentatives des mouvements des deux pistons ; mais la table suivante, extraite de l'épure de M. de Mastaing, y suppléera pour ceux de nos lecteurs qui voudront se rendre compte de tous les détails de cette singulière transmission. Les déplacements des deux pistons sont comptés, à partir de la position de la manivelle qui correspond à la position extrême du piston moteur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ANGLE DÉCRIT par la MANIVELLE.	PARCOURS DES PISTONS à partir de l'extrémité de leur course.		DISTANCE du piston alimentaire au 0 du piston moteur.	DISTANCE entre les faces intérieures des deux pistons.
	MOTEUR.	ALIMENTAIRE.		
			mill.	mill.
0	0	37.5	28.0	65.5
10	2.5	89.0	117.0	119.5
20	11.0	168.0	196.0	185.0
30	24.5	235.5	263.5	239.0
40	42.5	302.0	330.0	287.5
50	64.5	357.0	385.0	320.5
60	88.0	397.0	427.5	339.5
70	114.5	430.0	458.0	343.5
80	142.0	448.5	476.5	338.5
90	168.5	467.0	495.0	326.5
100	193.0	476.0	504.0	311.0
110	218.0	482.0	510.0	292.0
120	239.0	484.0	512.0	273.0
130	255.5	481.0	509.0	253.5
140	268.5	476.0	504.0	235.5
150	277.5	468.5	496.5	219.0
160	283.0	458.5	486.5	203.5
170	285.5	447.5	475.5	188.0
180	285.0	429.5	457.5	172.5
190	282.0	411.0	439.0	157.0
200	276.5	388.5	416.0	139.5
210	269.0	363.5	391.5	122.5
220	259.5	336.5	364.5	105.0
230	248.0	307.0	335.0	87.0
240	233.0	273.5	301.5	68.5
250	216.0	241.0	269.0	53.0
260	196.5	226.5	234.5	38.0
270	174.5	172.0	200.0	25.5
280	150.5	137.0	165.0	14.5
290	124.5	124.5	152.5	8.0
300	97.5	74.0	102.0	4.5
310	71.5	47.0	75.0	3.5
320	48.0	24.5	52.5	4.5
330	27.0	10.0	38.0	8.0
340	12.0	0.0	28.0	16.0
350	2.5	28.5	56.5	34.0
360	0	37.5	65.5	65.5

De l'angle 0 à l'angle 70, les deux pistons marchent dans le même sens, et leur écartement varie de 65,5 à 343,5 millimètres; c'est la fin de la période d'aspiration. De 70° à 170 les deux pistons marchent en sens contraires : ils se rapprochent de 343,5 à 188 millimètres. A partir de 170° le mouvement du piston moteur change de sens et l'espace compris entre les deux pistons va toujours en diminuant jusqu'à 3,5 millimètres, écartement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

minimum qui correspond à l'angle de 310. Les deux pistons achèvent alors leurs périodes rétrogrades qui se terminent pour l'un à 360°, pour l'autre à 340, mais de manière que leur écartement aille toujours en augmentant de 3,5 à 63,5 millimètres; déjà dans cette dernière période l'aspiration se produit entre les deux pistons.

Quant à l'échappement qui se produit, ainsi que nous l'avons dit, par une came, il s'ouvre seulement à 344° et se ferme à 69°, et il ne se produit par conséquent que pendant une partie seulement de la période d'aspiration.

Le volant est muni d'un contre-poids dont la position est telle qu'il agit pendant l'aspiration, mais le moment d'inertie de ce volant n'est pas suffisant pour rendre la marche parfaitement uniforme. Le poids total de cet organe ne s'élève pas à moins de 450 kilogrammes, dont 325 pour la demi-circonférence la plus lourde; le diamètre est de 1m,80, et toutes ces quantités sont fort grandes eu égard à la puissance de la machine.

Il serait certainement impossible de prédire dès à présent le succès qui est réservé à cette machine, et l'on nous pardonnera d'être à cet égard plus réservés qu'on ne paraît l'être de l'autre côté de l'Océan.

Au point de vue de la consommation constatée par nos expériences, la machine Ericcson supporte dès à présent la comparaison avec les petits moteurs à vapeur; elle n'entraîne pas l'obligation d'une chaudière et elle est par conséquent absolument inexplosible; sa mise en feu est prompte, l'air de l'échappement n'étant pas vicié peut sans inconvénient être répandu dans l'atelier même, auquel cas nous oserions dire, malgré la singularité de cette assertion, que la machine constituerait un excellent calorifère. Voilà certainement un grand nombre d'avantages qui en recommandent l'emploi.

Elle serait sans aucun doute précieuse pour certaines opérations de l'agriculture et de l'exploitation en forêt toutes les fois que l'approvisionnement d'eau serait difficile. Il ne faut pas oublier à cet égard que chaque kilogramme de charbon exige dix kilogrammes d'eau, et qu'une machine de quatre chevaux par exemple n'exige pas moins d'un hectolitre d'eau par heure, quantité que l'on ne peut souvent se procurer que par un service de chevaux très-onéreux. Cette application des machines Ericcson

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

serait surtout précieuse s'il était possible de les faire fonctionner avec du bois ou de menus combustibles végétaux, et si l'irrégularité de la chaleur dégagée par ces combustibles n'était pas un obstacle à la bonne marche de la machine.

Mais ce qui nous préoccupe surtout dans ces applications, c'est la permanence d'un bon fonctionnement. Les organes sont beaucoup plus multipliés que dans une machine à vapeur : le voisinage du foyer est pour la cloche du piston alimentaire un danger permanent; les soupapes sont sujettes à de nombreuses réparations, et cette observation est surtout importante quant à celle du piston alimentaire, dont la visite ne peut se faire que par un ouvrier expérimenté.

Cette difficulté de démontage, le jeu que prendront certainement les trop nombreux organes de la transmission, nous paraissent commander une grande réserve pour l'emploi de cette machine ingénieuse, loin des lieux où les réparations pourraient se faire.

Nos lecteurs nous sauront gré de leur donner, dans le prochain numéro des *Annales*, planche VIII, un dessin très-complet de cette machine.

Légende de la planche VIII.

La figure 1 est une coupe longitudinale faite par l'axe de la machine.

La figure 2, une coupe transversale faite par la boîte à feu.

O, arbre du volant de la machine, sur lequel est fixée la manivelle O.

A, piston moteur muni de la soupape à contre-poids *a*, dont une seule est représentée sur le dessin.

B, arbre intermédiaire servant à la transmission du mouvement au piston moteur, au moyen de la manivelle *o*, de la bielle *p*, de la manivelle *q*, et de la petite bielle articulée *r*.

F, piston alimentaire muni de la soupape de refoulement *f*, d'une capacité F' remplie de matière non conductrice, et des parois F'' de la cloche qui en forme le prolongement; *f'*, enveloppe fixe en tôle forçant les gaz à circuler jusqu'à la bouche du foyer lorsqu'ils passent sous la cloche du piston.

C, arbre intermédiaire servant à la transmission du mouvement au piston alimentaire, au moyen de la manivelle *o*, de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bielle *s*, de la manivelle *t* et de la manivelle *u*, calée sur l'arbre C sous un angle de 7° par rapport à la manivelle *t*.

D, soupape d'échappement, tenue fermée par le ressort *d*, et s'ouvrant au moyen de la came D' et du levier D'' sur lequel cette came agit au moyen d'un galet.

G, cloche en fonte constituant la boîte à feu; *g* barreaux de la grille; G' plaques de fonte destinées à abriter la cloche contre le coup de feu.

H, cheminée dans laquelle les gaz de la combustion sont amenés par les carneaux *h*, garnis de terre réfractaire.

I, porte du fourneau, avec double fond pour éviter autant que possible la radiation; les parois latérales du fourneau sont également abritées par une double enveloppe *j*.

K, arbre destiné à ramener, au moyen des cliquets *k* et des encoches *k'* du volant, les deux pistons à la position convenable lors de la mise en train de la machine.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

SUR LES MOTEURS A GAZ

de M. LENOIR.

La machine Lenoir fonctionne déjà dans plusieurs ateliers, l'attention publique est plus que jamais fixée sur elle, et l'on nous saura gré de faire connaître les résultats que nous avons constatés sur deux de ces machines, qui ont été successivement mises à notre disposition et dont nous avons pu étudier la marche avec soin.

Nos expériences datent des 7 et 8 janvier 1861 ; elles ont été faites sur une machine construite par M. Marinoni, et dont les dimensions étaient les suivantes : course, 0m,10 ; diamètre, 0m,18. D'après ces éléments, la section du cylindre était de 0,0255 mètre carré, et le volume développé par chaque course du piston de 2,55 litres.

On sait que, dans les machines de ce système, une partie de la course du piston est employée à faire entrer par aspiration, dans le cylindre, de l'air atmosphérique et du gaz d'éclairage, en proportions déterminées, par les ouvertures de certains orifices du tiroir. Au moment où ces orifices se ferment par suite du déplacement de cet organe principal, une étincelle d'induction enflamme le mélange; une élévation de température plus ou moins considérable est le résultat de cette inflammation et des combinaisons qui en résultent; les gaz chauffés acquièrent une pression plus considérable, en vertu de laquelle ils pressent sur le piston jusqu'à la fin de sa course. Lorsqu'il revient sur lui-même, les gaz produits s'échappent dans l'atmosphère, et les mêmes effets que nous venons de décrire se passent successivement de l'autre côté du piston, la machine étant à double effet et l'inflammation s'effectuant tantôt dans l'une des chambres du cylindre, tantôt dans l'autre.

Afin que l'inflammation soit complète, les nouveaux tiroirs de M. Marinoni sont formés d'une plaque à faces parallèles qui glis-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sent entre deux plans bien dressés, l'un appartenant au cylindre de la machine, l'autre à la boîte dans laquelle s'effectue l'arrivée du gaz. Cette plaque présente deux séries d'orifices qui correspondent respectivement aux deux ouvertures d'admission placées vers les deux extrémités du cylindre. Les orifices d'introduction du gaz d'éclairage sont formés par des tubes rapportés laissant entre eux autant d'intervalles qui communiquent avec l'air extérieur par l'épaisseur même du tiroir; l'air et le gaz arrivent ainsi par filets parallèles et se mélangent régulièrement.

L'échappement se fait aussi par un tiroir distinct qui fonctionne de l'autre côté du cylindre et qui offre issue aux gaz brûlés par deux orifices séparés, correspondant aux deux chambres du cylindre. A part le fractionnement des orifices, cette disposition rappelle celle qui a été employée dans certaines machines de bateaux, dans lesquelles l'échappement avait lieu par des orifices spéciaux. La chaleur dégagée par la combustion amènerait bientôt le cylindre à une température trop élevée si l'on ne le refroidissait par un courant d'eau continu, qui, après avoir circulé autour des orifices de distribution, entoure le cylindre et s'écoule par un tube adapté en son milieu, à côté du robinet de graissage. Bien que l'eau qui a servi au refroidissement retourne habituellement, en vertu de la différence des températures, dans le réservoir même d'où elle est sortie, il nous a paru intéressant de la recueillir à part et de déterminer le nombre de calories que cette eau enlève au cylindre en service courant.

L'inflammation des gaz se fait au moyen d'un appareil d'induction mis en action par deux éléments de Bunsen. La bobine est mise en communication par un de ses pôles avec un conducteur isolé dont la communication avec deux bandes de cuivre s'établit aux instants convenables au moyen d'une languette de même métal qui frotte constamment sur ce conducteur; cette languette et le galet qui la porte obéissent d'ailleurs au mouvement de la tige du piston, avec laquelle ils sont en quelque sorte solidaires. Quant aux deux bandes de cuivre, elles communiquent respectivement avec deux fils aboutissant chacun avec un des inflammateurs.

Ces inflammateurs sont formés d'un fil de platine, isolé dans l'axe d'un boulon au moyen d'un tube de porcelaine, et d'un autre fil de même métal en communication par le boulon avec le métal

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

même du cylindre. Celui-ci forme un des pôles du circuit tandis que l'autre aboutit au fil isolé. Aussitôt que le contact est établi par la languette avec la bande de cuivre correspondante, l'étincelle jaillit entre les deux fils et enflamme le mélange explosible; les choses sont ainsi disposées que l'inflammation a lieu un peu après que le piston a parcouru la moitié de sa course.

Il nous a paru nécessaire de déterminer la pression à laquelle s'élevait à chaque fois le gaz après cette inflammation.

Dans les expériences faites sur cette première machine, le gaz était mesuré par un compteur ordinaire estampillé, mais non vérifié spécialement en vue de ces expériences de consommation.

Un frein a d'ailleurs été établi sur la machine pour apprécier sa puissance, et le nombre de tours a été compté de 5 en 5 minutes à l'aide d'une montre à pointage.

Le samedi 5 janvier, quelques constatations préliminaires nous ayant fait voir que la machine ne fournissait pas intégralement la force motrice pour laquelle elle avait été livrée, nous avons demandé que le constructeur fût appelé pour mettre tous les organes dans le meilleur état de fonctionnement, et nos expériences définitives n'ont été commencées que le 7, en présence de l'ingénieur de M. Marinoni, et sur sa déclaration que toutes les réparations avaient été faites; il a lui-même réglé le frein à la charge qu'il a considérée comme la plus avantageuse, au point de vue de la meilleure utilisation du combustible.

C'est dans ces circonstances qu'ont été relevées les différentes indications qui suivent et qui se rapportent à une expérience prolongée depuis 1 heure jusqu'à 4 heures 44 minutes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tableau du nombre des tours et de la consommation de la machine à gaz.

HEURES des observations.	NOMBRE des tours de la machine par t'.	CONSOMMATION indiquées par le compteur.	OBSERVATIONS.
h. m.	tours.	mètres cubes.	
1.00			Mise en marche.
1.5	133		
1.10			Arrêt pendant 20″ par suite de non-inflammation.
1.15	126		
1.25	119		Arrêt de 10′, employé par l'ingénieur de M. Marinoni à régler la dimension des orifices.
1.40	138		
1.45	122		
1.55	140		
2.00	131		
2.5			Arrêt par suite de non-inflammation; on remet immédiatement en marche.
2.8		1	
2.15	133		
2.30	133		
2.40	130		
2.50	128		
3.00	140	3	
3.15	130		
3.30	136		
3.38			Arrêt pendant 1·30″ pour modifier la course du tiroir.
3.44			Arrêt pendant 30″ pour régler le tiroir à la course primitive.
3.46	138	5	
4.5	129		
4.15	126		
4.30	127		
4.35	125		
4.44	102	7	Fin de l'expérience.

La machine a généralement bien marché, bien que l'absence d'une seule inflammation fût suffisante pour l'arrêter; on voit que cette circonstance ne s'est présentée que deux fois pendant toute la durée d'une expérience de 3 h. 32 m., déduction faite de tous les temps d'arrêt. La vitesse a toutefois présenté des irrégularités notables, si ce n'est pendant la dernière période, de 3 h. 46 m. à 4 h. 44, qui comprend 1ʰ 8′, et qui devra être par suite de cette régularité considérée comme la plus convenable pour la détermination de la consommation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1° *Puissance de la machine.*

La longueur du bras du levier du frein mesurait 1m,25; la charge du plateau était de 2k,50; le travail par tour était donc donné par le produit $2\pi \times 1.25 \times 2.50 = 19.63$ kilogrammes.

Le nombre des tours par 1' étant en moyenne de 130.67, la puissance effective de la machine sera exprimée en chevaux par la relation, $\frac{130.67}{60} \times \frac{19.63}{75} = 0.57$ cheval, pour l'expérience entière.

Pour la dernière période seulement, qui donne pour moyenne 129 tours par 1', elle serait seulement de 0.56 cheval.

2° *Consommation par cheval et par heure.*

Cette évaluation devra se faire pour l'expérience totale en répartissant les 7 mètres cubes de consommation en 3 h. 32 m., et 0.57 cheval, ce qui donne :

$$\frac{7}{3^h.32' \times 0.57} = 3,476 \text{ mètres cubes.}$$

On trouve un chiffre un peu moins élevé quand on calcule seulement sur la dernière période, car il vient alors :

$$\frac{2}{1^h.8' \times 0.56} = 3.166.$$

Ce chiffre nous paraît plus exact que le précédent, et il démontre que dans les conditions de l'expérience, et pendant tout le temps de son fonctionnement régulier, la machine a consommé un peu plus de 3 000 litres de gaz par force de cheval et par heure.

3° *Chaleur perdue par l'eau de circulation.*

L'eau employée au refroidissement du cylindre s'est élevée à 147 litres, à la température primitive de 14°. Une partie de cette eau a été réduite en vapeur, et l'on a recueilli en outre 129 kilog. d'eau à 95°. On doit donc admettre que la chaleur emportée par l'eau de circulation est mesurée ainsi qu'il suit :

129k d'eau à 95° ayant absorbé 129×81. . .	10,449 calories.
18k de vapeur à 100° ayant absorbé 18×650.	11,700
Total.	22,149

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si l'on compare cette quantité de chaleur à celle qui a été dégagée par la combustion, soit $7 \times 6000 = 42000$, on voit que la chaleur perdue par l'eau de circulation s'élève à $22\,149 : 42\,000 = 0{,}527$ de la chaleur totale développée par la combustion.

La perte serait plus considérable si l'on y comprenait celle qui résulte de la quantité de chaleur emportée par les gaz brûlés.

4° Proportion dans laquelle les gaz sont mélangés.

Dans la dernière période, une consommation de 2^{mc} de gaz d'éclairage a été faite en 1 h. 8 m., alors que la machine faisait en moyenne 129 tours par 1 m.; cette consommation correspond donc à $129 \times 68 = 8\,772$ tours de la machine, ou 17 544 coups de piston.

L'introduction étant fermée à la moitié de la course du piston, si l'on recourt aux dimensions que nous avons données du cylindre, on verra que ces 8 772 tours représentent un volume total de $8\,772 \times 2{,}55 = 22\,368$ litres, dans lequel le volume de gaz d'éclairage entrerait seulement pour 2 000 litres ou pour 0,09 environ du volume total.

5° Mesure de la pression développée dans le cylindre.

Nous avons à plusieurs reprises tracé quelques diagrammes avec un indicateur de pression dont le ressort fléchissait de 11,71 millimètres par atmosphère. La plus grande ordonnée était de 57 millimètres et correspondait par conséquent à une pression de $57 : 11{,}71 = 4{,}87$ atmosphères au-dessus de la pression atmosphérique, ou à une pression totale inférieure à 6 atmosphères.

Les pressions développées ne sont donc pas dans les machines à gaz supérieures à celles que l'on emploie habituellement dans les machines à vapeur. Le ressort de l'indicateur était plus violemment lancé que s'il avait été mis en mouvement par de la vapeur à cette pression. L'effort est ici plus soudain, et la pression s'abaisse beaucoup plus rapidement que ne le ferait celle de la vapeur pour les mêmes variations de volume.

L'inflammation, d'ailleurs, paraît déterminer des pressions très-différentes entre elles. On voit aussi que cette inflammation ne se produit pas exactement au même point de la course, et qu'ainsi l'effort moteur maximum varie beaucoup quant au moment où il se produit.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

6° Examen des gaz à l'échappement.

Nous avons recueilli à l'échappement une certaine quantité de gaz brûlé; analysé par M. Carlet, il ne contenait que des traces d'hydrogène et d'oxyde de carbone; la combustion était donc, lors de nos expériences, à peu près complète.

Nous pourrons donc d'une manière générale résumer les conditions générales de cette première expérience ainsi qu'il suit :

Le gaz d'éclairage entre dans le mélange détonant pour le dixième du volume total.

Il paraît être brûlé presque complétement.

La consommation par heure et par cheval est d'environ 3 mètres cubes.

L'eau de circulation entraîne au moins la moitié de la chaleur dégagée par la combustion.

Une machine à gaz de cette dimension fournit environ la puissance d'un demi cheval-vapeur, en marchant à 130 tours par minute.

Nous compléterons ces indications par quelques observations pratiques.

La vitesse de la machine est très-variable.

La non-inflammation d'une seule admission de gaz suffit pour arrêter la machine.

Lors de la mise en marche, il faut faire faire au volant plusieurs tours, le robinet de graissage restant ouvert.

Le graissage doit être abondant et renouvelé tous les quarts d'heure environ, si l'on veut conserver une marche à peu près constante.

La dépense en huile ne peut pas s'estimer à moins de 500 gram. par jour; c'est au reste le chiffre qui nous a été indiqué par le mécanicien chargé de conduire la machine.

Pour obtenir les meilleurs effets, la pratique de M. Marinoni lui a indiqué qu'il fallait produire l'inflammation avant la fermeture complète du tiroir.

Quant à la comparaison entre le prix de revient de la force motrice avec celle des machines à vapeur, nous croyons qu'il vaut mieux ne la faire que quand nous aurons à notre disposition des résultats plus nombreux et plus suivis.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Expériences du 15 au 25 mars.

Nous désirions, avant de donner aucune publicité aux expériences précédentes, les vérifier sur une machine un peu plus grande; l'une d'elles venait d'être livrée par M. Marinoni, comme étant d'une puissance double, et elle a été mise à notre complète disposition. Pensant que les diverses déterminations seraient plus exactement faites avec les moyens dont nous disposons au Conservatoire, nous l'avons installée dans la grande salle des machines en mouvement. Cette installation a été facilitée par la bonne disposition du bâti de cette machine, qu'il a suffi de placer sur une fondation suffisamment solide pour que le frein pût y être appliqué et se maintînt parfaitement en équilibre pendant une marche très-prolongée.

Le cylindre de cette machine avait 24 centimètres de diamètre; la course du piston était de 12 centimètres. Le volume calculé avec ces éléments s'élève à 0,00543 mètres cubes, ou 5.43 litres. L'admission se faisant pendant un peu plus de la moitié de la course, nous admettrons que le volume total d'admission pour chaque tour ou pour deux coups de piston est de 5.5 litres; cette évaluation, à fort peu près exacte, simplifiera les calculs.

La machine, dans toutes ses parties, était parfaitement exécutée; elle était munie de deux volants inégaux, formant poulies; les tiroirs en bronze, pour l'admission et l'échappement, reposaient parfaitement sur leurs siéges, une circulation d'eau était fort habilement disposée autour des orifices d'échappement et du cylindre; la forme de tous les organes était parfaite; en un mot la construction était celle d'une machine bien étudiée dans tous ses détails. Quant aux dispositions, elles différaient très-peu de celles que nous avons décrites précédemment, et l'on pourra voir par le dessin que nous en donnerons pl. IX toutes les dispositions des organes.

On a installé un compteur à gaz sur le tuyau d'admission, et ce compteur est constamment resté en communication avec un petit gazomètre, qui contenait environ 300 litres, et qui était ali-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

menté par le gaz courant; le tuyau d'amenée au gazomètre était d'un diamètre assez grand pour que cet appareil ne se vidât pas pendant le travail de la machine, et il n'avait dès lors d'autre effet que de servir de réservoir intermédiaire, amoindrissant les différences de pression que pouvait produire la succion du gaz pendant la période d'aspiration. Dans chaque expérience la pression est restée sensiblement constante; elle n'a varié d'une expérience à l'autre que de 15 à 25 millimètres d'eau, au-dessus de la pression atmosphérique.

Ce gazomètre devait, en outre, nous servir pour contrôler les indications du compteur. A plusieurs reprises nous avons fait passer le contenu de la cloche dans le compteur et nous avons trouvé que les indications de cet instrument représentaient, à un cinquantième près, le volume réellement extrait du gazomètre, même quand l'écoulement avait lieu par saccades et par la succion même de la machine. On sait que les compteurs à gaz ne mesurent pas toujours avec une pareille exactitude, et il était indispensable pour l'objet que nous nous proposions que le nôtre, bien que contrôlé, fût à nouveau reconnu exact.

Dans toutes nos expériences, le même compteur, dit de 30 becs, a servi à mesurer le gaz; le nombre des révolutions de la machine a été enregistré par un compteur de tours; l'eau de circulation a été mesurée avant et après son emploi dans des mesures métriques; le même frein a servi à calculer le travail; il avait été préalablement équilibré; son bras de levier avait 1.50, et le poids supplémentaire appliqué à l'extrémité du frein est resté constant pendant toute la durée d'une même expérience, bien qu'il ait varié d'une expérience à l'autre entre les limites de 1k.75 à 4k.50. Le travail par tour était au maximum de 42,42 k., au minimum de 16,50; mais cette dernière circonstance ne s'est présentée que lorsqu'on a volontairement gêné l'arrivée du gaz, de manière à reconnaître l'influence d'une consommation réduite jusqu'à exagération.

L'admission normale du gaz d'éclairage était d'environ 0.420 litres par tour, elle s'est abaissée exceptionnellement jusqu'à 0.321; si l'on rapproche ce volume des 5.5 qui sont développés par le mouvement du piston à chaque tour, on voit que la proportion du volume total qui représente celui du gaz dépensé est représentée par $0.420 : 5.5 = 0.076$ et $0.321 : 5.5 = 0.058$.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les diverses expériences ont été faites dans l'ordre suivant :

17 *mars*. — La machine fonctionne avec le robinet d'admission ouvert en plein : le frein est chargé de manière à obtenir le travail d'un cheval-vapeur; l'eau de circulation est réglée de manière qu'elle sorte à la température de l'eau bouillante, c'est-à-dire au minimum de ce qui est nécessaire. La soudure de plombier placée sur la bride qui est à la naissance du tuyau d'échappement est fondue en quelques instants. La machine marche avec régularité à la condition d'un graissage très-fréquent du cylindre; elle ne s'arrête qu'une seule fois, et au moment de la remettre en marche une explosion assez forte se produit à l'extrémité du tuyau d'échappement.

18 *mars*. — L'inflammation ne se fait régulièrement que dans une des chambres du cylindre; on change l'un des inflammateurs, dont les fils de platine ont été écrasés par le choc du piston.

19 *mars*. — L'orifice d'admission est à demi fermé par un robinet; la marche est beaucoup moins régulière malgré l'enlèvement d'une partie du poids de frein : on réduit successivement ce poids à 1.75 et à 3 kilogrammes.

Dans la soirée du même jour on fait marcher la machine avec et sans gazomètre, pour observer l'effet produit sur la flamme des becs des amphithéâtres voisins.

20 *mars*. — On marche dans les mêmes conditions que le premier jour, mais en exagérant la quantité d'eau de circulation dont la température ne s'élève plus que de 50°. Bonne marche, quoiqu'un peu irrégulière. On démonte ensuite la machine pour en visiter et en nettoyer toutes les parties; nous indiquerons en leur temps les observations auxquelles a donné lieu cet examen.

22 *mars*. — Expérience prolongée, dans les mêmes conditions que le 17 mars, mais avec un peu plus d'eau de circulation, de manière à n'élever l'eau chaude qu'à 90°. La machine s'arrête trois fois sous l'action du frein. Une explosion se produit à l'échappement à la reprise.

Dans ces deux dernières expériences, on prend note de toutes les données nécessaires pour apprécier les dépenses relatives à l'entretien de la pile et au graissage.

Avant d'examiner en elles-mêmes les différentes indications qui résultent de ces expériences, nous réunirons dans un tableau

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'ensemble les données principales, en prenant soin d'isoler celles du 19, alors que l'admission du gaz était volontairement troublée :

TABLEAU DES EXPÉRIENCES faites SUR LA MACHINE LENOIR.	le 17 mars.	le 20 mars.	le 22 mars.	le 19 mars.	le 19 mars.
Durée de l'expérience (en heures et fractions décimales de l'heure)	5.00	3.95	4.80	1.20	1.00
Nombre total des tours de la machine	28.350	24.165	30.975		
Tours par minute	94.50	101.96	107.55	129.93	134.90
Poids au frein	4.50	4.20	4.20	1.75	3.00
Travail par tour	42.42	39.58	39.58		
Travail par seconde	67.81	67.24	74.28		
Travail en chevaux	0.90	0.896	0.99	0.48	0.83
Consommation du gaz en litres	12056	10000	13000	3000	3000
Volume de gaz par tour en litres	0.402	0.414	0.420	0.321	0.379
Volume de gaz par force de cheval et par heure	2608.8	2825.5	2708	5252	3619
Volume total d'admission par minute en litres	320	561	502	715	725
Volume total d'admission pendant l'expérience	21200	33660	31520	12900	13580
Proportion du gaz d'éclairage en volume	0.077	0.075	0.085	0.056	0.058
Température des gaz brûlés à la sortie du tuyau d'échappement	150°	154°			
Volume de l'eau de circulation en litres	554	1164	681		
Température de l'eau à l'entrée	10	10	10		
Température de l'eau à la sortie	02	60	90		
Chaleur recueillie par l'eau de circulation pendant l'expérience	45328	58200	54720		
Chaleur dégagée par la combustion (par le calcul)	72336	60000	78000		
Proportion de la chaleur perdue par l'eau de circulation	0.626	0.970	0.691		

Nous examinerons maintenant chacun des éléments de ce tableau avec les indications qu'ils comportent.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1. *Consommation par force de cheval et par heure.*

Les expériences principales, pendant lesquelles le travail par tour a peu varié, ont conduit aux consommations de gaz suivantes :

	lit.
17 mars.	2698.8
20 mars.	2825.5
22 mars.	2708.0
Moyenne.	2744.1

Il nous paraît que ce chiffre doit être compté pour la consommation normale de la machine, car cette consommation est dans une proportion notablement plus grande lorsqu'on introduit une moindre proportion de gaz d'éclairage, et les dimensions des orifices de gaz ne permettaient pas de l'introduire en plus grande quantité.

Nous avons cependant passé sous silence les diverses expériences dans lesquelles l'inflammation n'était pas franchement accusée à chaque coup de piston, et nous devons, d'après cela, croire que, pour les machines de cette dimension au moins, on obtiendrait toujours un résultat à peu près identique.

2. *Limites entre lesquelles la machine peut être employée.*

Les observations qui suivent reçoivent une nouvelle confirmation de cette circonstance, que le travail par tour diminue rapidement lorsque l'admission du gaz d'éclairage est diminuée. Il en résulte que la puissance de la machine ne peut être utilement modifiée qu'en modifiant sa vitesse et en diminuant la résistance qui lui est opposée.

Notre machine, de 24 centimètres de diamètre, ne peut servir convenablement que pour une puissance très-peu différente d'un cheval, bien que le volume du cylindre soit beaucoup plus grand que celui d'une machine à vapeur de cette force.

3. *Développement du travail dans le cylindre.*

Nous avons pu cette fois disposer notre indicateur de manière à avoir dans nos diagrammes une ligne de base presque aussi longue que la course même du piston.

Cette course du piston mesurée sur les plaques conductrices sur lesquelles passe l'étincelle se décompose ainsi qu'il suit :

Avant le contact.	$0^m.067$
Après le contact.	0 .053
Total.	0 .120

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'espace libre compris entre les deux plaques de contact est de 14 millimètres; il présente, par rapport à l'épaisseur du piston, qui est de 30 millimètres, une différence de 16 millimètres.

L'examen des diagrammes fait voir que la pression ne se développe dans le cylindre qu'à une distance moyenne de 80 millimètres, à partir du commencement de chaque course, et qu'ainsi le moment de l'inflammation paraît différer notablement de celui qu'indiquent les conditions matérielles de l'exécution.

Les différences observées démontrent que l'emploi de l'indicateur est peut-être plus utile encore pour l'étude des machines à gaz que pour celle des machines à vapeur, puisque dès les premiers essais il nous a fait voir certaines irrégularités qu'il est bon de faire connaître.

Dans la machine sur laquelle nous avons expérimenté, l'inflammation est plus retardée dans la chambre la plus rapprochée de l'arbre de la machine, quelquefois du temps nécessaire pour que le piston parcoure 30 millimètres.

Il y a, entre les inflammations successives dans une même chambre, des différences qui, pour la même vitesse de régime, diffèrent de 12 à 18 millimètres.

La vitesse de la machine a une grande influence sur le moment de l'inflammation. Dans la meilleure marche, celle de 80 tours environ, la distance mesurée sur les diagrammes entre les pieds des branches ascendantes des courbes variait de 22 à 27 millimètres; lorsqu'on desserrait le frein et que la machine marchait à 200 tours, cette distance atteignait 65 millimètres.

Des observations suivies faites par ce moyen pourraient donner quelques indications sur les retards que les différents obstacles opposent au passage de l'étincelle. Au point de vue mécanique elles suffisent pour nous démontrer que l'on ne ferait pas marcher avec le même avantage les machines à gaz à toutes vitesses: nous pensons qu'une vitesse de 100 tours est déjà un peu exagérée sous le rapport de la régularité de l'inflammation.

On observe, d'ailleurs, que l'ordonnée maxima est généralement plus grande lorsque l'inflammation se rapproche autant que possible du milieu de la course : elle est beaucoup plus petite lorsque cette inflammation est retardée, et que par conséquent la chaleur dégagée par la combustion est obligée de se reporter sur un volume de gaz plus considérable.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La plus grande ordonnée que nous ayons observée est de 48 millimètres, ce qui correspond, d'après la tare du ressort de l'indicateur, à une pression absolue de $48 : 11 + 1 = 5.36$ atmosphères.

Un grand nombre de diagrammes accusent une pression très-peu différente de ce maximum; mais dans l'autre chambre du cylindre nous n'avons généralement observé qu'une ordonnée de 36 à 40 millimètres dans les mêmes conditions.

Cette irrégularité dans les tracés nous oblige à appeler l'attention des industriels sur la nécessité de maintenir en bon état tous les contacts, et elle donne l'explication des différences de vitesse très-considérables dans la machine, malgré la permanence absolue de la résistance qu'on lui oppose.

La figure ci-jointe offre une réduction exacte de l'un de nos

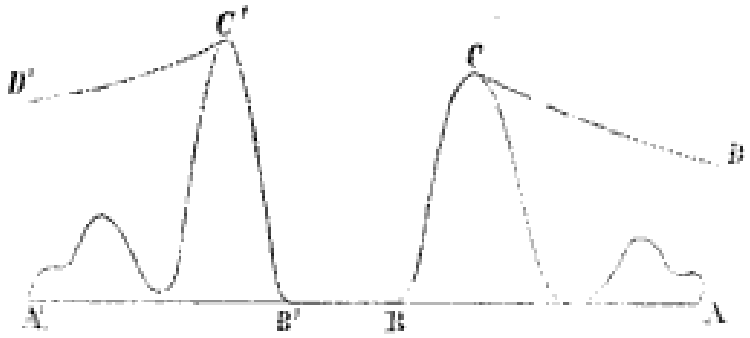


Fig. 1.

meilleurs diagrammes. Nous y avons, pour les deux courbes, ajouté en CD et C'D' le tracé qui correspondrait à la loi de Mariotte[1], et qui serait à peu près celui que l'on obtiendrait dans une machine à vapeur. L'examen comparatif de ces courbes fait voir que la pression baisse beaucoup plus rapidement dans la machine à gaz, et c'est sans doute ce fait qui a engagé les constructeurs à leur donner, en général, une très-faible course par rapport à leur diamètre. Dès lors le point de la course auquel l'inflammation doit se faire doit être déterminé avec une très-grande précision pour que l'effet utile soit favorable.

[1] Nous aurions pu comparer la courbe du diagramme avec la courbe logarithmique à laquelle conduit la loi de Laplace; mais il nous a paru plus convenable de le faire par rapport à l'hyperbole équilatère qui représente la loi de Mariotte, parce que c'est celle que l'on a l'habitude de considérer dans l'étude des effets de la détente de la vapeur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

4. *Examen des gaz de la combustion.*

Quelques détails sont peut-être nécessaires pour que l'on puisse apprécier exactement les conditions dans lesquelles se produit la combustion dans les machines à gaz.

D'après les analyses de M. Payen, le mètre cube de gaz d'éclairage est moyennement composé de la manière suivante :

Hydrogène protocarboné	0,59
Hydrogène bicarboné	0,09
Oxyde de carbone	0,07
Hydrogène	0,24
Azote	0,01
Total	1,00

L'hydrogène protocarboné exige, pour être complétement brûlé, deux volumes d'oxygène, l'hydrogène bicarboné trois volumes, l'hydrogène et l'oxyde de carbone un demi-volume seulement, et tous calculs faits 1,60 mètre cube, correspondant à 7,510 mètres cubes d'air atmosphérique.

On voit donc qu'en admettant les deux gaz dans la proportion de 1,60 à 7,510, ou de 0,13 à 1,00, on pourrait à la rigueur obtenir la combustion de tous les éléments du gaz employé.

La proportion de 0,077 ne représente que $0,077 : 0,13 = 0,6$ de ce chiffre; la proportion du gaz d'éclairage pourrait donc être augmentée dans une certaine mesure, et la chaleur dégagée par la combustion se trouvant alors reportée sur un moindre volume de produits gazeux, la température, et par conséquent la pression due à l'explosion seraient plus considérables; mais alors aussi l'échauffement du cylindre serait plus grand et les difficultés de la marche pourraient être exagérées par cette cause.

Au reste, nous avons eu soin, dans nos expériences, d'ouvrir en plein le robinet communiquant avec le compteur, et nous avons, par conséquent, admis le plus grand volume de gaz que comportaient les conditions actuelles de la machine.

Les conditions qui précèdent doivent influer d'une manière notable sur la combustion : lorsque l'une des étincelles manque absolument, le gaz combustible est perdu sans s'enflammer, et nous avons vu que dans certaines circonstances il détonait en pure perte à l'extrémité de la conduite.

Mais ces accidents sont rares, et dans l'examen qui a été fait

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des gaz brûlés, nous avons eu soin de n'opérer que sur ceux qui avaient été recueillis pendant la meilleure marche de la machine.

M. Boussingault a bien voulu se charger de l'analyse de ces gaz; elle a été faite sous sa direction par M. Brustlein.

Nous entrerons dans quelques détails sur les éléments de cette analyse dont les résultats nous paraissent d'un assez grand intérêt.

Les produits de l'échappement ont été amenés dans un petit ballon au moyen d'un long tube qui plongeait de 1m,20 dans le tuyau d'émission. On a fait passer dans ce tube environ 25 litres de gaz d'échappement, afin d'être bien assuré que l'air avait été complétement expulsé, et le produit contenu dans le ballon a été analysé de la manière suivante :

Ce gaz humide avait un volume de 20,3 centimètres cubes, à la température de 13°,3, et sous une pression de 759,9 millimètres de mercure — 40,7. En réduisant ce volume à 0 et à la pression de 760 millimètres de mercure, on trouve qu'il équivaut dans ces conditions à 17,98 centimètres cubes.

Pour déterminer la proportion d'oxygène, le gaz a été soumis pendant vingt-quatre heures à l'action du phosphore; le volume a été réduit sous cette action à 19,52 centimètres cubes à la température de 13°, et sous la pression de 755,2 millimètres — 36,3. Réduction à 0 et à 760 millimètres, 17,46 centimètres cubes : La différence 0,52 donne le volume de l'oxygène.

L'absorption de l'acide carbonique a ensuite été faite par la potasse, qui en même temps a desséché le gaz; volume de gaz sec, 17,85 centimètres cubes à la température de 15°,25, et sous la pression de 750,2 — 31,5. Réduction à 0 et à 760 millimètres, 15,99 centimètres cubes. La différence 1,47 donne le volume 1,47 de l'acide carbonique.

L'oxyde de carbone a été absorbé par le protochlorure de cuivre; volume de gaz sec après l'absorption 18,05 à la température de 14°,3, et à la pression de 749,1 — 40,0. Ce volume réduit à 0 et à 76 étant de 16 centimètres cubes, on doit conclure de cette détermination que le gaz soumis à l'analyse ne contenait pas d'oxyde de carbone.

Le résidu a été introduit dans un eudiomètre; mesuré de nouveau après ce transvasement, son volume a été de 18 centimètres cubes, à 13°,4 et à la pression 758,4 — 44,7. Volume à 0 et à 760

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

15,95 centimètres cubes; on n'a pas tenu compte de la petite différence 0,05 qu'il faut attribuer à la perte faite dans cette opération.

Après introduction d'une certaine quantité d'oxygène dans l'eudiomètre, on a trouvé que le volume de gaz humide s'élevait à 29,4 centimètres cubes, à la température de 13°,5 et à la pression 758,4 — 40. Le volume calculé étant dans ces conditions 26,05, on voit qu'il a été introduit 10,10 centimètres cubes d'oxygène.

Après la détonation, la réduction de volume a été telle que le gaz occupait 28,4 centimètres à 13°, et à la pression 762,3 — 45,8; soit à 0° et à 760 25,16 centimètres cubes. La réduction de volume est donc de 0,89 centimètres cubes et il faut maintenant établir quelle est la composition des gaz ainsi brûlés.

Après l'absorption par la potasse, le volume du gaz humide restant est de 27,75 centimètres cubes à la température de 13°,1, et à la pression 763,4 — 36,0, soit de 24c,95 après toutes réductions effectuées. La différence 0,21 centimètres cubes représente de l'acide carbonique, qui ne peut provenir que d'une certaine quantité d'hydrogène protocarboné.

Ce volume d'acide carbonique correspond à un volume égal d'hydrogène protocarboné, qui a consommé pour sa combustion deux fois son volume d'oxygène, soit 0,42 centimètres cubes.

Les 0,89 centimètres cubes qui représentent la réduction du volume lors de l'inflammation sont donc formés pour 0,42 centimètres cubes d'oxygène, et les 0,47 restant correspondent aux produits de la combustion d'une certaine quantité d'hydrogène dont le volume est donné par la relation $0{,}47 \times \frac{2}{3} = 0{,}31$ centimètres cubes.

L'azote se trouve maintenant connu par différence, et la composition du gaz soumis à l'analyse peut être établie comme il suit, tant par rapport au volume primitif de 17.98, qu'en centièmes.

Oxygène.	0.52	2.89
Acide carbonique.	1.47	8.18
Hydrogène protocarboné.	0.21	1.17
Hydrogène.	0.31	1.72
Azote.	15.47	86.04
Totaux.	17.98	100.00

On peut tout d'abord conclure de ces chiffres que la combus-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tion se fait bien dans le cylindre de la machine, puisque trois centièmes seulement en volume sont restés à l'état d'hydrogène libre, ou à l'état d'hydrogène carboné. Il était nécessaire qu'il en fût ainsi pour tirer tout le parti possible du gaz employé, et à cet égard nos expériences paraissent avoir été faites dans de très-bonnes conditions. Mais cette observation n'est pas la seule que l'on puisse déduire de l'analyse de M. Brustlein, et il était utile de rechercher si cette composition du gaz brûlé correspond avec quelque exactitude à celle que l'on pourrait calculer, d'après les proportions relatives de l'air et du gaz d'éclairage qui ont été simultanément introduites dans le cylindre de la machine.

A cet égard, nous avons été conduits à admettre pour composition moyenne du mélange explosif en volumes :

Gaz d'éclairage.	0.077
Air atmosphérique.	0.923
Total.	1.000

En admettant que le gaz d'éclairage eût ici sa composition moyenne, les chiffres précédents reviendraient à ceux-ci :

0.077 de gaz d'éclairage formé de		
Hydrogène protocarboné.	0.077 × 0.59	0.045
Hydrogène bicarboné.	0.077 × 0.09	0.007
Oxyde de carbone.	0.077 × 0.07	0.005
Hydrogène.	0.077 × 0.12	0.010
Azote.	0.077 × 0.04	0.003
0.923 d'air atmosphérique formé de		
Oxygène.	0.923 × 0.213	0.197
Azote.	0.923 × 0.787	0.726
Total.		0.999

L'hydrogène protocarboné exige deux fois son volume d'oxygène, l'hydrogène bicarboné trois fois son volume, l'oxyde de carbone et l'hydrogène un demi-volume seulement; de sorte que l'on peut tout à la fois former le tableau suivant des éléments de la combustion et des produits qui en doivent résulter, en tenant compte des modifications en volumes qui en résultent.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	PROPORTIONS en volumes.	OXYGÈNE employé dans la combustion.	ACIDE carbonique formé.
Hydrogène protocarboné.	0,045	0,090	0,045
Hydrogène bicarboné.	0,007	0,021	0,014
Oxyde de carbone.	0,005	0,0025	0,005
Hydrogène.	0,016	0,008	
Oxygène.	0,197		
Azote.	0,726		
Totaux.	0,999	0,122	0,064

En ne tenant aucun compte de la quantité d'eau produite, on voit qu'en définitive les gaz brûlés devraient être formés de 0.064 d'acide carbonique; $0.197 - 0.122 = 0.075$ d'oxygène et 0.726 d'azote, pour un volume total de 0.865.

En appliquant ces éléments à un volume représenté par 100, nous pouvons maintenant mettre en regard la composition déduite de l'analyse, et celle déduite du calcul ainsi qu'il suit :

	Composition réelle en volume.	Composition calculée en volume.
Oxygène.	2.89	8.67
Acide carbonique.	8.18	7.40
Hydrogène protocarboné.	1.17	» »
Hydrogène.	1.72	» »
Azote.	86.04	83.93
	100.00	100.00

Ce rapprochement nous semble très-remarquable en ce que les chiffres à comparer sont presque identiques pour ce qui concerne l'azote et l'acide carbonique. Seulement une proportion plus grande d'oxygène a disparu, ce que l'on pourrait expliquer en supposant qu'une certaine quantité d'huile s'est brûlée, ou que quelque partie de métal se sera oxydée à la température évidemment trop grande à laquelle la machine est exposée.

Toujours est-il que la combustion de tous les produits combustibles a été aussi parfaite qu'on peut l'espérer dans des expériences de cette nature.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3. *Chaleur dégagée par la combustion.*

La chaleur dégagée par la combustion d'un mètre cube de gaz peut être calculée d'après les dernières déterminations qui ont été faites des pouvoirs calorifiques des différents gaz par MM. Favre et Silbermann; mais il faut dans ce calcul les faire intervenir chacun pour son poids comme il suit :

Hydrogène protocarboné.	$0.59 \times 0.727 = 0.429$
Hydrogène bicarboné.	$0.09 \times 0.275 = 0.025$
Oxyde de carbone.	$0.07 \times 1.263 = 0.088$
Hydrogène.	$0.21 \times 0.090 = 0.019$
Azote.	$0.04 \times 1.256 = 0.050$
Poids du mètre cube.	0.611 k.

Les chiffres de MM. Favre et Silbermann ont été obtenus en liquéfiant dans leur calorimètre tous les produits condensables; il n'en est pas ainsi lors de la combustion des gaz dans la machine, et c'est pour cette raison que nous avons dû corriger leurs chiffres de toute la chaleur latente nécessaire à la formation de la vapeur d'eau. En opérant de cette manière, on trouve pour les éléments du pouvoir calorifique du mètre cube de gaz d'éclairage les nombres suivants :

0.429 hydrogène protocarboné.	$\times 117.98 = 5061.24$
0.025 hydrogène bicarboné.	$\times 110.81 = 277.02$
0.088 oxyde de carbone.	$\times 24.02 = 211.38$
0.019 hydrogène.	$\times 290.03 = 551.06$
0.050 azote.	$\times 0.00 = 0.00$
Pouvoir calorifique d'un mètre cube de gaz d'éclairage. . . .	6100.70

soit environ 6000 calories. C'est là le chiffre que nous emploierons dans toutes nos évaluations ultérieures. Un mètre cube de gaz d'éclairage fournirait environ les trois quarts de la chaleur que peut dégager la combustion d'un kilogramme de houille ordinaire.

La température des gaz produits par la combustion est sans doute très-grande; mais si l'on réfléchit que chaque coup de piston ne fait entrer dans le cylindre qu'un volume de gaz d'éclairage égal à 0,402 litres ou à 0,000402 mètre cube, on voit que la chaleur dégagée par coup de piston s'élève seulement à $6000 \times 0,000402 = 24$ calories; on ne sera pas étonné que la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

température de ces gaz s'abaisse presque instanément au contact des parois en métal.

Quant à la température absolue au moment de l'inflammation, on pourrait la calculer approximativement en tenant compte de tous les produits de la combustion, c'est-à-dire de l'eau, de l'acide carbonique, de l'oxygène et de l'azote qui représentent les éléments mis en présence au moment de l'inflammation. Nous en donnerons un peu plus loin une valeur approchée.

6. *Dépense d'eau.*

A moins de transformer une grande partie de l'eau de circulation en vapeur, il résulte de nos expériences qu'il ne faut pas dépenser par force de cheval et par heure moins de 120 litres d'eau, et encore les gaz de la combustion sortent-ils du cylindre à une température supérieure à celle de fusion de la soudure des plombiers; on ne peut estimer cette température au-dessous de 220°, et les gaz produits conservent encore plus de 150° à l'extrémité d'une conduite d'échappement de 3 mètres.

Cette dépense d'eau, qui paraît être accessoire dans le fonctionnement des machines à gaz, est cependant quadruple de l'estimation que l'on porte sur celle des machines à vapeur à haute pression. Il ne serait cependant pas absolument juste d'en conclure que les machines à gaz consomment plus d'eau que les machines à vapeur, à égalité de force motrice développée. La même eau peut servir d'une manière continue, à la condition qu'elle sera puisée dans un réservoir assez grand pour que le refroidissement de ce réservoir ait le temps de s'opérer dans des limites suffisantes. Des dispositions fort ingénieuses sont adoptées dans ce cas pour profiter de la moindre densité du liquide chaud, pour la faire retourner au sommet du réservoir d'où elle s'écoule; mais on ne saurait estimer à moins de 10 hectolitres la capacité qui conviendrait à un échauffement par heure de 120 litres à 90°, et le placement de ce réservoir ne laisse pas que d'être un inconvénient dans la plupart des circonstances qui semblent le mieux appropriées à l'emploi du nouveau moteur.

Cet inconvénient ne sera vraiment évité que dans les cas où l'on pourra disposer d'un filet d'eau continu provenant d'une canalisation publique, et c'est précisément dans ces circons-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tances que les incrustations seront le plus à craindre dans les enveloppes.

Il faut d'ailleurs ajouter que si l'on voulait faire sous ce rapport une comparaison avec les machines ordinaires à condensation, la consommation de l'eau de condensation ne s'élèverait pas à moins de 400 litres par force de cheval et par heure, et que c'est seulement dans ces conditions que les machines à vapeur sont réellement économiques.

7. *Utilisation de la chaleur développée.*

Nous avons pu au § 5 évaluer la chaleur totale dégagée par la combustion du gaz.

Il est encore plus facile de déterminer celle qui est employée à chauffer l'eau de circulation, puisque nous connaissons le volume d'eau sur lequel on opère et l'élévation de la température de cette eau. Dans l'expérience du 20 mars, les 0,97 de la chaleur développée par la combustion se retrouvent dans l'eau de circulation; mais ce chiffre est sans doute exagéré et nous aimons mieux prendre pour base de notre estimation la moyenne entre les résultats des deux autres expériences, ce qui réduirait la perte par l'eau de circulation à 0,66 seulement de la chaleur dégagée par la combustion. Toujours est-il que dans le fonctionnement de la machine qui nous occupe on perd au moins de ce chef les deux tiers de la chaleur produite.

La perte par les gaz brûlés est d'une appréciation plus difficile; si nous pouvons déterminer leur poids avec quelque exactitude, il n'en est pas de même à l'égard de leur température et de leur capacité pour la chaleur.

Lorsque le gaz d'éclairage brûle complétement et que, comme dans le cas actuel, on peut admettre qu'il n'y a aucune condensation de vapeur d'eau, l'élévation de la pression maxima peut donner une estimation approchée de la température au moment de l'inflammation. Pour une pression de 6 atmosphères, et en négligeant les petites variations de volumes qui résultent du nouvel état de combinaison, on pourrait admettre [1] que la

[1] En fait, il faudrait, en admettant notre composition moyenne, 1^{mc} de gaz d'éclairage, et 1^{mc},60 d'oxygène pour former à même température 2^{mc},45 de gaz après la combustion. Cette condensation qui résulte du nouvel état

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

température unitale serait obtenue en donnant au module de dilatation $1+\alpha t$ une valeur égale à 6, ce qui conduirait à $t=5:0{,}00367=1362^{o}$; mais cette température, si elle est atteinte, ne se développe, ainsi que le montrent les diagrammes de la pression, que successivement et elle est rapidement amoindrie par le refroidissement auquel on soumet constamment les parois métalliques des cylindres. La plus grande partie de la chaleur se trouve, ainsi que nous venons de le voir, enlevée par l'eau de circulation, une autre par l'expansion même des gaz, pendant que la détente se produit, et nous ne devons plus compter que sur une température de 250° à la sortie du cylindre. En admettant dans un premier calcul que le mètre cube des gaz mélangés avant la combustion pesait 1 kilogramme, que leur température fût de 250° à la sortie du cylindre, que leur capacité pour la chaleur fût peu différente de 0,25, on pourrait calculer pour les deux expériences des 19 et 22 mars la chaleur perdue à l'échappement de la manière suivante.

Poids des gaz employés pendant l'expérience.	17 mars. . . .	$31^{k},200$
— — —	22 mars. . . .	31 .520
	Moyenne.	$31^{k}.360$

Chaque kilogramme aura exigé pour atteindre 250° une quantité de calories exprimée par $250^{o}\times 0{,}25=62{,}50$, et les $31^{k},360$ auront exigé une dépense totale de $62{,}50\times 31^{k},360=196$ calories qui ne représenteraient pas plus de 0,0026 de la chaleur totale dégagée ou trois millièmes environ.

Nous retrouvons donc dans les produits :

0,66 de la chaleur dégagée dans l'eau de circulation,
0,0026 dans les gaz à l'échappement.

Le surplus est perdu en radiation et pour partie seulement converti en travail.

Si l'on appliquait le coefficient de Joule à cette production du travail de 1 cheval environ pendant une moyenne de $1^{h},90$, c'est-à-dire à une production totale de $75\times 3600\times 1{,}90=1323000$

de combinaison est donc de 0,15 par chaque mètre cube de gaz d'éclairage, et dans le cas actuel de $0{,}15\times 0{,}0077=0{,}001155$, environ 1 millième du volume total d'admission. On voit donc qu'il n'est pas nécessaire de tenir compte de cette réduction de volume dans les calculs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

kilogrammètres, on trouverait un nombre de calories égal à 1323000 : 425 = 3113.

Ces 3113 calories ne représentent que 3113 : 75166 = 0,04 de la chaleur totale, en telle sorte que la totalité de la chaleur semblerait être répartie de la manière suivante :

Chaleur retrouvée dans l'eau et les gaz.	0.63
Chaleur correspondant au travail.	0.04
Pertes qui ne peuvent être estimées.	0.37
Total.	1.00

La seule conséquence, d'ailleurs, que l'on puisse tirer de ce calcul consisterait en ce que la machine à gaz n'utiliserait, non plus que la machine à vapeur, que les quatre centièmes de la chaleur développée par la combustion.

8. *Comparaison avec les machines à vapeur sans condensation.*

Si nous admettons qu'une machine à vapeur consomme 3 kilogrammes de houille par force de cheval, la chaleur dégagée sera, d'après les nombres admis, $3 \times 8000 = 24{,}000$ calories.

Une machine à gaz consommant 2750 litres de gaz, à raison de 6000 calories par mètre cube, n'exigerait que

$$2{,}750 \times 6000 = 14500.$$

Sur ces bases, le combustible serait mieux utilisé dans la machine à gaz; il le serait aussi bien que dans une machine à vapeur à condensation, qui consommerait 14,500 calories par force de cheval ou 1,8 kilogrammes de houille seulement, c'est-à-dire presque aussi bien que dans la meilleure machine à vapeur.

Au point de vue économique il en est tout autrement, car une machine qui ne consomme que 3 kilog. dépensera seulement $3^k \times 0.04 = 0^f.12$ en estimant le kilogramme de houille à 4 centimes, tandis que la machine à gaz dépensera $2.750 \times 0.30 = 0^f.825$, à raison de $0^f.30$ par mètre cube de gaz d'éclairage. La dépense sera 6 fois aussi grande. Et ce qu'il y a de très-intéressant dans ce parallèle, c'est que dans l'un et l'autre cas on aura comme résidu de chaleur dans l'eau chaude perdue :

$400 \times 40 = 16000$ calories pour la machine à vapeur que nous supposerons à condensation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

$120 \times 80 = 16000$ calories pour la machine à gaz dans l'eau de condensation.

L'infériorité de la machine à gaz dans la pratique résulte uniquement du prix relativement plus cher du combustible; mais nous verrons d'ailleurs qu'elle offre certains avantages particuliers qui la recommandent à la petite industrie.

9. *Dépense d'huile.*

La haute température qui se développe dans le cylindre oblige à un graissage d'autant plus fréquent que les matières grasses sont très-rapidement carbonisées, et qu'elles se déposent sous forme de croûtes charbonneuses sur toutes les parties de la machine.

Le 17 mars nous avons dépensé 160 gr. d'huile en 5 heures.
Le 22 mars — 215 gr. — en 4.80.

soit au total 365 gr. d'huile en 10 heures de travail.

Cette dépense inévitable peut s'évaluer à 1 franc par jour, soit à 0.10 par chaque heure de travail effectif: la machine se ralentit après 15 minutes de marche si l'on n'a pas soin de graisser abondamment.

10. *Dépense de la pile.*

Afin de ne rien négliger dans nos évaluations de la dépense, nous avons voulu nous rendre compte de celle de la pile, qui se composait de 2 éléments de Bunsen, dont les charbons avaient $0^m,25$ de hauteur et étaient immergés jusqu'à $0^m,18$.

Nous nous sommes d'ailleurs assuré qu'un seul de ces éléments ne suffisait pas pour enflammer le gaz dans le cylindre.

Dans l'expérience du 20 mars la pile a fonctionné pendant $4^h,75$. Elle avait été chargée avec $3^k,349$ d'eau acidulée avec l'acide sulfurique et marquant 16° à l'aréomètre, et avec 0.630 d'acide azotique à 38°. Ces dissolutions marquaient respectivement 19 et 35° à la fin de l'expérience, et le poids des zincs, nouvellement amalgamés, avait diminué de 19 gr. Dans l'expérience du 22, pour 5 heures, les chiffres sont à peu près identiques : eau acidulée à 15°, $3^k,414$, marquant 17° à la fin; acide azotique à 38°, $0^k,667$, réduit à 35° à la fin de l'expérience; poids du zinc dissous 19 gr.

Mais il importait de contrôler ces résultats des pesées par une analyse exacte des liquides qui avaient servi dans la pile.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le liquide, chargé de sulfate de zinc, avait un volume total de 2,895 litres; l'analyse qu'en a faite M. Saint-Edme a porté seulement sur 30 centimètres cubes, où elle a décelé la présence de 0.272 gr. de zinc métallique; ce dosage correspondrait à une teneur totale en zinc de $\frac{2.895 \times 0.272}{0.003} = 26{,}248$ gr. Nous pensons que cette évaluation est plus exacte que celle qui résulte de la pesée directe des éléments encore humides, immédiatement après leur sortie de la dissolution. Du reste cette consommation pourrait être plus considérable si le zinc était mal amalgamé et nous l'évaluerons pratiquement à 30 gr. pour 5 heures ou à 6 gr. de zinc par heure. M. Becquerel a bien voulu faire d'après ces indications l'évaluation de la dépense en argent.

D'après les réactions de la pile chaque équivalent de zinc doit consommer, pour passer à l'état de sulfate de zinc, un équivalent d'acide sulfurique, et en même temps un équivalent d'acide azotique doit être décomposé, en telle sorte que la dépense totale a lieu dans les proportions suivantes :

Zinc, Zn.	32.75
Acide sulfurique, $So^3 + HO$.	49
Acide azotique, $AzO^5 + 4HO$.	90

En rapportant ces dépenses à notre consommation de 6 grammes de zinc nous trouvons :

0.006 kil.	zinc	à 0.80 le kilogr.	0.0048
0.008	acide sulfurique	à 0.18 le kilogr.	0.0015
0.016	acide azotique	à 0.56 le kilogr.	0.0090
		Total.	0.0153

Soit environ un centime et demi pour les deux couples et par heure.

En réalité la dépeuse est plus considérable en ce que les acides ne peuvent pas servir jusqu'à complet épuisement, et pour tenir compte de cette circonstance, M. Becquerel l'estime au double de celle qui vient d'être calculée, soit à 3 centimes par heure. C'est en doublant de la même façon le chiffre théorique que l'on évalue habituellement la dépense des piles employées dans l'industrie, dépense qui est amoindrie de beaucoup, dans le cas actuel, par suite des intermittences de l'action.

En résumé, les deux éléments employés pour le service de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

machine sur laquelle nous avons expérimenté ne coûteraient que trente centimes pour un travail de dix heures. Cette dépense est réellement très-faible.

11. *Nettoyage et entretien de la machine.*

Nous avons dit qu'avant la dernière expérience du 22 mars nous avions visité toutes les parties de la machine, qui avoisinent le cylindre.

A l'intérieur un cambouis solide s'était formé sur toutes les parties non frottantes : quelques-unes des lumières des tiroirs étaient obstruées ; cependant les ressorts du piston continuaient à fonctionner et la surface sur laquelle ils glissaient n'était nullement altérée. Un nettoyage fréquent permettrait seul de maintenir sous ce rapport la machine en bon état.

Les divers conduits servant à la circulation de l'eau étaient déjà recouverts d'incrustations, à ce point que l'eau ne passait qu'avec peine autour du tiroir d'échappement ; des regards sont, il est vrai, disposés pour le nettoyage, mais nous les regardons comme insuffisants, et il conviendra certainement de les multiplier.

La conduite de la machine ne doit être confiée qu'à un chauffeur attentif : il faut qu'il sache démonter avec soin les différentes parties de l'appareil, et ce serait s'exposer à des chômages fréquents que de les confier à un manœuvre inintelligent. L'entretien de la pile et des communications doit également faire l'objet d'une surveillance de tous les jours.

12. *Influence sur les becs allumés dans le voisinage.*

On nous avait prévenu que des plaintes nombreuses s'élevaient de la part des consommateurs de gaz qui avaient à subir le voisinage des machines Lenoir.

Pour bien apprécier cette influence, nous avons fait fonctionner les machines après l'allumage de tous les becs des deux amphithéâtres du Conservatoire.

Lorsque notre petit gazomètre était interposé, les flammes vacillaient si peu qu'il eût été nécessaire d'être prévenu pour en faire l'observation ; cependant cette faible influence se faisait sentir jusqu'à 30 et 40 mètres à l'amont. En établissant directement la prise du gaz sur la conduite, les becs voisins de 10 mè-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tres se sont éteints; tous ceux du grand amphithéâtre étaient soumis à des variations si grandes qu'il eût été impossible de les tolérer à une distance moindre que 40 mètres; dans l'autre amphithéâtre, c'est-à-dire à plus de 100 mètres de distance, l'influence de la machine était encore très-marquée.

Ces observations prouvent que l'on ne pourrait établir directement une machine à gaz sur la conduite sans l'interposition d'un gazomètre ou tout au moins d'un réservoir régulateur; mais elles démontrent aussi que l'on écartera facilement tout inconvénient de cette nature au moyen d'un réservoir intermédiaire, auquel il suffira certainement de donner une capacité de 300 litres pour une machine de 1 cheval.

On a vu par ce qui précède les soins que nous avons pris pour nous rendre un compte exact de toutes les particularités du fonctionnement de cette machine, et l'on nous permettra sans doute de résumer nos appréciations et de dire en toute sincérité ce que nous pensons du nouveau moteur, dont aujourd'hui tout le monde s'occupe et qui a été accueilli avec une juste faveur.

M. Lenoir, en effet, a réalisé le premier l'application pratique des machines à gaz dont l'histoire antérieure, depuis Lebon[1] qui s'en est occupé le premier, ne consiste qu'en une suite d'essais, restés pour la plupart, et jusque dans ces derniers temps, sans aucune sanction industrielle.

[1] Lebon, dans son certificat d'addition du 25 août 1861, décrit la machine à gaz en termes très-précis : « Dans le cylindre *a* s'opère la combustion du gaz inflammable, qui est introduit au moyen du tuyau *b*, tandis que l'air atmosphérique nécessaire pour la combustion y est refoulé par le tuyau *c*... La boîte *g* contient quatre soupapes; leur jeu, déterminé par un régulateur subordonné au mouvement du piston *d*, introduit la vapeur... » On voit que cette machine différait cependant de la machine actuelle en ce que la combustion ne s'opérait pas dans le cylindre moteur, mais dans une capacité spéciale, et en ce que l'air était refoulé et non pas aspiré dans cette capacité.

« J'ai supposé l'inflammation du gaz une fois commencée; on sait que par l'étincelle électrique on peut la déterminer, même dans des vaisseaux fermés. On pourrait disposer une machine électrique qui serait mue par celle à gaz de manière à répéter les détonations dans des instants dont l'intermittence pourrait être réglée et déterminée. » Ce passage méritait, au point de vue historique, d'être reproduit.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. Marinoni, de son côté, a, comme constructeur, parfaitement groupé les différents organes, et il a apporté dans l'exécution tout le talent d'un constructeur expérimenté.

Grâce à ce double concours, la petite industrie a maintenant à sa disposition un moteur d'un transport facile, pouvant s'installer partout et consommant moins de trois mètres cubes par force de cheval et par heure.

Ce cheval ne coûtera pas plus de 1 franc par heure et il représentera pour l'industriel la force motrice de 12 hommes au moins. Le service rendu est donc considérable partout où la comparaison peut s'établir entre le prix de revient du travail du tourneur de roue et celui de la machine.

Ces cas sont nombreux dans l'industrie, et la machine à gaz se propagera avec grande utilité pour tous dans ces conditions particulières. Les avantages qu'elle présente dans ces conditions sont assez grands pour que l'industriel puisse confier la conduite de sa machine à un ouvrier soigneux ; il n'aura pas à reculer devant l'établissement d'un réservoir d'eau pour le refroidissement de son cylindre, ni devant celui d'un réservoir de gaz qui l'assurera contre toutes les réclamations du voisinage. La force motrice à un franc par cheval et par heure lui assure, d'ailleurs, cet avantage, d'être obtenue ou arrêtée à volonté, et la dépense est absolument réduite au seul temps pendant lequel il en use.

Cette part, qui nous paraît être le domaine exclusif de la machine à gaz, est assez belle, nous le pensons, pour qu'il ne soit pas nécessaire de l'exagérer. Si la comparaison avec l'emploi de la force musculaire de l'homme est de tout point avantageuse, il n'en est plus de même pour les cas où la comparaison doit être faite avec la machine à vapeur. Autant que nous puissions le conclure des faits qui se sont produits devant nous, la dépense est alors sextuplée et nous attendrons de nouveaux faits avant de croire à la possibilité d'employer économiquement la machine à gaz pour remplacer la vapeur.

L'emploi de la machine à gaz ne doit donc être recommandé encore que dans les cas où il n'est pas possible d'établir une machine à vapeur. Ainsi envisagée, elle constitue pour nous l'une des plus utiles conquêtes de la mécanique moderne.

H. Tresca.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La machine qui a servi à nos dernières expériences est représentée planche IX.

La figure 1 est une coupe longitudinale faite par l'axe de la machine.

La figure 2 est une coupe transversale montrant les dispositions des enveloppes réservées pour la circulation de l'eau autour du cylindre.

La figure 3 représente le système des conducteurs qui servent à assurer l'inflammation.

La figure 4 donne une coupe des inflammateurs qui portent les étincelles jusque dans l'intérieur du cylindre.

La figure 5 reproduit dans ses principaux détails le tiroir d'admission.

A, arbre moteur portant deux poulies servant de volants A′ et A″, l'un d'un diamètre de $0^m,975$, l'autre de $0^m,745$.

Le mouvement du piston est transmis à cet arbre, comme dans les machines à vapeur dites horizontales, au moyen d'une manivelle a et d'une bielle à fourche a'.

B, cylindre fermé à ses deux extrémités par deux couvercles creux b, b', et enfermé dans une double enveloppe B′.

C'est dans les couvercles de ce cylindre que passent les inflammateurs K et K′.

C, piston fixé par un écrou à la tige c, articulée avec la bielle à fourche; cette tige passe dans un *stuffing-box* c', et elle est guidée à son autre extrémité par un support c''.

La garniture du piston est formée par trois cercles concentriques formant ressort contre le piston, et superposés.

D, tiroir d'admission, dont le mouvement est commandé par un excentrique d, calé à la manière ordinaire sur l'arbre A des volants. Ce tiroir correspond à deux séries d' d'orifices d'admission qui desservent respectivement les deux chambres du cylindre ; le gaz arrive par les tubes d, l'air pénètre par l'intervalle libre laissé entre les deux faces du tiroir, et qui communique avec les orifices d' ménagés entre les petits tubes d.

D′, tiroir d'échappement dont les orifices sont simplement rectangulaires.

E, réservoirs en fonte dans lesquels le gaz est amené, pendant le fonctionnement de la machine, par le tube inférieur e, muni d'un robinet. Chacun de ces réservoirs ou bouteilles est percé du côté

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du tiroir d'un orifice rectangulaire, qui correspond à un orifice semblable du cylindre et qui n'en est séparé que par l'épaisseur du tiroir. L'admission a lieu toutes les fois que les orifices de ce tiroir s'interposent entre celui du cylindre et celui de la bouteille.

E', bouteilles semblables pour l'échappement des gaz après l'inflammation; les gaz qui s'échappent de ces bouteilles se réunissent par une tubulure *e'* dans le tuyau d'échappement de la machine.

F, tuyau par lequel arrive l'eau de circulation ; cette eau monte dans la bouteille E', passe dans un tuyau de communication *f*, qui réunit les deux bouteilles d'échappement, descend par la seconde de ces bouteilles, et entre dans le cylindre par le tuyau coudé F' qui prend naissance au bas de cette bouteille.

G, tuyau par lequel s'écoule l'eau de circulation qui a parcouru la double enveloppe du cylindre.

H, fils de communication entre la pile et la bobine d'induction.

I, bobine d'induction, en communication d'une part avec le cylindre, d'autre part avec le conducteur isolé *i*, fixé sur un siége en buis.

J, J', conducteurs en cuivre également isolés, et communiquant respectivement, au moyen de fils recouverts de gutta-percha avec les inflammateurs K, K'.

L, galet isolant, portant la tige de cuivre ou languette *l* qui doit établir la communication entre le conducteur général et les conducteurs J, J', particuliers à chacune des chambres du cylindre. Aussitôt que le contact est établi, par la tige *l*, entre le conducteur *i* et le conducteur J, l'étincelle passe dans la chambre postérieure du cylindre, et l'inflammation se produit.

K, boulon que l'on visse sur le cylindre et qui sert d'inflammateur. Dans l'axe de ce boulon est fixé un cylindre isolant en porcelaine, dans lequel sont insérés deux fils de platine, l'un communiquant avec le conducteur J, l'autre communiquant avec le boulon lui-même, de manière que l'étincelle puisse toujours se produire entre eux aussitôt que les communications sont établies par la languette *l*.

Le poids total de la machine avec ses deux volants et le bâti sur lequel elle est disposée est d'environ 700 kilogrammes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

RECHERCHES

SUR LES MATIÈRES TINCTORIALES

DÉRIVÉES DE L'ANILINE

PAR MM. PERSOZ, DE LUYNES ET SALVÉTAT.

PREMIER MÉMOIRE.

La distillation de diverses matières organiques, en tête desquelles on doit placer l'indigo, et la réduction de certains *composés nitrés*, avaient donné lieu à la découverte de plusieurs substances désignées par des noms qui semblaient consacrer l'existence de véritables espèces distinctes. C'est ainsi qu'on vit apparaître dans la science les noms d'*aniline*, de *benzidam*, d'*amide phénique*, de *cyanol* et de *phénil ammonioque*.

Un examen plus approfondi de ces corps eut pour résultat de prouver que, convenablement purifiés, tous ne constituaient en définitive qu'une seule et même matière bien définie, à laquelle on donna le nom d'*aniline*, dérivé d'*anile*, nom portugais de l'indigo.

Comme ce composé artificiel possédait tous les caractères chimiques des alcalis végétaux, et qu'à ce titre il pouvait se combiner aux divers acides pour engendrer *des sels* parfaitement définis, les chimistes ont dû s'occuper plus spécialement de ses combinaisons salines et de la manière dont cette base artificielle se comportait, libre ou combinée, en présence des *agents oxydants*, qui sont les réactifs le plus particulièrement employés pour caractériser et différencier les alcalis végétaux. On sait, en effet, que c'est par les phénomènes de coloration qui se développent en faisant réagir le chlore, les hypochlorites, l'acide hypochloreux, l'acide chromique, l'acide nitrique et les *suroxydes*, sur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la *quinine*, la *brucine*, la *strychnine*, la *morphine*, etc., qu'on distingue les unes des autres ces bases végétales. C'est à ce point de vue que ces mêmes agents furent mis en contact avec l'*aniline*.

Ces réactions, essayées d'abord dans un but purement analytique, ont conduit aux résultats les plus inespérés, car elles ont fait voir que l'aniline pouvait devenir la source de matières colorantes surpassant en éclat la plupart de celles préparées jusqu'alors.

Occupés depuis longtemps de l'étude de ces matières, nous nous proposons, dans ce premier travail, de décrire les propriétés qui les différencient, et de définir les circonstances qui président à leur formation.

Violet d'aniline.

Avant les travaux de Perkin, on savait peu de chose sur les colorations qu'on peut réaliser au moyen de l'aniline. Voici à cet égard les renseignements plus ou moins vagues qu'on trouve dans les traités de chimie :

« La coloration violette que l'*aniline* communique à une solution de chlorure de chaux permet à l'opérateur d'essayer rapidement les produits de la distillation, pour voir à quelle époque il ne passe plus d'aniline, car la quinoléine ne présente pas cette réaction [1]. »

« La solution des hypochlorites alcalins se colore par l'aniline en bleu violacé. Cette couleur est très-fugace et passe rapidement au rouge sale, surtout au contact des acides. Une coloration bleue semblable se produit avec l'acide sulfurique et le chromate de potasse... »

« Une solution aqueuse d'acide chromique produit dans les solutions d'aniline un précipité coloré en vert, bleu ou noir suivant la concentration de la liqueur précipitée. On peut mêler l'aniline avec l'acide nitrique étendu sans qu'elle se décompose ; mais en employant l'acide nitrique concentré et fumant, il suffit d'en verser quelques gouttes sur l'aniline pour qu'elle se colore à l'instant même en bleu foncé.

« Lorsqu'on fait agir du chlore sur l'aniline dissoute dans l'acide

[1] GERHARDT, t. III, pages 81 et suivantes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chlorhydrique, le liquide se colore en violet, se trouble et sépare une masse brune et résinoïde.

« Lorsqu'on mélange une petite quantité d'un sel d'aniline sur de la porcelaine avec quelques gouttes d'acide sulfurique concentré, puis avec une goutte de solution de chromate de potasse, on voit apparaître au bout de quelques minutes une belle couleur bleue qui disparaît bientôt après. »

Tel était, en 1856, l'état de nos connaissances touchant le développement des couleurs bleues et violettes au moyen de l'aniline, et il n'est pas inutile de faire remarquer qu'en signalant, comme on l'a fait, l'instabilité des couleurs produites, on écartait naturellement toute idée de les appliquer.

Heureusement pour l'industrie, M. Perkin, reprenant l'étude des phénomènes de coloration produits par l'aniline, réussit à isoler la matière violette sur une certaine échelle, et put ainsi se livrer à l'examen de ses propriétés tinctoriales. Son travail fut couronné d'un plein succès. On peut dire que les colorations rouges, violettes et bleues qu'on forme actuellement avec l'aniline découlent de ces premières tentatives, qui sont ainsi la cause indirecte de la révolution qui tend à s'opérer dans la préparation des substances tinctoriales.

M. Perkin a mis à profit, pour former le violet d'aniline, la réaction du bichromate de potasse sur le sulfate d'aniline. Voici comment on opère.

On prend une dissolution froide de sulfate d'aniline, ou de toluidine, ou de xylidine, ou de cumidine, ou un mélange de ces dissolutions et une quantité suffisante d'une dissolution froide d'un bichromate soluble contenant assez de base pour convertir l'acide sulfurique de la dissolution en un sulfate neutre. On mélange et on laisse reposer pendant 10 à 12 heures. On obtient ainsi une poudre noire et un sulfate neutre.

On verse le tout sur un filtre, on lave le dépôt à l'eau chaude jusqu'à ce qu'il soit débarrassé du sulfate neutre et l'on sèche le résidu vers 100 degrés centigrades. On lave avec du naphte provenant du goudron de houille jusqu'à ce qu'il soit dépouillé de toute la résine soluble. Toute autre substance que le naphte du goudron de houille dans laquelle la matière brune serait soluble et la matière colorante insoluble pourrait être employée.

On débarrasse le résidu du naphte par l'évaporation, et on le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fait digérer avec l'esprit de bois ou mieux avec l'alcool ou tout autre liquide dans lequel la matière colorante est soluble. La matière colorante se trouve alors en dissolution ; on enlève le dissolvant par distillation.

C'est encore par l'acide sulfurique et le bichromate de potasse que MM. Renard et Franc de Lyon préparent le violet d'aniline qu'ils livrent au commerce sous le nom d'*indisine*. Voici le détail d'une opération :

25 kil. d'aniline sont transformés en sulfate par 13 kil. d'acide sulfurique étendu à 5 degrés, c'est-à-dire par 650 kil. d'eau. Le sulfate d'aniline est traité par 25 kil. bichromate de potasse ; au bout de 48 heures on décante pour enlever une poudre noire qu'on fait sécher et qui pèse 32 kil. ; cette poudre est traitée par 495 litres d'alcool qu'on étend de 240 litres d'eau ; on filtre et on distille. On trouve sur le filtre un résidu pesant 10^{k},250 après le départ de l'alcool ; 120 kil. de dissolution aqueuse représentent le produit utile.

4^{k},800 de cette dissolution qui représente 1 kil. d'aniline traités par 450 gr. de carbonate de soude précipitent 34 gr. de matière colorante sèche. On voit donc, d'après cette expérience, que le kilogramme d'aniline fournit 4^{k},800 de violet à l'état de carmin, 34 gr. d'indisine sèche et 410 gr. de matière résineuse noire insoluble dans l'eau, l'alcool et les éthers.

On a recours dans l'industrie à d'autres moyens plus économiques pour préparer le violet d'aniline. Si l'opération a pour but d'oxyder l'aniline, on comprend qu'on ait été conduit tout naturellement à remplacer l'acide chromique, qui est d'un prix assez élevé, par d'autres agents oxydants, par le chlore sous l'influence de l'eau, par l'acide chloreux, par les hypochlorites, par des oxydes qui cèdent facilement l'oxygène ou une partie de l'oxygène qu'ils renferment.

D'après MM. Beale et Kirkham[1], on mélange un volume d'une dissolution aqueuse saturée d'aniline avec un volume d'acide acétique marquant 5° à l'aréomètre ; à cette dissolution acide on ajoute graduellement un volume de chlorure de chaux faible, on arrête l'addition du chlorure de chaux quand la liqueur a pris une belle nuance d'un bleu violet. On peut remplacer le chlo-

[1] *Journal of arts.* Décembre 1859, p. 557.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rure de chaux par un courant de chlore, qu'on fait passer à travers la dissolution d'acétate d'aniline.

Pour obtenir des dissolutions plus concentrées, on se sert de chlorhydrate d'aniline marquant 1½° Baumé, auquel on ajoute un volume d'acide acétique à 5° et le même volume de chlorure de chaux marquant également 5°. Dans tous les cas, le liquide se colore d'abord en bleu violacé, puis en lilas. Il teint en ces mêmes nuances.

On peut encore se servir, comme agent d'oxydation réagissant sur les sels d'aniline étendus d'eau, du peroxyde de manganèse, du peroxyde de plomb, du permanganate de potasse.

D'après M. Kay[1], si l'on combine 30 parties d'aniline, 40 parties d'acide sulfurique d'une densité de 1.85 étendu de 1,400 parties d'eau, il suffit d'ajouter à la dissolution de sulfate d'aniline 200 parties de peroxyde de manganèse ; on chauffe le tout à 100° tant qu'il se forme un précipité. Le produit liquide qui renferme la matière colorante en dissolution est séparé par filtration du précipité. Ce dernier est débarrassé de toute la matière qu'il peut contenir par l'acide sulfurique étendu. On filtre, puis on réunit les deux dissolutions limpides, on y verse de l'ammoniaque, qui précipite la matière colorante. Le précipité lavé et desséché est traité par l'alcool ou par l'esprit de bois qui dissolvent le principe coloré.

D'après M. Price[2], l'oxydation peut être obtenue par l'emploi du peroxyde de plomb résultant de l'action du chlorure de chaux sur l'acétate de plomb, lavé et conservé à l'état humide. La réaction exige pour se faire la température de l'eau bouillante. Suivant les proportions employées, on obtient des couleurs différentes que l'auteur a nommées *violine* d'aniline, *purpurine* d'aniline et *roséine* d'aniline.

Pour préparer la violine d'aniline, on mélange 4 parties d'aniline, 4 parties d'acide sulfurique, 80 parties d'eau et 5 parties de peroxide de plomb. On filtre la liqueur bouillante ; elle renferme, outre la matière colorante, du sulfate d'aniline non décomposé ; en ajoutant un petit excès de soude, on isole l'aniline qu'on sépare par distillation. Le résidu est lavé à l'eau froide,

[1] *Chem centralblatt*, 1860, p. 160.

[2] *Dingler polyt. journ.*, t. CLV, p. 306.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

puis dissous à chaud par une dissolution d'acide tartrique; on filtre et on concentre pour réduire le volume primitif. Pendant la concentration, il se dépose encore des matières résineuses.

Si l'on prend 8 parties d'aniline, 4 parties d'acide sulfurique, 80 parties d'eau et 5 parties de suroxyde de plomb, on obtient un liquide d'une nuance plus pourprée; les eaux mères sont traitées comme nous venons de le dire.

Lorsqu'on prend 4 parties d'aniline, 2 d'acide sulfurique, 80 parties d'eau, et 10 de suroxyde de plomb, on obtient une liqueur encore plus rosée que la précédente.

D'après M. William[1], lorsqu'on décompose le sulfate d'aniline impur par l'hypermanganate de potasse, il se forme un précipité qui contient des matières colorantes bleues, violettes et rouges, exemptes des matières impures brunes auxquelles le bichromate de potasse donne naissance. La couleur précipitée, lavée et desséchée, est traitée par l'huile légère de houille qui sépare quelques impuretés, puis traitée par de l'alcool, qui dissout la matière colorante. Dans ce cas, il se fait, outre les principes précipités par la soude, une seconde matière qui reste en dissolution, et qui teint la fibre textile, surtout la soie, en rouge cramoisi ou rouge écarlate.

Si donc nous admettons, ce que nous démontrerons par la suite, que dans ces procédés il se forme des produits complexes de couleurs différentes, nous pourrons séparer l'étude de ces matières si variées, et nous concentrerons tout d'abord notre attention sur le principe violet qui semble dominer dans toutes ces réactions, et qui se forme facilement dans les expériences que nous avons relatées en premier lieu lorsqu'on traite le sulfate d'aniline par le bichromate de potasse.

Nous ferons remarquer que dans ces circonstances il se forme simultanément une couleur et une résine; on s'explique dès lors l'emploi des moyens de purification différents appliqués jusqu'ici, qui se réduisent, les uns à enlever la matière colorante et à laisser la résine pour résidu, les autres, au contraire, à dissoudre la résine en laissant comme résidu non soluble la matière colorante.

Cette substance, lorsqu'elle est franchement violette, a reçu

[1] *Repertory of pat. inv.* Janvier 1860, p. 70.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des noms différents. On la nomme *aniléine*, *harmaline*, *indisine*. Nous continuerons de la désigner sous ce dernier nom, qui la rapproche de la série de l'indigo, série à laquelle elle se lie par l'ensemble de ses propriétés générales, ainsi que nous allons le démontrer. Nous nous occupons en ce moment de préparer la matière violette produite dans les différents traitements de l'aniline que nous avons relatés ci-dessus, afin de la comparer à celle obtenue par les procédés décrits par M. Perkin. Ce que nous allons dire se rapporte exclusivement à l'indisine préparée par la méthode de ce dernier. Nous ferons connaître plus tard les caractères par lesquels cette matière se distingue de celle qui se produit dans les méthodes de MM. Beale et Kirkham, Kay, Price, Williams et enfin dans celle plus récente de MM. de Laire et Girard. Nous nous occuperons aussi de la question du rendement. Nous verrons qu'il faut en tenir compte si l'on veut rattacher l'origine de ces principes à celle de l'aniline.

A l'état de pureté, l'indisine se présente sous l'aspect d'une matière bleue, noire vue en masse, à reflets métalliques ; soluble dans les acides, elle est précipitée de cette dissolution par l'ammoniaque caustique ; soluble dans l'acide sulfurique concentré, qu'elle colore en bleu, elle n'est pas réduite par l'acide sulfureux ; enfin, elle conserve avec l'indigo bleu des points de contact tels qu'oubliant pour un instant que l'indisine est une matière violette, on pourrait la prendre pour l'indigo en réalisant sur elle tous les phénomènes de réduction et d'oxydation qu'on obtient si facilement avec l'indigo dans les nombreuses circonstances où l'on fixe industriellement cette matière tinctoriale sur les tissus de laine et de coton.

Ainsi l'indisine, traitée sous l'influence de la chaleur par l'alcool, la potasse et le glucose, se trouve réduite, la liqueur se décolore ; elle se colore de nouveau quand on la met en présence de l'oxygène naissant, avec l'eau chlorée, les bichromates solubles, l'acide nitrique, etc.

Un tissu de laine teint avec l'indisine traitée par le chlore s'attaque assez difficilement, mais il finit par se décolorer ; il en est de même avec l'acide hypochloreux ; avec l'acide sulfurique, il passe au bleu, puis au vert d'herbe, et l'acétate d'ammoniaque finit par le ramener à sa nuance primitive ; il résiste à l'action de l'ammoniaque ; la potasse détruit la fibre avant d'altérer la ma-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tière colorante; cette dernière résiste à l'action de l'acide sulfureux, des sulfites, bisulfites et hyposulfites de soude, même à chaud; mais le sulfhydrate d'ammoniaque, le protochlorure d'étain, le sulfate de protoxyde de fer, le réalgar, le sulfure d'antimoine, agissant en présence de la potasse, l'alcool (1 vol.) et l'acide sulfurique (4 vol.), mélanges éminemment réducteurs, produisent une décoloration qui se trouve ramenée dans sa nuance et son intensité primitives quand on laisse intervenir le contact de l'air atmosphérique.

Ces réactions pourraient se comprendre si l'on se rappelle que l'indisine dérive de l'aniline, qui dérive elle-même de l'indigo par l'acide anthranilique.

Mais, d'autre part, quand on considère qu'un kilogramme d'aniline fournit moins de 40 gram. de couleur pure, on est tenté de se demander si la coloration n'est pas au contraire produite par un corps accidentel. Il y a donc nécessité, dans l'état actuel de nos connaissances, de bien définir la véritable nature de l'aniline, telle que le commerce la prépare. Nous croyons à la présence d'au moins quatre substances différentes, huileuses, basiques, mais formant des sels qui cristallisent dans des systèmes différents et de solubilités fort éloignées les unes des autres.

A laquelle de ces substances faudrait-il attribuer la formation de l'indisine? Cette question ne peut être résolue que par une étude comparative des anilines de différentes provenances. La préparation de ces éléments de notre travail nous occupant en ce moment, nous avons dû nous borner à la constatation des caractères de l'indisine produite en partant de l'aniline industrielle. Nous devons donc renvoyer à la seconde partie de nos recherches l'analyse de ces matières; c'est là que nous discuterons les différentes formules proposées déjà par différents chimistes.

Rouge d'aniline.

Le violet d'aniline n'est pas la seule matière tinctoriale qu'engendre l'aniline; celle-ci peut encore donner naissance à une riche couleur rouge dans des circonstances si variées et si faciles à réaliser, qu'il est surprenant que les nombreux chimistes qui ont manié l'aniline n'aient pas constaté le pouvoir tinctorial de cette précieuse matière. En effet, sur ce point, nos connaissances

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

n'étaient guère plus avancées que pour le violet d'aniline. Nous plaçons ici les passages des différents auteurs qui paraissent se rapporter à ce sujet.

« Lorsqu'on chauffe dans un bain d'huile de 140 à 150° de l'acide citrique cristallisé et en poudre avec un excès d'aniline, tant qu'il se dégage de l'eau, la matière se prend par le refroidissement en une espèce de *verre rouge*. Ce produit, bouilli avec de l'eau, se partage en une solution qui renferme un acide anilidé (acide citranilique) et en une poudre jaune pâle[1]. »

A l'occasion des dérivés iodés de l'aniline, il est dit : « Après avoir lavé à plusieurs reprises le chlorhydrate d'iodaniline par l'acide chlorhydrique, on le fait dissoudre dans l'eau bouillante ; celle-ci dépose par refroidissement des cristaux couleur rubis, qu'on décolore entièrement par le charbon animal[2]. »

A propos de la préparation de l'acide sulfanilique et des précautions à prendre, l'auteur ajoute :

« Il ne faut donc maintenir la chaleur que jusqu'à ce que le produit jeté dans l'eau ne se colore plus qu'en rouge par l'acide chromique. Si l'on chauffe trop fort, la solution aqueuse est elle-même rouge, et cette teinte n'est pas enlevée par le charbon. »

« A froid, l'acide sulfanilique n'est pas attaqué par l'acide concentré; mais quand on chauffe, il se dégage beaucoup de gaz et se produit un liquide rouge foncé[3]. »

« L'acide nitrique fumant convertit la mélaniline suivant la durée de la réaction... en un acide particulier qui donne avec les alcalis des sels écarlates[4]. »

« L'aniline anhydre, mêlée avec quelques gouttes d'acide nitrique fumant, se colore immédiatement en beau bleu foncé; cette couleur passe par la moindre chaleur au jaune ; puis il s'établit une réaction violente qui se termine quelquefois par une explosion. La liqueur passe par toutes les nuances de coloration jusqu'au rouge écarlate, et finit par déposer des cristaux rouges tabellaires d'acide picronitrique (trinitrophénique)[5]. »

[1] Gerhardt, t. III, p. 90.

[2] *Loco citato*, p. 100.

[3] *Loco citato*, p. 109 et 110.

[4] *Loco citato*, p. 116.

[5] *Berzelius*, tome VI, p. 211 et 215.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« Avec le sulfate ferrique, le sulfate d'aniline forme un liquide rouge foncé; l'aniline se change en une résine rouge et la solution contient de l'oxyde ferreux. »

La transformation n'est pas faite, elle ne s'effectue qu'avec l'aide de la chaleur, et d'ailleurs on peut se demander si l'on n'a pas confondu cet effet avec celui qui se produit constamment au contact des matières puissamment réductrices avec des sels ferriques.

« Lorsqu'on traite l'aniline par le chlorure d'éthylène (liqueur des Hollandais) [1] dans des tubes scellés et à la température de 200°, le mélange, d'abord incolore, devient d'une riche couleur de sang. »

Or, cette expérience que nous avons répétée ne nous a pas conduits plus que l'expérience d'Hoffman à la reproduction du rouge dont nous allons étudier les propriétés sous le nom d'acide fuchsique. Nous devons la reproduire ici pour rendre aussi complet que possible l'historique que nous avons entrepris d'exposer.

Quand on chauffe ce sel (oxalate d'aniline) au bain de sable, il commence déjà à se décomposer à quelques degrés au-dessus de 100°; il fond et entre en ébullition en dégageant de l'eau de l'acide carbonique et de l'aniline; ce n'est que dans les dernières portions de gaz, quand la chaleur est portée à 160 ou 180°, qu'on reconnait la présence d'un peu d'oxyde de carbone. On n'a pas besoin de chauffer plus fort; quand le dégagement de gaz a cessé, on a un résidu liquide, parfaitement limpide et plus ou moins coloré en rouge, suivant la pureté du sel employé. On sait que les sels d'aniline prennent tous à l'air une teinte rouge [2].

Hoffman, étudiant l'action du bichlorure de carbone sur l'aniline, s'exprime en ces termes [3] :

« A la température ordinaire, l'aniline et le bichlorure de carbone ne réagissent pas l'un sur l'autre; à la température de l'eau bouillante, le mélange commence à se changer; mais même après une digestion de quelques jours la réaction est loin d'être achevée.

[1] *Natanson*, ann. der chem und pharm. von Liebig und Wœhler, tome XCVIII, p. 297.

[2] Gerhardt, *Annales de chimie et de physique*, tome XIV, 120, 3e série.

[3] *Annales de chimie et de physique*, t. LIV, page 215.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cependant, en soumettant (dans un tube scellé) un mélange d'une partie de bichlorure de carbone et trois parties d'aniline, les deux corps à l'état anhydre, pendant à peu près trente heures, à la température d'environ 170 à 180° (c'est-à-dire au point d'ébullition de l'aniline), le liquide se trouve transformé en une masse noirâtre, ou molle et visqueuse, ou dure et cassante, selon le temps et la température. »

« Cette masse noirâtre, adhérant avec beaucoup de persistance aux tubes dans lesquels la réaction s'est effectuée, est un mélange de plusieurs corps.

« En épuisant par l'eau, on en dissout une partie, une autre restant insoluble à l'état d'une résine plus ou moins solide.

« La solution aqueuse fournit par la potasse un précipité huileux renfermant une proportion considérable d'aniline non changée. En faisant bouillir dans une cornue ce précipité avec de la potasse diluée, l'aniline passe à la distillation, tandis qu'il reste une huile visqueuse se solidifiant peu à peu avec une structure cristalline. Des lavages par l'alcool froid et une ou deux cristallisations dans l'alcool bouillant rendent le corps parfaitement blanc et pur, une substance très-soluble d'un cramoisi magnifique restant en dissolution.

« La portion de la masse noirâtre qui restait insoluble dans l'eau se dissout très-facilement dans l'acide chlorhydrique ; elle est précipitée de nouveau de cette solution par les alcalis à l'état de poudre amorphe d'un rouge sale, soluble dans l'alcool, qu'elle colore d'un riche cramoisi. La plus grande partie de cette substance est la même matière colorante qui accompagne le corps gras cristallin. »

S'il est un essai qui devait frapper les savants et les industriels et leur donner une idée du pouvoir colorant renfermé dans l'aniline, c'est évidemment l'expérience de Stenhouse, qui fit voir qu'il suffit de quelques gouttes de furfurol pour colorer l'aniline en rouge intense; la réaction est si nette que ces deux agents deviennent les réactifs les plus précieux que l'on connaisse pour se déceler réciproquement.

Lorsqu'on traite par le furfurol une dissolution d'aniline dans l'acide acétique moyennement concentré, en ajoutant le furfurol goutte à goutte, la liqueur devient rouge; le liquide se décolore par le repos, en même temps qu'il se forme sur les parois

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du vase une masse poisseuse foncée qui possède le reflet vert des cantharides et qui constitue la matière colorante rouge presque pure; cette substance, lavée et séchée, devient dure et cassante avec un magnifique éclat vert doré.

On [1] a fait une étude complète de ce corps remarquable dans lequel le furfurol semble entrer comme partie constituante; presque insoluble dans l'eau, cette matière se dissout dans l'alcool, dans l'esprit de bois et dans l'acide acétique concentré; comme la fuchsine, elle est décolorée par l'ammoniaque, et reprend sa couleur par l'acide acétique.

Soumise à des essais de teinture, elle se combine directement aux tissus de laine et de soie; les nuances sont aussi vives que celles obtenues au moyen de la fuchsine; malheureusement elles n'ont aucune stabilité; elles disparaissent en quelques heures, même à l'abri de la lumière; en fragments épais, la couleur s'altère aussi; car elle colore alors l'alcool en brun.

Ces citations, que l'on pourrait multiplier, démontrent la facilité avec laquelle les différents composés formés par l'aniline tendent à se colorer en rouge. Il était réservé à MM. Renard frères de doter l'industrie de cette magnifique substance dont l'apparition a produit la plus vive sensation, et dont l'emploi, déjà presque universel, a produit une véritable révolution dans le commerce des matières tinctoriales exotiques.

Lorsqu'on fait agir le bichlorure d'étain sur l'aniline anhydre sans pression, à la température de l'ébullition, il se forme une matière tinctoriale très-riche; cette réaction est tellement tranchée que quelles que soient les proportions du mélange, on obtient toujours la magnifique coloration rouge groseille caractéristique de la fuchsine. Elle se forme tout aussi bien en présence d'un excès de bichlorure d'étain, que lorsqu'il y a de l'aniline en excès.

On forme dans une marmite en fonte émaillée un mélange de 8 kilog. d'aniline et 4k.5 de liqueur fumante de Libavius. Cette marmite est placée au-dessus d'un foyer mobile. On prépare le mélange à froid, en ajoutant le bichlorure par petites portions et agitant légèrement sous une hotte dans laquelle on lance de la vapeur d'eau pour activer le tirage. On le laisse au repos une

[1] *Répertoire de chimie.* 1860. M. Jules Persoz.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

heure ou deux, puis on chauffe en agitant et maintenant à l'ébullition durant le temps nécessaire au développement de la nuance, c'est-à-dire environ vingt minutes. On la juge en regardant par transparence la tige de verre qui sert d'agitateur. La masse d'un rouge vif intense et d'une consistance mielleuse est abandonnée quelques instants au refroidissement et coulée dans des vases de grès pesés; on en retire environ 12 kilog.; on la livre au commerce sous le nom de fuchsine.

Le bichlorure d'étain hydraté peut concourir à la formation du rouge d'aniline, comme la liqueur fumante de Libavius.

Le bichlorure d'étain n'est pas le seul agent qui, chauffé sur de l'aniline, la transforme en fuchsine. Lorsqu'on porte à la température de l'ébullition un mélange de 2ᵏ.3 de protonitrate de mercure, et 1ᵏ.2 d'aniline, on observe qu'après une heure de contact la masse prend une consistance à peu près sirupeuse, et la couleur rouge violacée de la fuchsine; une quantité considérable de mercure réduit s'accumule au fond du vase, et on le sépare par décantation; la masse rouge coulée dans des pots de grès est mise dans le commerce sous le nom d'azaléine.

MM. Depouilly et Lauth font usage de l'action de l'acide nitrique sur l'aniline, avec la précaution que l'aniline, soit libre, soit à l'état de sel (acétate, oxalate etc.), reste en assez grand excès; on chauffe à 200 degrés.

C'est encore la fuchsine qui prend naissance dans le contact à la température de 200 degrés de l'aniline avec le protosulfate d'étain, le fluorure d'étain, le nitrate d'urane, le nitrate de peroxyde de fer, l'iodoforme et l'iode. Dans toutes ces circonstances la production de la fuchsine se constate de la manière la plus nette, tant par l'application qu'on en peut faire à la teinture des fibres textiles de nature animale (laine et soie), que par la mise en évidence des caractères essentiels qui la distinguent.

A la liste des corps que nous venons d'indiquer il faut en ajouter d'autres, qui, s'ils ne donnent pas la fuchsine en même proportion, la fournissent avec plus ou moins de facilité; le bichlorure de mercure, le perchlorure de fer, le protochlorure de cuivre, le bisulfate d'étain, le protosulfate de mercure, le deutosulfate de mercure, le deutonitrate de mercure, le nitrate d'argent, le bifluorure d'étain, le bifluorure de mercure, le bibromure de mercure, l'iodure d'étain, le chlorure d'urane, le chlo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rate de mercure, l'iodate de mercure, le sesquichlorure de carbone, tous ces corps agissant à la température de 200 degrés *sous la pression ordinaire*.

Nous généralisons les circonstances dans lesquelles se forme le fuchsine, en disant : *Sous la pression ordinaire,* trois éléments concourent toujours à la produire; l'un est physique, c'est la chaleur, et tandis que deux de ces agents, l'aniline et la chaleur dont le degré correspond au point d'ébullition de l'aniline, environ 200°, sont invariables et constants, le troisième est essentiellement variable, comme on en peut juger par la liste des substances que nous venons de nommer, liste bien incomplète assurément. Nous avons dit, sous la pression ordinaire, car si nous opérons dans des tubes scellés, nous obtenons des résultats tout autres. Et tel mélange (aniline et bichlorure de carbone, par exemple,) qui ne donne rien à l'air libre, donnera, comme nous le verrons plus loin, sous pression, du rouge, à des températures de beaucoup inférieures à 170°, et du bleu quand on se rapprochera de celle de 180°. Il devient intéressant d'étudier dans ces conditions nouvelles les mélanges qui se sont refusés à fournir de la fuchsine, et de nombreuses expériences, conformes à cette direction d'idées, rentrent dans le programme que nous nous sommes tracé.

Il n'y a rien d'étonnant qu'on ait pu remplacer l'un quelconque des éléments que nous venons d'indiquer par l'acide nitrique, ou par l'acide arsénique, ou par l'oxyde puce de plomb.

Si la fuchsine est un produit constant de la réaction individuelle de différents agents sur l'aniline, à la température en quelque sorte déterminée par le point d'ébullition du mélange fixe, nous devons faire remarquer que suivant les circonstances et la nature de l'agent variable employé, cette fuchsine peut être obtenue sensiblement pure, ou bien se trouver accompagnée d'un excès d'aniline, d'une matière violette, qui semble n'en être qu'une modification, d'une petite quantité d'indisine avec la matière goudronneuse qui accompagne cette dernière dans la majeure partie des circonstances dans lesquelles elle prend naissance, et enfin, d'une proportion notable d'une matière rouge qui teint en grenat.

Pour faire comprendre qu'il puisse en être ainsi, nous allons

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

développer les résultats de quelques expériences que nous avons instituées dans le but d'établir, s'il était possible, la cause de la transformation de l'aniline en fuchsine.

Les chimistes qui jusqu'à ce jour ont abordé cette délicate question répondent que la fuchsine résulte d'un phénomène d'oxydation qui se produit soit directement quand l'agent variable peut fournir l'oxygène nécessaire, soit indirectement quand on fait intervenir un composé brômé, chloré, iodé, fluoré qui décompose l'eau pour mettre l'oxygène en liberté. Au premier abord cette opinion paraît assez fondée, mais elle ne rend pas compte de la formation de la fuchsine quand on remplace le protonitrate de mercure par le sesquichlorure de carbone, par l'acide arsénique, par le sulfate de protoxyde d'étain, etc.

La réaction ne nous paraît pas aussi simple qu'on le prétend. Et d'abord, si dans la préparation de la fuchsine, au moyen du nitrate de mercure, tout le mercure se trouve revivifié, la fuchsine ainsi préparée n'est jamais pure, elle est toujours accompagnée d'une forte proportion de résine, et d'une faible quantité d'indisine qui lui donne un ton plus ou moins bleu; l'action est des plus complexes. D'ailleurs, une très-forte proportion de mercure métallique apparaît avant que la coloration rouge prenne naissance.

D'autre part, quand on a recours à l'acide arsénique, la fuchsine se produit sans réduction d'acide arsénique, c'est-à-dire sans production d'acide arsénieux, comme nous l'a démontré l'expérience suivante :

Nous avons pris 12 gram. d'acide arsénique pur que nous avons fait dissoudre dans 12 gram. d'eau distillée; nous avons mêlé le tout à 10 gram. d'aniline; ce mélange, introduit dans un appareil distillatoire, fut porté progressivement, dans l'espace de 6 à 7 heures, de la température ordinaire à 100, 120, 160 et 170°. Une portion de l'aniline, 2 gram. environ, s'est échappée, pour venir se condenser dans le récipient. Cette portion d'aniline, soumise à l'action des agents oxydants, semble produire le violet d'indisine en plus grande quantité que l'aniline ordinaire. Quant au résidu, il se dissout presque en entier dans l'eau, et l'arsenic se retrouve en totalité dans la liqueur à l'état d'acide arsénique; c'est à peine si l'on peut constater des traces d'acide arsénieux.

Cette expérience, pour être concluante, devait porter sur de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'aniline rectifiée. Éclairés par les observations de M. Perkin, qui a fait voir la nature complexe du produit qu'on désigne dans le commerce sous le nom d'aniline, et qui a constaté dans ce mélange la présence de plusieurs bases homologues (cumidine, xylidine, toluidine), toutes aussi capables de produire des dérivés colorés, nous nous sommes avant tout préoccupés d'obtenir un produit assez défini pour que nos conclusions pussent être vérifiées dans tout état de choses.

A cet effet, dans un petit appareil distillatoire en verre, muni de son récipient, nous avons introduit une certaine quantité d'aniline anglaise, puis sur celle-ci nous avons fait arriver un courant de gaz chlorhydrique pur et sec, et pendant la réaction on a chauffé jusqu'au point où le produit formé sous l'influence de l'acide chlorhydrique se volatilisait. Lorsque les trois quarts de l'aniline furent ainsi distillés, sous forme de chlorure, il resta dans la cornue un produit d'un jaune verdâtre, opalin, visqueux, exigeant, pour se volatiliser, une chaleur infiniment plus élevée. Le chlorure le plus volatil, ayant été recueilli, fut traité par la chaux qui mit en liberté un liquide huileux que nous avons rectifié par une nouvelle distillation; il était alors incolore, son point d'ébullition était voisin de 180°; c'est ce produit que nous avons considéré comme de l'aniline.

Pour déterminer l'état d'oxydation de l'arsenic dans le résidu de la cornue après la transformation de l'aniline en acide fuchsique, nous l'avons traité par l'eau de chaux tiède; il s'est dissous de la fuchsine en même temps qu'il est resté comme résidu un sel calcaire coloré par de la résine, et quelques traces d'indisine que nous avons enlevées par un traitement au moyen de l'alcool et de l'éther. Si l'on veut purifier davantage le sel calcaire ainsi préparé, avant d'en rechercher la nature, il suffit de le dissoudre dans l'acide chlorhydrique faible, qui laisse un peu de matière colorante; on filtre et on précipite par l'ammoniaque. L'une ou l'autre de ces matières calcaires, dissoute dans l'acide chlorhydrique, forme des liqueurs dans lesquelles l'hydrogène sulfuré n'a pas d'action immédiate; ce n'est qu'au bout d'un certain temps qu'il se produit un trouble blanc jaunâtre. Ce trouble caractérise le sulfide arsénique. Si, au contraire, on traite ces liqueurs par trois ou quatre fois leur volume d'une dissolution concentrée d'acide sulfureux, et qu'on les porte à l'ébullition, de manière à chasser

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

complétement cet agent réducteur, elles précipitent abondamment par l'hydrogène sulfuré en jaune clair, coloration caractéristique du sulfide arsénieux.

Au reste, quand la fuchsine se développe sous l'influence du bichlorure d'étain, il ne se forme point de chlorure stanneux. Pour le prouver, il suffit de prendre le produit brut de l'expérience, de le délayer dans l'alcool, et de le traiter par un grand excès d'ammoniaque liquide qui s'empare de l'excès d'acide, et dissout la fuchsine, en laissant l'étain à l'état d'oxyde insoluble. Celui-ci, recueilli, lavé à l'eau, puis à l'alcool, se dissout dans l'acide chlorhydrique, excepté quelque peu de matière colorante entraînée. La dissolution présente alors les caractères des sels stanniques, et particulièrement elle précipite en jaune pâle par l'hydrogène sulfuré.

Et d'ailleurs le sulfate stanneux lui-même chauffé avec de l'aniline en excès engendre la fuchsine parfaitement caractérisée. Le sulfate stanneux qui a servi à cette expérience avait été préparé en faisant réagir sur l'étain l'acide chlorhydrique et l'acide sulfurique à équivalents égaux : la liqueur ainsi obtenue, évaporée à siccité, laisse le sulfate stanneux sous la forme d'une poudre blanche très-hygrométrique.

Le calomel agit de la même manière. On n'est donc pas fondé à dire que la fuchsine est le résultat d'une oxydation subie par l'aniline.

Au reste, ce ne sont pas là les seuls faits qui justifient cette proposition.

Le nitrate de mercure, employé comme agent variable de la réaction, transforme l'aniline en fuchsine, sans qu'il se dégage la moindre trace de l'un de ces composés nitreux qui apparaissent toujours et nécessairement toutes les fois que l'acide nitrique ou les nitrates interviennent dans une réaction comme agent oxydant.

Selon toute probabilité, le développement de cette matière colorante, si tant est qu'elle dérive uniquement de la molécule aniline, semble résulter d'une modification physique ; en un mot, ce serait un changement d'état moléculaire provoqué par l'agent chimique variable que l'on met en présence de l'aniline. On s'explique ainsi comment en faisant varier les conditions de température et la nature de l'agent, on parvient à faire naître un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

produit rouge, un produit plus ou moins violacé, un produit du bleu le plus pur.

En dehors des observations empruntées au domaine de la chimie minérale, nous trouvons en chimie organique plusieurs faits pour autoriser une semblable hypothèse. C'est d'abord ce dérivé de l'indigo, signalé dans la brochure sur le vert de Chine (Paris 1858), qui seul, et par le seul fait des variations de température qu'on imprime à sa dissolution, permet de réaliser toutes les couleurs simples, binaires et tertiaires, excepté le ponceau. D'autre part, M. Jules Persoz vient de démontrer que la lumière, secondée de l'action de la chaleur, provoque un ébranlement moléculaire dans les éléments constitutifs de l'acide nitrocuminique dont l'effet est la production d'une magnifique couleur cramoisie.

Les circonstances dans lesquelles l'aniline se transforme en matière colorante rouge sont nombreuses, ainsi que nous l'avons vu. Quelques-unes sont devenues industrielles; elles ont conduit à la préparation, sur une grande échelle, d'une matière tinctoriale nouvelle. Cette matière, suivant la nature de la substance à l'aide de laquelle on a pu l'obtenir, a reçu des noms différents : fuchsine, azaléine, cristallinéine, etc. Nous lui donnerons le nom d'acide fuchsique, pour rappeler le rôle qu'elle joue dans ces combinaisons, et nous allons démontrer que le principe colorant qui caractérise ces produits industriels est identique.

Pour isoler la matière colorante de tous les principes étrangers qui l'accompagnent dans les substances tinctoriales du commerce, nous avons délayé le rouge d'aniline brut dans six ou sept fois son volume d'alcool, et nous avons filtré pour éloigner les matières insolubles. Nous avons versé de l'ammoniaque dans chacune des dissolutions jusqu'à ce qu'il n'y eût plus de précipité. Nous avons jeté sur un nouveau filtre, pour séparer tout ce qui n'était pas dissous. Il nous est resté un liquide incolore ou légèrement ambré contenant toute la matière colorante. La liqueur ammoniacale est saturée par l'acide acétique; nous y versons une dissolution saturée de bichromate de potasse, qui produit un précipité rouge que nous recueillons sur des filtres et que nous lavons. Le lavage doit être fait avec précaution, parce que tant que la liqueur et les eaux de lavage sont chargées de substances salines, le précipité ne se redissout pas sensiblement;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mais aussitôt que l'eau sort exempte de sels, la liqueur devient d'abord rouge-orange, à cause des dernières traces de chromate de potasse, et enfin d'un rouge-groseille pur. A partir de ce moment, en lavant à l'eau chaude, on obtient une dissolution de la matière colorante pure, quelle que soit l'origine du produit; l'évaporation la dépose sous forme d'une masse verte magnifique ayant les plus beaux reflets de la cantharide. On peut teindre en rouge vif sans avoir à constater les différences qu'on veut admettre comme caractéristiques de l'azaléine et de la cristalliméine.

On peut substituer à l'ammoniaque employée comme base capable de s'emparer de la matière colorante, pour former avec elle une combinaison soluble, la baryte, ou la chaux caustique en dissolution à froid, mais surtout à chaud; dans ces circonstances la fuchsine entre en dissolution comme l'aurait fait à froid l'acide carthamique en contact des carbonates alcalins, sans perdre de ses propriétés tinctoriales, puisqu'il suffit, pour les remettre en évidence, de saturer par un acide les liqueurs alcalines, et de plonger dans le bain la soie ou la laine.

En traitant ainsi par les alcalis les produits rouges formés par les différents agents de transformation, et en mettant ensuite la couleur en liberté au moyen de l'acide acétique, nous avons extrait une matière qui nous a présenté dans les différents cas les mêmes propriétés. En effet, quelle que fût sa provenance, elle a donné en teinture des résultats identiques.

Soumise aux réactifs elle a présenté les caractères suivants :

Les alcalis caustiques, les carbonates alcalins en opèrent la décoloration soit à froid, soit à chaud, mais sans détruire la couleur, car celle-ci reparaît immédiatement par une addition en quantité convenable d'acide acétique.

Le chlorure de platine trouble à peine ces dissolutions; mais au bout d'un certain temps, il se forme dans toutes un précipité pourpre violacé.

Le chlorure d'or donne spontanément un précipité pourpre foncé dans toutes ces liqueurs.

Le sulfocyanure de potassium versé dans ces dissolutions n'y produit d'abord rien de sensible: mais au bout d'un certain temps, on y voit apparaître un précipité couleur pourpre de cassius.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le protochlorure d'étain à froid décolore presque complétement toutes ces dissolutions ; à chaud elles affectent une couleur rosée lie de vin ; et si, pareillement modifiée, on y verse quelques gouttes d'acétate de soude, il se forme à l'instant une laque rose.

A froid, les couleurs de ces dissolutions se modifient déjà d'une manière notable en présence du perchlorure d'étain ; à chaud, l'altération est beaucoup plus prononcée, car on ne peut précipiter de la liqueur qu'une laque rosâtre et sale.

Mélangées avec les dissolutions de manganate et de permanganate de potasse, il ne se fait aucun précipité, et cependant il y a altération de la matière colorante, puisque ces liqueurs ne teignent plus qu'en nuances fauves.

Les sels d'urane produisent au bout d'un certain temps un léger précipité dans toutes ces dissolutions.

L'hyposulfite de soude fait virer la nuance rouge-cerise à des nuances violacées.

Le chlore bleuit ces liqueurs et les décolore ensuite ; le chlorure de chaux décolore partiellement toutes ces liqueurs à froid ; si au contraire on le fait réagir à chaud la destruction de la matière colorante est complète, et le chlorure stanneux ne peut plus faire reparaître la couleur.

Les sels saturés à base alcaline ne forment de précipité dans ces dissolutions qu'autant que les liqueurs sont extrêmement concentrées et qu'un précipité peut prendre naissance en vertu de cette action spéciale qui fait que le carmin d'indigo, que le savon, corps très-solubles dans l'eau, peuvent y devenir insolubles en présence de certaines matières salines.

L'acide sulfureux décolore ces dissolutions, mais l'intervention d'un agent oxydant employé avec précaution permet de faire renaître la couleur.

L'action des divers réactifs sur des tissus colorés par ces mêmes matières permet encore de contrôler ces résultats.

Exposés à l'action du chlore gazeux, tous les échantillons se comportent de la même manière ; les couleurs bleuissent d'abord, puis disparaissent, en apparence du moins, car elles reparaissent profondément altérés, il est vrai, lorsqu'on plonge les échantillons ainsi modifiés par le chlore dans une dissolution d'acétate d'ammoniaque.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'acide sulfurique concentré se comporte d'une manière remarquable en présence de ces couleurs fixées par la teinture. Toutes les parties du tissu sur lesquelles on dépose cet acide passent immédiatement au jaune citron ; cette nuance étant une fois bien développée, si l'on rince l'échantillon, les parties jaunes deviennent grises, puis enfin à leur ton primitif si l'on plonge les échantillons dans une solution d'acétate d'ammoniaque.

L'acide hypochloreux concentré, appliqué sur ces échantillons teints, modifie la couleur qui passe au gris violacé ; ici encore, la destruction de la matière colorante n'est pas complète, puisqu'il suffit d'immerger les échantillons dans l'acétate d'ammoniaque et de rincer ensuite pour faire revivre la couleur un peu dégradée, à la vérité, ce qui n'a pas lieu sous l'influence de l'acide sulfurique.

L'acide sulfurique nitreux concentré et étendu d'eau au moment même altère la couleur de tous ces échantillons ; dans aucun cas on ne peut la faire reparaître. Le tissu même est altéré.

Les échantillons immergés dans un bain d'acide sulfureux ne tardent pas à s'y décolorer, mais leur couleur n'est pas détruite ; on peut la faire reparaître dans tous, à l'intensité près, moyennant l'intervention d'un agent oxydant agissant progressivement.

Le sulhydrate d'ammoniaque décolore immédiatement tous les tissus ; une portion de la matière tinctoriale modifiée passe en dissolution à la faveur du sel basique de ce sulfhydrate. Les parties de la matière colorante qui ont abandonné le tissu, comme celles qui y sont restées adhérentes, sont toujours régénérées au moyen de l'acide acétique.

L'ammoniaque, se combinant avec la matière colorante pour former un composé incolore, les échantillons teints étant plongés dans cette dissolution alcaline s'y décolorent avec cette particularité que le changement de couleur est plus rapide dans l'échantillon teint avec la fuchsine produite par le bichlorure d'étain. La présence de la résine dans les autres produits explique cette circonstance.

Les alcalis caustiques et carbonatés se comportent de la même manière que l'ammoniaque avec toutes ces matières, pourvu qu'on élève la température s'il s'agit du carbonate ; pour remettre en évidence la couleur de l'acide fuchsique avec toutes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ses propriétés caractéristiques, il suffit de neutraliser par l'acide acétique les parties imprégnées par l'alcali.

Au surplus, l'identité de la matière colorante, extraite des divers produits que le commerce prépare, purifiée et ramenée à un état comparable, est mise hors de doute par un ordre de preuves essentiellement chimiques.

On a prétendu que la fuchsine préparée par le bichlorure d'étain était chlorée, et qu'en conséquence, au point de vue chimique, il était impossible de la confondre avec la matière obtenue par le nitrate de mercure, agent qui ne peut fournir que de l'oxygène.

Cette manière de voir ne s'accorde pas avec l'expérience. En effet, si l'on prend l'une ou l'autre des matières obtenues par le bichlorure d'étain ou par le nitrate de mercure, et qu'on les brûle dans un creuset de platine avec un mélange de nitre et de carbonate de potasse purs, on ne trouve pas de chlore dans le résidu de la combustion lorsque la purification de la matière a été complète.

Il est donc incontestable que l'acide fuchsique se produit dans un grand nombre de circonstances avec les mêmes caractères organoleptiques et chimiques; il n'en reste que plus curieux qu'on ait été si longtemps avant de tirer parti de cette curieuse transformation pour l'introduire dans les arts, et préparer, comme matière tinctoriale, une substance colorée jusqu'alors observée seulement comme accidentelle dans des réactions de laboratoire.

Relativement aux fonctions de la fuchsine, sans vouloir contester qu'elle puisse jouer le rôle de base dans certains cas, nous nous croyons autorisés à admettre qu'elle accomplit non moins souvent et peut-être plus, le rôle d'acide; sous l'influence des acides, la fuchsine peut toujours teindre, car, dans ces circonstances, elle est libre et apparaît avec toutes ses propriétés. Au contraire, en dissolution dans les bases puissantes, potasse, soude, ammoniaque, etc., etc., avec lesquelles elle fonctionne comme un véritable acide, elle devient incolore; elle ne teint plus; il faut l'intervention d'un acide pour la déplacer et pour lui rendre son aptitude à se combiner avec les fibres textiles.

Si nous rappelons ces propriétés, c'est parce que quelques chimistes ont paru confondre avec l'acide fuchsique les matières

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

colorées observées par M. Hofmann. Les circonstances dans lesquelles ce savant a produit les colorations en cramoisi dont il a parlé pouvaient bien, à la rigueur, faire croire à la présence de l'acide fuchsique ; mais les traitements spéciaux à l'aide desquels il met en liberté la matière colorante pour la séparer des corps dont il poursuit l'étude ne permettent pas d'admettre cette identité.

En effet, si l'on compare la matière colorante cramoisie signalée par M. Hoffman et la matière rouge obtenue par MM. Renard frères et Franc de Lyon, on trouve qu'il n'y a pas la moindre analogie entre ces deux substances.

En nous plaçant rigoureusement dans les conditions d'expérience indiquées par M. Hofman, nous avons obtenu, comme lui, une huile visqueuse se solidifiant peu à peu avec une structure cristalline, et nous avons constaté que l'alcool qui avait servi à purifier la base qu'il recherchait restait coloré en cramoisi, la teinte cramoisie étant plus ou moins pure suivant les circonstances de l'opération.

Nous avons reconnu également que le produit insoluble dans l'eau formé pendant la réaction se dissout dans l'acide chlorhydrique et que la solution chlorhydrique donne avec la potasse un précipité d'un rouge sale, qui se dissout dans l'alcool, en le colorant en rouge cramoisi. M. Hofman pense que cette matière colorante est de même nature que celle dont nous venons de parler ; mais nous sommes portés à croire qu'il n'en est pas ainsi et qu'elle résulte du mélange de deux principes différents, l'un bleu, l'autre rouge.

Cette matière cramoisie résistant à l'action des alcalis bouillants ne peut être rapprochée de l'acide fuchsique, et si dans l'expérience de M. Hofman cet acide pouvait prendre naissance, on ne le retrouverait que dans les eaux alcalines, dans lesquelles il n'existe qu'en quantités infiniment petites ; encore faut-il que certaines circonstances de masses, de température ou de temps permettent à cette matière tinctoriale de se développer ou de se conserver.

En effet, en chauffant pendant trente heures le même mélange qui nous avait donné des colorations très-sensibles de cramoisi, soit dans la partie soluble, soit dans le résidu du traitement par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'eau pure, nous avons vu que cette coloration n'existe plus dans les produits obtenus à la température de 180 degrés.

Ce résultat s'explique puisque nous nous sommes assurés qu'un mélange de 3 parties de fuchsine solide et 10 parties de bichlorure de carbone, chauffé dans les conditions indiquées ci-dessus, ne fournit plus que des liquides colorés en jaune clair.

Toute matière rouge a disparu.

Il y a plus : en modérant la température, la durée de l'expérience et les proportions respectives de l'aniline et du bichlorure de carbone, nous avons produit des matières certainement plus riches en principes colorants que celles obtenues par M. Hofman. La fuchsine y existe bien alors, mais à la condition d'avoir su ou d'avoir pu saisir le moment auquel elle prend naissance Elle est accompagnée d'ailleurs de la matière rouge signalée par M. Hoffman, qui est dominante et qu'on en sépare par un traitement à la potasse.

La matière rouge précipitée par la potasse redissoute dans un acide et l'alcool a donné des teintures qui, quant aux propriétés chimiques, ne peuvent être confondues avec l'acide fuchsique.

Bleu d'aniline.

Les observations qui précèdent nous ont naturellement conduits à savoir ce que deviendraient dans les expériences de M. Hofman le mélange de bichlorure d'étain anhydre et l'aniline qui fournit le rouge de Lyon.

9 grammes de bichlorure d'étain et 16 grammes d'aniline chauffés pendant trente heures, sous pression, dans un tube scellé, à la température d'environ 180 degrés centigrades, n'ont plus fourni ni du rouge, ni du violet, mais un bleu très-vif et très-pur qui n'exige qu'un traitement par l'eau, pour teindre les fibres animales en nuances dont l'éclat ne laisse rien à désirer.

Ce bleu, qui résiste aux acides, fonce par les alcalis faibles, et passe au groseille violacé par les alcalis concentrés. Comme il conserve à la lumière artificielle sa nuance et sa pureté, l'industrie ne peut manquer d'en tirer parti : nous le désignerons sous le nom de *Bleu de Paris*. Il vient s'ajouter à la série très-remarquable des riches couleurs dérivées de l'aniline.

Avant d'en présenter les propriétés organoleptiques et chimiques, nous procéderons, comme nous l'avons fait pour les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

autres couleurs dérivées de l'aniline, par indiquer les passages des ouvrages de chimie dans lesquels on parle des colorations bleues que peut produire cette base intéressante.

On lit dans *Berzelius*, t. VI, p. 215 : « L'aniline anhydre, mêlée avec quelques gouttes d'acide nitrique fumant, se colore immédiatement en beau bleu foncé; cette couleur passe par la moindre chaleur au jaune; puis il s'établit une réaction violente qui se termine souvent par l'explosion.

« On l'obtient aussi (la couleur bleue) en mêlant une solution de chlorure anilique avec de l'acide chloreux; toute la masse, si elle est suffisamment concentrée, se prend en une bouillie bleue cristalline. On n'a pas davantage étudié le composé bleu. »

Page 216. « L'acide chromique donne avec l'aniline et les sels aniliques un précipité, qui selon son degré de concentration est vert, *bleu* ou noir, mais dont on n'a pas examiné la nature. »

On sait qu'en Angleterre on tire parti de la réaction du chlorate de potasse, sur le chlorure d'aniline, en présence d'un léger excès d'acide chlorhydrique pour développer une matière verte, que l'on dépose sur le tissu et qu'on fixe, soit au moyen du chromate de potasse, soit au moyen d'un alcali, pour faire passer la couleur au bleu.

Tel était l'état de nos connaissances sur la production des matières bleues tirées de l'aniline lorsque MM. Girard et de Laire, antérieurement à l'expérience que nous avons faite, firent breveter un nouveau bleu propre à la teinture; ce bleu s'obtient en faisant varier les proportions d'aniline et d'acide arsénique qui donnent le rouge, ou bien encore en faisant agir un excès d'aniline sur la fuchsine. Nous n'avons pas fait l'étude de cette matière; nous ne pouvons donc, quant à présent, déterminer s'il faut la confondre avec celle que nous avons obtenue par le bichlorure d'étain, et dont nous allons décrire les propriétés.

Lorsqu'on brise les tubes dans lesquels la réaction s'est effectuée, on en retire une masse noirâtre et visqueuse, qui, épuisée par l'eau bouillante, la colore en bleu foncé. La solution filtrée, additionnée de sel marin, laisse précipiter la matière bleue, qu'on reçoit sur un filtre, tandis que la liqueur claire possède une teinte verte plus ou moins foncée. On reprend le précipité bleu, qu'on dissout dans l'eau, et on précipite de nouveau par le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chlorure de sodium. On recommence plusieurs fois cette opération pour séparer complétement la matière verte. Enfin on précipite une dernière fois par quelques gouttes d'acide chlorhydrique; la matière bleue se sépare en flocons, qui sont recueillis sur un filtre et lavés d'abord avec de l'eau acidulée par de l'acide chlorhydrique, puis avec de l'eau pure. Le lavage est terminé quand l'eau qui passe commence à se colorer en bleu.

Pour obtenir la substance cristallisée, on la dissout dans l'alcool chaud, qui, par refroidissement, la laisse déposer sous forme d'aiguilles de la plus grande netteté.

Ainsi préparée, la substance se présente sous forme d'aiguilles bleues, brillantes, rappelant par leur aspect le sulfate de cuivre ammoniacal.

Soumise à l'action de la chaleur, elle fond et se décompose en donnant des vapeurs violettes qui semblent dues à un commencement de sublimation; elle est soluble dans l'eau, l'alcool, l'esprit de bois et l'acide acétique, insoluble dans l'éther et le sulfure de carbone.

L'acide sulfurique la dissout en prenant une teinte ambrée; l'eau produit dans la liqueur une coloration d'un bleu magnifique.

L'acide sulfurique mélangé avec l'alcool la dissout en la colorant en bleu; la couleur persiste même à l'ébullition.

L'acide nitrique l'altère en la faisant passer au brun-grenat par toutes les nuances intermédiaires.

L'acide chromique la précipite de sa dissolution sans l'altérer; l'acide sulfureux est sans action sur celle-ci ni à chaud ni à froid.

Le chlore la détruit.

Elle est précipitée de sa dissolution aqueuse par les acides, les alcalis et les sels, qui paraissent agir à la manière des dissolutions salines sur les matières colorantes et les savons. C'est ainsi qu'agissent l'ammoniaque, la soude, le bichromate de potasse, le chlorure de chaux, le phosphate de soude, etc.

Il était intéressant de voir s'il existait quelque analogie entre cette matière et l'indigo bleu. Jusqu'à présent, nous n'avons pu réaliser sur elle les phénomènes de réduction que présente l'indigo bleu en présence des agents réducteurs et d'une base alcaline.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Depuis notre dernière communication, nous avons appris que MM. Girard et de Laire avaient préparé du bleu d'aniline en faisant réagir la fuchsine sur un excès d'aniline. Le mode de préparation que nous avons indiqué rentre dans la méthode générale qu'ils ont donnée, puisque, au lieu d'employer la fuchsine toute faite, nous y substituons les agents qui leur donnent naissance.

L'analyse comparative des produits qui prennent naissance dans ces circonstances nous occupe en ce moment.

Résumé.

Nous conclurons de ce travail :

1° Que l'aniline peut, suivant les circonstances dans lesquelles on la place, fournir des matières tinctoriales violettes, rouges ou bleues.

2° Que le violet de Perkin se rapproche par l'ensemble de ses propriétés de l'indigo bleu. C'est une substance neutre.

3° Que les matières tinctoriales rouges, mises dans le commerce sous le nom de fuchsine, d'azaléine, de cristallinéine, nous ont donné le même principe colorant (ce principe est acide).

4° Que ce principe diffère du rouge observé par M. Hofman (ce rouge est insoluble dans les alcalis).

5° Enfin le bleu de Paris, que nous avons isolé, semble se comporter comme une substance neutre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LES MÉDAILLES D'OR

A L'EXPOSITION DE BESANÇON.

Suite.

M. de TINSEAU, à Saint-Ilie (Jura).

M. de Tinseau avait exposée comme produit de ses carrières de Saint-Ilie, une grande colonne de 8 mètres de longueur, une table polie, et une reproduction de chacun des modèles des pilastres qu'il a fournis pour les balustrades du pont Saint-Michel, du pont de Solferino, du pont au Change et du square du Conservatoire des arts et métiers.

La pierre de M. Tinseau est cette oolithe corallienne, de couleurs variées et d'un beau poli, que l'on emploie depuis quelque temps et dans certaines circonstances, avec trop peu de réserve peut-être, dans les constructions de la capitale. Seule, elle est toujours d'un bel effet; mais introduite comme ornementation avec des marbres blancs ou de nuances claires, elle est d'un aspect un peu dur, et elle s'harmonise difficilement avec la couleur relativement très-peu accusée de nos pierres de construction.

Cette pierre, d'une grande dureté, était l'objet d'exploitations isolées dans le département du Doubs, où on la trouve sur divers points. Il n'est pas rare de rencontrer dans les maisons d'anciennes cheminées pour lesquelles la nuance la plus colorée était généralement choisie.

M. de Tinseau a pensé qu'il pourrait rendre quelques services en établissant, sur une propriété de famille, une exploitation considérable dont l'existence date à peine de trois années, qui compte déjà différentes carrières distribuées sur une étendue de 50 hectares, et dans lesquelles des fouilles pratiquées à l'occasion de l'exposition de Besançon ont démontré l'existence de masses énormes, dont le chiffre total ne s'élève pas à moins de deux millions de mètres cubes. Cette richesse minérale appartient tout entière au canton de Dôle, et son principal centre d'exploitation est sur le territoire de la commune de l'Abbaye-Domparis.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les premiers échantillons de ce calcaire nous furent apportés par M. Tinseau au commencement de l'année 1858; soumis à l'expérience, ils firent preuve d'une résistance remarquable, et nous lisons dans notre procès-verbal du 26 mars de cette même année que, bien que quelques fissures se soient exceptionnellement produites sur deux échantillons, sous une charge moyenne de 180 kilogrammes par centimètre carré, les éclats sur les arêtes ont généralement eu lieu sous une charge de 478 kilogrammes, et la rupture sous celle de 511 kilogrammes par centimètre carré. On voit par ces chiffres que le calcaire de Saint-Ilie est très-résistant; sa cassure est très-nette et presque vitreuse : c'est celle du marbre.

Ces propriétés expliquent le développement inusité que l'exploitation a pris en quelques années. A Paris seulement on a employé ce calcaire à la façade du palais des Beaux-Arts, au palais des Archives impériales, au palais de Justice, pour lequel M. de Tinseau a fait exécuter vingt-huit colonnes monumentales, aux nouveaux jubés de Notre-Dame, au palais du prince Napoléon, aux théâtres de la place du Châtelet, c'est-à-dire dans toutes les constructions récentes.

A Lyon, la même pierre est employée pour la construction des nouveaux marchés et abattoirs; au Creusot, les massifs de fondations des nouvelles machines sont extraits des mêmes carrières; sur la ligne de fer de Chagny à Blanzy, presque tous les travaux d'art sont exécutés en pierre de Tinseau; il en est de même des piles du nouveau pont suspendu de Gray.

Pour suffire à de tels travaux en si peu de temps, on comprend combien des efforts persévérants sont nécessaires, et l'on se fera une juste idée de ce qui s'est accompli sur ce grand centre d'exploitation, lorsqu'on saura que la taille se fait sur place comme dans les exploitations de marbre, et qu'ainsi il a fallu former non-seulement le personnel et le matériel nécessaire à l'extraction, mais encore un véritable atelier de marbrerie avec des ouvriers de choix. Les carrières de Tinseau occupent aujourd'hui plus de deux cents ouvriers, parmi lesquels on compte déjà un noyau de sculpteurs habiles, qui exécutent avec la plus grande précision les modèles qui leur sont envoyés du dehors.

L'extraction de la pierre se fait maintenant au moyen de dix grues de diverses puissances, établies sur de fortes semelles en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bois ; on leur fait suivre la marche de l'exploitation, en les faisant glisser au moyen de crics. Une autre grue est montée sur roues et circule sur le petit réseau de chemin de fer déjà établi pour conduire les matériaux au port d'embarquement. Un vaste atelier, pour cent marbriers et tailleurs de pierres, est desservi par des quais établis au niveau des plates-formes des wagons, et reçoit ainsi avec une facilité très-grande les blocs destinés aux travaux de décoration.

La création de nouvelles voies de communication doit prochainement venir en aide à ce développement déjà si remarquable, et l'on ne saurait trop féliciter M. de Tinseau de s'être placé tout d'abord, comme industriel, au nombre des plus habiles et des plus distingués.

M. LAVALLE, fabricant de faïences à Premières, près Dijon (Côte-d'Or).

La fabrication des poteries a toujours eu deux directions distinctes, la confection des ustensiles de ménage, services de table et autres pièces d'usage journalier, à laquelle se trouve presque toujours réunie celle des objets de décoration. On retrouve ces deux tendances même dans les fabrications les plus anciennes. On sait que les faïences primitives qui nous sont venues ou des Perses ou des Arabes, par l'Espagne et l'Italie, ont acquis comme objets de curiosité une valeur considérable. C'étaient ou des vases, ou des coupes destinées à l'ornementation extérieure ou intérieure des habitations. Cette destination presque exclusive n'a disparu que lorsque, sortant du domaine de l'art, la faïence a dû satisfaire aux besoins des populations moins aisées, demandant des ustensiles propres aux usages domestiques. Le dernier coup leur fut porté par l'introduction de la porcelaine dure, d'origine chinoise, et par les progrès que fit en France la fabrication de cette poterie très-recherchée, surtout aujourd'hui, même dans les classes moyennes.

On peut dire actuellement que la faïence décorative n'existe plus ; s'il s'en fait encore sur quelques points en Europe, ce n'est qu'accidentellement, et l'on se prend à le regretter en songeant à l'originalité, à la richesse, à l'aspect tout particulier des faïences décorées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cet aspect est tellement différent de celui que présentent les porcelaines même les plus variées, que les produits qui ont le plus frappé les visiteurs de l'exposition de Besançon furent les faïences de M. Lavalle. Cette exposition, qui comptait en effet de belles pièces de poterie, se faisait surtout remarquer par de belles poteries en faïence, du plus bel effet et d'une réussite complète.

Le goût parfait qui préside dans la manufacture de M. Lavalle à la confection de ces objets d'art, la manière habile et simple avec laquelle tous les sujets sont traités, n'ont pu laisser place à la plus mince critique et le jury, comparant ces produits à tous ceux des autres concurrents, n'a pas hésité, même un instant, à mettre à la tête de tous les exposants M. Lavalle, de Premières.

MM. FERGUSSON aîné, et fils, fabricants de dentelles à Amiens.

Lorsqu'au dernier siècle les journaux annonçaient que, grâce au génie de Vaucanson, on était parvenu à tisser les étoffes de soie sans le concours du bras de l'homme, ce fait excita au plus haut point l'admiration générale. Qu'eût-on dit alors si on avait pu prévoir qu'avant un siècle il en serait de même pour la fabrication de la dentelle? que ces bataillons de fuseaux, dont la manœuvre exige l'habileté des doigts les plus exercés et l'attention la plus soutenue, pour former les mille gracieux entrelacements et déterminer les dessins les plus artistiques, seraient à leur tour manœuvrés par l'agent le plus brutal, sans la participation directe de la main? Il y a un demi-siècle encore, on estimait avoir atteint les limites du progrès dans les arts textiles, lorsqu'à force de labeur et de recherches on était arrivé à la réalisation de ce merveilleux métier à faire le tulle connu sous le nom de *tulle Bobin*. On s'extasiait en voyant fonctionner avec une précision chronométrique ces nombreux fils, et leurs bobines, dans toutes les directions voulues, pour effectuer la dentelle de coton uni avec une sûreté et une rapidité aussi grandes que celles qu'offraient dès lors les métiers à tisser le calicot. Mais à peine ce résultat fut-il obtenu, que l'industrie comprit qu'elle pouvait plus; que le mécanisme Jacquart, combiné aux métiers à tulle, devait réaliser pour les tissus réticulaires et à mailles quelconques les effets si variés que les étoffes à fils serrés en obtiennent. Aussi

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vit-on bientôt les nombreux articles imitant tellement certaines belles dentelles classiques, qu'il fallait l'examen attentif de l'industriel compétent ou l'œil si clairvoyant de la clientèle spéciale de ces produits pour en faire la distinction.

Les belles dentelles noires de Cambrai, exposées à Besançon par MM. Fergusson, démontrent tout le parti que l'on est parvenu à tirer de cet heureux mariage entre les inventions de Vaucanson, de Jacquart et du métier à tulle uni. A ces habiles industriels appartient d'ailleurs l'honneur d'avoir appliqué les premiers le mécanisme Jacquart aux métiers circulaires à mailles, et d'avoir créé le produit connu sous le nom de dentelles de Cambrai, si estimé dans le commerce et si remarquable par ses bas prix relatifs.

L'exposition de MM. Fergusson, à Besançon, était particulièrement remarquable par l'alliance des éléments artistiques, industriels et économiques; et c'est en considération de l'ancienne origine de cette maison, des services signalés qu'elle a rendus à sa spécialité, de son importance actuelle et du mérite très-évident des produits qu'elle a exposés, que le jury lui a décerné une *médaille d'honneur*.

MM. THIERRY-MIEG et Cie, de Mulhouse, tissus imprimés pour ameublement.

Lorsqu'on se trouve en présence de produits du genre de ceux exposés par cette ancienne et honorable maison, il devient facile de motiver les mérites de sa fabrication; les résultats parlent alors d'eux-mêmes, ils frappent comme de véritables œuvres d'art. Le public est attiré devant ces belles toiles comme devant un beau tableau. L'étendue des compositions artistiques, les contrastes les plus heureux de tons et de couleurs le frappent et l'émerveillent, pendant que de leur côté le chimiste et l'industriel cherchent à se rendre compte des moyens mis en usage pour arriver à vaincre les difficultés d'exécution que présentent ces combinaisons d'effets aussi riches réalisés avec une pureté hors ligne. Mais une fois que les spécimens de ces belles fabrications pour meubles et vêtements ont disparu, l'analyse que l'on en pourrait faire devient presque impossible; il faudrait tout un traité pour décrire les procédés scientifiques et techniques sur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lesquels repose cet art merveilleux de l'impression, si dignement représenté à l'exposition de Besançon par la maison Thierry-Mieg. Et encore ces descriptions ne pourraient-elles faire saisir qu'une partie des résultats intéressants obtenus aujourd'hui dans cette spécialité : la partie de la composition, où le goût et l'art interviennent si puissamment chez nous, échappe à l'analyse; autant vaudrait *raconter* une composition musicale pour en faire saisir les beautés.

Nous devons donc, par ces motifs, nous borner aujourd'hui à une simple indication des spécimens des produits exposés par la maison Thierry-Mieg. Ces produits consistaient en impressions : 1° sur châles en laine et laine et soie; 2° sur reps, lastings et calicot pour étoffes d'ameublement. Ces produits, traités avec une égale perfection, démontrent que les industriels qui les ont exposés restent à la hauteur de la vieille réputation qu'ils se sont brillamment acquise, et sont dignes, sous tous les rapports, de la distinction élevée que le jury de l'exposition de Besançon leur a accordée.

M. GALLIEN, tanneur à Longjumeau.

L'industrie du tannage est peut-être la seule qui ait résisté à l'entraînement général; la lenteur de la fabrication est ici la condition indispensable du succès : les alvéoles du cuir devant se remplir artificiellement pendant la durée du travail, on n'obtient par les procédés rapides que des cuirs mous et perméables, impropres à la plupart des usages auxquels ils sont destinés.

Ce n'est donc pas un procédé nouveau qu'il y avait à récompenser chez M. Gallien, mais l'habitude de faire avant tout des produits irréprochables, par suite de la lenteur même et de la perfection de chacune des opérations auxquelles le cuir doit être soumis.

Ces opérations devant être aidées par la destruction des matières animales étrangères à la substance même du cuir, et par un gonflement considérable de la peau, on comprend que, soit dans l'épilage, soit dans les bains du passage destinés à ouvrir les réseaux du cuir, on doive constamment approcher, sans l'atteindre, de la fermentation putride qui serait fatale pour le ré-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sultat à obtenir. Les opérations ultérieures offrent moins de difficultés, mais elles exigent surtout un temps considérable pour que le tannin pénètre dans toutes les alvéoles et les remplisse. Un cuir fort n'est bien tanné qu'après un séjour de plus d'une année dans les fosses.

Appelé, bien jeune encore, à diriger la fabrique de MM. Salleron, Sterlingue et Gilot, devenue plus tard sa propriété, M. Gallien a, comme la plupart de ses confrères, essayé les procédés soi-disant perfectionnés; mais tout en ayant obtenu, par ces moyens, des résultats au moins équivalents à ceux des autres usines, il a préféré revenir aux vieilles méthodes, auxquelles il doit maintenant de s'être placé à la tête de son industrie.

On ne confectionne pas annuellement dans l'usine de Longjumeau moins de 7000 cuirs forts, et c'est cette fabrication qui est surtout remarquable. Cette fabrique, qui emploie 80 ouvriers, produit en outre 4,000 cuirs de vache et plus de 15,000 veaux chaque année.

MM. OUTHENIN-CHALANDRE, fils et C^ie^, fabricants de papiers à Besançon.

L'importance de la fabrication de ces exposants, aussi bien que la qualité de leurs produits, les placent dans les premiers rangs de l'industrie de la papeterie en France.

En effet les établissements de Chevroz et de Grenelle comprennent :

234 chevaux de puissance hydraulique;

50 chevaux-vapeur;

17 cylindres défileurs et laveurs.

19 cylindres raffineurs;

3 cylindres blanchisseurs;

Enfin 3 machines à papier continu qui produisent annuellement un million de kilogrammes de papier, soit plus de 3,000 kilogrammes par jour, avec un personnel de 450 ouvriers environ.

Malgré l'accroissement successif de ces usines, depuis leur fondation, en 1833, ces industriels se sont préoccupés, depuis 1854, de la création, à Savoyeux, d'un autre établissement favorisé, comme le premier, sous le rapport de la pureté des eaux,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui permet un lavage presque exagéré, et dont le matériel est aujourd'hui composé de :

220 chevaux de puissance hydraulique, dans les moments les plus favorables ;

85 chevaux-vapeur ;

4 cylindres défileurs ;

6 cylindres raffineurs ;

1 machine à papier continu, fonctionnant à la vitesse de 0m,50 par seconde.

La production, qui a atteint déjà 2,200 kilogrammes par jour, s'élèvera à plus de 3,000 kilogrammes lorsque toutes les installations seront terminées pour la fabrication en grand des beaux papiers dits *anglais*, collés à la gélatine, que MM. Outhenin-Chalandre ont déjà produit en grande quantité.

On sait que le collage à la gélatine, sous peine de ne fournir que des papiers cassants, doit être accompagné d'un séchage beaucoup plus lent que celui qui suffit à la fabrication des papiers ordinaires. Montée d'abord avec une machine à sécher, anglaise, à 36 cylindres, alors que la fabrication ordinaire n'en exige qu'un nombre bien moindre, elle se transforme en ce moment sur une longueur de 80 mètres qui permettra d'employer 100 cylindres de grande dimension.

Cette application est la première en France de ce nouveau procédé mécanique de fabrication du papier collé à la gélatine, et elle dénote chez ces industriels une hardiesse d'exécution qui vient encore rehausser leurs mérites, et comme imprimeurs et comme fabricants.

Nous nous proposons d'indiquer sous une forme analogue les faits industriels les plus importants qui se produiront aux expositions qui sont annoncées pour le mois de mai prochain à Metz, à Nantes et à Châlon-sur-Marne.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES

DANS LE PREMIER VOLUME.

Pages.

ALCAN. — Étude des progrès techniques de la filature du coton depuis son origine, et des principales causes du succès de l'industrie cotonnière..... 30

ALCAN et **PERSOZ.** — Des causes qui peuvent influencer la ténacité et les qualités des tissus..... 513

E. BECQUEREL. — Recherches sur les piles voltaïques; détermination des coefficients relatifs aux piles en usage dans l'industrie..... 257

— Études sur la conductibilité des liquides dans les tubes capillaires; rhéostat destiné à la comparaison des grandes résistances..... 733

BOQUILLON. — Notice bibliographique sur les Œuvres complètes de Galilée, publiées à Florence, par MM. Alberi et Bianchi..... 625

BOUSSINGAULT. — Sur les gisements du guano dans les îlots et sur les côtes de l'Océan pacifique..... 449

COMPTE RENDU DE L'EXPOSITION D'AGRICULTURE DE 1860 : — *Instruments :* M. TRESCA. — *Produits agricoles :* M. DEHERAIN. — *Animaux reproducteurs :* M. BAUDEMENT..... 118

DEHERAIN. — Études pour servir à l'histoire de la Chimie. — Découverte de la composition de l'eau..... 391

FARADAY. — Sur l'éclairage des phares et sur la lumière électrique.. 113

DE LA GOURNERIE. — Notice sur le canal du Gange..... 665

CH. LABOULAYE. — Étude historique sur les théories de la chaleur.. 55

— Chaleurs spécifiques des gaz et des vapeurs..... 551

F.-P. LEROUX. — Études sur les machines électro-magnétiques et magnéto-électriques..... 582

MORIN. — Des planchers en fer..... 209

— Études sur la ventilation..... 755

MORIN et **PAYEN.** — Rapport sur le procédé d'extraction du sucre de betteraves de MM. Possoz et Périer..... 682

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

PAYEN. — Rapport de la Commission des blés d'Égypte à S. E. M. le ministre de l'agriculture..... 480

— Blés et farines en 1860..... 499

— Nouvelles observations sur la conservation des céréales, suivant la méthode des moyettes, et sur le fauchage des blés avant leur maturité..... 509

— Mémoire sur la conservation des bois..... 692

PERSOZ. — Des accidents que peut occasionner dans le blanchiment, la teinture, etc., l'emploi des mastics plombifères..... 24

— Méthode pour doser les salpêtres..... 356

PERSOZ, DE LUYNES et **SALVÉTAT.** — Recherches sur les matières tinctoriales dérivées de l'aniline..... 880

TRESCA. — Description de la salle des machines en mouvement et des expériences de mécanique au Conservatoire impérial des Arts et Métiers..... 5

— Appareils d'observation employés dans les expériences de mécanique du Conservatoire..... 365

— Détermination du coefficient d'élasticité de l'aluminium..... 386

— Rapport sur la résistance à la traction des omnibus du chemin de fer américain. Influence des boîtes à galets..... 389

— Expériences sur cinq barreaux de fonte, alliée de tungstène... 527

— Expériences sur la pompe à force centrifuge de M. Gwyne..... 530

— Expériences faites sur la turbine élévatoire de M. Girard..... 538

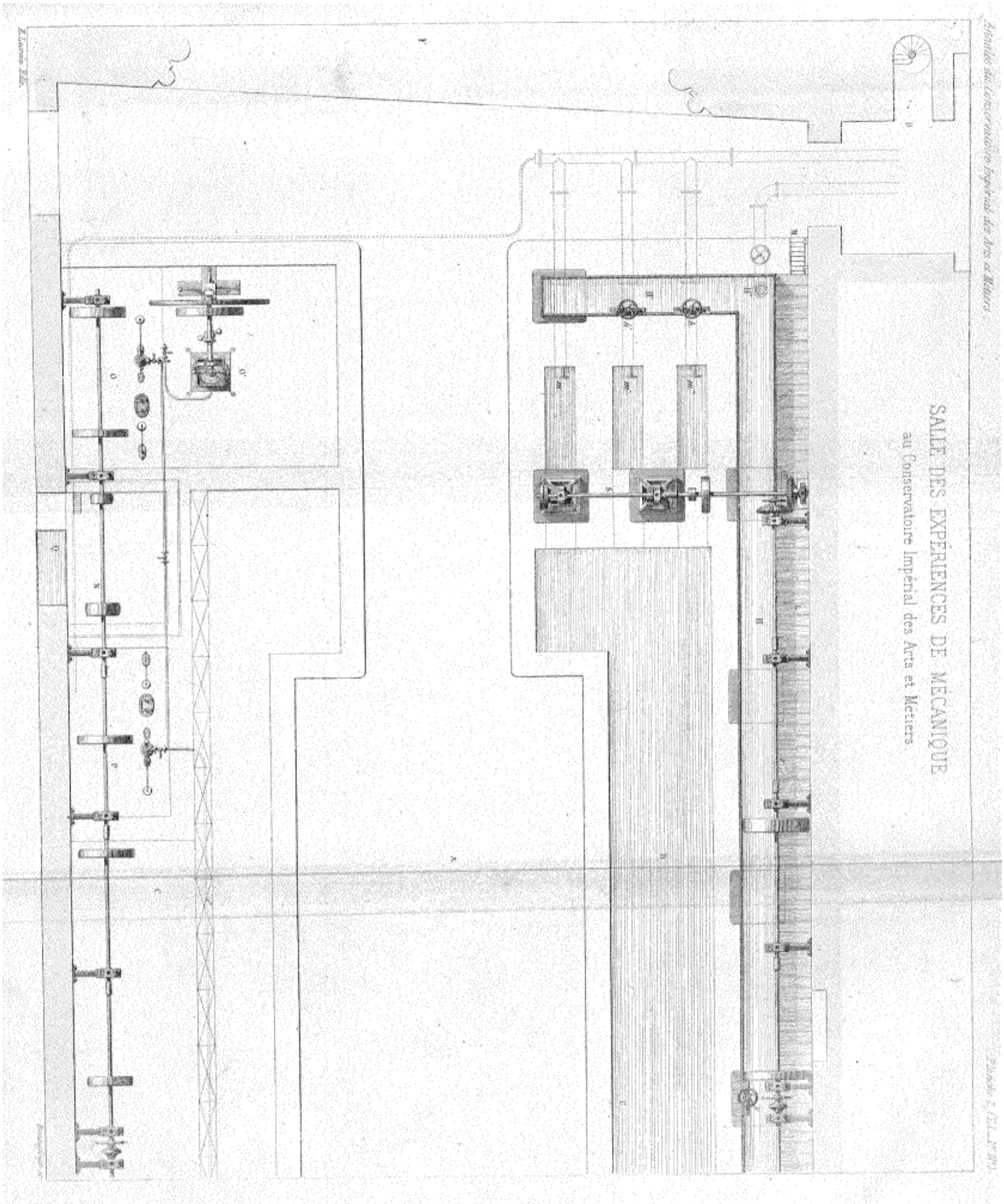
— Expériences sur une machine à air chaud d'Ericcson..... 832

— Expériences sur les moteurs à gaz de M. Lenoir..... 849

— Les Médailles d'or à l'exposition de Besançon..... 605 et 907

Paris. — Imprimerie P.-A. BOURDIER et Cie, rue Mazarine, 30.

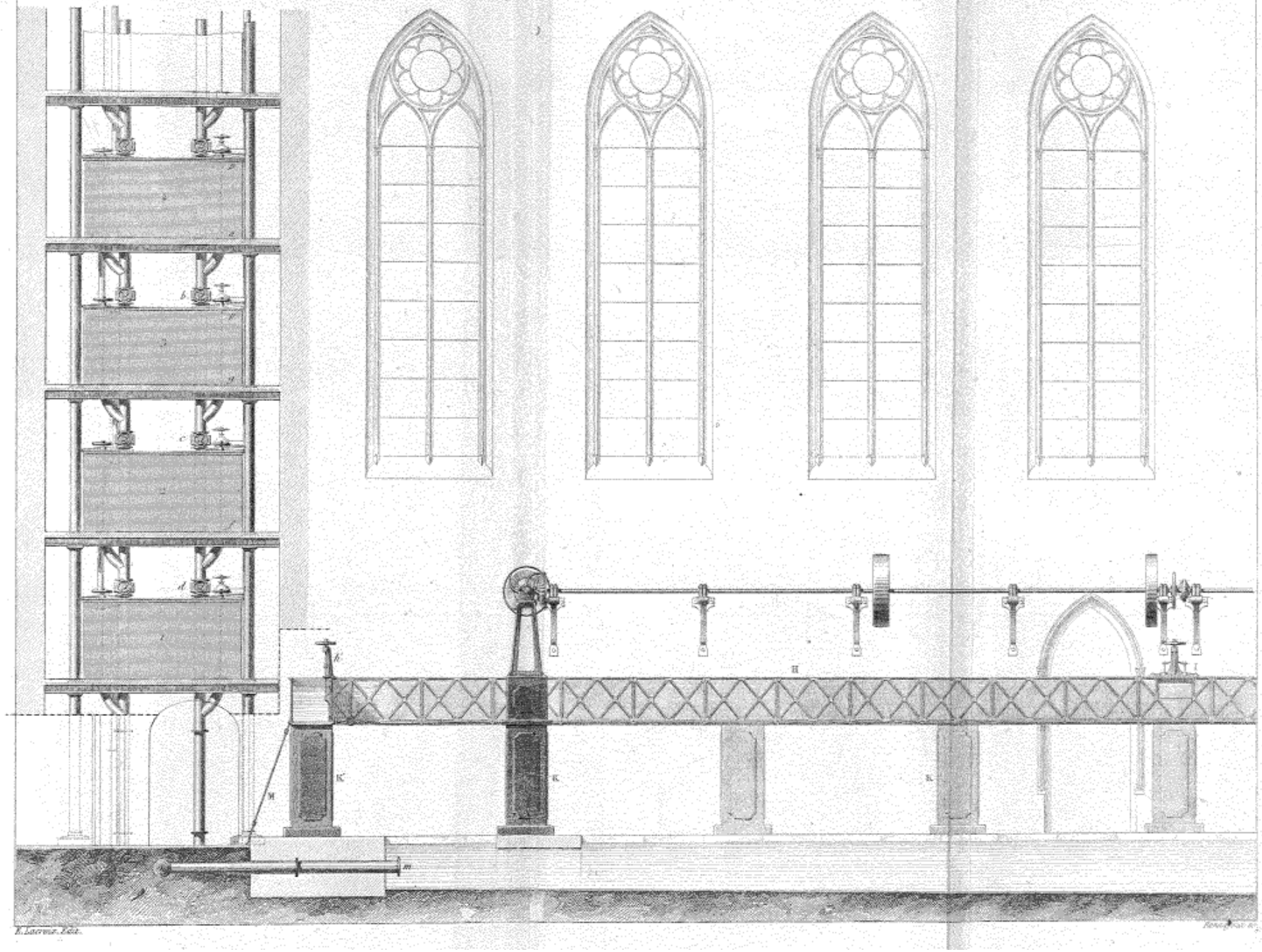
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



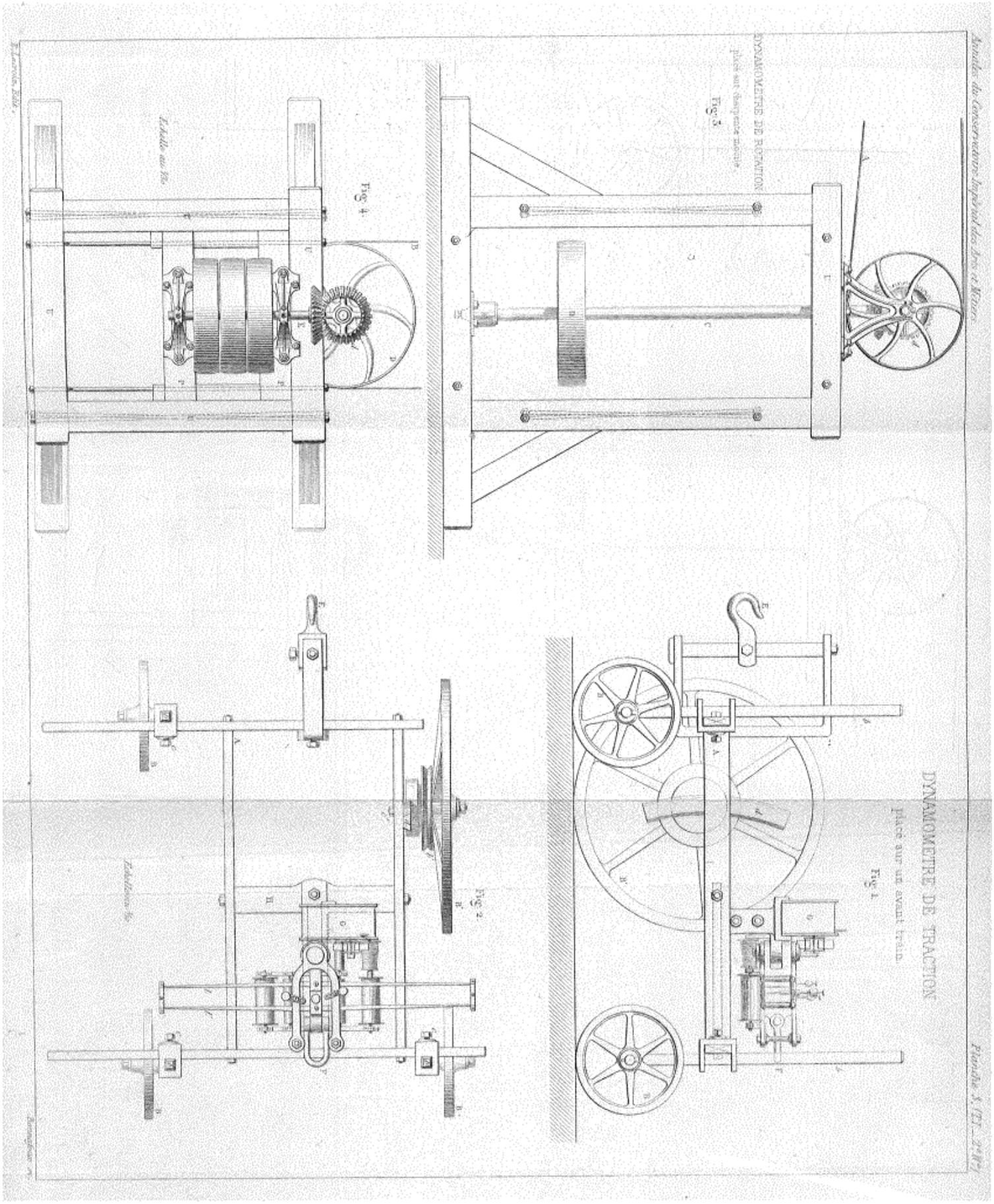
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SALLE DES EXPÉRIENCES DE MÉCANIQUE

au Conservatoire Impérial des Arts et Métiers.



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

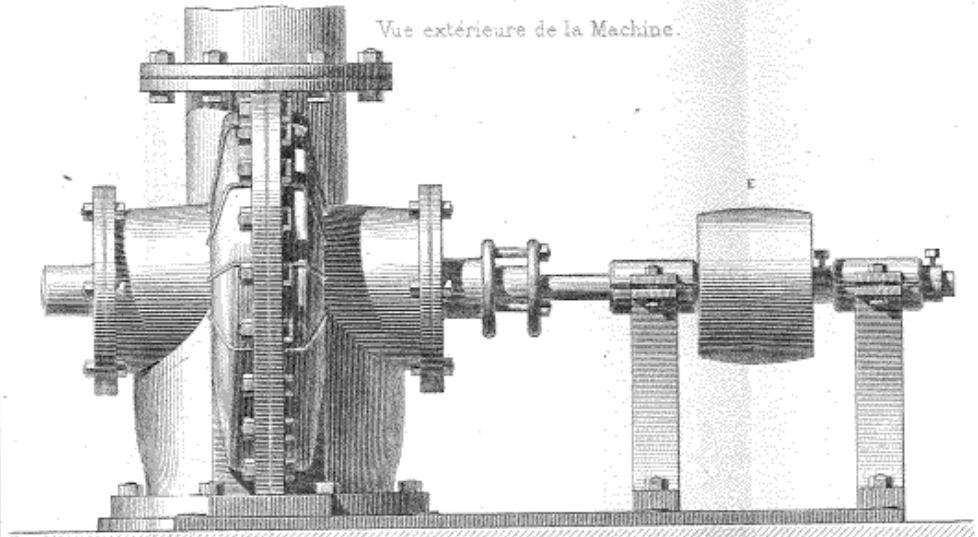


Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

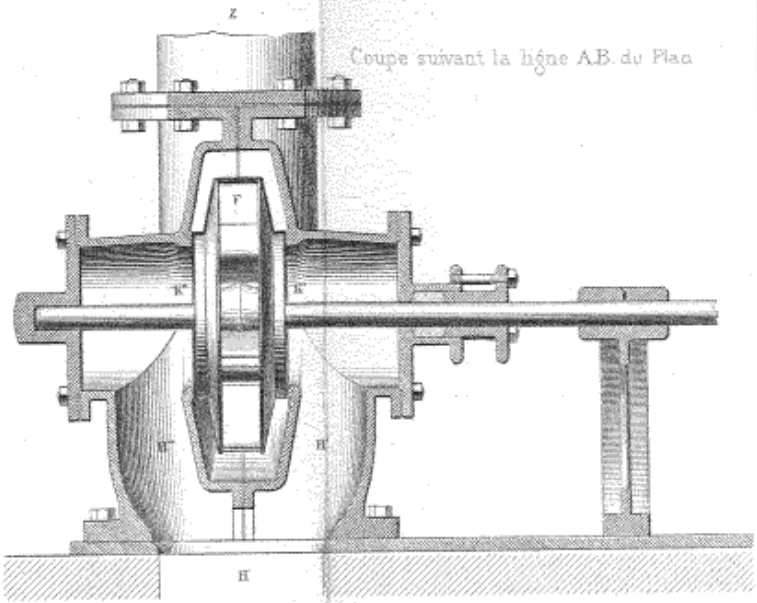
POMPE A FORCE CENTRIFUGE.

de Mr Gwyne de Londres.

Vue extérieure de la Machine.

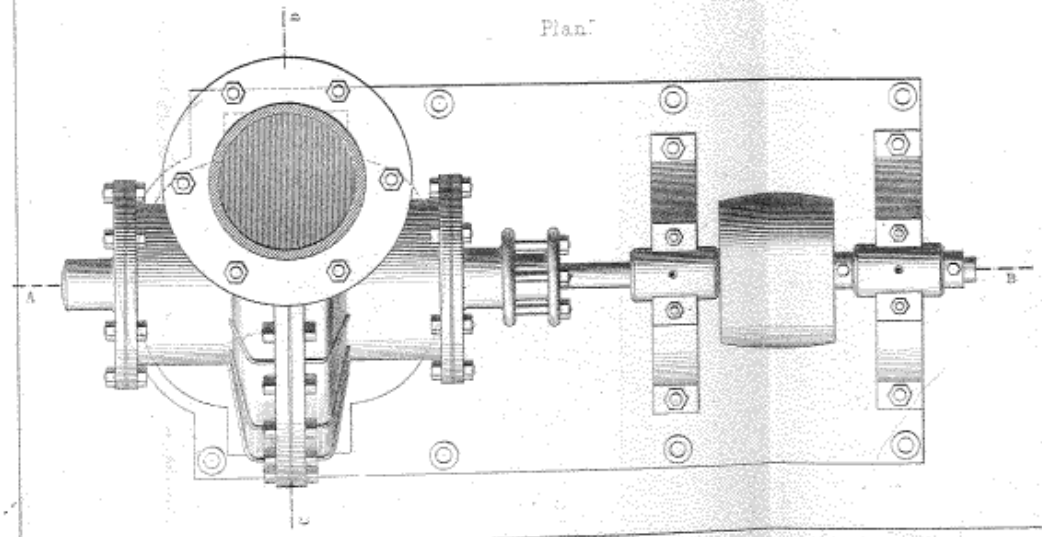


Coupe suivant la ligne A.B. du Plan.

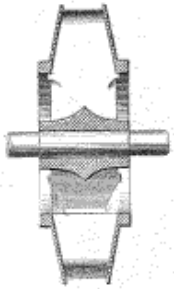


Echelle commune aux diverses Figures.

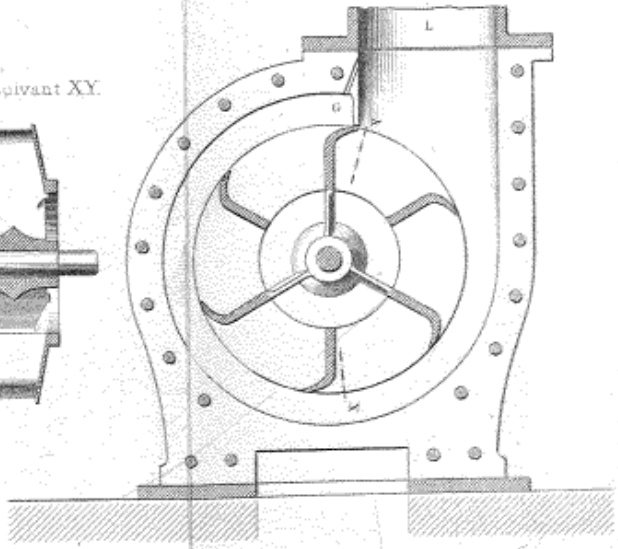
Plan.



Coupe suivant XY.



Coupe suivant la ligne C.D. du Plan.



L. Lacroix Edit.

Bonnefoux sc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TURBINE ELÉVATOIRE À CINQ COURONNES,

de Mr Girard.

Coupe par l'axe de la Machine.

Fig. 1.

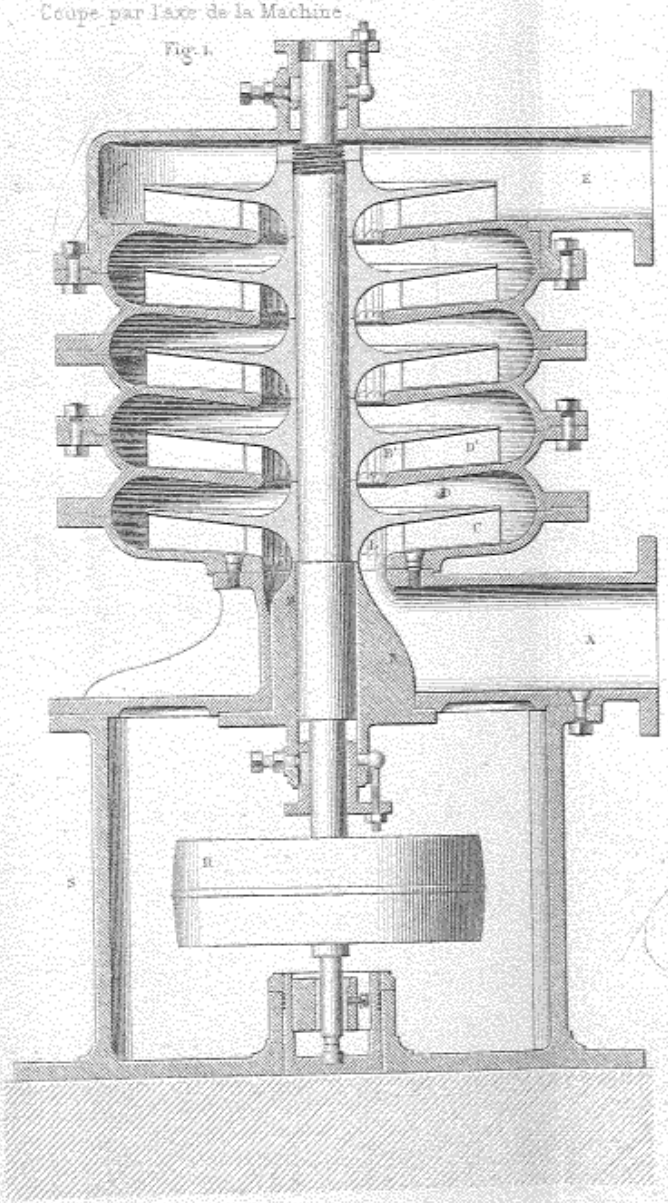
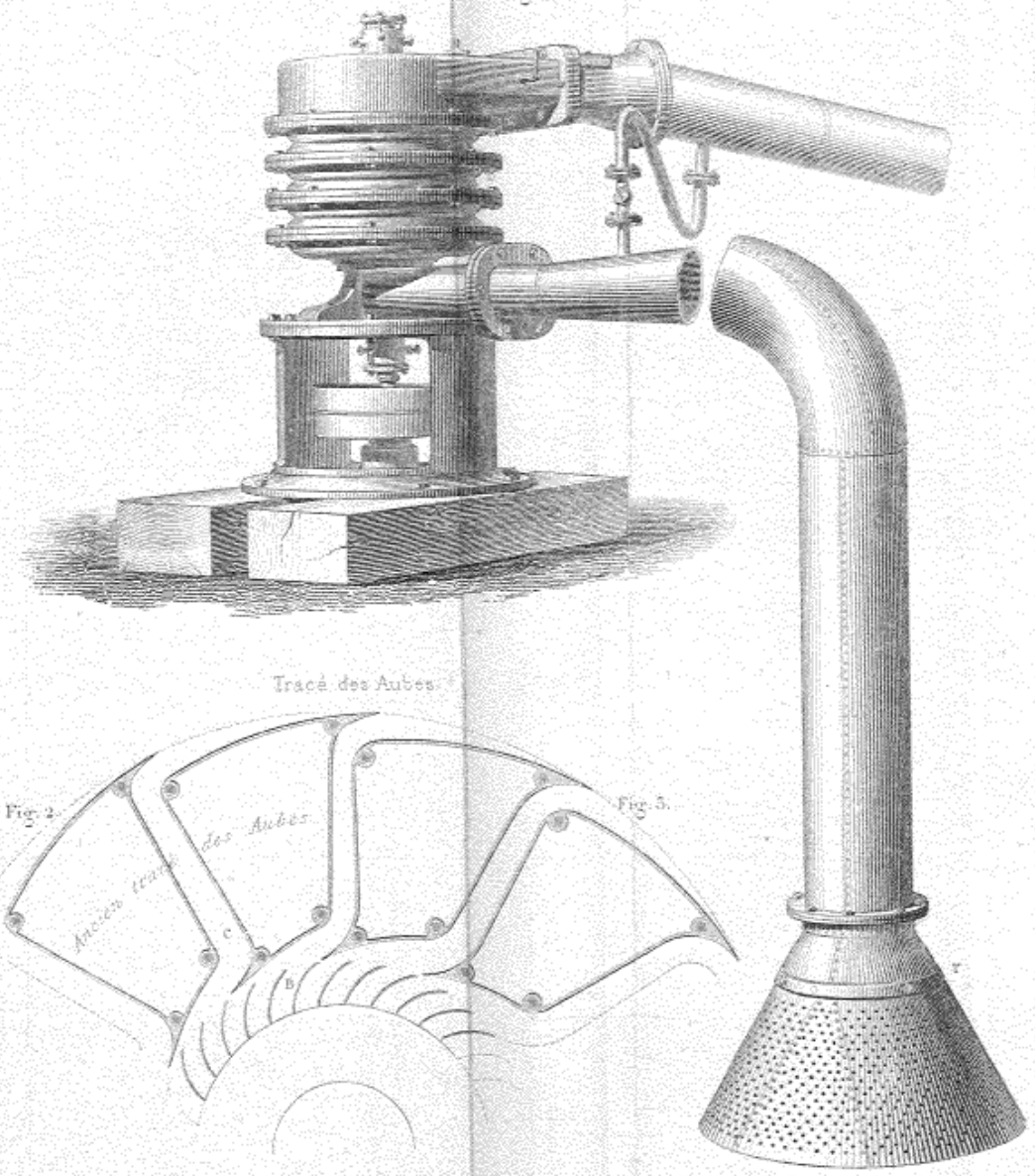


Fig. 4. Vue extérieure de la Machine.



Tracé des Aubes.

Fig. 2.

Fig. 3.

Échelle du tracé Fig. 1 de 0,01 pour 1 mètre.

Échelle des Fig. 2 et 3 de 0,025 pour 1 mètre.

E. Lacroix Edit.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CANAL DU GANGE.

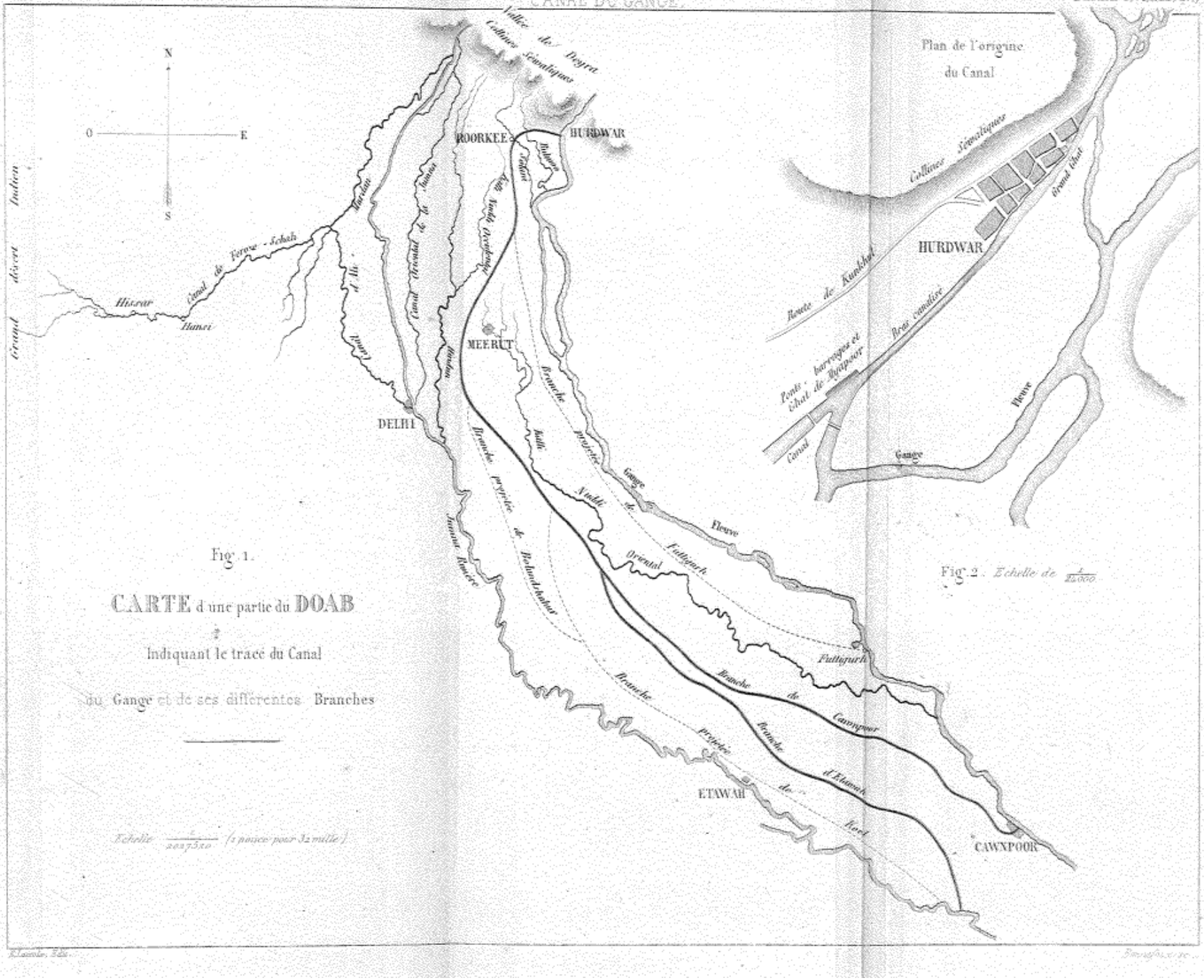


Fig. 1.

CARTE d'une partie du **DOAB**

Indiquant le tracé du Canal

du Gange et de ses différentes Branches

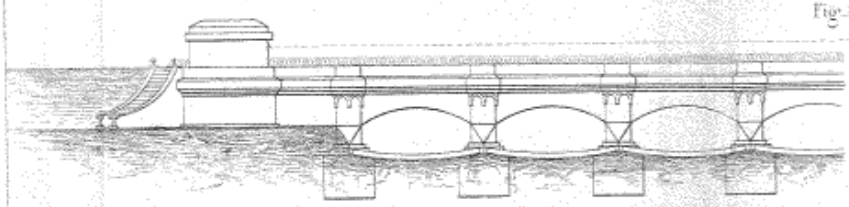
Échelle $\frac{1}{2007500}$ (1 pouce pour 32 mille)

Fig. 2. Échelle de $\frac{1}{72000}$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CANAL DU GANGE. PONT-AQUEDUC DE ROORKEE.

Fig. 1. Elévation.



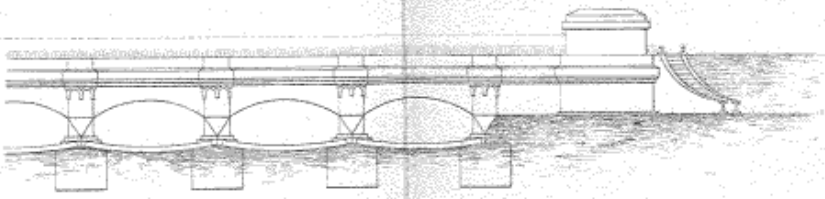


Fig. 2. Plan.

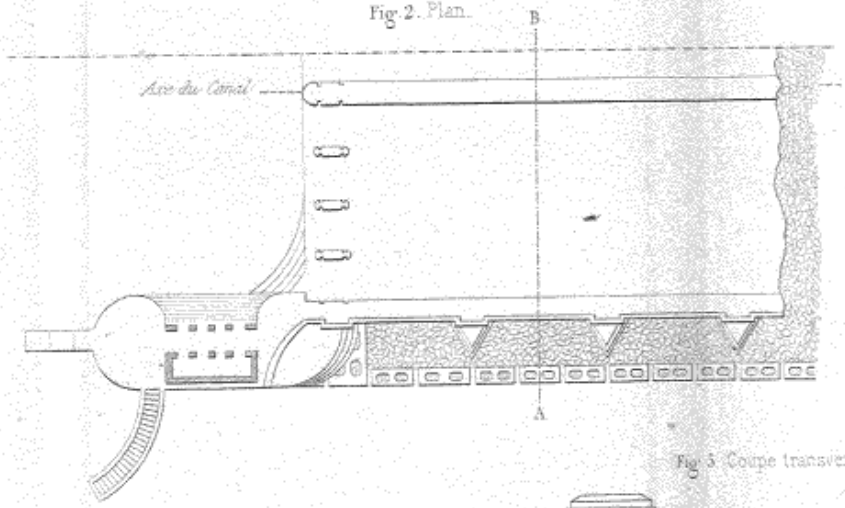


Fig. 3. Plan des Fondations.

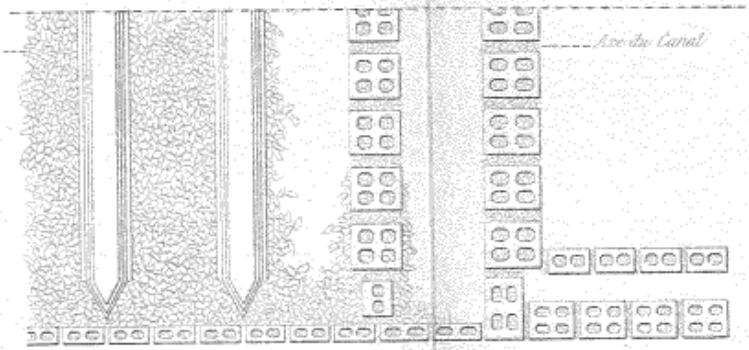


Fig. 5. Coupe transversale sur la ligne AB du Plan.

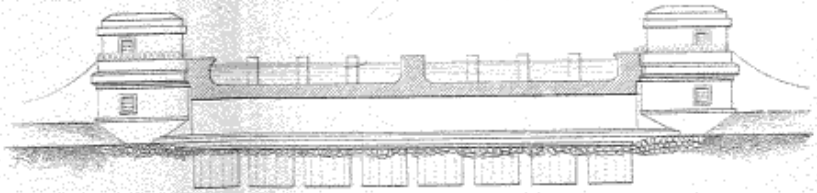


Fig. 4. Elévation d'une Arche.

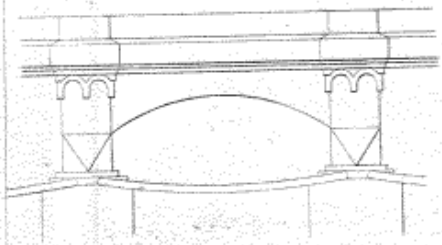


Fig. 6. Coupe transversale de la première Arche.

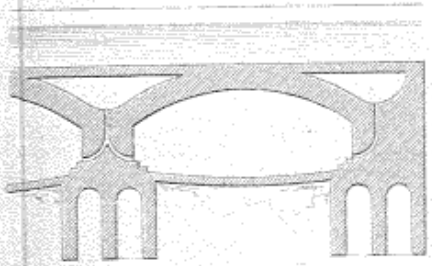


Fig. 7. Coupe verticale d'un massif.

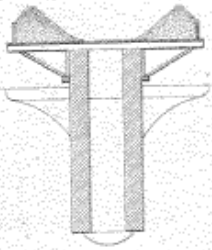


Fig. 8. Plan d'un massif à quatre puits.

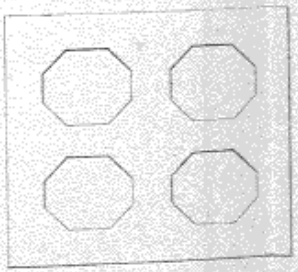
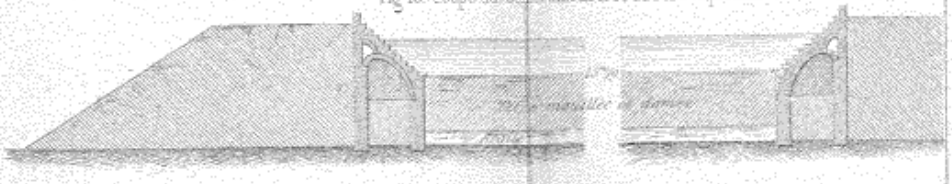


Fig. 9. Plan d'un massif à deux puits.

Fig. 10. Coupe du Canal aux abords du Pont-Aqueduc.



Échelle des Figures 1, 2, 3 et 5 $\frac{1}{480}$ (1 p.ce pour 40 pieds.)

Échelle des Figures 4, 6 et 8 $\frac{1}{240}$ (1 p.ce pour 20 pieds.)

Échelle des Figures 7, 8 et 9 $\frac{1}{192}$ (1 p.ce pour 16 pieds.)

E. Lacroix, Edit.

Bonnefoux etc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MACHINE A AIR CHAUD D'ERICCSON.

Fig. 2.

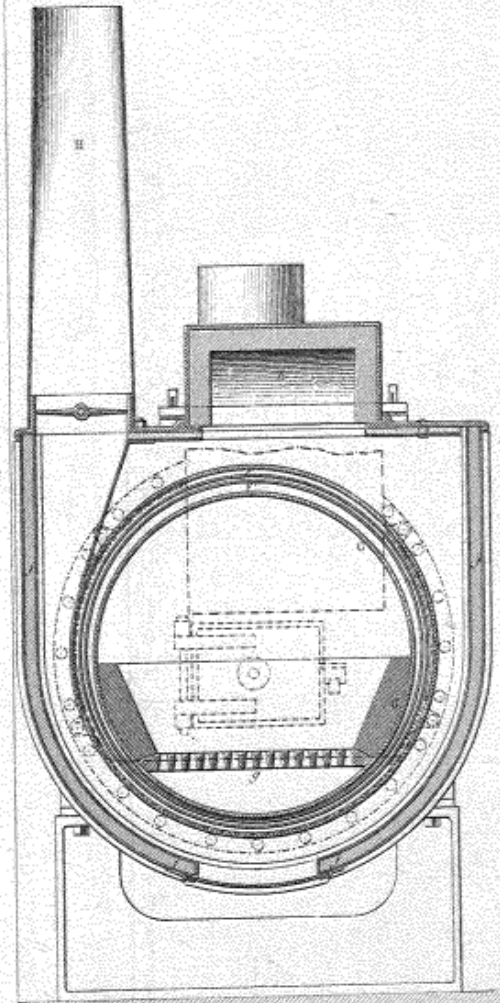
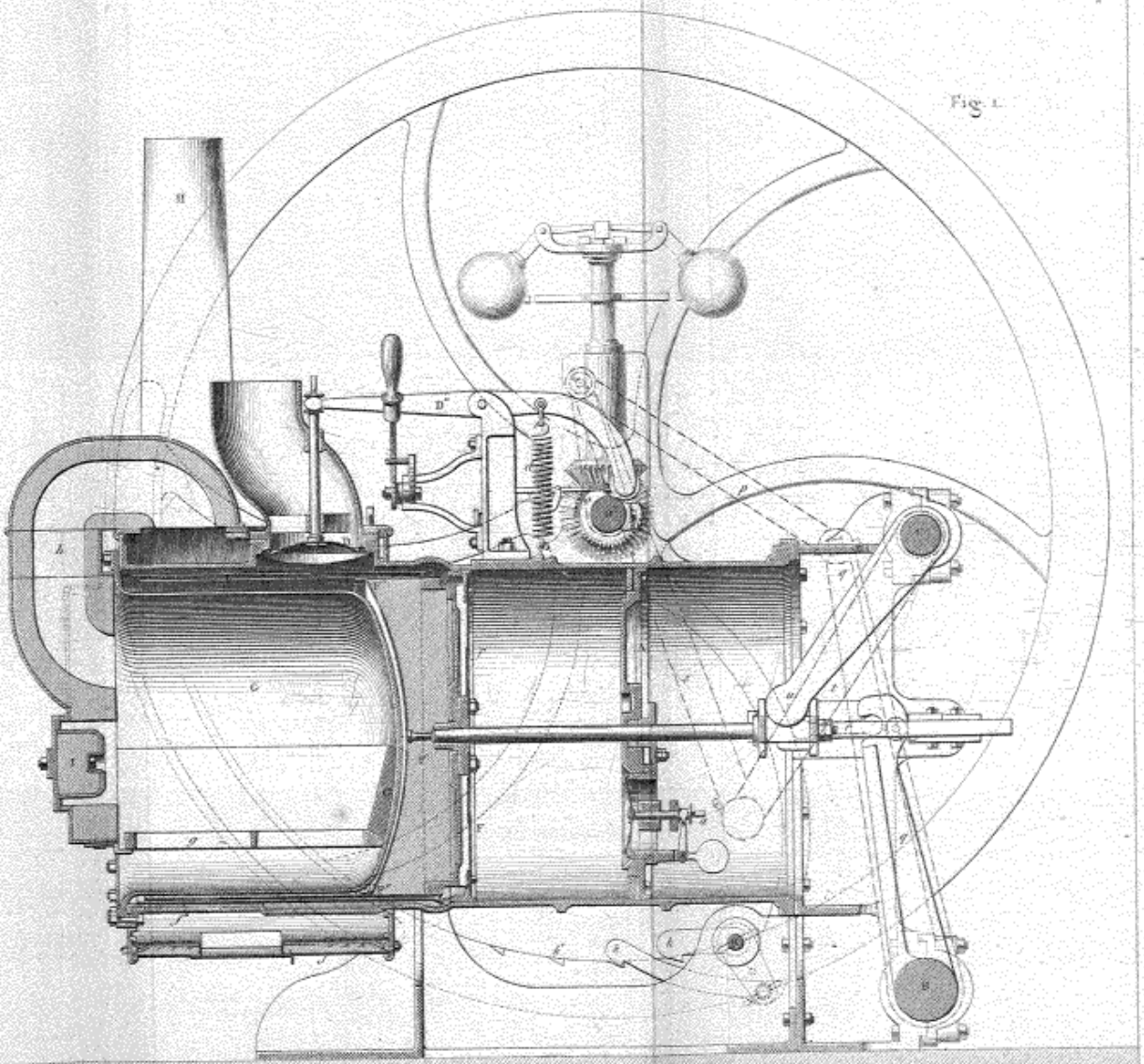


Fig. 1.



Echelle de 0,01 pour mètre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires