

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- [Le Conservatoire numérique](#) communément appelé [le Cnum](#) constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre (www.eclydre.fr).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - https://cnum.cnam.fr](#))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

NOTICE DE LA REVUE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Revue technique de l'exposition universelle de 1889
Auteur(s)	Revue technique de l'exposition universelle de 1889
Titre	Revue technique de l'exposition universelle de 1889
Adresse	Paris : E. Bernard et Cie, 1893
Collation	16 vol. ; in-8
Nombre de volumes	21
Cote	CNAM-BIB 8 Xae 353
Sujet(s)	Exposition universelle (1889 ; Paris)
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8XAE353
LISTE DES VOLUMES	
	1. Première partie. L'architecture
	2. Deuxième partie. La construction
	3. Troisième partie. Les travaux publics
	4. Quatrième partie. Mines et métallurgie
	5. Quatrième partie. La minéralogie, la minéralurgie et la géologie
	6. Cinquième partie. Les chemins de fer
	7. Sixième partie. [Tome I] Chaudières à vapeur et machines thermiques
	8. Sixième partie. Tome II. Chaudières à vapeur et machines thermiques
	9. Septième partie. Mécanique générale. Machins outils. Hydraulique générale. Travail du bois. Travail des métaux. Machineries industrielles
	10. Septième partie. Tome II. Les machines outils
	11. Huitième partie. Électricité et applications
	12. neuvième partie. Marine et arts militaires
	13. Dixième partie. Arts industriels
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	14. Onzième partie. Industries chimiques
	15. Onzième partie. Tome II. Industries chimiques
	16. Première partie. Comptes-rendus des séances générales. Procès verbaux des séances de section. Listes des membres, etc
	Atlas des 1re, 2e et 3e parties comprenant : Architecture, La construction, Travaux publics
	Atlas des 4e et 5e parties comprenant : Mines et métallurgie, Chemins de fer (Signaux), Chemins de fer (Voie et matériel roulant)
	Atlas de la 6e partie comprenant : Chaudières à vapeur, Machines à vapeur
	Atlas des 7e et 8e parties comprenant : Hydraulique, Machines-outils, Electricité
	Atlas des 9e, 10e, 11e parties comprenant Marine et Arts militaire, Arts industriels, Industries chimiques

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Auteur(s) volume	Revue technique de l'exposition universelle de 1889
Titre	Revue technique de l'exposition universelle de 1889
Volume	14. Onzième partie. Industries chimiques
Adresse	Paris : E. Bernard et Cie, 1893
Collation	1 vol. (584 p.) : ill. en noir et blanc ; 27 cm
Nombre de vues	586
Cote	CNAM-BIB 8 Xae 353 (14)

Sujet(s)	Exposition universelle (1889 ; Paris) Industrie caoutchoutière Caoutchouc Industrie chimique Réfrigération et appareils frigorifiques
Thématique(s)	Expositions universelles
Typologie	Revue
Langue	Français
Date de mise en ligne	15/12/2020
Date de génération du PDF	06/02/2026
Recherche plein texte	Disponible
Notice complète	https://www.sudoc.fr/106718894
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redirect?8XAE353.14

70 537

1° 2ae 353 u

REVUE TECHNIQUE
DE
L'EXPOSITION UNIVERSELLE
DE 1889

PAR UN COMITÉ D'INGÉNIEURS, DE PROFESSEURS
D'ARCHITECTES ET DE CONSTRUCTEURS

CH. VIGREUX, FILS

Ingénieur des Arts et Manufactures
Inspecteur du Service mécanique et électrique à l'Exposition Universelle de 1889
Secrétaire de la Rédaction

ORGANE OFFICIEL
DU CONGRÈS INTERNATIONAL DE MÉCANIQUE APPLIQUÉE
Tenu à Paris du 16 au 21 Septembre 1889



PARIS
E. BERNARD et Cie, IMPRIMEURS-ÉDITEURS
53 ter, Quai des Grands-Augustins, 53 ter

1893

ONZIÈME PARTIE

INDUSTRIES CHIMIQUES

ONZIÈME PARTIE

INDUSTRIES CHIMIQUES

LE CAOUTCHOUC A L'EXPOSITION

PAR

René BOBET

Le caoutchouc figure à l'Exposition universelle dans la classe 45. — Produits chimiques et pharmaceutiques.

On le trouve encore sous les formes les plus variées dans les classes suivantes:

Classe 14. — Médecine et chirurgie.

Classe 35. — Articles de bonneterie et de lingerie. — Objets accessoires du vêtement.

Classe 39. — Objets de voyage et de campement.

Classe 40. — Bimbeloterie.

Classe 62. — Electricité.

Nous étudierons les caoutchoucs exposés dans ces différentes classes, mais sans suivre le classement officiel ; nous diviserons notre travail en deux parties:

Caoutchoucs bruts.

Caoutchoucs manufacturés.

Dans chacun de ces 2 grands groupes, nous passerons en revue ce que les exposants ont présenté de plus remarquable, et pour éviter de nous répéter, nous traiterons les questions communes à un point de vue général.

PREMIÈRE PARTIE

CAOUTCHOUCS BRUTS

Nature du Caoutchouc

Le caoutchouc est un produit de nature végétale qui existe dans la sève d'un grand nombre d'arbres et d'arbustes des pays chauds. Lorsqu'on pratique une incision sur ces arbres, il en découle un suc laiteux qu'on recueille et qui, soumis à une dessiccation convenable, laisse comme résidu solide une matière plus ou moins blanche qui est le caoutchouc.

Cette substance est souvent désignée sous le nom de *gomme élastique* et parfois aussi sous le nom de *gomme* tout court ; nous adopterons ces désignations, bien qu'elles donnent lieu à des confusions fréquentes avec les gommes proprement dites et les gommes-résines.

VÉGÉTAUX PRODUCTEURS. — PAYS DE PRODUCTION.

Les arbres à caoutchouc croissent en abondance et à l'état sauvage dans la plupart des pays chauds ; on les rencontre principalement dans les régions tropicales, dans une zone qui paraît limitée par le trentième degré de latitude nord et le trentième degré de latitude sud. Ils peuvent cependant être cultivés dans certains cas en dehors de ces limites.

L'Amérique, l'Afrique, l'Asie et l'Océanie renferment des arbres à caoutchouc, l'Europe seule n'en produit pas.

Les végétaux producteurs de caoutchouc appartiennent à plusieurs familles parmi lesquelles nous citerons les Euphorbiacées, les Morcées, les Apocynées, etc., qui toutes comprennent un grand nombre d'essences ou de variétés différentes.

Au Brésil les arbres producteurs sont les *heveas*. Ils appartiennent à la famille des euphorbiacées et portent les noms de *hevea brasiliensis*, *hevea guyanensis*, *siphonia elastica*, etc., ou plus communément *seringueiras*. Les gens du pays qui les exploitent prennent le nom de *seringueiros*. Les *heveas* atteignent souvent des hauteurs de 15 et 20 mètres et forment des forêts immenses dans certaines parties du Brésil, principalement dans les provinces de Para, de Maranhá et des Amazonas.

Dans les différentes républiques de l'Amérique centrale, le caoutchouc provient presque exclusivement du *castilloa elastica*, appelé aussi *arbre d'ulé* ;

d'où le nom d'*uleros* donné à ceux qui le récoltent. Cet arbre croît aussi au Pérou, dans la Colombie, au Mexique, etc., il fait partie de la famille des Morées et présente plusieurs variétés.

L'Afrique renferme un très grand nombre d'arbres, d'arbustes et de lianes d'essences variées qui produisent le caoutchouc en abondance. Au Congo et sur toute la côte de Guinée on rencontre principalement des vignes ou grandes lianes appartenant à la famille des Apocynées ; au Gabon et à Assinie les végétaux producteurs sont les *Landolphia kerkii* et les *Landolphia petersiani*. Dans l'île de Madagascar on trouve le *Vahea gummifera*, grande liane qui croît aussi dans les îles voisines, et le *Vahea speciosa*. Dans l'île de la Réunion, le caoutchouc est extrait du *ficus elastica*. L'Afrique est à peine explorée sur les côtes et cependant elle livre déjà au commerce un fort contingent de caoutchouc. Quand les moyens de communication permettront de pénétrer plus avant dans l'intérieur, ce vaste continent, encore si peu connu, jouera un rôle important au point de vue de la production du caoutchouc.

L'Asie et l'Océanie sont également riches en arbres à caoutchouc ; les plus connus sont le *ficus elastica*, de la famille des Morées, qui croît dans l'Inde et en Assam, à Java et dans les îles océaniques, puis l'*urceola elastica*, de la famille des Apocynées, qu'on rencontre en abondance dans la plupart des îles de la Malaisie, à Java, à Sumatra, à Bornéo, etc...

EXTRACTION DU LAIT DE CAOUTCHOUC. — COMPOSITION.

Il existe deux méthodes principales pour extraire le lait de caoutchouc de végétaux qui le produisent ; l'une consiste à pratiquer des incisions, l'autre est un procédé barbare consistant à abattre l'arbre et à le débiter ensuite en petits morceaux. Dans les deux cas, le jus ou suc laiteux qui s'écoule est recueilli et soumis à des manipulations diverses ayant pour but de séparer la crème qu'il renferme, c'est-à-dire le caoutchouc. Comme il est facile de le comprendre, la méthode des incisions ne se pratique pas de la même manière dans tous les pays, elle présente au contraire une grande variété dans les moyens de mise en œuvre.

La première méthode employée au Brésil consistait à entourer le tronc de l'arbre, à une faible hauteur au-dessus du sol, avec une liane ou une corde disposée dans une position oblique ; puis immédiatement au-dessus de cette ligature, on pratiquait une entaille qui suivait le même contour et affectait par suite la forme d'une ellipse. Le tronc était alors couvert d'entailles inclinées venant toutes aboutir à une grande entaille verticale allant depuis le haut jusqu'au bas. La sève, s'écoulant par tous ces petits canaux, débouchait dans le grand canal vertical qui la conduisait jusqu'en bas où la liane formant saillie empêchait le

liquide de déborder. Par suite de l'inclinaison même de l'entaille creusée au-dessus de la ligature, le suc laiteux arrivait à la partie la plus basse où il était reçu dans un récipient ou dans un trou creusé au pied de l'arbre.

Cette méthode est très préjudiciable aux arbres, aussi a-t-elle été prohibée par le gouvernement du Brésil ; elle n'est plus guère usitée aujourd'hui que dans les provinces reculées où la surveillance administrative ne peut pas s'exercer d'une manière efficace.

Le procédé actuellement en usage au Brésil consiste à pratiquer de petites incisions transversales et à placer au-dessous de chacune d'elles une tasse en terre ou une noix de coco, retenue à l'arbre avec un peu d'argile grasse. Quand la tasse est pleine, on en verse le contenu dans un grand récipient et on la remet en place.

La méthode par incisions est suivie dans presque toutes les contrées, tantôt les incisions sont transversales, tantôt elles sont obliques ou verticales ; dans ces différents cas, les arbres supportent facilement ces blessures répétées et vivent 50 ans et plus en produisant chaque année une récolte.

Dans certains pays, on recueille le lait de caoutchouc en abattant l'arbre. Quand l'arbre est à terre, on le débite en petites longueurs de 30 à 40 centimètres et au-dessous de l'une des extrémités de chaque morceau, disposé suivant une certaine inclinaison, on place une tasse ou un récipient quelconque. Pour activer l'écoulement du liquide par un bout, on chauffe parfois l'extrémité opposée.

La sève fournie par les végétaux à caoutchouc est un liquide blanc ayant l'apparence du lait ordinaire.

Voici, d'après Faraday, les éléments qui constituent ce lait.

Caoutchouc	31.70
Albumine.	1.90
Substance amère azotée, soluble dans l'eau et l'alcool.	7.13
Substance soluble dans l'eau, insoluble dans l'alcool	2.90
Cire	traces
Eau contenant un peu d'acide.	56.37
	<u>100.00</u>

La composition du lait de caoutchouc varie naturellement avec la nature de l'arbre, avec l'époque de l'année à laquelle on le recueille, et avec diverses autres circonstances. Des analyses faites par plusieurs savants ont montré que la proportion de caoutchouc est ordinairement comprise entre 10 et 40 %.

On s'est demandé, pendant un certain temps, s'il n'y avait pas intérêt à exporter le suc laiteux tel qu'il s'écoule des arbres ; mais on s'est bien vite trouvé en présence de difficultés presque insurmontables. D'abord il fallait se procurer des récipients et les transporter. En outre, comme la sève s'altère rapidement à l'air en produisant une détérioration partielle du caoutchouc, on a dû rechercher des agents capables d'empêcher cet effet. On a reconnu qu'en ajoutant de l'ammo-

niaque, le suc laiteux conservait pendant très longtemps ses propriétés primitives; cet alcat empêche à la fois la coagulation et l'altération du liquide. Malgré ce résultat encourageant, les difficultés de transport, à travers les forêts sauvages, du lait, de l'ammoniaque et des récipients, ont fait abandonner cette idée. A part quelques exceptions, tous les caoutchoucs sont expédiés des pays de production à l'état solide; nous allons expliquer en quelques mots comment on parvient à éliminer la plus grande partie de l'eau.

COAGULATION DU CAOUTCHOUC.

Ainsi que le montre l'analyse de Faraday, le lait de caoutchouc renferme une notable proportion d'eau dont on se débarrasse de plusieurs manières.

Au Brésil, on fait subir au suc laiteux une sorte d'enfumage. Pour cela, on commence par préparer un moule ou bloc d'argile affectant la forme d'une poire, d'une gourde, etc... et on le fixe à l'extrémité d'un bâton. Quand le moule est sec, on le plonge dans le récipient renfermant le suc laiteux, on le retire et on le présente au-dessus d'un feu de bois dans lequel on fait brûler des sortes de noix sauvages appelées inaja. Ces noix produisent une épaisse fumée qui jouit de la propriété de sécher et de coaguler rapidement le liquide resté sur le moule; de sorte que ce dernier se trouve alors entouré d'une couche de caoutchouc solidifié. On le replonge dans le liquide et on le soumet à un deuxième enfumage qui laisse une nouvelle couche de caoutchouc par dessus la première. Une troisième immersion suivie d'un enfumage donne naissance à une troisième couche de caoutchouc, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on juge que la matière coagulée est assez épaisse. A ce moment, on détache le bâton qui a servi à la manœuvre et le bloc est plongé dans l'eau; l'argile se délaye peu à peu, le moule proprement dit disparaît et il ne reste plus qu'un pain de caoutchouc affectant la forme générale du moule sur lequel il a été préparé et qu'on fait sécher à l'air.

Au lieu de moules en argile, les seringueiros du Brésil emploient aussi des moules en bois, c'est-à-dire des morceaux de planches, des pelles ou des spatules. Malgré cette différence, l'opération est conduite de la même manière, en soumettant le moule à une série d'immersions et d'enfumages.

Le caoutchouc récolté au Brésil, connu sous le nom de caoutchouc du Para, ou simplement *Para*, se présente donc sous la forme de poires, de gourdes ou de bouteilles plus ou moins aplaties, les unes circulaires, les autres rectangulaires. Il se distingue aisément des autres sortes par sa structure lamelleuse; une coupe faite dans un morceau de Para laisse voir sa formation par couches superposées et concentriques. Il est brun ambré.

La coagulation par enfumage est peu compliquée et n'exige aucun matériel; les seringueiros préparent les moules sur place et trouvent des noix sauvages par-

tout où croissent les heveas. Comme ces sortes de noix n'existent qu'au Brésil, le procédé n'est pas applicable dans les autres pays.

La méthode généralement suivie pour obtenir la coagulation consiste à ajouter certains liquides au lait de caoutchouc ; on emploie à cet effet l'eau, l'eau salée, des dissolutions d'alun ou de bisulfite de soude, l'acide sulfurique et l'acide chlorhydrique, etc... Quel que soit le liquide adopté, on l'ajoute dans certaines proportions au suc laiteux et on agite. La crème de caoutchouc se sépare assez vite et surnage à la surface, on l'enlève et on la soumet à une forte pression pour chasser l'eau en excès ; on obtient ainsi des feuilles, plaques ou galettes plus ou moins épaisses qui sont suspendues à l'air libre afin de les sécher le plus complètement possible. Ces procédés sont assez rapides et suffisamment économiques ; cependant ils sont parfois impraticables à cause du matériel de récipients, de produits chimiques et d'eau qu'ils nécessitent. Il est facile de comprendre en effet que dans les forêts vierges, là où bien entendu les routes n'existent pas et où il faut se frayer un chemin à coup de baches, les indigènes qui partent pour récolter le caoutchouc ne peuvent pas s'embarquer avec un matériel encombrant. Ils sont déjà suffisamment chargés avec les vivres, les outils de travail et les armes nécessaires pour se défendre contre les animaux ; ils s'efforcent donc d'employer des procédés aussi simples que possible pour obtenir la coagulation ; en voici quelques-uns.

Dans certains pays, le lait est assemblé dans un récipient et on laisse la coagulation s'effectuer d'elle-même. Quand la crème s'est séparée et forme une masse solide à la surface, on soutire le liquide restant, puis on ajoute une nouvelle quantité de suc laiteux qui fournit à son tour une nouvelle quantité de caoutchouc. En ajoutant ainsi à plusieurs reprises du suc laiteux, on arrive à former un bloc dont les diverses feuilles successivement coagulées se sont soudées ensemble.

On opère aussi la coagulation en déposant la sève dans un trou creusé dans le sol ; l'eau s'infiltre dans la terre et la partie solide reste au fond du trou où elle est mélangée de sable, de terre et d'autres impuretés. Il arrive parfois qu'avec certaines essences d'arbres et pendant la saison chaude, la sève se solidifie d'elle-même, au sortir de l'incision. Dans ce cas, la récolte est facile : tantôt les filaments coagulés sont réunis en blocs informes au pied de l'arbre, tantôt les filaments sont enroulés sur eux-mêmes en formes de boules plus ou moins volumineuses.

CULTURE DES ARBRES A CAOUTCHOUC

Il a été reconnu que les incisions pouvaient être répétées un grand nombre de fois et pendant bien des années sans qu'il en résulte aucun inconvénient. Les entailles avec ligature du tronc sont au contraire très préjudiciables et les arbres.

périssent rapidement. La méthode qui consiste à abattre l'arbre est malheureusement très usitée dans certaines contrées, et il est impossible de faire comprendre aux indigènes qui la pratiquent qu'en agissant ainsi ils se privent pour l'avenir d'une source précieuse de revenus. Cette destruction systématique des arbres à caoutchouc a pris des proportions qui font craindre leur disparition complète sur certains points. Aussi les gouvernements intéressés se sont émus de cet état de choses ; quelques-uns ont prohibé le mode d'extraction par abattage et par entailles avec ligature du tronc ; d'autres reconnaissant l'inanité de ces prohibitions, par suite de l'impossibilité dans laquelle ils se trouvent d'exercer une surveillance effective dans les localités éloignées, ont préconisé la culture des arbres à caoutchouc.

Des tentatives de ce genre ont été réalisées de divers côtés, les meilleurs essences ont été plantées dans les endroits les plus favorables et commencent à produire. Il est certain que les besoins toujours croissants de l'industrie doivent faire craindre une disette de gommés, en même temps qu'une élévation du prix de la matière, il est donc désirable de voir les plantations d'arbres à caoutchouc se propager et nous croyons qu'elles sont appelées à donner des produits très rémunérateurs. Il est vrai que pour l'entreprendre il faut d'abord immobiliser des capitaux de premier établissement, pendant huit à dix ans, avant de faire une première récolte, ce qui n'est pas à la portée de tout le monde. Quoiqu'il en soit la culture des arbres à caoutchouc a déjà commencé au Brésil, dans la Colombie, dans l'Amérique centrale, dans l'Inde, etc..., et comme les résultats sont encourageants il est probable qu'elle se propagera.

Composition et propriétés

Le caoutchouc pur est un corps solide, blanc, transparent sous une faible épaisseur, formé d'une infinité de petites cavités communiquant entre elles et susceptibles de se dilater.

C'est un hydrocarbure qui, d'après les analyses de Faraday, de Berzélius, de Payen et d'autres savants, est formé de 8 équivalents de carbone et 7 équivalents d'hydrogène ; sa formule chimique est donc C^8H^7 . Une analyse faite par Uré a décelé la présence d'une petite quantité d'oxygène alliée au carbone et à l'hydrogène ; mais on doit attribuer la présence de l'oxygène, dans ce cas, à un commencement de détérioration de la matière.

Le caoutchouc est composé de deux parties : l'une *visqueuse*, l'autre *fibreuse*, possédant toutes les deux la même composition, tout en jouissant de propriétés très différentes.

Il est plus léger que l'eau, sa densité est 0.930 environ. Il brûle rapidement à l'air en produisant une flamme éclairante, sans laisser de résidu appréciable ; il

est mauvais conducteur de la chaleur et de l'électricité ; il s'électrise par le frottement.

Influence de la température. — Propriété soudante ou adhésive. A la température ordinaire de nos climats, c'est-à-dire à 15 ou 20°, le caoutchouc est souple et malléable, il est élastique et possède la propriété de se souder à lui-même. Ainsi en rapprochant l'un contre l'autre deux morceaux fraîchement coupés, il suffit d'exercer une légère pression pour que le collage s'effectue, sans le secours d'aucune autre matière. Cette propriété est due à la partie visqueuse du caoutchouc, la partie fibreuse ne la possède pas.

En le refroidissant vers 0°, il devient dur et rigide comme un morceau de bois ; il a perdu sa souplesse, son élasticité et en même temps la propriété qu'il avait de se souder à lui-même ; on dit qu'il est *gelé*. Si ensuite on le ramène à la température de 15 à 20°, il est nécessaire de le tenir pendant plusieurs jours à ce degré de chaleur pour qu'il recouvre ses propriétés primitives ; mais si on le chauffe à 40°, il se dégèle très promptement. Lorsqu'on prend une lanière soumise à une température de 0°, et qu'on cherche à l'allonger, il faut le faire avec précaution, car la matière est devenue dure et cassante ; en exerçant 4 ou 5 tractions successives, on observe que cette lanière recouvre son élasticité sans qu'il soit besoin de la chauffer. Ce phénomène doit être attribué à ce que l'allongement développe, à l'intérieur des molécules, une certaine quantité de calorique qui produit le même effet qu'une exposition directe dans un milieu chaud.

Soumis à des températures croissantes, le caoutchouc s'amollit de plus en plus, sa malléabilité augmente, sa propriété adhésive se développe, il devient collant et ses fragments se soudent alors à eux-mêmes avec la plus grande facilité. Vers 150°, il est amené à l'état visqueux. Si à ce moment on le laisse refroidir, il reprendra sa consistance et son élasticité premières ; si au contraire on continue à le chauffer, on observe qu'à 220° environ il fond, devient gluant et se transforme en une masse liquide. Quand il a été amené à cet état, il ne peut plus reprendre par le refroidissement sa consistance naturelle, il reste indéfiniment liquide. En continuant à chauffer, la matière se décompose et dégage des gaz susceptibles de s'enflammer ; ces gaz sont des carbures d'hydrogène, faciles à recueillir en opérant par distillation.

Action de l'eau. — Le caoutchouc plongé dans l'eau absorbe ce liquide très lentement, surtout s'il est un peu épais. L'eau s'introduit peu à peu dans les pores et les gonflent, ce qui occasionne une augmentation générale du volume de la matière. Au bout d'un mois d'immersion, l'augmentation de poids peut atteindre de 15 à 25 % ; en même temps la substance prend une teinte plus blanche. Quand on fait agir l'eau chaude, le caoutchouc s'amollit et l'absorption du liquide est plus rapide.

Un morceau de caoutchouc ainsi hydraté, et exposé à l'air, perd peu à peu l'eau qu'il a absorbée, mais le phénomène est encore plus lent que celui de l'absorption ; cela tient à ce que les pores superficiels laissent échapper l'eau, se referment et empêchent ensuite le liquide des couches intérieures de sortir.

Action de l'air et de la lumière. — Les caoutchoucs s'oxydent lentement à l'air et se détériorent : les uns se résinifient, les autres deviennent mous et poisseux. On a remarqué que dans l'air ozonisé l'oxydation se produisait en très peu de temps.

Exposés successivement à la lumière solaire et à l'humidité, ils se détériorent plus vite que dans un milieu constant ou dont l'état est peu variable. Ils doivent donc être conservés autant que possible à l'abri de l'air et de la lumière, c'est-à-dire dans des caisses ou dans un endroit sombre. Nous verrons plus tard que le caoutchouc vulcanisé est sujet aux mêmes détériorations que le caoutchouc cru, mais à un moindre degré, et que les mêmes précautions doivent être prises pour sa conservation.

Dissolvants du caoutchouc. — Nous avons dit que l'eau était absorbée par le caoutchouc. Presque tous les liquides se comportent de la même façon, mais quelques-uns ont de plus la propriété de dissoudre partiellement cette substance, tels sont : l'éther, le chloroforme, la benzine, l'essence de térébenthine, les essences minérales, le pétrole, le sulfure de carbone, etc.

Lorsqu'on plonge un morceau de caoutchouc dans un de ces liquides, on le voit augmenter de volume ; le liquide s'introduit dans les pores et les gonfle tellement que l'échantillon atteint souvent un volume égal à sept et huit fois le volume primitif. A l'encontre de ce qui se passe pour l'eau, l'absorption est très rapide, surtout au commencement, le morceau augmente à vue d'œil. Outre le phénomène d'absorption, il s'en produit un second : la partie visqueuse du caoutchouc se dissout, tandis que la partie fibreuse reste insoluble ; mais son volume ayant augmenté considérablement, les molécules ne sont plus retenues entre elles par la partie adhésive qui s'est dissoute et la matière se désagrège avec la plus grande facilité. Il suffit d'agiter et de remuer le tout ensemble pour obtenir une masse pâteuse qu'on appelle une *dissolution de caoutchouc*, bien qu'en réalité une partie seulement soit dissoute. Nous verrons que cette propriété très importante est utilisée et donne lieu à des applications nombreuses, principalement dans l'industrie des tissus imperméables. Les dissolvants les plus employés sont la benzine et l'essence de térébenthine. Quand on veut avoir une solution très limpide, on a recours au sulfure de carbone seul ou mélangé avec 5 ou 6 0/0 d'alcool pur.

Action des acides et des alcalis. — Les acides faibles ou dilués ont une action peu sensible sur le caoutchouc. Il n'en est pas de même des acides concen-

très : l'acide sulfurique pur le durcit complètement; l'acide azotique, concentré à 48° Baumé, l'attaque et le détruit en quelques heures ; en opérant à chaud, l'action est encore plus rapide.

Les alcalis faiblement concentrés n'exercent aucune influence préjudiciable ; ils ont, au contraire, pour effet de neutraliser les petites quantités d'acides qui se trouvent parfois dans les caoutchoucs du commerce et, à ce point de vue, ne peuvent qu'avoir une action bienfaisante. Les alcalis concentrés et chauds, agissant pendant 12 à 24 heures, l'amolissent et le rendent poisseux à la surface.

Classification des caoutchoucs

On divise généralement les caoutchoucs bruts en trois grandes classes, suivant leur provenance :

Caoutchoucs d'Amérique.

Caoutchoucs d'Afrique.

Caoutchoucs d'Asie qui comprennent en même temps les produits des îles océaniques.

Cette division n'a qu'un intérêt médiocre, attendu qu'elle ne correspond pas à une classification précise, permettant d'attribuer une valeur aux produits d'un groupe par rapport aux autres, ou simplement de les distinguer. Comme il existe une grande variété d'arbres à caoutchouc, et comme les moyens d'extraction et de coagulation du suc laiteux varient d'un endroit à un autre, il en résulte que les produits obtenus varient eux-mêmes à l'infini ; aussi est-il extrêmement difficile de les classer d'après les qualités. On se contente de les grouper d'après leur provenance et on les désigne dans le commerce par le lieu d'origine ou par le port d'embarquement ; en d'autres termes on les distingue par des noms géographiques. En outre, pour différencier les diverses qualités d'une même provenance, on indique leur état physique, on spécifie la forme, la dureté, la couleur, l'état de propreté, etc..., en un mot on cherche à les qualifier d'une manière aussi précise que possible.

Nous allons passer en revue les caoutchoucs qui figurent à l'Exposition.

LES CAOUTCHOUCS BRUTS

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE

Il aurait été intéressant de grouper dans une même collection les caoutchoucs de tous les pays producteurs, on aurait pu ainsi comparer plus facilement les nombreuses variétés que le commerce livre à l'industrie et apprécier les différences dans les qualités.

Nous croyons que cette collection aurait facilité les négociations de certaines sortes de gommes encore peu connues et qui méritent cependant de l'être davantage. Elle n'aurait pas seulement été utile aux producteurs de bons caoutchoucs, elle aurait également servi à ceux qui en livrent de mauvais ; car les premiers auraient bénéficié de la comparaison à leur avantage et les derniers, suffisamment édifiés sur les causes d'infériorité de leurs produits, auraient par la suite cherché à améliorer les procédés d'extraction et de coagulation actuellement en usage, au grand avantage des producteurs et des consommateurs.

EXPOSITION DU BRÉSIL

Le Brésil est le plus grand producteur de caoutchoucs. Les meilleures sortes proviennent des provinces de Para, de Maranham et des Amazones et sont connues sous la désignation de *Para*. On distingue dans le commerce plusieurs qualités dont les trois principales sont : le *Para fin*, le *Para demi-fin* et le *Sernamby* ou *tête de nègre*. Les deux premières qualités affectent les formes de poires, de gourdes, etc... et ne diffèrent que par leur état de propreté : le Para demi-fin n'a pas été coagulé avec tous les soins voulus, il renferme du sable, de l'argile et des débris ligneux qui apparaissent dans une section transversale faite dans un bloc. Le Sernamby est formé avec des déchets de la préparation du Para et des filaments ; tout ce qui tombe par terre pendant l'enfumage et les résidus qui s'accablent au fond des récipients servent à confectionner des blocs ou pains de formes variées ; quand ces blocs sont sphériques on leur donne le nom de tête de nègre. Le Para est un caoutchouc ferme, nerveux et élastique, c'est le type du genre.

Outre le Para qui est fourni par l'*hevea brasiliensis*, le Brésil renferme d'autres variétés d'arbres à caoutchouc, parmi lesquels nous citerons le *Mangabeira*. La gomme extraite de cet arbre est connue dans le commerce sous le nom de Mangabeira : c'est une substance blanche, en gros pains épais ou en plaques, elle renferme peu d'impuretés mais seulement une forte proportion d'eau. Le Mangabeira n'a pas la même valeur que le Para, il est moins nerveux et moins élastique ; la production en est du reste limitée.

Le Brésil exporte encore une gomme désignée sous le nom de *Ceara* ; elle nous arrive sous forme de lanières enchevêtrées les unes dans les autres, elle est de couleur jaunâtre et renferme souvent beaucoup d'impuretés.

Dans le pavillon élevé par le Brésil à l'Exposition, nous avons remarqué deux pyramides de poires de Para brut provenant des provinces de Para et des Amazones. M. Menier expose au même endroit, et parmi les produits du gouvernement brésilien, des poires de Para et quelques feuilles de Para épuré, c'est-à-dire ayant été lavé et débarrassé de ses impuretés. Nous voyons aussi au bas de l'une des pyramides quelques boules noires, dites têtes de nègre. MM. Boris frères ex-

posent une plaque de Mangabeira et dans une petite vitrine plate plusieurs lots de Sernamby. Dans la même vitrine M. Saint-Anna Nery a réuni quelques poires de Para et des boules tête de nègre. A côté, MM. Lacerda et C^o exposent plusieurs plaques de caoutchouc qui paraissent être du Mangabeira.

Pendant l'année 1887-1888 le Brésil a récolté 15.766.000 kilogs de caoutchouc dont 10.110.000 kilogs ont été exportés aux Etats-Unis et 5.280.000 kilogs en Europe.

Au point de vue de la qualité, l'exportation comprenait :

9.477.000 kgs.	Para fin
1.030.000 »	Para demi-fin
3.760.000 »	Sernamby
1.123.000 »	Caoutchoucs divers
<hr/>	
15.390.000 »	

Le chiffre de l'année 1887-88 est le plus élevé qui ait été atteint jusqu'à ce jour, ainsi que le montre le tableau suivant, dans lequel sont relatées les récoltes pendant ces cinq dernières années.

Année 1883-84	10.463.000 kgs
» 1884-85	11.885.000 »
» 1885-86	12.835.000 »
» 1886-87	13.395.000 »
» 1887-88	15.766.000 »

Cette progression, toujours croissante montre que le Para est de plus en plus estimé et employé dans l'industrie. La qualité dite Para fin est en effet le type parfait du caoutchouc, le Brésil est le seul pays qui le produise, avec le Vénézuéla et la Bolivie.

L'Hevea brasiliensis pourra, peut-être, être acclimaté dans d'autres contrées ; mais il est peu probable que cette culture soit jamais capable d'entrer en concurrence avec la production naturelle de l'immense empire du Brésil. A l'heure actuelle, ce pays jouit d'un véritable monopole, en ce qui concerne le caoutchouc ; il produit la plus grande quantité et la meilleure qualité ; aussi, a-t-il établi des droits assez élevés à l'exportation. Le Para sert de régulateur au marché des caoutchoucs ; quand sa valeur augmente ou diminue, toutes les autres sortes subissent des fluctuations analogues.

Exposition des Républiques de l'Amérique centrale

Les cinq républiques de l'Amérique centrale : le Salvador, le Guatemala, le Nicaragua, le Costa-Rica et le Honduras ont exposé au Champ de Mars, mais les trois premières seulement nous montrent des spécimens de caoutchoucs.

SALVADOR

Les caoutchoucs exposés dans le pavillon du Salvador proviennent des départements de la-Libertad, de La-Paz, de Sonsonate et de l'Usulután. Il y a là une belle collection de plaques et de galettes rondes de couleur noire, quelques-unes sont d'assez bonne qualité, mais la plus grande partie est poisseuse, gluante et de qualité très inférieure. A côté des produits bruts, sont placées des feuilles du même caoutchouc lavé et épuré ; nous remarquons des peaux grises à gros grains et à grains fins, sèches et nerveuses ; puis des peaux noires, poisseuses, gluantes et tout-à-fait mauvaises. Ces deux qualités si différentes montrent qu'il y aurait intérêt à ne pas les mêler ensemble dans un même lot. Les exportateurs feraient bien d'opérer un triage sur place et d'éliminer les plaques poisseuses qui, en se décomposant pendant le transport, détériorent en même temps celles qui sont de bonne qualité et diminuent ainsi la valeur réelle d'un lot.

En examinant une section faite dans une plaque, on aperçoit de petites cavités remplies de liquide, ce qui indique qu'après la coagulation le caoutchouc n'a pas été suffisamment pressé et que la dessiccation est par suite incomplète. Pour améliorer la qualité, il suffirait d'apporter quelques soins dans la préparation des plaques, de les presser fortement pour en faire sortir les parties aqueuses et ensuite de les laisser sécher à l'air pendant quelques jours avant de les emballer.

Les caoutchoucs que nous avons examinés dans le pavillon du Salvador sont ou gris très foncé ou noirs et nous paraissent provenir les uns et les autres d'une même essence d'arbre ; la différence de qualité serait due, croyons-nous, à un manque de soins dans la préparation.

NICARAGUA

Le Nicaragua expose plusieurs grandes feuilles de 5 à 20 millimètres d'épaisseur et des plaques d'un caoutchouc noir et nerveux. A côté se trouve un gros bloc en forme de boudin mesurant environ 1 mètre de longueur et 25 centimètres de diamètre ; il est constitué par des fragments de lanières juxtaposés et retenus ensemble par d'autres lanières plus longues qui entourent le tout. Ces divers échantillons, les plaques comme le boudin, sont de bonne qualité.

Nous en dirons autant de l'échantillon de Nicaragua que nous avons remarqué parmi les objets exposés dans la classe 62 par M. Menier. Ce caoutchouc récolté au Valle-Menier est noir et de même nature que les produits qui figurent dans le pavillon du Nicaragua.

GUATEMALA

L'Exposition de Guatemala renferme 4 ou 5 plaques de caoutchouc d'une épaisseur variant de 2 à 4 centimètres et une boule formée de filaments enroulés sur eux-mêmes, dans laquelle on aperçoit quelques parcelles de bois emprisonnées

dans la masse. Ce caoutchouc est noir, nerveux et de bonne qualité. Il a la plus grande analogie avec le Nicaragua : il est probable qu'il s'extrait des mêmes arbres et qu'il est récolté de la même manière dans les deux pays.

EXPOSITION DU VÉNÉZUELA

Les échantillons exposés par les Etats-Unis de Vénézuëla sont peu nombreux mais parfaitement choisis. Ils se composent : 1° d'un bloc affectant la forme d'une demi-poire constituée comme le Para, de couches superposées et concentriques, ce qui indique que la dessiccation a été obtenue, comme au Brésil, en soumettant le suc laiteux à l'enfumage ; et 2° de 5 à 6 petites tranches plates qui semblent avoir été découpées dans la deuxième moitié de la poire, suivant des sections parallèles au grand axe ; on retrouve d'ailleurs à la surface de ces plaques la même structure lamelleuse observée sur la demi-poire. Ce caoutchouc est noirâtre et de très bonne qualité ; il ressemble beaucoup au Para, quoiqu'étant un peu plus foncé que ce dernier.

Le caoutchouc est exploité dans plusieurs parties du Vénézuëla : on le rencontre dans toute la zone des forêts et principalement sur les territoires du Haut Orénoque et des Amazones, qui sont limitrophes avec le Brésil à l'est et au sud. Les Indiens qui circulent dans ces immenses régions emploient, dans les deux pays, les mêmes procédés pour coaguler le caoutchouc et comme les produits du Haut Orénoque et des Amazones sont exportés au Brésil, il est probable que le caoutchouc récolté au Vénézuëla est livré au commerce sous le nom de Para.

D'après la statistique dressée par le gouvernement Vénézuëlin, ce pays a exporté pendant l'année économique 1885-86, un poids de 18.856 kilogrammes de caoutchouc représentant une valeur de 84.416 fr. Ces chiffres sont minimes, surtout si on les compare à l'étendue des forêts susceptibles d'être exploitées et qui s'étendent sur une superficie de 7 à 800.000 kilomètres carrés. Il y a donc, dans ces forêts, une belle réserve de caoutchouc pour l'avenir.

EXPOSITION DE L'ÉQUATEUR

Parmi les objets exposés par la République de l'Equateur, nous n'avons aperçu qu'un seul échantillon de caoutchouc renfermé dans un bocal. Il nous a donc été assez difficile d'apprécier sa valeur ; à en juger par ce que nous avons vu, il nous a semblé que l'échantillon était constitué par des bandes minces de 5 à 10 centimètres de largeur enroulées sur elles-mêmes ; qualité équivalente au caoutchouc connu dans le commerce sous le nom de Guayaquil (capitale de l'Equateur.)

EXPOSITION DU MEXIQUE

Les Etats de Chiapas, de Michoacan et de Vera-Cruz ont rassemblé dans le

pavillon du Mexique plusieurs spécimens de caoutchoucs récoltés sur leurs territoires. Nous avons remarqué :

1° Des plaques mesurant 20 à 40 centimètres de côté et 3 à 5 centimètres d'épaisseur, toutes sont noires, quelques-unes sont grasses et poisseuses ;

2° Des lanières noires et fermes ;

3° Une boule d'environ 8 centimètres de diamètre formée de lanières minces enroulées sur elles-mêmes, de bonne qualité.

Si nous nous en rapportons à ces différents échantillons, nous pouvons dire que le caoutchouc du Mexique est en général de bonne qualité, lorsqu'il est convenablement récolté. En perfectionnant un peu les procédés de coagulation, il serait facile d'éviter les plaques grasses et poisseuses que nous avons signalées.

EXPOSITION DE LA BOLIVIE

Le pavillon élevé par la Bolivie à l'Exposition renferme 3 blocs ou poires, l'un pesant 3 kilogrammes, l'autre 10 kilogrammes et le troisième 12 kilogrammes environ. Ces poires possèdent absolument, le même aspect que les poires de Para; elles sont formées par des couches superposées et coagulées par le procédé de l'enfumage et ont la même teinte ambrée. Ce caoutchouc est, sans aucun doute, extrait et préparé comme celui qui est récolté au Brésil et doit être assimilé à du Para.

Les 3 échantillons que nous venons de mentionner proviennent du département du Beni, dans la province de Magdalena, et sont exposés par M. Francisco Suarez.

Exposition des Colonies Françaises

L'Exposition des Colonies Françaises a été organisée à l'Esplanade des Invalides ; les caoutchoucs envoyés par les colonies se trouvent dans le Palais central, élevé sur cet emplacement. Nous allons passer en revue les différentes sortes que nous y avons rencontrées.

COLONIE DE NOSSI-BÉ

La colonie de Nossi-bé expose :

1° Un gros bloc de forme circulaire mesurant environ 50 centimètres de diamètre et 15 centimètres de hauteur ; poids 26 kilogrammes ; noir à l'extérieur ;

2° Un morceau provenant d'un pain semblable au précédent, coupé en deux parties égales par une section parallèle aux bases. L'examen de la section montre que ces pains sont formés par une série de couches concentriques dont les unes sont jaunâtres et les autres noirâtres.

COLONIE DE MAYOTTE

MM. A. de Faymoreau et Mazari ont envoyé une collection de petites boules, plus ou moins déformées, ayant de 2 à 3 centimètres de diamètre et constituées par des filaments enroulés sur eux-mêmes ; ces boules sont de couleur rosée, fermes et de bonne qualité.

Le service local de la colonie expose de son côté 5 petites boules de 5 à 6 centimètres de diamètre formées avec des filaments enroulés ; deux d'entre elles sont noirâtres et un peu poisseuses, les trois autres sont plus fermes, légèrement rosées et de même nature que celles de MM. A. de Faymoreau et Mazari.

COLONIE DE LA RÉUNION

M. Potier expose un échantillon provenant d'un bloc sensiblement sphérique coupé en deux parties. Cet échantillon est formé de filaments enchevêtrés d'une teinte rosée. Ce caoutchouc est un peu gras.

Dans une autre partie du Palais central, nous avons retrouvé un bloc de caoutchouc de même nature et qui semble appartenir au bloc sphérique dont M. Potier nous montre la première moitié. L'étiquette porte la mention suivante ; *Stecus elastica*, extraction très difficile.

MADAGASCAR

Nous avons remarqué dans le compartiment réservé aux produits de l'île de Madagascar :

1° Une grosse boule noire, légèrement poisseuse, avec cette inscription : — *Vahea Gummiifera*, extraction très facile ;

2° Plusieurs boules de la grosseur de la tête, extraites des *Vahea gummiifera* qui croissent sur la côte N.-O. de Madagascar. Ces différentes boules sont noires extérieurement, un peu molles et de qualité médiocre ;

3° Une boule aplatie provenant de Samberano, fournie par le *Vahea speciosa* ; elle est noire et poisseuse ;

4° Une boule noire, ferme et d'assez bonne qualité, provenant de Vohema ;

5° Sous le n° 2792, nous observons un lot composé d'une plaque et de quelques petites boules ; ce lot est de bonne qualité, le caoutchouc est jaunâtre brun avec une très légère teinte rosée.

Outre les échantillons précédents qui figurent dans le Palais central des colonies, nous avons à signaler, dans le pavillon spécial de Madagascar, une belle collection de caoutchoucs envoyée par MM. Alibert et C^{ie}. Ces exposants nous montrent d'abord deux flacons renfermant du lait de caoutchouc, liquide blanc, possédant absolument le même aspect que le lait ordinaire ; puis à côté quelques morceaux jaunes solidifiés et préparés d'après le système de M. Robet (conservation du lait par l'ammoniaque et coagulation par l'acide sulfurique). Nous re-

marquons en outre deux grandes caisses de caoutchoucs récoltés dans la région Nord de Madagascar ; caoutchoucs en boules de 10 à 15 centimètres de diamètre, les unes de couleur jaune brun avec teinte rosée, les autres noirâtres ; toutes sont fermes, nerveuses et de très bonne qualité.

Si nous comparons ces produits avec les échantillons réunis par le service des colonies dans le Palais central, nous ne pouvons nous empêcher de constater l'infériorité de ces derniers qui sont pour la plupart de nature molle et poisseuse, à l'exception cependant du petit lot inscrit sous le n° 2792, qui nous paraît appartenir à la même catégorie que la belle exposition réunie dans le pavillon de Madagascar par MM. Alibert et C^{ie}.

GABON ET ASSINIE

Les arbres à caoutchouc qui croissent dans ces régions sont les *Landolphia kerkii* et les *Landolphia petersiani*. Les caoutchoucs sont récoltés au Gabon et en Assinie, le long des rivières du sud, sous forme de petites boules noires, poisseuses et de basse qualité qui paraissent pétries à la main. On récolte aussi des boules d'environ 10 centimètres de diamètre, formées de filaments, elles sont produites par les mêmes arbres, sont nerveuses et proviennent de Cazamance.

Ces deux genres de caoutchoucs sont rangés côte à côte, dans l'Exposition des colonies, aussi est-il facile de remarquer combien ils diffèrent entre eux. Comme ces échantillons ont été extraits des mêmes essences d'arbres, la différence de qualité ne doit être attribuée qu'à la manière dont le suc laiteux a été extrait et coagulé ou à la saison pendant laquelle les incisions ont été faites. Ces observations permettront d'améliorer les procédés d'extraction, actuellement en usage dans certaines parties du Gabon, et il serait à désirer que le service local de notre colonie étudiat la question et vint éclairer les indigènes, en leur indiquant les méthodes les plus propres à fournir des produits susceptibles d'être utilisés et recherchés par les consommateurs.

Signalons encore une galette plate, de bonne qualité, dont la matière a été extraite, comme les précédents échantillons, du *Landolphia kerkii* et provenant d'Assinie.

CONGO FRANÇAIS

Dans la section du Congo français, nous voyons le caoutchouc des Pahouins de l'Ogouk, station de N'Djolé. Ce sont des boules pétries, de la grosseur du poing, noires extérieurement, un peu molles et qui doivent être classées parmi les caoutchoucs poisseux ; cependant ils sont utilisables. A côté se trouvent de petites boules noires aplaties et des grains noirs de la grosseur d'une noisette ; ces deux sortes sont poisseuses, huisantes et franchement mauvaises. Le pays Bateké fournit un échantillon semblable au caoutchouc des Pahouins.

SÉNÉGAL

Le Sénégal expose :

1° Des boules de 10 à 15 centimètres de diamètre, constituées avec des filaments blanchâtres qui correspondent à la qualité connue dans le commerce sous la désignation de Gambie ou sous celle de Sénégal grosses boules ; caoutchouc de bonne qualité.

2° Une boule noirâtre et grasse qui correspond à la qualité dite Sénégal inférieur.

Au premier étage du Palais central, M. le Docteur Collin a exposé une belle collection de caoutchoucs du Sénégal ; elle se compose de boules blanchâtres formées de lanières larges et épaisses enroulées sur elles-mêmes, de qualité équivalente à la sorte dite Sénégal grosses boules.

Également au premier étage, parmi les produits envoyés par Dinah Salifou, roi des Nalous, nous avons remarqué deux blocs allongés en forme d'ellipsoïde, d'environ 10 et 15 centimètres de diamètre. Une section transversale, faite dans l'une de ces boules, montre que ce caoutchouc est blanchâtre et de très bonne qualité ; la surface extérieure a pris une teinte brune, analogue à celle du Para.

A côté, se trouvent trois autres blocs semblables aux précédents, mais dans lesquels nous apercevons des parcelles de bois emprisonnées dans la masse ; néanmoins les échantillons sont encore de bonne qualité et ne sont inférieurs aux deux premiers blocs que par suite de la présence d'impuretés qui en diminuent la valeur commerciale. Ces différentes boules allongées sont constituées par des lanières larges et épaisses. Dinah Salifou expose encore deux petits lots de boules, mesurant de 5 à 10 centimètres de diamètre, formées de filaments et de qualité un peu inférieure aux deux sortes précédentes. En résumé les caoutchoucs exposés par le Roi des Nalous sont fermes, nerveux, pas poisseux, en un mot d'excellente qualité, si nous en jugeons par leur apparence.

CONSIDÉRATIONS RELATIVES AUX CAOUTCHOUCS

DES COLONIES FRANÇAISES

Les caoutchoucs exposés dans le Palais central des colonies appartiennent tous à nos possessions d'Afrique et l'examen attentif que nous en avons fait nous laisse les impressions suivantes.

Les échantillons de Mayotte, de Nossi-bé et du Sénégal sont de qualité moyenne, les produits exposés par Dinah Salifou sont tout-à-fait remarquables ; ceux de la Réunion et de Madagascar sont les uns passables, les autres médiocres et mous ; il serait facile d'améliorer leur condition en apportant quelques soins dans les procédés de dessiccation. Certains caoutchoucs de Madagascar, et en particulier

ceux qui figurent dans le pavillon spécial de cette île, sont fermes, nerveux et absolument de première qualité. Enfin les caoutchoucs du Gabon, d'Assinie et du Congo français sont poisseux pour la plupart, sauf cependant la boule de Cazamance et la galette d'Assinie ; ces deux derniers échantillons forment une heureuse exception parmi les produits du Gabon et du Congo, et prouvent que ces contrées sont susceptibles de fournir un bon caoutchouc quand la récolte est faite avec soin.

Il serait donc utile d'améliorer les procédés de coagulation employés dans nos Colonies ; pour cela, il faudrait étudier la nature et les propriétés du suc laiteux, puis faire quelques essais de coagulation permettant de fixer la meilleure méthode à suivre. En supposant que ces expériences ne puissent pas être faites sur place, le service local des Colonies trouverait facilement à les faire exécuter en France, et dans ce cas il conviendrait de fournir des échantillons et les renseignements suivants :

1° Envoyer un échantillon du caoutchouc, tel qu'il est récolté actuellement ; indiquer, si possible, le procédé employé par les indigènes pour extraire et pour coaguler le suc laiteux.

2° Envoyer un échantillon du suc laiteux, tel qui s'écoule de l'arbre au moment de l'incision. Afin que ce lait ne s'altère pas pendant le voyage, il est indispensable de lui ajouter une petite quantité d'ammoniaque et de renfermer le mélange dans une bouteille ou dans tout autre récipient bien bouché.

3° Communiquer des feuilles, fleurs, fruits et graines de l'arbre d'où le lait a été extrait ; indiquer, si possible, le nom de l'arbre et l'espèce à laquelle il appartient ; faire connaître la saison pendant laquelle les échantillons ont été récoltés etc...

A l'aide de ces différents renseignements, il serait possible, d'arrêter le traitement qu'il conviendrait de suivre pour récolter et coaguler le lait de caoutchouc dans les conditions les plus favorables.

Ces notions, répandues ensuite par les soins du gouverneur de la Colonie, rendraient les plus grands services aux indigènes et à la Colonie elle-même, car elles donneraient à certaines sortes une valeur bien supérieure à celle qu'elles possèdent actuellement. Par suite de l'énorme quantité d'arbres à caoutchouc que renferme l'Afrique équatoriale, le commerce de cette matière dans ces contrées, et en particulier dans nos Colonies, est appelé à prendre les plus grands développements, mais à la condition que les gommes livrées soient de bonne qualité. Dans ce cas seulement, la demande augmentera et les comptoirs, établis sur les côtes, trouvant un écoulement assuré, seront disposés à payer plus chers les caoutchoucs apportés par les indigènes, ce qui stimulera leur zèle.

Nous devons à l'obligeance du Service des Musées et Renseignements commerciaux, établi à l'Esplanade des Invalides pendant la durée de l'Exposition, quelques renseignements intéressants concernant l'exportation des caoutchoucs bruts de nos Colonies. A part une ou deux exceptions, tous ces chiffres se rapportent à l'année 1887.

PROVENANCES	QUANTITÉS EXPORTÉES EN KILOGS	VALEURS EN FRANCS
Nossi-Bé.	133.802	470.385
Réunion	792	1.584
Golfe de Guinée	660.197	2.640.788
Mellacorez	101.500	319.503
Rio-Pongo	103.911	311.735
Carabane.	10.407	30.141
Foricareah	58.302	174.966
Rio-Nunez	274.905	824.715
Sénégal	174.406	523.218
	1.518.222	5.296.975

L'examen de ce tableau montre que la valeur moyenne de ces différents caoutchoucs est de 3 fr. 48 par kilogramme ; le Nossi-bé vaut 3 fr. 50, les caoutchoucs du golfe de Guinée 4 francs, les autres sortes 3 francs seulement. Pour formuler une appréciation sur ces prix, il est nécessaire de les comparer à la valeur du Para à la même époque ; or ce caoutchouc a oscillé pendant l'année 1887 entre 8 fr. 20 et 9 fr. 40 le kilogramme, soit une moyenne de 8 fr. 80. On voit par ces chiffres que les différents caoutchoucs énumérés dans le tableau ont une valeur moyenne qui n'atteint pas la moitié du prix du Para.

Indépendamment des caoutchoucs dont nous venons de parler et qui sont exposés par les pays producteurs, nous croyons devoir signaler quelques échantillons envoyés par les fabricants et que nous avons remarqué dans les classes 45, 39 et 62.

COLOMBIE

Le caoutchouc Colombie est expédié en blocs pesant 50 à 60 kilogrammes et formés par des lanières enchevêtrées ; caoutchouc gris jaunâtre, ferme et de très bonne qualité.

PÉROU

Sous forme de grandes plaques rectangulaires noires extérieurement, avec petites cavités intérieures souvent remplies d'eau ; ou bien sous forme de grosses boules constituées avec des filaments et ayant une grande analogie avec les boules tête de nègre Para. Bonne gomme.

MOZAMBIQUE

Le Mozambique se présente sous plusieurs formes et qualités :

1^o Petits fuseaux ou saucisses de 10 à 15 centimètres de longueur et de 10 à 15 millimètres de diamètre, formés par des filaments enroulés autour d'une petite tige en bois. Dans certains cas, les fuseaux sont sans bois. Caoutchouc de bonne qualité, légèrement rosé, ferme et nerveux ;

2^o Petites boules de filaments enroulés, fermes et de bonne qualité ;

3^o Filaments blanchâtres enroulés en boules, moins fermes que les précédents ;

4^o Boules noires, poisseuses et de très mauvaise qualité.

LOANDA

En petites boules de grosseur uniforme, environ 4 centimètres de diamètre, de couleur brun rouge ou noirâtre, formées de filaments. Gomme de bonne qualité.

THIMBLES

Petits cubes de 2 à 3 centimètres de côté qui semblent découpés dans des lanières, de coloration brun rosé, avec des parcelles de bois rougeâtre emprisonnées dans les filaments.

BOULES D'AFRIQUE

En boules de grosseur variable, blanchâtres et analogues aux boules Sénégal.

JAVA

En blocs cubiques, parfois en grosses boules, constitués par des filaments enchevêtrés dont les uns sont rosés, les autres blanchâtres, ce qui donne à l'ensemble un aspect veiné. Certains blocs sont noirs, poisseux et très inférieurs. Se présente aussi sous forme de longs boudins.

BORNÉO

Caoutchouc en masse de toutes les grosseurs, noir à l'extérieur et blanc intérieurement. Bien pressé et bien séché, il est de bonne qualité ; mais on trouve des blocs spongieux, c'est-à-dire parsemés de cavités remplies d'eau noirâtre, et qui sont ordinairement gras et poisseux.

ASSAM

En blocs formés de filaments enchevêtrés comme le Java, même coloration rosée. On le classe suivant sa qualité en 3 catégories, n^{os} 1 à 3, le n^o 3 est gras poisseux et tout-à-fait inférieur.

Valeur commerciale des caoutchoucs bruts

Le prix des caoutchoucs bruts varie continuellement et dans des limites très étendues. Le Para est le régulateur de ce marché ; il doit cette situation, d'une part à son abondance, et d'autre part à sa qualité exceptionnelle. Tous les autres caoutchoucs ne font que suivre les mouvements du Para.

Pour montrer combien sont grandes les variations de cours, nous avons relevé les prix du Para et du Sernamby pendant ces neuf dernières années, prix par kilogramme bien entendu, et nous les avons consignés dans le tableau suivant :

Années	Para	Sernamby
Janvier 1881	8.00	5.10
» 1882	10.00	6.50
» 1883	12.75	8.00
» 1884	11.50	6.90
» 1885	6.25	4.50
» 1886	7.00	5.00
» 1887	8.50	6.20
» 1888	9.00	6.40
» 1889	8.20	5.50

Les opérations sur les caoutchoucs bruts se traitent en France sur le marché du Havre, et aussi à Marseille et à Paris ; en Angleterre sur les marchés de Liverpool et de Londres ; en Amérique sur les places de New-York et de Boston, en Allemagne sur le marché d'Hambourg. Par suite de la valeur relativement élevée de ces produits, les prix s'équilibrent généralement d'une place à l'autre, car les frais de transport ne donnent lieu qu'à des différences de quelques centimes par kilogramme.

On trouve actuellement dans le commerce une très grande variété de caoutchoucs ; nous avons relevé le prix de quelques-uns d'entre eux, d'après les cours cotés sur les différents marchés, au mois de septembre 1889, et nous les reproduisons dans un tableau pour faire voir qu'il y a des caoutchoucs à tous les prix.

	Prix au kilogramme.
Para	7.30 à 7.50
Sernamby	4.50 à 5.00
Colombie, filaments fermes	5.00 à 6.80
Pérou	4.20 à 4.80
Nicaragua, filaments	4.60
« feuilles	4.40
Guayaquil	4.20
Mozambique, boules rosées	4.50 à 5.00
« fuseaux	4.50 à 4.80
« boules blanches.	4.00 à 4.30

Mozambique inférieur, poisseux	1.10 à 2.00
Madagascar, blanc rosé	5.50 à 6.05
« noir	4.00 à 4.50
Sénégal, Gambie	4.80 à 5.00
« boules ordinaires	3.80 à 4.20
Sierra-Léone, boules	2.80 à 4.20
Congo, boules	3.50 à 4.20
« petites boules	3.20 à 3.30
« langues	3.20 à 3.50
« blocs poisseux	1.70 à 1.80

DEUXIÈME PARTIE

CAOUTCHOUCS MANUFACTURES

ÉPURATION DU CAOUTCHOUC BRUT

Les caoutchoucs bruts renferment de l'eau, des matières terreuses, du sable, des débris d'écorces, etc., et parfois même des pierres, que les Indiens ont introduites au centre des gros blocs, pour en augmenter le poids. L'industrie ne trouve pas à utiliser directement des substances aussi impures, et il est nécessaire de soumettre les caoutchoucs bruts à une série d'opérations destinées à les purifier et à les débarrasser des corps étrangers qu'ils renferment. Ces opérations sont au nombre de quatre :

- 1° Ramollissage des caoutchoucs ;
- 2° Découpage ;
- 3° Lavage ou déchiquetage ;
- 4° Séchage.

Voici succinctement en quoi elles consistent :

1° *Ramollissage*. — Le ramollissage a pour but, comme son nom l'indique, de ramollir le caoutchouc brut qui, à la température ordinaire de nos climats, est ferme et difficile à travailler. A cet effet, on l'abandonne, pendant 12 ou 24 heures, dans une cuve pleine d'eau chauffée au moyen d'une arrivée de vapeur.

2° *Découpage*. — Quand la matière est suffisamment molle, on procède au découpage des gros blocs, ce qui se fait mécaniquement au moyen d'une scie circulaire, ou à la main avec un très grand couteau à longue lame ; dans les deux cas, l'outil doit être mouillé ou arrosé avec un filet d'eau, pour empêcher l'adhérence et l'échauffement de se produire. Certaines gommés se présentent sous des

échantillons de petit volume, et par suite n'ont pas besoin d'être découpés; elles passent directement de la cuve où elles ont été amollies au laveur.

3° *Lavage*. — Le lavage a pour but de faire disparaître toutes les impuretés que contient le caoutchouc; l'appareil se nomme *laveur* ou *déchiqueteur*. Il consiste en deux cylindres massifs en fonte dure, placés horizontalement l'un à côté de l'autre, tournant en sens inverse, et avec une vitesse différente. Tantôt la table des cylindres est cannelée, c'est-à-dire couverte de rainures en spirale, tantôt elle est unie; la disposition d'ensemble reste la même dans les deux machines.

On voit, sur la figure 1, que les 2 cylindres reposent sur 2 forts bâtis en fonte,

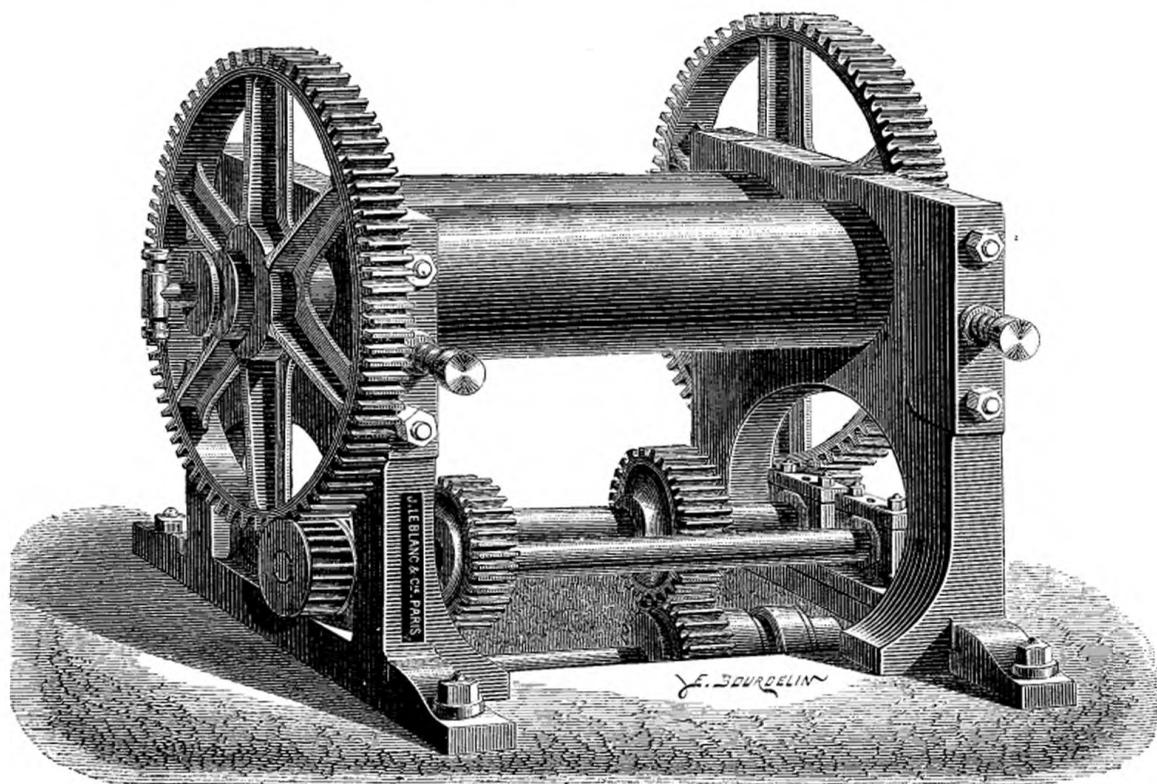


FIG. 1. — LAVEUR OU DÉCHIQUETEUR

par l'intermédiaire de coussinets logés dans des évidements. Les 2 coussinets du cylindre de derrière sont butés contre le bâtis; les 2 coussinets du cylindre de devant viennent s'appuyer sur deux grosses vis de serrage. Le mouvement de rotation est transmis aux cylindres au moyen d'engrenages qui sont figurés sur le dessin; les 2 cylindres tournent en sens inverse, et, dans l'appareil qui est repré-

senté, le mouvement est obtenu avec un arbre intermédiaire. On construit des laveurs dans lesquels le mouvement de rotation est transmis directement d'un cylindre à l'autre.

En agissant sur les vis de serrage, on peut rapprocher les 2 cylindres en contact; pour obtenir le mouvement inverse, il suffit de desserrer la vis, et le caoutchouc, introduit dans l'appareil en mouvement, détermine, par le seul effet de la poussée qu'il exerce, le recul du cylindre.

En dessous des cylindres, se trouve un bac récepteur en tôle, recouvert d'une plaque perforée. — Un tuyau déverse l'eau entre les 2 cylindres, et les eaux de lavage s'écoulent par un autre tuyau placé en dessous du bac.

Pour opérer le lavage, on dépose entre les 2 cylindres en mouvement, une petite quantité de caoutchouc, soit 1 à 2 kilogrammes, suivant la puissance de l'appareil, et on fait couler l'eau. Les cylindres, tournant en contact l'un avec l'autre, la matière est entraînée dans le mouvement général, écrasée et transformée en une feuille mince que l'on fait passer un certain nombre de fois dans la machine. Pendant ce travail, les molécules sont déchirées et étirées, l'eau de lavage s'introduit dans tous les interstices, délaye les parties terreuses et entraîne les particules des corps étrangers. Le produit résultant de ce traitement est une feuille ou *peau* dont la surface est rugueuse et parsemée d'une infinité d'aspérités, séparées par des cavités qui lui donnent un aspect caractéristique.

Les laveurs ont des dimensions très variables. Le plus souvent, la table des cylindres a 0^m,60 à 0^m,65 de longueur et 0^m,40 à 0^m,45 de diamètre; dans ce cas, la vitesse de rotation est de 8 à 12 tours pour l'un et 3 à 4 tours pour l'autre.

Tous les caoutchoucs ne se lavent pas avec la même facilité; le Para est celui qui se lave le mieux et le plus rapidement, ce qui s'explique d'ailleurs, puisqu'il renferme peu d'impuretés. Les caoutchoucs gras et poisseux abandonnent difficilement les matières étrangères, et souvent on est obligé de renoncer à éliminer les impuretés qui restent collées dans la masse. Les caoutchoucs de nature très sèche ne prennent pas en peaux, les fragments ne s'agglomèrent pas entre eux, et, dans certains cas, sortent du laveur à l'état de poudrette.

Quand le lavage est effectué convenablement, la peau ou feuille déchiquetée ne renferme plus aucun corps étranger, à l'exception de l'eau. Pour se débarrasser de ce dernier élément, il suffit de procéder au séchage qui est la dernière opération pour arriver à une purification complète.

4° *Séchage*. — Le séchage du caoutchouc lavé s'effectue en étendant les peaux sur des fils de fer tendus, soit dans des séchoirs à air libre, soit dans des étuves susceptibles d'être chauffées jusqu'à 50 ou 60° environ. Cette opération, fort simple, n'appelle aucune observation importante, si ce n'est que les caoutchoucs gras et poisseux doivent être séchés à basse température, sinon leur défaut naturel s'accroît encore dans les séchoirs trop chauds, les peaux se cassent, tom-

bent sur le sol et se mettent en paquets, de sorte que l'eau reste emprisonnée dans la masse. Les caoutchoucs peu adhésifs, qui sortent du laveur en petits fragments ou en poudrette, sont étendus sur des châssis.

Les caoutchoucs, ayant subi le traitement que nous venons d'indiquer, portent le nom de caoutchoucs *lavés, déchiquetés, régénérés* ou *épurés*. Nous emploierons de préférence les deux premières expressions qu'on devra considérer comme synonymes.

Dans certains cas, on procède à l'épuration par des lavages suivis de traitements chimiques ayant pour effet de dissoudre les débris de bois et les autres impuretés.

A l'origine, le lavage s'effectuait dans une pile, semblable à celle qui est aujourd'hui en usage dans les fabriques de papiers. Cette machine n'est plus employée, et la méthode d'épuration par traitement chimique est une exception.

Perte au lavage. — Le caoutchouc brut, qui a été lavé et séché, a perdu une partie de son poids. La différence entre le poids brut et le poids net, à l'état sec, est ce que l'on appelle la *perte au lavage*; c'est un élément qui varie dans de très grandes proportions et peut atteindre, pour les sortes inférieures, jusqu'à 50 et 60 %; les bonnes qualités perdent couramment de 15 à 30 %.

Le tableau suivant indique les pertes pour quelques gommages; ces chiffres n'ont rien d'absolu, et il n'est pas rare de rencontrer deux lots de même caoutchouc, vendus comme étant de même qualité, donnant des pertes qui s'écartent de 10 et 15 % des chiffres moyens que nous inscrivons ici :

Para	10 à 16 %
Sernamby	15 à 35 %
Mozambique fuseaux.	15 à 25 %
Mozambique boules rosées.	15 à 25 %
Colombie.	10 à 25 %
Pérou, plaques	30 à 40 %
Guatemala	20 à 40 %
Assam.	10 à 30 %
Java	20 à 35 %
Bornéo.	20 à 45 %
Guayaquil	30 à 50 %
Sénégal	20 à 35 %

Caoutchouc mastiqué

Le caoutchouc lavé n'a aucune application directe; c'est une simple étape par laquelle la matière passe avant d'être transformée en produits manufacturés. Le laveur avait déchiré et écarté les molécules, le *masticateur* a pour but de les rapprocher et de les agglomérer.

MASTICATEUR

Cet appareil, qui prend aussi les noms de *pétrisseur*, *diable* ou *loup*, a été imaginé par Th. Hancock ; il se compose d'un cylindre horizontal armé de dents, tournant à l'intérieur d'une caisse cylindrique fixe sensiblement plus grande (fig. 2).

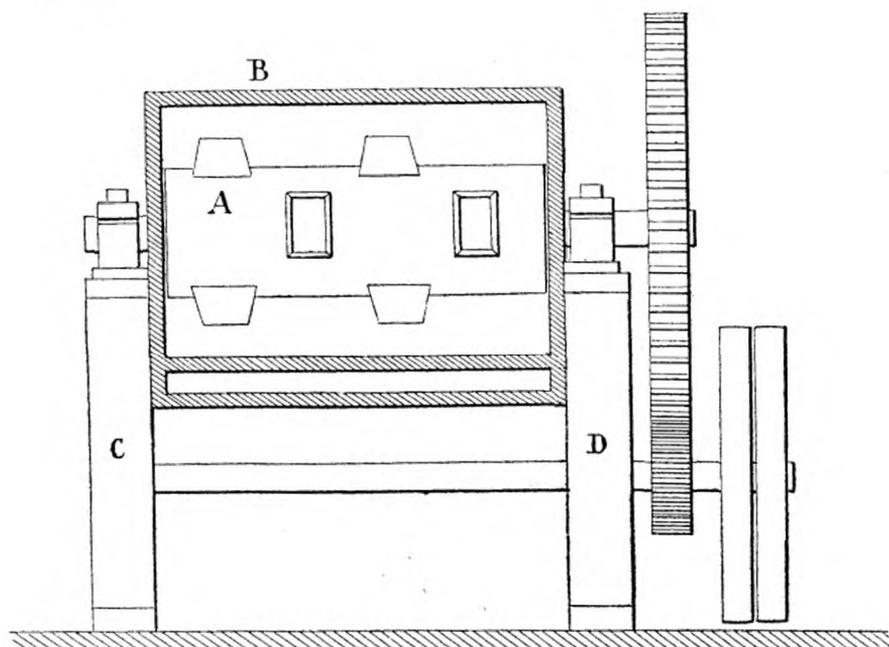


FIG. 2. — MASTICATEUR OU DIABLE.

A cylindre avec dents ;

B caisse cylindrique, concentrique avec A ;

C'D support sur lequel repose le système.

Une transmission par engrenages et poulies communique le mouvement de rotation au cylindre A.

Certains appareils sont munis d'un double fond dans lequel on peut faire circuler la vapeur afin d'en opérer le chauffage.

Après avoir introduit, dans l'intervalle compris entre le cylindre et la caisse, une quantité de caoutchouc en rapport avec la capacité du masticateur, on embraye la machine. Les dents du cylindre pénètrent dans le caoutchouc qui est entraîné dans le mouvement, et en même temps comprimé contre les parois de l'enveloppe ; les molécules se rapprochent, se collent ensemble, et bientôt forment

une sorte de bloc allongé qui roule entre le cylindre à dents et la caisse. Au commencement de l'opération, si le caoutchouc n'a pas été préalablement chauffé dans une étuve, il est nécessaire de lancer un courant de vapeur dans le double fond, afin d'amollir la substance et la rendre plus malléable. Au bout de quelques minutes, les frottements déterminent, au sein de la masse, une élévation de température qui rend le chauffage inutile et même nuisible; on arrête donc l'introduction de la vapeur. L'opération dure de une heure à quatre heures, suivant la capacité du diable. Les appareils les plus ordinaires traitent 12 à 15 kilogrammes de gomme; les plus grands pétrissent jusqu'à 50 et 60 kilogrammes à la fois.

Le diablage du caoutchouc demande beaucoup de temps et occasionne une élévation de température préjudiciable à la qualité de la matière; aussi ces appareils sont souvent remplacés par des malaxeurs à deux cylindres.

MALAXEUR A DEUX CYLINDRES

Cette machine se compose, comme le laveur, de 2 cylindres tournant en sens inverse, avec une vitesse différente; seulement les cylindres sont creux et susceptibles d'être chauffés intérieurement par un courant de vapeur. On emploie des malaxeurs dont l'un des cylindres est cannelé à la surface et l'autre uni, ou bien des malaxeurs à 2 cylindres unis. La disposition de ces appareils est absolument la même que les *broyeurs* ou *mélangeurs* que nous décrirons bientôt; nous nous contenterons de dire ici comment le caoutchouc est travaillé.

On commence par chauffer les cylindres à 80° au moins, puis on introduit une certaine quantité de caoutchouc lavé, environ 10 à 15 kilogrammes, qui s'amollit peu à peu, devient malléable et s'agglomère après avoir traversé plusieurs fois l'appareil. Les cylindres, d'abord écartés de 5 à 10 millimètres, sont rapprochés progressivement au moyen des vis de serrage et, finalement, amenés en contact. A ce moment, la gomme, devenue très malléable, est passée plusieurs fois entre les cylindres, jusqu'à ce qu'elle soit suffisamment travaillée, ou cuite, ce qui est facile à apprécier avec un peu d'habitude.

FEUILLES SCIÉES

Avant de poursuivre l'étude des transformations du caoutchouc, nous dirons quelques mots de la *feuille sciée* qui est une application directe du caoutchouc mastiqué; nous en avons remarqué de beaux spécimens à l'Exposition, dans la vitrine de « *The India Rubber, Gutta-Percha and Telegraph works Co* », classe 45, section française.

La feuille sciée, appelée aussi feuille anglaise, est obtenue en sciant, sous forme de lames minces, des blocs de caoutchouc mastiqué. Mais, comme les blocs qui sortent du diable ou du malaxeur à cylindres ont des formes très irrégulières, il

est impossible de les utiliser en cet état; en outre, ils n'ont pas l'uniformité de texture voulue; certaines parties sont plus nerveuses que d'autres, et les feuilles produites se gondoleraient et ne seraient pas utilisables. On commence donc par les soumettre à une première opération, qui est le *blocage du caoutchouc*. A cet effet, les pains de caoutchouc diablé ou malaxé, sont divisés en plaques régulières, en les faisant passer dans un laminoir à 2 cylindres chauffés; au sortir de cette machine, les plaques sont superposées les unes sur les autres, pendant qu'elles sont encore chaudes, et introduites dans un moule à section rectangulaire ou circulaire; elles sont alors soumises à l'action d'une presse hydraulique, qui les comprime fortement, et détermine une adhérence parfaite. Au bout de quelques jours, quand le bloc est refroidi, on le retire du moule et on le dépose dans un endroit frais, où il reste pendant quatre à six mois. Pendant ce long repos, la matière acquiert une grande uniformité de texture; on peut alors la débiter en feuilles, sans crainte de voir celles-ci se déformer ou se gondoler.

Les blocs obtenus affectent naturellement la forme du moule employé; on prépare des *blocs cubiques*, ou plus exactement parallélépipédiques, d'environ 1^m,50 de longueur sur 0^m,30 à 0^m,40 de largeur, et 0^m,12 à 0^m,15 d'épaisseur, et des *blocs cylindriques* d'environ 30 centimètres de diamètre et 40 centimètres de hauteur. Quant au découpage en feuilles, il s'exécute de deux manières, suivant qu'on a affaire à l'un ou à l'autre des deux genres de blocs.

Le bloc cubique, après avoir été introduit quelques heures dans une étuve pour le dégeler, est fixé sur un plateau à glissière ayant une certaine analogie avec le plateau d'une machine à planer. Un mécanisme porte le bloc en avant pendant qu'un couteau, animé d'un mouvement de va-et-vient, à raison de 1.500 à 2.000 coups par minute, enlève une lame mince de caoutchouc. On ramène les organes dans la position première, on soulève le bloc, ou plutôt le plateau qui le porte d'une quantité correspondante à l'épaisseur voulue, et l'opération du sciage recommence; et ainsi de suite, jusqu'à ce que tout soit débité. Pendant le travail, la lame de couteau doit être constamment arrosée par un filet d'eau, pour éviter l'adhérence et l'échauffement.

The India Rubber and Gutta-Percha Co nous montre, à l'Exposition, un morceau de caoutchouc bloqué, d'environ 1^m,50 de longueur et 0^m,40 de largeur, avec des feuilles sciées, de plusieurs épaisseurs, encore retenues au bloc. — C'est le seul exemple que nous ayons trouvé à citer.

Le sciage des blocs cylindriques se fait d'une manière différente. Le bloc est animé d'un mouvement de rotation autour de son axe, pendant qu'une lame de couteau, constamment arrosée par un filet d'eau, le découpe en spirale. Les figures 3 et 4 représentent l'élevation et le plan de la machine construite à cet effet, par M. Le Blanc. A mesure que le diamètre du bloc cylindrique diminue, sa vitesse de rotation est augmentée, de manière à ce que la surface en contact avec le couteau conserve une vitesse uniforme pendant toute la durée de l'opération. On

prend cette disposition pour obtenir des feuilles dont les rayures marquées par le couteau soient équidistantes. Ce mode de découpage a été imaginé par M. Guibal.

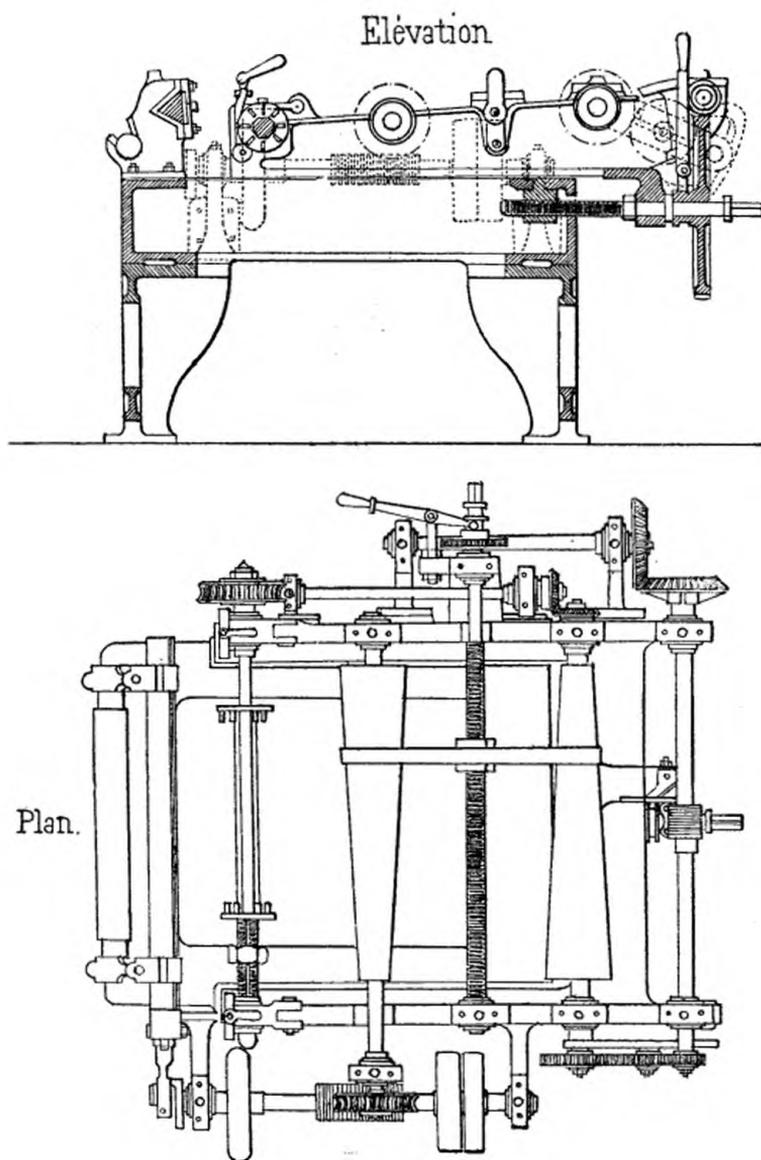


FIG. 3-4. — MACHINE A COUPER LA FEUILLE CONTINUE.

Les feuilles sciées ne se font pas seulement en caoutchouc pur ; on en prépare aussi en caoutchouc mélangé ; dans ce cas, les poudres ou matières colorantes

sont mêlées au caoutchouc, soit dans le masticateur, soit dans le malaxeur à cylindres, et le mélange ainsi obtenu est traité comme le caoutchouc pur, c'est-à-dire qu'il est bloqué, puis découpé.

Les feuilles sciées sont très employées pour confectionner de petits objets, principalement dans la fabrication des articles de chirurgie.

Caoutchouc mélangé

On désigne sous le nom de *caoutchouc mélangé*, tout mélange de caoutchouc avec des matières étrangères, telles que de la craie, du sulfate de baryte, des oxydes de zinc et de plomb, du noir de fumée, du plâtre, etc., et en général toutes sortes de substances, de nature minérale et de nature organique, réduites en poudre fine. Le mélange peut s'effectuer pendant le diablage ; pour cela, les matières sont introduites dans le diable lorsque la gomme a été suffisamment travaillée et amollie. Mais, presque toujours, l'opération est faite dans une machine spéciale, appelée *mélangeur* ou *broyeur*.

MÉLANGEUR OU BROYEUR

Cet appareil se compose essentiellement de deux cylindres horizontaux en fonte (fig. 5), disposés l'un à côté de l'autre, tournant en sens inverse et avec une vitesse différente. Le type de machine que nous reproduisons ici est construit par MM. De Coster Rikkers et C^{ie}

Les deux cylindres sont creux, à table lisse ; ils reposent sur les bâtis en fonte, par l'intermédiaire de paliers logés dans des évidements.

A l'aide de deux fortes vis de serrage, visibles sur le devant de la machine, on peut agir sur les deux paliers qui supportent le cylindre de devant, et le rapprocher ainsi de l'autre cylindre dont les paliers sont butés contre le bâtis. Le mouvement inverse se produit de lui-même en desserrant les vis ; car la matière, introduite entre les deux cylindres, détermine une poussée qui s'exerce sur le cylindre mobile et produit son recul.

Des guides, convenablement placés entre les cylindres, empêchent les matières de sortir et de glisser sur les tourillons. En dessous, on place un bac récepteur en tôle, qui n'est pas figuré sur le dessin, dont le but est de recevoir les matières qui tombent de l'appareil. Le mouvement de rotation est communiqué au moyen de roues et de pignons qui sont représentés sur le dessin. Dans beaucoup d'appareils de ce genre, le mouvement de rotation n'est pas transmis directement d'un cylindre à l'autre, mais au moyen d'un arbre intermédiaire.

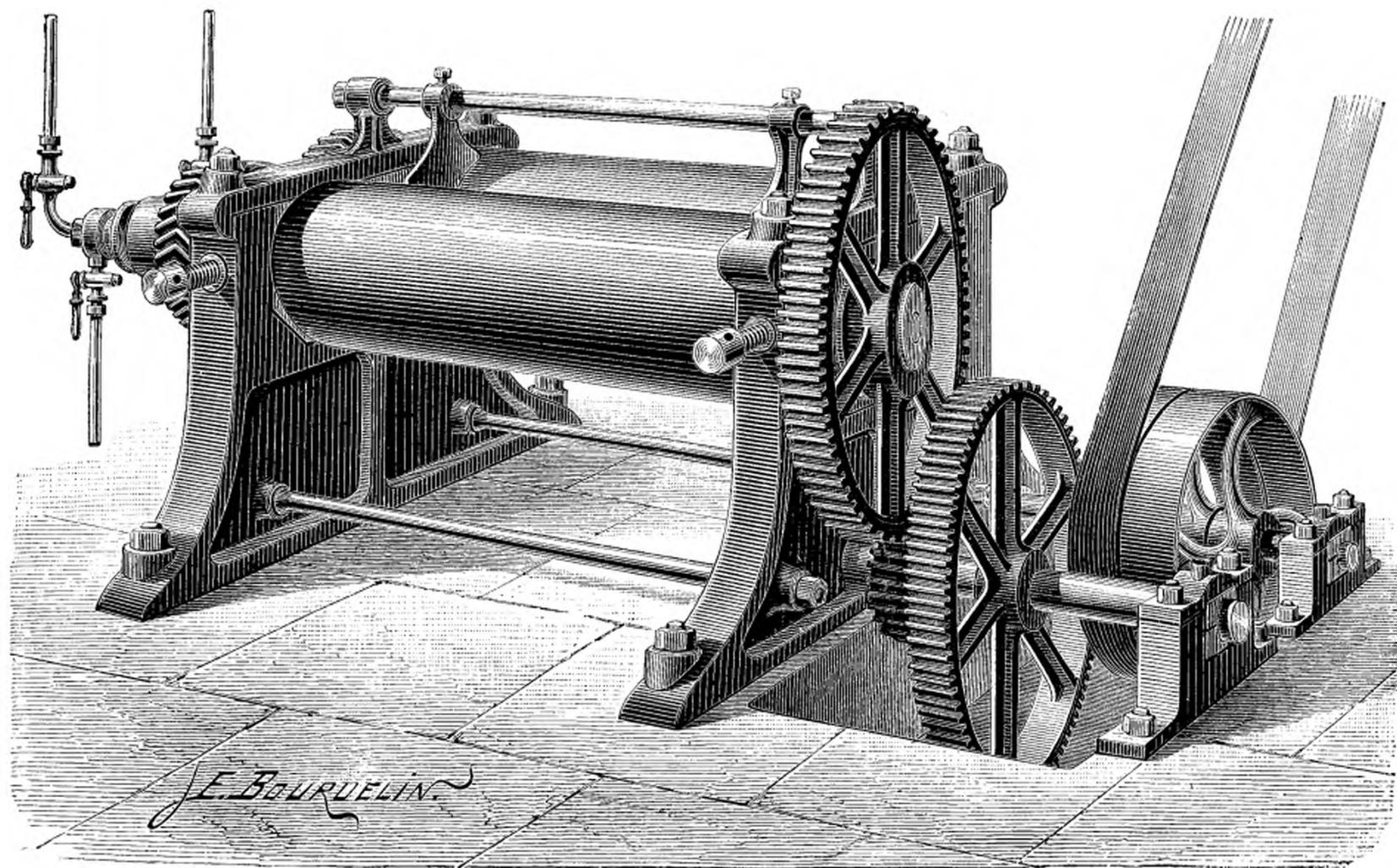


FIG. 5. — MÉLANGEUR OU BROYEUR

Les deux cylindres sont creux et doivent pouvoir être chauffés et refroidis à volonté. A cet effet, un tuyau se prolonge à l'intérieur de chaque cylindre, jusqu'à l'extrémité opposée à l'entrée, et communique d'une part avec une alimentation de vapeur et d'autre part avec une alimentation d'eau froide, de sorte qu'en ouvrant l'un ou l'autre des robinets qui commandent ces conduits, on lance à volonté dans le cylindre de la vapeur ou de l'eau froide. Un tuyau d'évacuation, muni également d'un robinet, permet l'écoulement de l'eau de condensation. Ce système de tuyau traverse un presse-étoupe.

Pour faire le mélange, le caoutchouc doit être d'abord mastiqué ou malaxé. Après lui avoir fait subir cette préparation, on l'introduit entre les deux cylindres chauffés du mélangeur ; quand il a acquis un degré de malléabilité convenable, on répand peu à peu, à la surface de la nappe de gomme entourant le cylindre de derrière, les poudres qui doivent concourir à la formation du mélange. Une grande partie de ces matières retombe dans le bac récepteur ; on les ramasse avec une pelle et une brosse pour les faire repasser dans la machine, jusqu'à ce que tout soit bien combiné avec le caoutchouc. On continue alors à faire passer la masse pâteuse dans le mélangeur jusqu'à ce qu'elle soit bien homogène ; on rapproche en dernier lieu les cylindres en contact, et on fait encore passer une ou deux fois pour bien écraser les particules qui auraient pu échapper à l'action de l'appareil. La matière sort sous la forme d'une feuille mince continue qu'on enroule sur elle-même en un bloc grossier prêt pour les opérations ultérieures ; c'est le caoutchouc mélangé.

Tous les caoutchoucs mélangés, quelles que soient les matières incorporées, subissent le traitement que nous venons d'indiquer et le broyeur-mélangeur est universellement employé.

MÉLANGEUR AUTOMATIQUE

Cet appareil récent est encore peu appliqué. Il a pour but de rendre automatique le relèvement des matières accessoires qui tombent dans le bac récepteur du broyeur ordinaire. Il ne diffère d'ailleurs de l'appareil que nous avons décrit, que par l'adjonction d'une courroie sans fin, en forte toile ; tournant sous les cylindres à la place occupée ordinairement par le bac récepteur.

La machine est représentée en coupe transversale (fig. 6).

A et B cylindres creux en fonte.

C, D, E petits rouleaux autour desquels est disposée la courroie sans fin.

F rouleau brossier.

Lorsque l'appareil fonctionne, la partie supérieure de la courroie s'applique contre le cylindre de derrière et remonte vers le haut, en agissant comme élévateur : toutes les matières qui tombent sont donc relevées jusqu'au dessus des

cylindres, où le rouleau brosseur détache les particules qui restent adhérentes à la courroie. Grâce à cette disposition, les matières sont constamment ramenées dans la machine jusqu'à ce qu'elles soient incorporées avec le caoutchouc.

Le rouleau E n'occupe pas une position immuable, il est relié à un levier coudé EG, et en agissant sur la poignée P, on peut le renverser vers le sol en le faisant tourner autour de G comme charnière ; dans ce cas, la courroie cesse de s'appliquer contre le cylindre A et devient balante. C'est la position qu'elle doit occuper au commencement d'une opération, lorsqu'on introduit et qu'on réchauffe le caoutchouc, et aussi à la fin, lorsqu'on procède au raffinage de la matière mélangée.

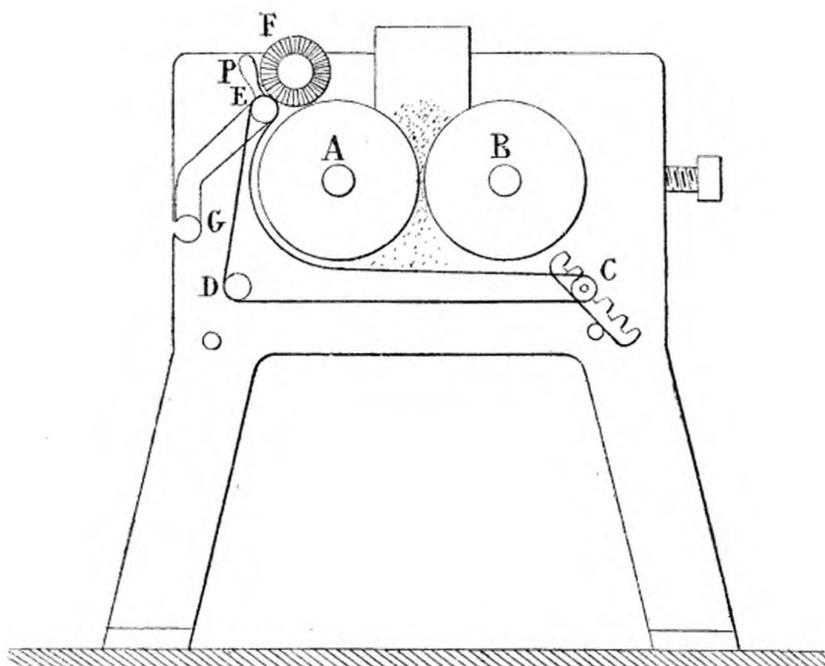


FIG. 6. — COUPE TRANSVERSALE D'UN MÉLANGEUR AUTOMATIQUE

Avec cette machine, l'alimentation est constante et uniforme, le mélange est homogène ; en outre l'opération marche assez rapidement, car toute la surface mélangeante est utilisée. Avec l'appareil ordinaire, lorsqu'on reprend avec une pelle les matières tombées dans le bac récepteur pour les réintroduire entre les cylindres, la répartition est irrégulière et certaines parties de la nappe de caoutchouc ne reçoivent rien. Théoriquement cette machine présente donc des avantages ; mais comme elle est encore très peu employée, nous ignorons comment elle se comporte en pratique.

Avant la découverte de la vulcanisation, les caoutchoucs mélangés, aussi bien que les caoutchoucs purs, servaient à fabriquer de nombreux objets destinés à l'industrie ; on les employait également à faire des tissus imperméables, des vêtements, etc... Néanmoins les applications restaient limitées et il est probable que l'industrie du caoutchouc n'aurait pris qu'un développement restreint si Goodyear, Hancock et d'autres inventeurs n'étaient pas parvenus, par la vulcanisation, à rendre cette substance insensible aux changements de température de l'atmosphère.

Caoutchouc vulcanisé

En étudiant les propriétés du caoutchouc, nous avons vu que cette matière devenait tantôt molle et collante à une température de 30 à 40°, tantôt dure et rigide, dès que la température descendait à 5° environ. Ces modifications sensibles, dans des limites pourtant si rapprochées, constituent des inconvénients très préjudiciables à l'emploi du caoutchouc ; il suffit en effet de transporter un objet dans un pays chaud, ou dans un pays froid, pour qu'il soit à peu près inutilisable dans les deux cas, ici par suite de sa rigidité, là parce qu'il devient collant. Le même phénomène se produit, dans un même lieu, par suite de la simple variation des saisons. On a donc cherché à soustraire le caoutchouc à ces inconvénients, qui en limitaient considérablement les applications ; le résultat a été atteint par l'emploi du soufre ou de ses dérivés.

On appelle *caoutchouc vulcanisé* une combinaison de caoutchouc pur ou mélangé et de soufre, et *vulcanisation* ou *cuisson* l'opération qui a pour but de déterminer cette combinaison.

C'est en 1839 que la vulcanisation a été découverte, en Amérique, par Goodyear. Quelques années plus tard, en 1843, Hancock, en Angleterre, découvrait de son côté plusieurs moyens pour rendre le caoutchouc insensible aux variations de température. Parkes faisait également connaître, à la même époque, un procédé permettant d'atteindre le même résultat. Depuis lors, plusieurs procédés ont été proposés ; comme ils sont peu employés, nous nous abstenons d'en parler parce que ces questions nous obligeraient à étendre considérablement les limites de notre étude ; nous ne ferons qu'énoncer les trois procédés fondamentaux de vulcanisation.

Procédé Goodyear. — Ce procédé consiste à mélanger mécaniquement une certaine quantité de soufre au caoutchouc pur ou mélangé et à soumettre ensuite la matière à une température de 125-150°, pendant une demi-heure à cinq ou six heures.

Procédé Hancock. — Hancock a indiqué le même procédé que Goodyear et a en outre découvert le procédé au bain de soufre fondu, qui consiste à plonger le caoutchouc dans un bain de soufre en fusion chauffé à 125-150°, pendant une demi-heure à trois heures, suivant la température et l'épaisseur de la gomme.

Procédé Parkes. — Le caoutchouc est simplement plongé à froid, pendant quelques secondes, dans une dissolution de chlorure de soufre dans le sulfure de carbone.

Dans ces différentes circonstances, la partie visqueuse du caoutchouc se transforme, devient fibreuse et le changement qui en résulte donne naissance à une substance dite caoutchouc vulcanisé dont nous étudierons dans quelques instants les propriétés.

Le procédé Goodyear a été généralisé. Au lieu de soufre, on peut employer des sulfures ou un mélange de soufre avec des sulfures, le même effet est produit dans les mêmes circonstances. Ce procédé est universellement adopté et peut être appliqué à peu près dans toutes les circonstances ; les deux autres procédés ne donnent de bons résultats que pour des objets très minces, ne dépassant pas 1 à 2 millimètres au plus.

Nous aurions voulu parler de la vulcanisation d'une façon complète et étudier les phénomènes qui se produisent dans chacun des procédés, au point de vue théorique et au point de vue pratique. Les questions pratiques surtout sont extrêmement importantes pour les fabricants de caoutchouc ; ainsi dans le procédé par mélange avec du soufre et cuisson à haute température, nous aurions voulu envisager les différents problèmes qui se posent ; examiner l'influence de la nature du caoutchouc, de la proportion de soufre, de la température de vulcanisation, de la durée de la cuisson, de l'épaisseur des objets, etc., étudier les effets exercés par différentes matières accessoires, etc., et enfin indiquer un programme pour obtenir une bonne vulcanisation et pour éviter les accidents irréparables qui se produisent parfois pendant la cuisson. Malheureusement l'espace dont nous disposons dans cette *Revue* est trop limité pour que nous songions à aborder toutes ces questions qui, pour être traitées d'une façon utile, demanderaient de nombreuses pages.

PROPRIÉTÉS DU CAOUTCHOUC VULCANISÉ

Le caoutchouc vulcanisé est insensible aux variations de température de l'atmosphère ; il ne durcit pas par le froid, il ne se ramollit pas par la chaleur. Il est aussi élastique et aussi ferme à 20° au dessous de 0° qu'à 100° au dessus. En le chauffant à 180-200°, il devient plus mou et vers 250° il fond, au dessus il se décompose en produits volatils.

Le caoutchouc vulcanisé a perdu sa malléabilité et sa propriété soudante, c'est-à-dire que deux morceaux fraîchement coupés ne peuvent plus se souder entre eux par simple rapprochement ; c'est ce qui fait qu'un objet manufacturé ne peut pas être retransformé en un autre de forme différente, ou refondu comme beaucoup de personnes le croient.

Il est complètement élastique. En exerçant une traction suffisante sur une lanière, elle s'allonge de sept à huit fois sa longueur primitive et revient ensuite

occuper ses dimensions initiales, dès que l'effort a cessé de s'exercer. Le caoutchouc non vulcanisé n'est pas élastique dans le sens absolu du mot, attendu qu'il ne revient pas exactement à sa longueur primitive, comme le fait le caoutchouc vulcanisé.

Il est insoluble dans les dissolvants ordinaires du caoutchouc naturel ; mais plongé dans un de ces liquides, il augmente de volume, en absorbant le liquide. L'absorption est rapide pendant les premiers jours de l'immersion, elle est ensuite beaucoup plus lente et après un certain laps de temps elle s'arrête, la matière se désagrège même quelquefois. Si on retire l'échantillon du liquide, ce dernier s'évapore et la matière revient sensiblement à sa grandeur primitive.

Les dissolutions alcalines bouillantes et peu concentrées ont pour effet de dissoudre le soufre non combiné avec le caoutchouc. On utilise cette propriété pour faire disparaître l'excès de soufre que renferment tous les caoutchoucs vulcanisés ; dans ce cas, on emploie une dissolution de potasse ou de soude marquant 10 à 15° Baumé.

Les dissolutions alcalines bouillantes et concentrées rendent le caoutchouc vulcanisé gras à la surface ; il se produit une espèce de décomposition.

À l'air, le soufre non combiné sort spontanément, et forme, à la surface des objets, des efflorescences qui, dans certains cas, ont des inconvénients. Quand les objets sont peu épais, on élimine le soufre en excès par un traitement dans une dissolution alcaline bouillante ; mais si l'épaisseur du caoutchouc est un peu forte, l'action de l'alcali ne se fait pas sentir jusqu'aux couches centrales et au bout d'un certain temps, les efflorescences reparaissent.

À la lumière solaire, le caoutchouc vulcanisé, principalement quand il est très mince, devient dur et cassant ; cela tient à ce que le soleil possède une action vulcanisante propre, la vulcanisation se continue et il arrive un moment où elle est trop accentuée ; il se passe absolument la même chose, lorsqu'on laisse trop longtemps du caoutchouc dans le vulcaniseur. Dans ce dernier cas, il suffit d'une surcuisson d'une heure ou deux, parfois beaucoup moins, pour que l'objet vulcanisé devienne dur et cassant ; lorsqu'il s'agit de l'action du soleil, elle est beaucoup plus lente naturellement, mais le résultat final est le même. Il résulte de cette observation que, pour conserver du caoutchouc, il faut le soustraire aux rayons solaires et autant que possible l'enfermer dans un endroit sombre, à l'abri même de la lumière diffuse.

Le Caoutchouc dans la classe 45

ET DANS LES CLASSES 52, 61, 62

SECTION FRANÇAISE

Comme nous l'avons dit en commençant, le caoutchouc a été rangé dans la classe 45 : *Produits chimiques et pharmaceutiques*. Pourquoi, dira-t-on,

cette substance figure-t-elle parmi les produits chimiques? — A cela nous serions très embarrassé de répondre. — Il paraît que cette classification a toujours été adoptée! — Cette raison est suffisamment grave et concluante pour que nous nous dispensions d'en rechercher d'autres! — Cependant nous émettrons ici un vœu, c'est que le caoutchouc et la gutta-percha, n'ayant rien à faire, ni avec les produits chimiques, ni avec les produits pharmaceutiques, forment à l'avenir une classe distincte dans les expositions.

Avant de parler des exposants, nous formulerons encore une observation au sujet de l'installation. Sous prétexte de symétrie, bon nombre de fabricants de caoutchouc ont été obligés de mettre leurs produits dans des vitrines basses ne dépassant pas un mètre de hauteur, et assez semblables à des vitrines de bijoutier; les plus favorisés ont à leur disposition des vitrines établies sur le modèle de celles destinées aux industriels qui exposent des produits dans des bocaux ou dans des fioles. C'est assez dire que ces divers emplacements sont mal aménagés et complètement insuffisants; mais il fallait, paraît-il, que les lois de la symétrie, en fait de construction de vitrines, ne fussent pas troublées; peu importent les besoins des exposants. En présence de ce manque d'espace dans la classe 45, presque tous les fabricants de caoutchouc ont été forcés d'établir une exposition complémentaire, c'est-à-dire une véritable succursale, dans d'autres classes; la majeure partie s'est réfugiée dans la classe 39 : *objets de voyage et de campement*, où, en fait d'articles de voyage et de campement, ils exposent des tissus et des vêtements imperméables, des chaussures, des sous-bras, des jarrettières et jusqu'à des articles pour l'industrie!

Nous croyons donc être l'interprète de tous les fabricants de caoutchouc en formulant le vœu que le Caoutchouc et la Gutta-percha forment une classe spéciale, et que l'installation ne soit pas faite en vue d'exposer les vitrines d'un architecte, mais bien les objets en caoutchouc; résultat qui sera toujours facile à obtenir, si l'on veut bien confier l'organisation de la classe à un ingénieur connaissant l'industrie du caoutchouc.

Laissant de côté la classe 39, dont nous parlerons en étudiant les tissus imperméables, nous allons passer en revue les expositions de la classe 45, nous signalerons en même temps les exposants qui, par suite du manque de place, ont été amenés à placer une partie de leurs produits dans les classes 52, 61, 62 etc... Après avoir parcouru la section française, nous étudierons les expositions de l'Angleterre, de la Belgique, des Pays-Bas et des Etats-Unis.

MM. Casassa fils et C^{ie}. — MM. Casassa fils et C^{ie} exposent des clapets, des tuyaux, rondelles, disques et autres articles pour l'industrie; des gants et des doigts en feuille sciée, des poires et des coussins à air, etc... Nous signalerons aussi des bouchons de chimie, des entonnoirs, des boîtes en ébonite pour photographes, des gommes à effacer, etc.

Dans la classe 62 (Électricité), MM. Casassa fils et C^{ie} nous montrent des

poires en caoutchouc souple et autres articles pour sonneries ; des poches pour moteurs à gaz, des gants en feuille sciée et de nombreux objets en ébonite : boîtes, baguettes, tuyaux, plateaux pour photographie et des plaques décorées avec figures et personnages en relief.

MM. Decourdemanche et C^{ie}. — Parmi les objets exposés par cette maison, nous avons remarqué une collection de tuyaux en caoutchouc avec toiles et sans toiles, des bourrelets et des courroies de transmission, une courroie-guide pour papeterie et un cylindre en fonte recouvert de caoutchouc, des bandes sans fin pour garniture de poulies de scie à ruban etc...

MM. Decourdemanche et C^{ie} exposent aussi un chapeau en caoutchouc, destiné à servir de forme pour chapelier, et divers objets en gutta-percha dont nous parlerons lorsque nous étudierons cette substance.

MM. Bognier et Burnet. — Nous signalerons dans la vitrine de *MM. Bognier et Burnet*, des gants, des chaussons et des instruments de chirurgie et de chimie. — Dans la classe 14, ils exposent les mêmes articles.

M. Berguerand. — Expose un tuyau d'aspiration du type employé par le service des ponts-et-chaussées, des feuilles, des clapets, des courroies, des tuyaux etc.. Nous citerons aussi des bouchons de chimie, des bracelets et des poires diverses. *M. Berguerand* figure encore dans la classe 14 avec des articles pour chirurgie.

M. G. Renard. — L'exposition de *M. G. Renard* se compose d'un cylindre recouvert de caoutchouc, d'un gros tuyau d'aspiration, de courroies, clapets etc... et enfin de ballons.

M. Mercier. — *M. Mercier* expose une collection de tuyaux pour divers usages, des clapets, des rondelles, un disque pour tablier de turbine etc...

M. Le Renard. — Dans la vitrine de cet exposant, nous avons à signaler des tuyaux, des rondelles et des boutons d'étoffe à base de caoutchouc.

Au 1^{er} étage de la Galerie des Machines, classe 52, *M. Le Renard* a placé un tuyau dragueur de 3 mètres de longueur et de 680 millimètres de diamètre, un cylindre recouvert de caoutchouc, une courroie et des feuilles. Au même endroit, classe 62, nous retrouvons *M. Le Renard* avec un nouveau cylindre recouvert de caoutchouc, un échantillon de tuyau dragueur et une série d'articles pour l'industrie.

M. Ménier. — *M. Ménier* expose deux tuyaux d'aspiration du type ponts-et-chaussées, un cylindre et une courroie-guide pour papeterie; des clapets, rondelles, tuyaux, courroies de transmission, tampons forme olive pour tramways et un grand nombre d'articles pour l'industrie, dits articles techniques. *M. Ménier* fabrique également les tubes laveurs de l'estomac du *D^r Faucher*.

Parmi les pièces en ébonite, nous mentionnerons une pompe pour acide, des robinets et des entonnoirs, des boîtes pour piles etc...

MM. A. Hutchinson et C^{ie}. — Cette exposition comprend une grande variété d'articles techniques parmi lesquels nous citerons un gros tuyau dragueur, un tuyau d'aspiration type ponts-et-chaussées, un cylindre et une courroie-guide

pour papeterie, des tuyaux pour frein à vide et pour frein à air comprimé, des feuilles, clapets, rondelles, courroies de transmission etc...

MM. A. Hutchinson et C^{ie} fabriquent aussi différents modèles de patins pour chevaux, et les protecteurs de M. Lacombe. A côté nous avons remarqué des bandes de billard de différents modèles et une série de cercles pour garnir les roues de vélocipède, ainsi que des pédales ; puis des cordes, des bandes sans fin, des tampons, des bouchons de chimie etc... Enfin une feuille de caoutchouc ridé.

Parmi les articles en ébonite, nous signalerons une pompe pour acide, des robinets, des entonnoirs et des plaques.

MM. A. Hutchinson et C^{ie} ont réuni, à côté de tous ces objets, une collection complète de chaussures en caoutchouc comprenant des bottes pour pêcheurs et pour égoutiers, des snow-boots (chaussures pour la neige), des foot-holds, des souliers en caoutchouc de différents genres, des souliers pour bain de mer dits canevas.

MM. A. Hutchinson et C^{ie} sont seuls, en France, à fabriquer les chaussures en caoutchouc :

The India-Rubber, gutta-percha and telegraph Works C^o. — Nous trouvons dans la vitrine de cette compagnie la plupart des articles techniques, c'est-à-dire des feuilles, des clapets, des rondelles, des tuyaux, des courroies de transmission, un échantillon de tuyau dragueur, et un échantillon de tuyau d'aspiration du type ponts-et-chaussées. Nous voyons aussi une courroie-guide pour papeterie, des bandes de billard, un échantillon de courroie transporteur, des cercles pour garniture de roues de vélocipède etc...

The India Rubber and gutta-percha C^o possède une belle collection d'articles en ébonite : une pompe, des robinets, des tuyaux, des coudes, et des plaques diverses en caoutchouc durci.

Enfin cette Compagnie expose un morceau de caoutchouc bloqué mesurant environ 1 m. 50 de longueur, 40 centimètres de largeur et 12 à 15 centimètres d'épaisseur ; plusieurs feuilles sciées sont encore attenantes au bloc. Nous avons d'ailleurs déjà signalé ce bloc, en parlant de la fabrication des feuilles sciées, et nous avons dit que c'était le seul spécimen de caoutchouc bloqué figurant à l'Exposition.

M. Guibal. — M. Guibal expose un tuyau d'aspiration du type ponts-et-chaussées, un cylindre et une courroie-guide pour papeterie ; puis une série de tuyaux pour aspiration et pour refoulement, des clapets, des tampons et autres articles techniques. Sa vitrine renferme aussi des tissus caoutchoutés et maroquinés, des vêtements pour hommes et pour dames, des coussins à air, et des ballons obturateurs en caoutchouc et toile. — Enfin nous signalerons une collection de jouets en caoutchouc : chiens, chats, et autres jouets colorés.

Société générale des Téléphones. — La Société générale des Téléphones expose deux gros cylindres recouverts de caoutchouc pour apprêteurs, des clapets,

des rondelles, des tuyaux pour divers usages, des courroies de transmission, des joints pour diffuseurs etc... Elle expose aussi des gants et des bouchons de chimie, des spécimens de fils nus et de fils couverts, pour tissus élastiques.

Parmi de nombreuses pièces en caoutchouc durci, nous mentionnerons une pompe pour acide, des tuyaux, un seau, des boîtes pour acides, des récepteurs pour téléphone et divers objets employés en téléphonie.

La Société générale des Téléphones possède, en outre, un pavillon spécial construit près de la Tour Eiffel, dans lequel elle a réuni, non seulement les appareils de téléphonie, mais aussi les nombreux objets qu'elle fabrique pour l'industrie. Nous retrouvons, dans son pavillon, les mêmes articles qui figurent déjà dans sa vitrine de la classe 45, mais en plus grand nombre encore ; nous citerons trois cylindres recouverts de caoutchouc, un tuyau dragueur et un gros tuyau d'aspiration, une courroie-guide, des feuilles, clapets, rondelles, tuyaux divers, bourrelets, courroies de transmission, tampons, boulets, bouchons etc... Elle expose aussi des fils gris et rouges recouverts et non recouverts, qui sont utilisés dans la fabrication des tissus élastiques ; puis des coussins à air, des ceintures de natation, des poires pour sonnerie à air etc... enfin des nombreux objets en caoutchouc durci, ébonite et vulcanite, tels que ceux que nous avons déjà signalés dans la classe 45.

MM. Torilhon et C^{ie}. — M. Torilhon et C^{ie} ont placé dans leur vitrine cinq cylindres recouverts de caoutchouc ; à côté nous remarquons une courroie-guide, un échantillon de gros tuyau d'aspiration, des tuyaux pour frein à air comprimé, des clapets, des rondelles, des tampons, des courroies etc... et divers autres articles pour l'industrie.

MM. Torilhon et C^{ie} exposent une roue de voiture avec un bandage en caoutchouc, des cercles pour roues de vélocipède et plusieurs spécimens de caoutchouc durci : un seau, des entonnoirs et des boîtes pour divers usages ; enfin des tissus caoutchoutés.

MM. François Grellou et C^{ie}. — L'exposition de MM. François Grellou et C^{ie} comprend des cylindres pour papeterie et pouressoreuse, une courroie-guide, des clapets, des tuyaux divers, des cercles pour roues de vélocipède et des pédales, des boulets, bouchons, ballons etc..., des joints de diffuseur pour sucrerie, des tubes pour tiges de fleurs artificielles etc... Parmi les pièces en caoutchouc durci : une pompe, des robinets, des entonnoirs, des baguettes et des galets pour filature. — Signalons enfin une rampe d'escalier en caoutchouc durci et dont la surface veinée imite le bois.

MM. Bapst et Hamet. — MM. Bapst et Hamet exposent deux cylindres pour impressions, des courroies, des tuyaux, un échantillon de courroie transporteur de grande largeur, une poulie de dynamo recouverte de caoutchouc pour augmenter l'adhérence de la courroie, un cylindre à fouler les draps système Desplas d'Elbeuf, des patins pour frein de voiture etc...

Dans la vitrine de MM. Bapst et Hamet, nous voyons encore une collection d'articles de chirurgie, des tétines, des poires, des bracelets, des bouchons, des gants et moufles pour acides etc... Enfin comme caoutchouc durci il y a à signaler des entonnoirs, des crosses de pistolet et un ventilateur.

Les fabricants de tissus élastiques se trouvent dans la classe 35. Parmi les exposants, nous citerons : M. Fayaud avec des bretelles, des jarretières et des tous-bras ; M. Ch. Boulenger expose également des sous-bras et des tissus élastiques ; MM. L. Fromage et C^{ie} ont envoyé une collection de bretelles, jarretières et ceintures. Nous mentionnerons encore, parmi les exposants d'articles similaires. M. Cattaert, M. Bailly, M. Lecoq, MM. Oulmann et fils, M. Laffèche, etc...

Dans l'exposition des jouets, classe 40, nous trouvons une assez grande quantité d'articles en caoutchouc et en particulier des ballons à jouer, des ballons-réclame etc... M. Blanchard-Deguitard, M. Laurent, MM. Bapst et Hamet, M. Fayaud, M. Delachal, M. Derolland, MM. Niquet et Bouchet exposent des jouets en caoutchouc, des ballons-réclame, bibis, etc...

Dans la vitrine de M. Brissonnet, nous remarquons des ballons-réclame, des ballons à gaz, etc... Le ballon-réclame a été inventé en 1864 par M. A. Brissonnet ; il consiste, on le sait, en un ballon en caoutchouc sur lequel sont imprimées des réclames ou le nom de magasins. Ces sortes de ballons sont fabriqués avec une feuille mince de caoutchouc pur, ils sont vulcanisés au chlorure de soufre et gonflés avec de l'hydrogène. Comme ils doivent être assez légers pour s'élever dans l'air, il faut que le poids de l'enveloppe, augmenté du poids du gaz, soit moindre que le poids de l'air déplacé. M. Brissonnet expose encore des ballons-musique dits bibis, des jouets en baudruche, ballons ou caricatures grotesques, et enfin des aérostats miniatures garnis de leurs filets.

SECTION ANGLAISE

L'industrie du caoutchouc occupe dans la section anglaise une place importante ; huit maisons ont exposé :

North British Rubber Company.— Cette Compagnie a réuni dans une même vitrine tous les produits de sa fabrication, c'est ce que les fabricants français n'ont pas pu réaliser, par suite du faible emplacement mis à leur disposition. Aussi l'exposition de la North British se ressent de cette unité, sa vitrine renferme des spécimens d'un grand nombre d'articles destinés à l'industrie ; elle renferme aussi des tissus, des vêtements, des chaussures et autres objets qui, tous concentrés en un même point, donnent une idée assez exacte de l'importance de l'industrie du caoutchouc.

Parmi les articles exposés, nous avons remarqué du lait de caoutchouc, tel qu'il sort de l'arbre au moment de l'incision, des blocs de caoutchouc brut, des feuilles lavées, etc... Comme articles manufacturés, nous citerons : les feuilles, clapets, rondelles, courroies, tuyaux divers, cordes, bourrelets, une garniture de cylindre

pour papeterie, des bandages pour roues de voitures, des cercles pour roues de vélocipèdes etc...; puis des pièces en ébonite : robinets, siphons, boîtes pour piles, vases etc... Nous voyons encore des tissus et des vêtements imperméables, des coussins à air, des sacs de voyage et enfin toute une collection de chaussures en caoutchouc, bottes, bottines, snow-boots, chaussures canevas etc... et une grande variété de semelles en caoutchouc moulées pour chaussures de lawn-tennis.

MM. William Currie et C^o. — Cette maison expose un certain nombre d'articles techniques tels que feuilles, clapets, rondelles, tuyaux etc...; puis une grande variété de tissus et de vêtements imperméables pour dames et pour hommes, les uns à caoutchouc extérieur, les autres à double face, c'est-à-dire avec caoutchouc entre deux tissus.

Il y a encore à citer, dans l'exposition de *MM. William Currie et C^o*, des couvertures de voyage à double face, des guêtres, des bas de pêche et des pantalons etc..., et enfin des chaussures avec semelles en caoutchouc pour lawn-tennis.

MM. Mandleberg et C^o. — *MM. Mandleberg et C^o* exposent une collection de tissus caoutchoutés, et des vêtements confectionnés munis d'un système spécial de ventilation. Nous voyons là une grande quantité de tissus à simple et à double face, très légers, qui servent à la fabrication des vêtements et d'articles divers tels que des coussins à air, des guêtres, etc...; nous signalerons aussi des ballons à jouer recouverts extérieurement d'une enveloppe en cuir.

MM. Lee brothers. — *M. Geo Cording.* — *MM. Birnbaum et Son.* — *MM. Barthum Harvey et C^o.* — Ces quatre maisons exposent des tissus et des vêtements imperméables.

MM. Angus et C^o. — L'exposition de *MM. Angus et C^o* est installée dans la galerie des Machines, au 1^{er} étage. A côté d'articles en cuir, nous avons remarqué une collection d'objets en caoutchouc pour l'industrie, et en particulier des feuilles, des tampons, des tuyaux, des cordes Tuck en caoutchouc et toile, des rouleaux recouverts de caoutchouc, des tapis etc...

SECTION BELGE

L. Pol de Schamphelaere. — Expose des articles techniques parmi lesquels nous avons noté des feuilles, des courroies de transmission, des cordes Tuck pour presse-étoupe, des bourrelets, un cylindre recouvert de caoutchouc, des tuyaux, du caoutchouc ridé, des formes pour fabricants de chapeaux, etc...;— il expose encore quelques échantillons de tétines et de tuyaux en feuille sciée et enfin une collection de gommés à effacer.

M. Pol de Schamphelaere est le seul exposant de caoutchoucs dans la section belge.

SECTION NÉERLANDAISE

M. Bakker en Zoon. — Est le seul exposant des Pays-Bas qui nous montre

du caoutchouc. — Nous signalerons des feuilles, des clapets, des tampons, des courroies de transmission, un échantillon de courroie transporteur, des tuyaux, des tapis et enfin différents types de patins pour chevaux.

SECTION AMÉRICAINE

Boston Rubber Shoe Co. — Cette Compagnie n'a envoyé que des chaussures en caoutchouc : sa vitrine renferme des types de tous les genres, c'est-à-dire des bottes, des souliers, des chaussures en caoutchouc et tissu dits canevas, des footholds, des snow-boots etc...

Brook Haven Rubber Shoe Co. — Comme la précédente, cette Compagnie expose des chaussures en caoutchouc, des canevas, des snow-boots et diverses chaussures avec semelles en caoutchouc et dessus en cuir.

C. J. Bailey et Co. — MM. C. J. Bailey et Co exposent des brosses en caoutchouc pour le bain, la toilette et autres usages.

Revere Rubber Co. — Parmi les articles envoyés par la Revere Rubber Co, nous citerons des fils de caoutchouc noirs et des fils rouges, des feuilles pour joints et une série de courroies de transmission dont quelques-unes sont cousues.



MATÉRIEL ET PROCÉDÉS

POUR LA FABRICATION DES ARTICLES TECHNIQUES

Tous les exposants de la classe 45 fabriquent des articles techniques, c'est-à-dire des objets employés dans l'industrie, tels que feuilles, clapets, rondelles, courroies de transmission, tuyaux avec toiles et sans toile pour les différents usages, cordes, tampons, etc. Sauf de rares exceptions, tous ces objets sont vulcanisés, et la vulcanisation est obtenue par le procédé du mélange avec le soufre suivi d'une cuisson à haute température. Nous n'avons pas l'intention d'étudier ici, en détails, la fabrication des articles techniques, la place nous manque absolument pour traiter un pareil sujet, mais nous dirons quelques mots du matériel et des procédés usités dans cette branche de l'industrie du caoutchouc, puis nous consacrerons quelques pages aux courroies de transmission en caoutchouc.

Nous ne reviendrons pas sur la manière d'obtenir du *caoutchouc mélangé*; nous rappellerons seulement que les objets destinés à être vulcanisés par une cuisson à haute température doivent nécessairement renfermer du soufre dans une proportion qui varie entre 3 et 12 %, ou des sulfures. Avant d'être livré à la

consommation, un objet en caoutchouc vulcanisé passe par les phases suivantes : le caoutchouc mélangé est d'abord introduit dans un *réchauffeur*, puis il est transformé en feuille au moyen d'un *laminoir* ou d'une *calandre*; cette feuille est alors découpée aux dimensions voulues, ou bien sert à confectionner des objets de formes variées qui sont soumis à une cuisson sous une *presse à vulcaniser* ou dans des *vulcaniseurs à vapeur, à eau ou à air*. Nous allons décrire brièvement ces différents appareils.

Réchauffeur. — Le réchauffeur n'est pas autre chose qu'un mélangeur ordinaire (fig 5). Il sert, comme son nom l'indique, à réchauffer le caoutchouc mé-

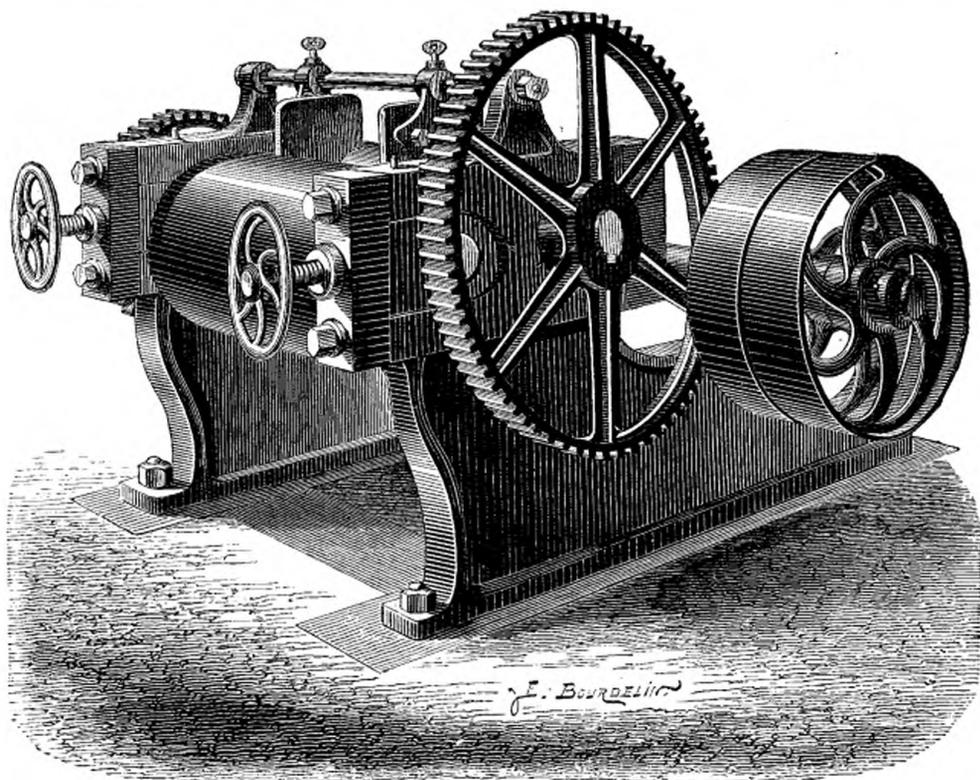


FIG. 7. — LAMINOIR.

langé. Cette opération préliminaire est indispensable pour amollir la matière au degré voulu, avant de l'introduire dans le laminoir ou dans la calandre.

Laminoir. — Cet appareil consiste en deux cylindres creux horizontaux, comme ceux d'un mélangeur, seulement ils tournent avec la même vitesse; ainsi en calant sur les tourillons des deux cylindres d'un mélangeur (voir fig. 5), des pignons égaux, on obtient un laminoir. — Nous représentons (fig. 7) une machine de ce genre.

Après avoir lancé la vapeur dans les cylindres, de manière à les chauffer à une température convenable, et après avoir réglé l'écartement des cylindres d'après l'épaisseur de la feuille que l'on désire obtenir, on introduit une certaine quantité de caoutchouc mélangé et préalablement réchauffé. La matière est laminée et transformée en feuille qu'on enroule autour d'un noyau en bois, en ayant soin d'intercaler une toile pour empêcher l'adhérence et le collage entre les différentes couches enroulées.

Cet appareil ne possède pas une grande précision ; toutes les fois qu'on veut avoir des feuilles minces et d'épaisseur régulière, il faut avoir recours à une calandre.

Calandres. — Les calandres en usage dans les manufactures de caoutchouc sont à 3 ou à 4 cylindres. Les cylindres sont placés parallèlement, de façon à ce que les axes se trouvent dans un même plan vertical ; ils sont creux et peuvent être chauffés ou refroidis à volonté par un courant de vapeur ou d'eau froide ; ils sont animés d'un mouvement de rotation, et peuvent en outre se déplacer dans le sens vertical, à l'exception de celui du milieu qui est fixe, et dont les autres peuvent se rapprocher ou s'éloigner à volonté.

La figure 8 représente une calandre à 3 cylindres. Sur le côté, on voit les engrenages qui donnent le mouvement au cylindre central, lequel communique son mouvement de rotation aux deux autres au moyen de pignons. Deux vis verticales, actionnées par deux vis sans fin montées sur un petit arbre horizontal, agissent sur les coussinets du cylindre supérieur, qui est ainsi susceptible de se rapprocher ou de s'éloigner du cylindre central. Un système analogue est disposé pour actionner de la même manière le cylindre inférieur.

Pour tirer une feuille, on commence par chauffer la calandre, en même temps on fait passer la gomme mélangée au réchauffeur. La machine étant réglée, la matière est introduite entre les deux cylindres supérieurs, où elle se transforme en feuille, laquelle, conduite par le cylindre central, va passer entre les 2 cylindres inférieurs. Au sortir de l'appareil, on l'enroule autour d'un noyau en bois, en intercalant une toile pour éviter le collage. Cette machine sert aussi à appliquer une couche de caoutchouc sur un tissu ; pour cela, le tissu, enroulé autour d'un noyau en bois, est introduit entre les 2 cylindres inférieurs ; le caoutchouc se dépose dessus et, suffisamment pressé par le troisième cylindre, adhère au tissu.

Les cylindres d'une calandre doivent être chauffés à une température qui varie avec la nature de la gomme mélangée. En règle générale, la température doit être d'autant plus élevée que la matière est plus pure ; ainsi, un mélange composé de caoutchouc avec 10 % de matières étrangères, devra être travaillé sur une machine plus chaude qu'un mélange contenant 60 % des mêmes matières étrangères. Nous ajouterons que, toutes choses égales d'ailleurs, le chauffage doit être d'autant plus énergique, que le caoutchouc proprement dit est plus ner-

veux; ainsi, comparons deux mélanges, identiques au point de vue des proportions, l'un renfermant du Para et l'autre du Bornéo inférieur: il faudra tenir l'appareil plus chaud avec le premier qu'avec le second, car le Bornéo inférieur, étant mou et poisseux, se colle à des cylindres trop chauffés, tandis que le Para, très nerveux, ne craint pas la chaleur, et a besoin d'être amolli davantage pour traverser l'appareil.

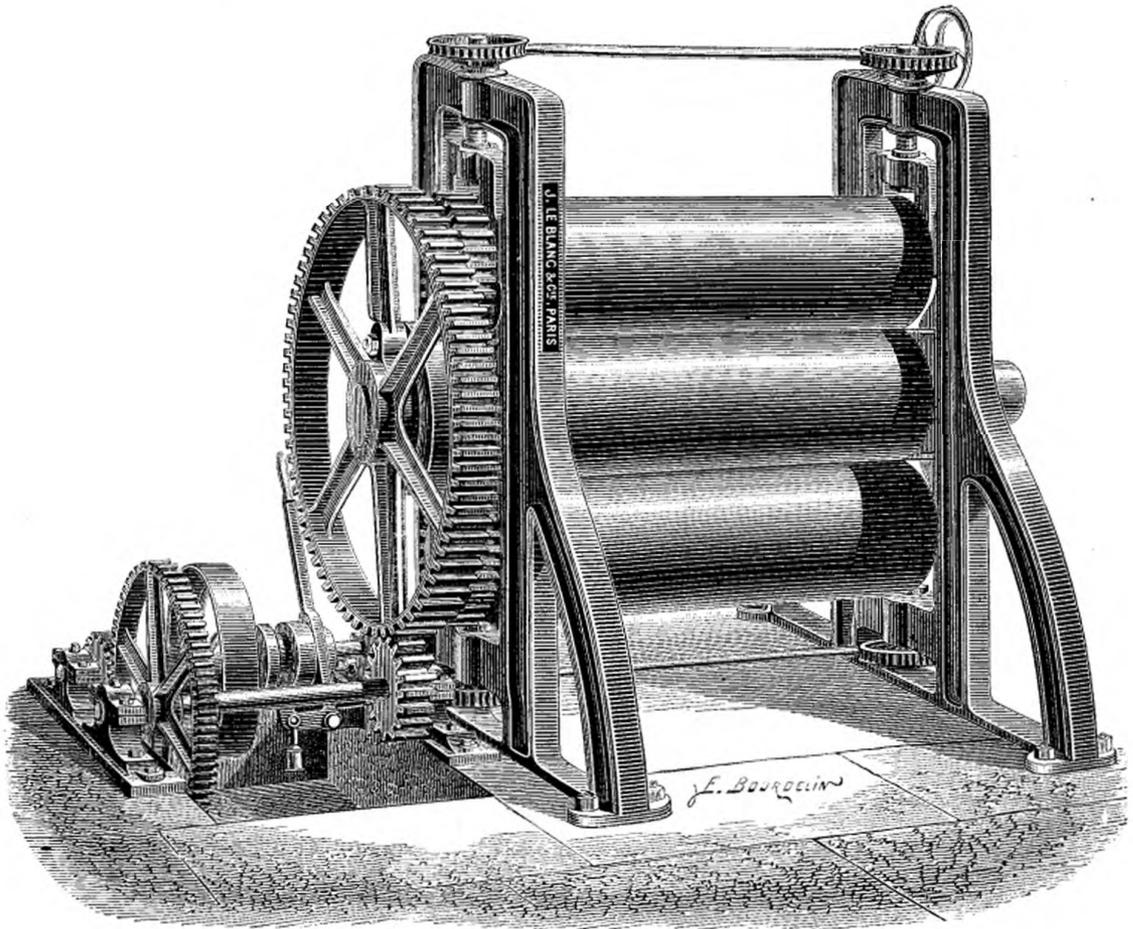


FIG. 8. — CALANDRE A 3 CYLINDRES

Calandre à friction. — C'est une calandre à 3 cylindres creux, susceptibles d'être chauffés intérieurement par un courant de vapeur; elle ne diffère de la calandre ordinaire que par la vitesse de rotation qui lui est imprimée. En général, le cylindre central tourne deux fois plus vite que les deux autres; ce résultat est obtenu simplement par l'emploi d'une roue d'engrenage d'un diamètre égal à la

moitié de celui des deux autres roues calées sur les cylindres supérieur et inférieur. Parfois, les 3 cylindres ne sont pas dans le même plan vertical.

Il n'y a rien de spécial à ajouter sur cette machine qui sert à étendre une couche très mince de caoutchouc sur les tissus destinés à fabriquer les tuyaux avec toile et les courroies de transmission. — Un tissu, qui a été ainsi frictionné sur une face ou sur les deux faces, peut ensuite être passé à la calandre pour recevoir une couche plus épaisse de caoutchouc; on est, dans ce cas, assuré que la feuille calandree adhèrera solidement au tissu.

Machine à doubler. — Cette machine sert à doubler ou à superposer deux feuilles de caoutchouc ou deux tissus caoutchoutés. Elle se compose de 2 cylindres parallèles, placés l'un au-dessus de l'autre, et supportés par des bâtis dans lesquels sont ménagés des évidements pour loger les coussinets. Le cylindre supérieur est recouvert de caoutchouc et des leviers avec contre-poids, appuyant sur ses coussinets, le maintiennent appliqué contre le cylindre inférieur, qui reçoit seul un mouvement de rotation.

Les extrémités des deux feuilles à doubler, étant introduites entre les cylindres, on embraye l'appareil. En tournant, le cylindre du bas entraîne par frottement le cylindre supérieur convenablement chargé avec des contre-poids; les deux feuilles sont pressées l'une contre l'autre, en même temps qu'entraînées dans le mouvement général de la machine.

Presses à vulcaniser. — On emploie, dans les manufactures de caoutchouc, des presses à vis, des presses à vis et leviers articulés, des presses hydrauliques, etc.

Presses à vis. — Ces appareils sont disposés comme les presses qui servent à copier les lettres. Ils sont formés de deux plateaux creux chauffés intérieurement par la vapeur. Le plateau inférieur est fixe et posé sur une table ou sur un support; le plateau supérieur monte et descend au moyen d'une vis tournant dans un écrou fixe taraudé dans la traverse, il est guidé dans ses mouvements par des colonnes latérales. Un manomètre, communiquant avec l'un des plateaux, permet d'apprécier la pression de la vapeur que l'on règle au moyen d'un robinet disposé sur le tuyau d'arrivée.

Les objets en caoutchouc mélangé sont placés dans des moules et portés entre les deux plateaux de la presse que l'on serre fortement. La durée de la cuisson varie; en général, on s'arrange de façon à ce qu'à une pression comprise entre 2 1/2 et 4 atmosphères, la vulcanisation soit complète en deux heures au maximum. La durée de la vulcanisation est souvent réduite à une heure et même

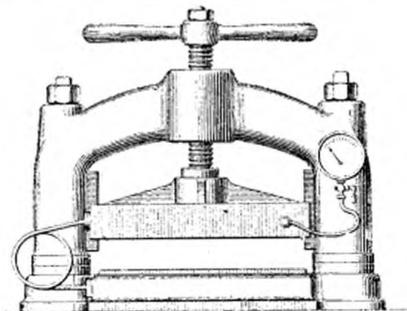


FIG. 9

trente minutes; tout dépend de la proportion du soufre, de la pression de la vapeur dans les plateaux et de la nature du mélange.

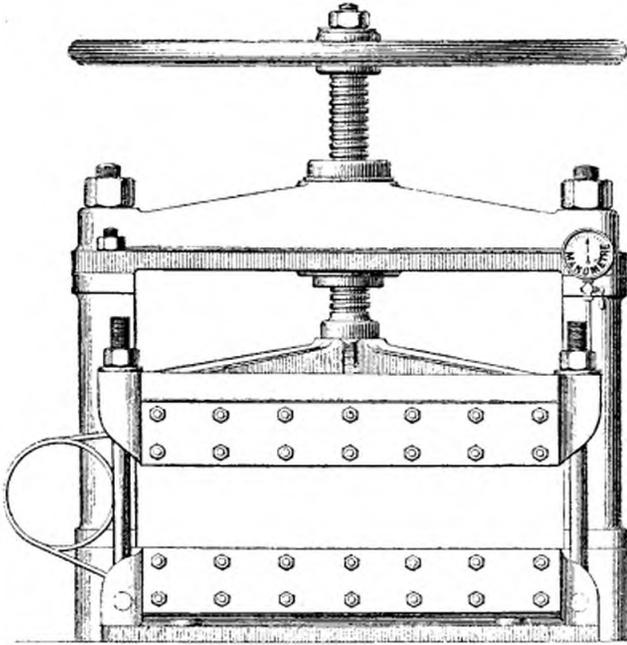


FIG. 10

Les figures 9 et 10 représentent deux petites presses à vis. Ce type d'appareil est

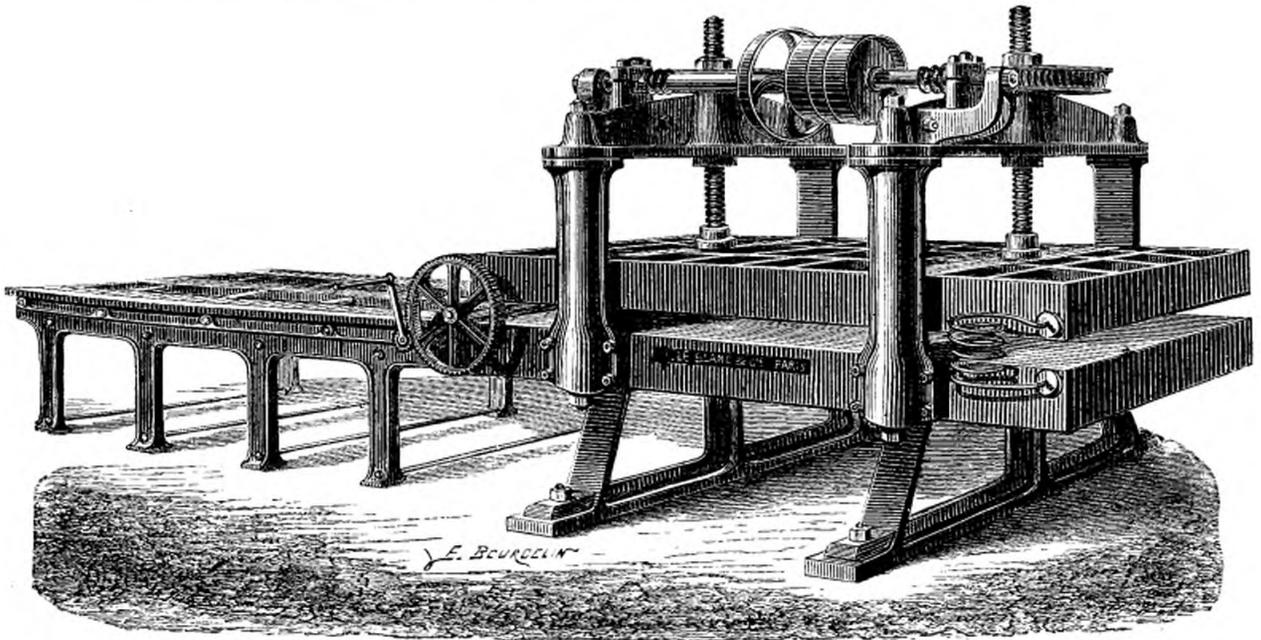


FIG. 11. — PRESSE A VULCANISER LES COURROIES

très employé dans toutes les fabriques de caoutchouc. En proportionnant convenablement les divers organes, on construit des presses à une seule vis avec plateaux de 1 mètre à 1^m,25 de côté.

Les plus grandes presses ont des plateaux qui mesurent jusqu'à 3 mètres et même 4 mètres de longueur, avec une largeur de 1 mètre à 1^m,50. Ces appareils sont munis de deux et de trois vis de pression. Pour que le plateau supérieur descende régulièrement, et appuie uniformément sur toute sa longueur, toutes les vis doivent être solidaires. A cet effet, chaque vis porte à sa partie supérieure une roue dentée du même diamètre; chacune de ces roues engrène avec une vis sans fin correspondante disposée sur un arbre horizontal, qui peut être manœuvré à l'aide d'un volant, ou bien à l'aide de poulies mises en mouvement par l'arbre de l'atelier qui, dans ce cas, opèrent mécaniquement la manœuvre du plateau supérieur.

La presse, représentée par la figure 11, est du type à deux vis, construite par M. Leblanc; la manœuvre du plateau supérieur se fait mécaniquement. Ce constructeur établit des presses de ce genre jusqu'à 3 mètres de longueur et 1^m,10 de largeur qui servent à la vulcanisation des courroies en caoutchouc et toile.

Presses à vis et leviers articulés. — Les presses à vis et leviers articulés

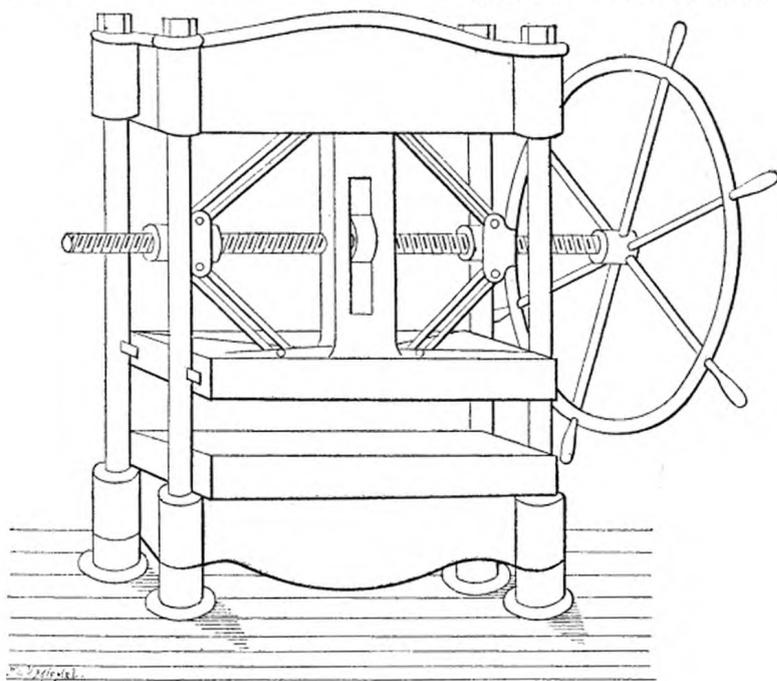


FIG. 12. -- PRESSE A VIS ET LEVIERS ARTICULÉS

sont moins répandues que les presses à vis ordinaires; cela tient à ce que, à égalité d'effet utile, elles sont plus chères. Cependant, elles donnent un bon travail.

Une presse de ce genre (fig. 12) se compose essentiellement d'une vis horizontale et de quatre leviers articulés, en plus, deux plateaux creux et un bâtis approprié complètent cet appareil.

La moitié de la vis horizontale a un filet à gauche, l'autre moitié a un filet à droite. Deux leviers sont articulés d'une part à un premier écrou qui entoure la vis, et d'autre part l'un au plateau mobile, l'autre au chapiteau fixe de la presse. Les deux autres leviers sont disposés de la même façon, par rapport à un second écrou, sur l'autre partie de la vis.

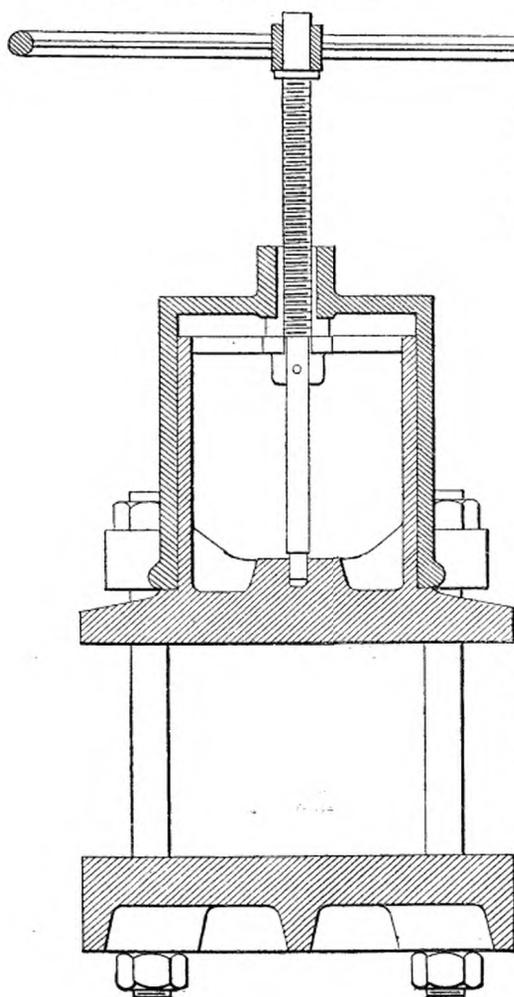


FIG. 13

En agissant sur un volant calé sur la vis horizontale, les écrous se rapprochent ou s'éloignent, et déterminent, par l'intermédiaire des leviers, la descente ou la montée du plateau mobile convenablement guidé. L'examen du dessin qui représente cet appareil fera comprendre ce mécanisme.

Les plateaux creux sont chauffés à la vapeur, et les objets déposés dans les moules sont pressés entre les plateaux comme avec la presse à vis ordinaire.

Presses hydrauliques.—Dans les presses hydrauliques, le mouvement du plateau est obtenu au moyen de la pression de l'eau et par l'intermédiaire d'accumulateurs. — Les deux plateaux sont chauffés à la manière ordinaire et opèrent la compression des objets introduits dans les moules.

Ces sortes de presses sont surtout employées pour la vulcanisation des courroies. Dans ce cas, les plateaux atteignent souvent 4 et 5 mètres de longueur et 1 mètre à 1^m,25 de largeur; le plateau mobile est manœuvré par quatre et six pistons de presses hydrauliques, parfois même davantage.

Presse à cylindre guide. — MM. de Coster, Rikkers et C^{ie} construisent des presses à cylindre-guide (fig. 13), qui sont des presses à vis d'un genre particulier.

La vis, manœuvrée par un volant à choc, agit sur le plateau supérieur, qui est venu de fonte avec un corps cylindrique vertical mobile à l'intérieur d'un autre cylindre fixe.

Avec ce système de presse, les plateaux restent bien parallèles, et par suite le serrage est très régulier.

Vulcaniseurs à vapeur. — *Vulcaniseurs à eau.* — Ce sont des réservoirs construits de façon à supporter la vapeur à haute pression et assez semblables à des bouilleurs de chaudières à vapeur.

Leurs dimensions sont très variables. Les uns sont horizontaux, les autres verticaux.

Nous représentons (fig. 14), une chaudière à vulcaniser horizontale. C'est un cylindre en tôle à fond bombé et dont l'ouverture est munie d'un rebord circulaire en fonte, sur lequel vient s'appliquer un couvercle pivotant. Des boulons avec tête à anneau sont retenus au rebord en fonte et permettent de relier solidement le couvercle au cylindre. Un tuyau, communiquant avec un générateur de vapeur, permet d'introduire la vapeur dans la chaudière à une pression de 3 à 4 atmosphères.

Les objets à vulcaniser sont placés sur un chariot qui circule sur une petite voie ferrée occupant toute la longueur de la chaudière et qui se continue à l'extérieur. A la sortie du vulcaniseur, la voie ferrée est mobile, c'est-à-dire que les deux bouts de rails s'enlèvent à volonté pour permettre la manœuvre du couvercle.

Les chaudières à vulcaniser les tuyaux ont ordinairement 70 à 80 centimètres de diamètre et une longueur qui varie depuis 10 mètres jusqu'à 20 mèt. Les tuyaux, fabriqués sur un mandrin en fer et roulés dans une toile, sont placés dans un long chariot dont le fond est recouvert de talc et le tout est poussé dans la chaudière où la cuisson s'opère à une température de 125 à 140°, pendant une à deux heures, suivant la composition du caoutchouc mélangé.

Les vulcaniseurs à eau chaude sont semblables aux vulcaniseurs à vapeur, seulement ils sont placés verticalement et renferment de l'eau jusqu'à un certain niveau. La vapeur arrive dans la chaudière, élève la température de l'eau jusqu'à 125 — 150 ° et détermine ainsi la cuisson des objets qui sont plongés dans le liquide.

La figure 15 représente un vulcaniseur à eau chaude. En supprimant l'eau, cette même chaudière sert, au besoin, de vulcaniseur à vapeur.

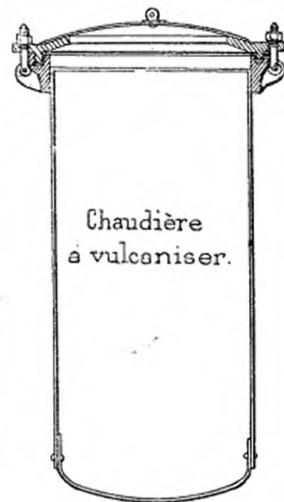


FIG. 14

Vulcaniseurs à air. — Étuves. — On peut employer, pour la vulcanisation, des chaudières à double enveloppe. La vapeur est introduite entre les deux cy-

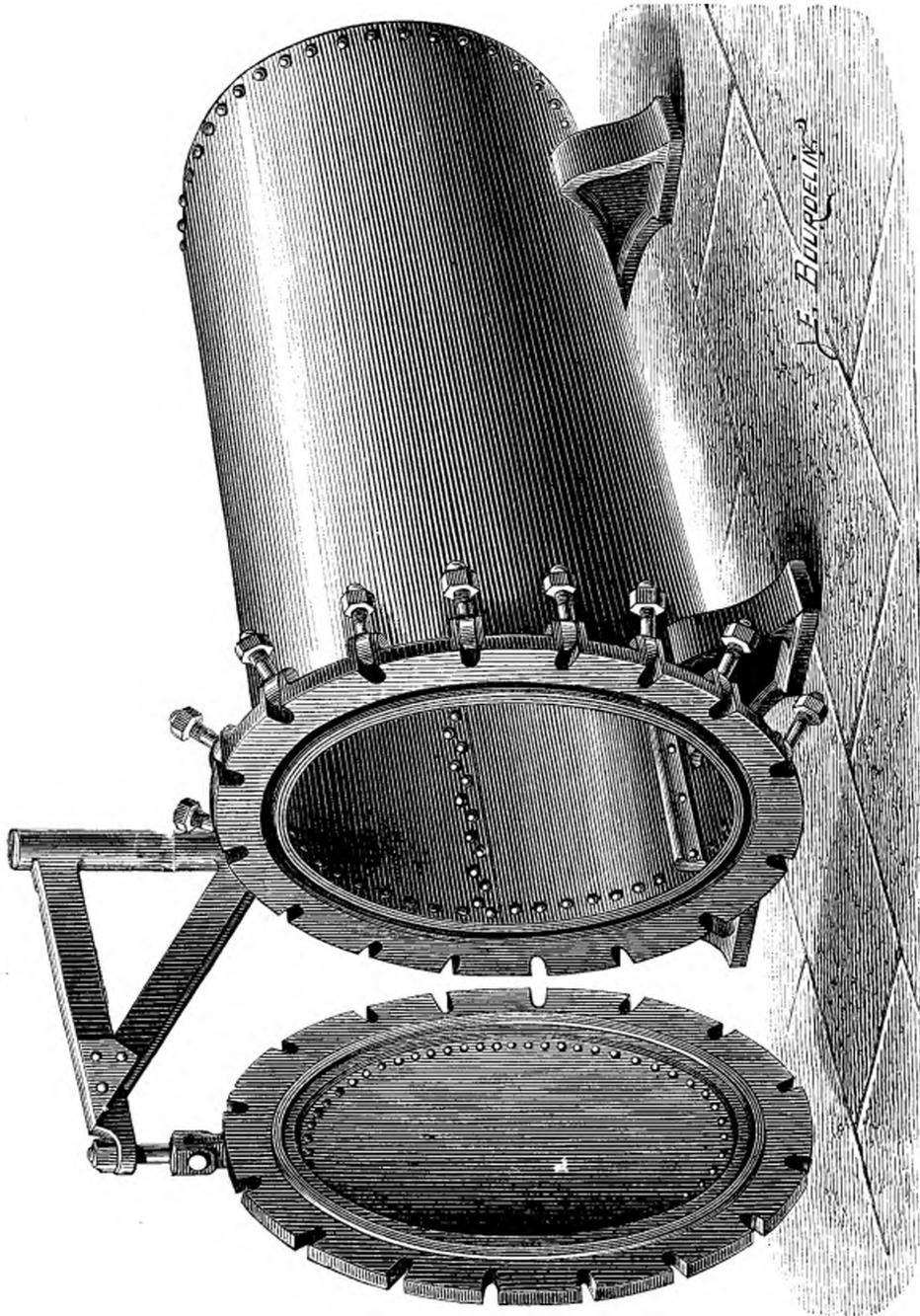


FIG. 15. — CHAUDIÈRE A VULCANISER.

lindres, chauffe par rayonnement l'air contenu dans le cylindre intérieur et par suite vulcanise les objets qu'elle renferme.

On se sert aussi d'étuves à air chaud. Ce sont de grandes chambres en maçonnerie, chauffées par un calorifère à air chaud ou par tout autre procédé.

Les chaussures en caoutchouc, certains tissus caoutchoutés etc... sont vulcanisés à l'air chaud.

Machine à tuyaux. — Cette machine se compose d'un cylindre horizontal à l'intérieur duquel tourne une vis, ou un noyau cylindrique avec des rainures en hélice creusées à la surface ; le cylindre communique avec une tubulure à laquelle on peut adapter des filières de différents calibres ; de plus, il possède une double enveloppe permettant de le chauffer par un courant de vapeur ou de le refroidir par un courant d'eau froide.

La disposition varie ; la machine que nous représentons (fig. 16), est construite par M. Le Blanc et figure à l'Exposition dans la Galerie des Machines, classe 51.

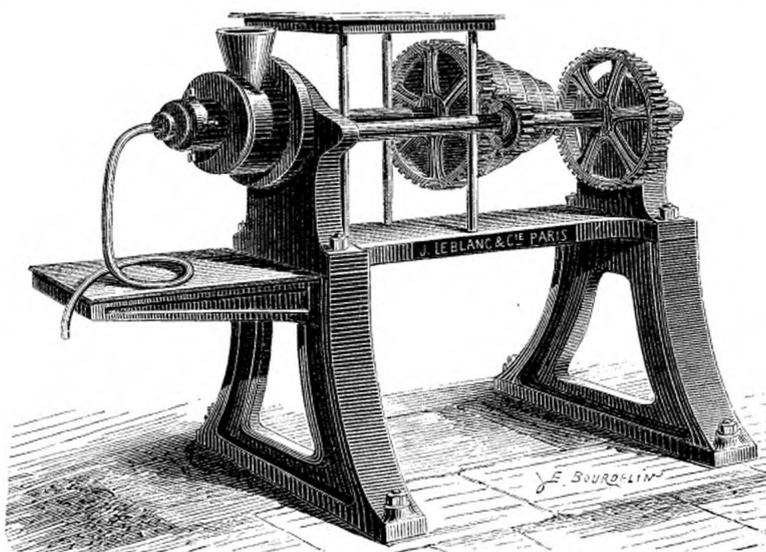


FIG. 16. — MACHINE A TUYAUX

La gomme, préalablement réchauffée, est introduite dans l'appareil ; elle s'engage dans les rainures de la vis qui, en tournant, la pousse vers la sortie où, par suite de sa malléabilité, elle prend la forme de la filière. Avec cet appareil on fabrique des tuyaux, des cordes et des tiges à fleur qui sont ensuite vulcanisés en vapeur.

Caoutchouc durci

Lorsqu'on soumet un caoutchouc mélangé, renfermant 30 à 50 % de soufre, à l'action de la chaleur pendant 5 à 10 heures, on produit une matière dure qui se travaille comme l'écaille, la corne et l'ivoire et qui est susceptible d'acquérir un très beau poli ; c'est ce qu'on appelle le caoutchouc durci. Quand la matière est noire, on la désigne aussi sous le nom *d'ébonite* ; le mot *vulcanite* sert à désigner les caoutchoucs durcis, colorés artificiellement en rouge, marron etc.

On obtient encore du caoutchouc durci en plongeant du caoutchouc dans un bain de soufre fondu, pendant 6 à 10 heures, à une température de 130 à 150°.

On peut également le préparer, en plongeant pendant plusieurs heures un morceau de caoutchouc dans une dissolution de chlorure de soufre dans le sulfure de carbone.

La première méthode est la plus usitée ; les deux autres ne sont du reste pas aptes à produire des objets un peu épais.

Le caoutchouc durci a des propriétés remarquables ; il est mauvais conducteur de l'électricité et s'électrise par le frottement ; il est inattaquable par les acides ordinaires ; il se travaille comme la corne et l'ivoire et avec les mêmes outils etc., etc. ; il a donc de très nombreuses applications. Mais nous ne pouvons pas entrer ici dans les détails de la fabrication, car l'étude de cette importante question nous prendrait beaucoup trop de place.

COURROIES DE TRANSMISSION

Les courroies de transmission, dites en caoutchouc, sont en réalité des courroies mixtes formées de plusieurs plis de toile superposés et collés ensemble au moyen du caoutchouc ; on les fabrique avec de grosses toiles de coton très résistantes et du caoutchouc très adhésif.

Confection des courroies. — La première opération consiste à enduire le tissu, sur les deux faces, avec une couche de caoutchouc mélangé dans lequel il entre environ 40 à 60 0/0 de matières étrangères et la quantité de soufre nécessaire à la vulcanisation. Le caoutchoutage s'effectue à l'aide de la machine à friction que nous avons décrite et qui, on se le rappelle, permet de déposer sur la toile une épaisseur de matière extrêmement mince.

La pièce de toile ainsi préparée est déroulée et étendue sur une table. Il suffit

alors de replier le tissu sur lui-même et d'assurer l'adhérence de deux couches successives, au moyen d'un rouleau à main que l'on passe sur toute la surface. C'est ainsi qu'en repliant la toile caoutchoutée 3, 4, 5, 10 fois sur elle-même, on obtient des courroies à 3, 4, 5, 10 plis qui adhèrent tous ensemble. La courroie est ensuite recouverte, sur les deux faces et sur les tranches, avec une feuille de caoutchouc mélangé d'environ 1/2 à 1 millimètre d'épaisseur ; on assure l'adhérence de cette robe extérieure avec le corps de la courroie au moyen du rouleau à main.

Certains fabricants suppriment la robe extérieure en caoutchouc. Cette pratique n'a pas d'inconvénients et a l'avantage de diminuer le prix de revient de la courroie.

Au lieu de procéder comme nous venons de l'indiquer, c'est-à-dire de replier sur elle-même une toile caoutchoutée sur les deux faces, on peut opérer par superposition de toiles indépendantes. Lorsqu'on veut suivre cette méthode, on prépare 3, 4, 6, 8, pièces de tissu, ou davantage, caoutchoutées sur les deux faces au moyen de la calandre à friction ; puis on les superpose, en les faisant passer entre les cylindres chauds d'un laminoir, ou entre les cylindres d'une machine à doubler. On obtient ainsi une large bande qui est ensuite découpée, avec un couteau mécanique, en bandes ou courroies de largeurs déterminées sur lesquelles on colle une robe en caoutchouc mélangé.

On fabrique aussi des courroies dites *extérieur tissu*, destinées à marcher *croisées* ; leur fabrication diffère peu des courroies *extérieur caoutchouc*. On commence par employer une toile frictionnée des deux côtés, avec laquelle on prépare les plis intérieurs de la courroie ; puis les 2 derniers plis sont composés avec une toile qui n'a été frictionnée que sur un côté seulement, en ayant soin de laisser la face toile à l'extérieur.

Vulcanisation des courroies. — Autrefois la cuisson s'effectuait dans un vulcaniseur à vapeur. La courroie était enroulée autour d'un tambour en tôle, fortement serrée dans une toile enveloppe et introduite ensuite dans la chaudière pendant un certain temps. Malgré tous les soins apportés dans l'enveloppement, il est difficile d'empêcher la vapeur de pénétrer jusqu'à la courroie. Alors l'humidité se propage à l'intérieur et l'adhérence entre les différents plis ne se produit que d'une manière imparfaite. Aussi n'est-il pas rare de voir une courroie vulcanisée par ce procédé hors de service au bout de quelques jours de marche, par suite du décollage. La courroie est perdue.

Actuellement, toutes les usines qui fabriquent des courroies opèrent la cuisson, sous la presse à vulcaniser, dans des moules.

Un moule à courroie se compose d'une pièce en fonte, en forme de , de largeur variable et d'une longueur au moins égale à celle de la presse à vulcaniser, et d'un couvercle de même métal ayant exactement la largeur du vide.

La courroie, saupoudrée de talc sur les deux faces et sur les tranches, est in-

troducte dans le moule, puis recouverte avec le couvercle. On pousse sous la presse le moule ainsi garni d'une portion de la courroie ; après quoi, on fait descendre le plateau supérieur qui, en appuyant sur le couvercle, comprime la courroie et, avec l'aide de la chaleur, oblige les différents plis à se coller entre eux.

Afin d'éviter, autant que possible, l'altération du tissu, la durée de la cuisson ne doit pas être trop longue, ni la température trop élevée. Généralement on fixe la proportion de soufre de façon à ce que la cuisson soit complète par une exposition de 30 à 45 minutes à une température de 130 à 145°. Quand la cuisson est terminée, on desserre la presse, on sort le moule dans lequel on introduit une nouvelle portion de courroie. On vulcanise ainsi par portions successives, ce qui permet de fabriquer des courroies de longueur illimitée.

Pour faciliter la manœuvre du moule qui, à chaque opération, doit être poussé sous la presse, puis retiré, on se sert d'un chariot à crémaillères composé d'une simple armature métallique munie, sur les côtés longitudinaux, d'une crémaillère engrenant avec un pignon monté sur un arbre transversal qui reçoit le mouvement d'un arbre à manivelle manœuvré par un homme. La presse dont nous avons parlé précédemment laisse voir cette disposition.

RÉSISTANCE DES COURROIES EN CAOUTCHOUC

COMPARAISON AVEC LES COURROIES EN CUIR

Des expériences ont été faites pour déterminer la résistance et le coefficient de frottement des courroies en caoutchouc, en même temps que pour établir leur valeur par rapport aux courroies en cuir. Parmi les expérimentateurs qui se sont occupés de la question, nous citerons M. Tresca et M. L. Ogier.

Expériences de M. Tresca. — Les expériences de M. Tresca embrassent les courroies en cuir, les courroies en gutta-percha, les courroies en caoutchouc sans toile et les courroies mixtes en toile et caoutchouc.

Voici les conclusions qu'il a formulées :

« 1° On reconnaît que les courroies en cuir présentent les allongements les plus variables, ce qui tient, sans aucun doute, à ce qu'on est obligé de les soumettre, avant leur emploi à des tensions préalables, afin d'éviter que le même effet ne se produise pendant leur fonctionnement ;

« 2° En moyenne le cuir s'allonge d'un dixième de sa longueur primitive, pour une charge de 0 k. 77 par millimètre carré, les courroies en caoutchouc et toile pour 0 k. 70, le caoutchouc pour 0 k. 27, la gutta-percha pour 0 k. 25 ; on voit, à ce premier point de vue, que les courroies mixtes se rapprochent beaucoup des courroies en cuir ;

« 3° Mais un allongement double, qui est produit sur le cuir par une charge

de 1 k. 66 exige 2 k. 52 par millimètre carré avec le tissu de caoutchouc et de toile ;

« 4° L'industrie a donc imité, avec avantage, la propriété que possède le cuir de donner lieu à des allongements qui croissent beaucoup moins rapidement que les charges ;

« 5° Cette propriété caractéristique et très intéressante, au point de vue de l'usage, est certainement due, dans un cas, comme dans l'autre, aux obstacles qui s'opposent au redressement des fibres longitudinales, savoir : les fils de chaîne, dans les tissus, les matières agglutinées dans les alvéoles, pour les cuirs ;

« 6° Ces deux sortes de courroies peuvent être employées sous une charge habituelle de 1 kilogramme par millimètre carré ;

« 7° Les courroies en caoutchouc, sans tissu, et les courroies en gutta-percha ne doivent pas être soumises à un effort supérieur à 0 k. 25 par millimètre carré. A la température de 20°, la gutta-percha s'étire indéfiniment sous une charge de 0 k. 35. Le caoutchouc se rompt à 0 k. 40 ;

« 8° La gutta-percha peut être employée avec grand avantage dans tous les cas où la transmission est sujette à être mouillée par l'eau froide, mais il faut éviter avec soin de l'exposer aux rayons solaires ; au reste, les débris, qu'il est souvent difficile de soustraire à la convoitise des ouvriers, se moulent avec assez de facilité pour être employés pour ainsi dire indéfiniment ;

« 9° Le caoutchouc vulcanisé se détériore surtout par le défaut d'usage, et devient très cassant ; l'emploi du tissu rend son usage plus certain et plus prolongé ;

« 10° Enfin, ce mode de fabrication se prête facilement à des dimensions que le cuir ne comporte pas, et c'est surtout pour les transmissions à grand effort qu'il convient de le réserver, en ne portant jamais la tension au-delà de 0 k. 50 par millimètre carré. »

Expériences de M. L. Ogier. — Les expériences de M. L. Ogier sont moins générales que celles de M. Tresca ; elles portent seulement sur les courroies en cuir et sur les courroies mixtes en caoutchouc et toile. M. L. Ogier n'a pas jugé à propos d'expérimenter les courroies en caoutchouc sans tissu, car cet ingénieur, très compétent dans toutes les questions relatives au caoutchouc, considérait, avec raison, ce dernier genre de courroie comme impropre à former des transmissions.

Il serait trop long de relater ici toutes ses expériences, nous ne ferons que reproduire le tableau récapitulatif et les conséquences qu'il en tire.

TABLEAU RÉCAPITULATIF

Numéros	Désignation des courroies	Charge de rupture par m/m ² de section	Charge de rupture par centi- mètre de largeur de toile	Allongement par mètre			
				sous une charge de 0,250 par millimètre carré de section		sous la charge précédant la rupture	
				élasti- que	Per- manent	élasti- que	Per- manent
1	Cuir	2 ^k 246		0 ^m 107	0 ^m 022	0 ^m 233	0 ^m 095
2	Cuir	2 246		0 094	0 022	0 275	0 095
3	Caoutchouc et toile	2 640	47 ^k 0	0 027	0 002	0 074	0 011
4	»	2 808	50 0	0 029	0 002	0 071	0 012
5	»	2 622	51 8	0 058	0 002	0 144	0 008
6	»	2 640	50 0	0 058	0 002	0 123	0 008
7	»	2 443	46 4	0 043	0 002	0 084	0 008
8	»	2 246	44 9	0 048	0 002	0 088	0 008
9	»	2 443	48 8	0 049	0 002	0 110	0 007
10	»	2 640	46 0	0 033	0 002	0 083	0 012

Les conséquences de ce tableau sont les suivantes :

« 1° La résistance à la traction des courroies caoutchouc et toile par millimètre carré de section est au moins égale à celle des courroies cuir, prises dans les mêmes conditions de solidité ;

« 2° Cette résistance est indépendante des dimensions, longueur, largeur et épaisseur : condition, il est inutile de l'expliquer, qu'on ne saurait réaliser avec les courroies cuir. Il y a donc intérêt à donner la préférence aux courroies caoutchouc et toile, *toutes les fois que les conditions de l'effort à transmettre entraînent l'emploi de courroies d'une grande longueur, d'une grande largeur et d'une forte épaisseur* ;

« 3° Les courroies en cuir étant généralement regardées comme pouvant, dans de bonnes conditions de marche, supporter une charge de 0 k. 250 par millimètre carré de section, on peut en toute sécurité appliquer ce chiffre au calcul de la section d'une courroie toile et caoutchouc, quelles que soient ses dimensions ;

« 4° En comparant les expériences faites sur les courroies n° 4 et n° 5 de même largeur, la première avec caoutchouc extérieur, la deuxième avec tissu extérieur et ayant par conséquent une moindre épaisseur (0,0028 au lieu de 0,0035), on voit, la résistance totale des deux courroies étant la même, que le caoutchouc placé à l'extérieur n'augmente en rien la résistance de la courroie et que, par suite, il y a toujours avantage à employer les courroies sans caoutchouc à l'extérieur, qui à poids et à prix égaux donnent une résistance supérieure ; d'autant

mieux que dans les courroies vulcanisées aux presses, comme elles le sont généralement aujourd'hui, sous l'influence de la pression et de la chaleur, le tissu extérieur se trouve suffisamment imprégné de caoutchouc venant de l'intérieur pour être inattaquable aux différents agents que peuvent renfermer les milieux où il est appelé à fonctionner ;

« 5° Sous une même charge l'allongement élastique des courroies cuir est double de l'allongement élastique des courroies caoutchouc et toile, et, qui plus est, tandis que pour une charge de 0 k. 250 par millimètre carré de section l'allongement permanent des courroies cuir est à très peu près égal au cinquième de leur allongement élastique, dans les courroies mixtes et sous cette même charge l'allongement permanent est sensiblement nul.

« L'application pratique de ce dernier paragraphe est de toute importance dans l'industrie. L'ouvrier, que les chefs d'usines préposent à l'entretien des courroies, étant généralement habitué aux courroies cuir, traite de la même façon les courroies mixtes ; de là vient en grande partie l'insuccès de ces dernières : on les raccourcit trop lorsqu'elles glissent, on les casse en les montant, on les détruit promptement en les faisant marcher sous une tension trop forte.

« L'emploi des courroies caoutchouc et toile, convenablement cousues, amène à l'usage de poulies grossièrement tournées et même brutes de fonte, lorsqu'elles sortent de bons ateliers de fonderie.

« Ces poulies, spécialement adaptées aux courroies caoutchouc et toile, doivent présenter une convexité très faible.

« Dans l'état actuel de l'industrie des cuirs et du caoutchouc, on peut dire qu'à effet égal, le prix d'installation d'une courroie caoutchouc et toile est le même que celui d'une courroie cuir.

« Restent, comme avantage des courroies caoutchouc et toile, les dépenses d'entretien, qui sont insignifiantes et ne présentent aucun rapport avec les dépenses d'entretien exigées par les courroies cuir de grandes dimensions. »

CALCUL DES COURROIES EN CAOUTCHOUC

Dans le calcul des courroies de transmission, il y a lieu d'envisager deux éléments principaux : l'adhérence à la surface des poulies et la résistance à la traction.

L'adhérence à la surface des poulies dépend de la nature des surfaces en contact. Lorsqu'il s'agit de courroies en caoutchouc, travaillant sur des poulies en fonte ou en fer, on prend ordinairement pour coefficient de frottement $f = 0,20$. Divers expérimentateurs ont reconnu qu'avec des poulies dont la surface est brute de fonte, ou grossièrement tournée, la valeur de f pouvait atteindre jus-

qu'à 0,60 et 0,80 ; elle n'est plus que de 0,40 pour des poulies à surfaces lisses. C'est l'inverse de ce qui se passe pour le cuir.

Malheureusement on a la fâcheuse habitude d'employer des poulies à surfaces lisses, elles sont excellentes avec le cuir, mais peu favorables avec le caoutchouc. C'est pour tenir compte de cette circonstance qu'il est convenable d'adopter pour f la valeur 0,20.

En ce qui concerne la résistance à la traction, on a pu constater, par les chiffres cités précédemment, que les courroies en caoutchouc bien fabriquées, se rompent sous des charges d'environ 2 kil. 500 en moyenne.

On adopte généralement, comme charge de sécurité $R = 0$ kil. 250, de sorte que la matière travaille à peine au dixième de sa charge de rupture ; elle se trouve par conséquent dans de bonnes conditions de fonctionnement et de durée.

Pour calculer les courroies en caoutchouc, on suit la même marche que pour calculer les courroies en cuir, on ramène le problème à rechercher la section qu'il convient de leur donner pour qu'elles puissent vaincre, sans fatigue, l'effort à transmettre.

Appelons :

T tension du brin conducteur de la courroie ;

t tension du brin conduit ;

P effort tangentiel en kilogrammes ;

f coefficient de frottement de la courroie sur les poulies ;

s longueur en mètres de l'arc de contact entre la courroie et la plus petite poulie ;

r rayon de la plus petite poulie ;

$\frac{s}{r}$ nombre de degrés de l'arc embrassé ;

v vitesse de la courroie, en mètres, par seconde ;

F force transmise en chevaux-vapeur ;

e base des logarithmes népériens $e = 2.71828$.

Nous aurons :

$$T = t e^{\frac{fs}{r}} \quad (1)$$

et

$$P = T - t = \frac{75 F}{v} \quad (2)$$

D'autre part, en appelant :

R la tension pratique de la courroie par millimètre carré de section ;

a la largeur de la courroie en millimètres ;

b l'épaisseur de la courroie en millimètres,

On a :

$$R = \frac{T}{ab} \quad (3)$$

Remarque. — Lorsque la vitesse de la courroie est un peu élevée, la force centrifuge exerce une action assez sensible dont on doit tenir compte.

La courroie tend à quitter la poulie, et subit, de ce fait, une tension t_1 de la forme mv^2 ou $\frac{P}{g}v^2$

En conservant les mêmes notations que précédemment, appelant d la densité de la courroie, la *tension centrifuge* t_1 pourra s'écrire ainsi :

$$t_1 = 0,000.102abr^2d$$

ou, par millimètre carré de section :

$$\frac{t_1}{ab} = 0,000.102v^2d$$

La force centrifuge a pour effet de diminuer l'adhérence sur la poulie ; par suite, la tension utile R_1 sera

$$R_1 = R - \frac{t_1}{ab}$$

Nous avons consigné, dans le tableau suivant, les valeurs de la tension centrifuge, par millimètre carré de section, pour différentes vitesses depuis 5 mètres jusqu'à 30 mètres, et en supposant que la densité de la courroie est $d = 1250$. La troisième colonne renferme les valeurs de la tension utile R_1 , en supposant $R = 0$ k. 250.

TABLEAU N° 1

Vitesse de la courroie en mètres par seconde	Valeurs de la tension centrifuge $\frac{t_1}{ab}$ par millimètre carré	Tensions utiles $R_1 = 0.250 - \frac{t_1}{ab}$
5 ^m	0.0032	0.247
10	0.0127	0.238
15	0.0286	0.222
20	0.0510	0.199
25	0.0796	0.171
30	0.1147	0.136

De l'équation (2), on tire

$$F = \frac{Pe}{75} \quad (4)$$

Or

$$P = T - t = T - \frac{T}{e^{\frac{fs}{r}}}$$

ou

$$P = T \left(1 - \frac{1}{e^{\frac{fs}{r}}} \right)$$

ou, en mettant à la place de T sa valeur tirée de l'équation (3)

$$P = Rab \left(1 - \frac{1}{e^{\frac{fs}{r}}} \right)$$

portant cette valeur de P dans l'équation (4), nous aurons :

$$F = \frac{Rabv}{75} \left(1 - \frac{1}{e^{\frac{fs}{r}}} \right) \quad (5)$$

expression qui peut s'écrire :

$$b = \frac{75 F}{Rv \left(1 - \frac{1}{e^{\frac{fs}{r}}} \right)} \quad (6)$$

La formule (5) donne la force en chevaux-vapeur transmise par une courroie donnée. La formule (6) permet de calculer les dimensions a et b d'une courroie susceptible de transmettre une force connue.

Pour faciliter les calculs, nous avons réuni, dans le tableau suivant, les va-

leurs de $\frac{fs}{r}$ et de $\left(1 - \frac{1}{e^{\frac{fs}{r}}} \right)$ pour différentes valeurs données à $\frac{s}{r}$, et en suppo-

sant $f = 0,20$.

TABLEAU N° 2

Valeurs de $\frac{s}{r}$			$e^{\frac{fs}{r}}$	$1 - \frac{1}{e^{\frac{fs}{r}}}$
en longueur pour $r = 1$	en fonction de la circonférence entière	en degrés		
1 ^m 25	0.20	72°	1.29	0.225
1.57	0.25	90	1.37	0.270
1.88	0.30	108	1.46	0.315
2.20	0.35	126	1.55	0.354
2.51	0.40	144	1.65	0.394
2.82	0.45	162	1.76	0.432
3.14	0.50	180	1.87	0.465
3.45	0.55	198	2.00	0.500
3.77	0.60	216	2.13	0.530
4.08	0.65	234	2.26	0.557
4.39	0.70	252	2.41	0.585
4.71	0.75	270	2.57	0.611
5.02	0.80	288	2.73	0.633
5.34	0.85	306	2.91	0.656
5.65	0.90	324	3.10	0.677
5.96	0.95	342	3.29	0.696
6.28	1.00	360	3.51	0.715

Applications :

1^{er} *Problème.* — Calculer la force transmise par une courroie ayant 150 millimètres de largeur 4 plis, marchant à la vitesse de 5 mètres par seconde et s'enroulant sur des poulies de même diamètre.

Écrivons la formule (5)

$$F = \frac{Rabv}{75} \left(1 - \frac{1}{e^{\frac{fs}{r}}} \right)$$

nous avons

$$v = 5. \quad a = 150.$$

Chaque pli représente 2 millimètres d'épaisseur en moyenne, par conséquent l'épaisseur d'une courroie avec 4 plis est de 8 millimètres, $b = 8$. En tenant compte de l'effet dû à la force centrifuge pour une vitesse de 5 mètres, $R = 0,247$ (Voir tableau n° 1).

L'expression $\left(1 - \frac{1}{e^{\frac{fs}{r}}} \right)$, pour $\frac{s}{r} = 180^\circ$, est égale à 0,465 (voir le tableau n° 2).

En mettant ces différentes valeurs dans la formule, nous aurons :

$$F = \frac{0,247 \times 150 \times 8 \times 5}{75} \times 0,465 = 9 \text{ chevaux-vapeur.}$$

— Supposons le même problème à résoudre, mais admettons que la vitesse de la courroie est de 20 mètres par seconde au lieu de 5 mètres.

Nous aurons :

$$v = 20 \quad a = 150 \quad b = 8$$

$$R = 0,199 \text{ (Tableau n° 1).} \quad \text{et} \quad \left(1 - \frac{1}{e \frac{fs}{r}}\right) = 0,465.$$

par suite

$$F = \frac{0,199 \times 150 \times 8 \times 20}{75} \times 0,465$$

$$F = 30 \text{ chevaux-vapeur.}$$

Ces deux exemples montrent l'influence considérable qu'exerce la vitesse. Ainsi, une courroie de 150 millimètres 4 plis, marchant à la vitesse de 20 mètres par seconde, est capable de transmettre une force de 30 chevaux. Toutes choses égales d'ailleurs, cette même courroie, à la vitesse de 5 mètres par seconde ne pourra plus transmettre qu'une force de 9 chevaux.

2^{me} *Problème*. — Calculer les dimensions d'une courroie capable de transmettre une force de 12 chevaux, à la vitesse de 6 mètres par seconde et lorsque l'arc de contact avec la plus petite poulie est égal à 108°.

Prenons la formule (6)

$$ab = \frac{75 F}{Rv \left(1 - \frac{1}{e \frac{fs}{r}}\right)}$$

$$F = 12 \quad v = 6 \quad R = 0,247 \text{ (tableau n° 1)}$$

$$\left(1 - \frac{1}{e \frac{fs}{r}}\right) = 0,315 \text{ (tableau n° 2)}$$

En remplaçant dans la formule, nous aurons :

$$ab = \frac{75 \times 12}{0,247 \times 6 \times 0,315} = 1928 \text{ millimètres carrés ;}$$

par conséquent en prenant $a = 195$ et $b = 10$, c'est-à-dire une courroie de 195 millimètres de largeur et 10 millimètres d'épaisseur ou 5 plis, nous obtiendrons le résultat cherché.

On peut choisir pour a et pour b d'autres valeurs, pourvu que le produit ab soit égal à 1928 millimètres carrés. Dans tous les cas, il ne faut jamais exagérer l'épaisseur b , parce qu'on obtient alors des courroies qui manquent de souplesse.

TISSUS IMPERMÉABLES

Les tissus imperméables à l'Exposition

Les tissus imperméables caoutchoutés figurent à l'Exposition dans la classe 39 qui comprend les *objets de voyage et de campement*.

Ces sortes de tissus sont formés de tissus ordinaires, coton, laine ou soie, recouverts de caoutchouc, de façon à les rendre imperméables. Ils sont dits *tissus simples*, lorsque le caoutchouc est extérieur, sur une face ou sur les deux faces ; *tissus doubles*, lorsque le caoutchouc est entre deux tissus. Ils servent à fabriquer des vêtements, des couvertures, des coussins à air, des sacs divers.

Parmi les exposants, nous retrouvons la plupart des maisons que nous avons déjà rencontrées dans la classe 45.

M. Guibal expose une collection de vêtements en tissus de fantaisie, des couvertures de voyage, des sous-bras, des tubs (cuvettes de voyage) etc.

La vitrine de MM. Bapst et Hamet renferme des sous-bras, des jarrettières, des bretelles etc.

MM. A. Hutchinson et C^{ie} exposent une grande variété de tissus en pièces, des coussins à air, ceintures de natation, sacs divers, bonnets de bain etc., en outre des chaussures en caoutchouc : souliers, bottes, snow-boots, foot-holds, chaussures pour bain de mer avec semelles et claques en caoutchouc et dessus en fortes toiles de différentes couleurs ; outre les types ordinaires, MM. A. Hutchinson et C^{ie} exposent toute une série de chaussures de fantaisie, caoutchouc et tissus combinés.

MM. Gauthey Haussmann nous montrent des vêtements confectionnés, des gants en caoutchouc, des bonnets de bain, des ballons obturateurs pour gaz. M. Morel, des tissus et des vêtements pour dames et pour hommes, des tabliers de nourrice et des couches et bavettes pour enfants.

La Société générale des Téléphones et The India Rubber and gutta-percha C^o exposent l'une et l'autre des tissus et des vêtements confectionnés ; M. Lecoq des sous-bras en tissus ordinaires et de fantaisie, des tabliers de nourrice, des bavettes pour enfants et des vêtements.

Dans la vitrine de M. Fayaud, nous remarquons des tissus élastiques : ceintures, bretelles et jarrettières ; des sous-bras, des coussins à air, des sacs et des vêtements pour dames et pour hommes.

MM. Torilhon et C^{ie} exposent des vêtements confectionnés, des couvertures de voyage et des tissus en pièces.

Enfin dans la vitrine de MM. Martiny Verstraet et C^{ie}, nous signalerons des tissus et des vêtements, des coussins à air, oreillers, sacs divers, ceintures de natation etc...

MM. Martiny Verstraet et C^{ie} exposent en outre toute une collection d'articles techniques, sans doute parce qu'ils n'avaient pas trouvé d'emplacement dans la classe 45 ; nous remarquons un cylindre recouvert de caoutchouc pour papeterie, des clapets, rondelles, tuyaux divers ; des échantillons de courroie, des bandes de billard, des patins pour chevaux, des bracelets, poires, ballons à jouer, bouchons de chimie etc..., et enfin des articles en caoutchouc durci : une pompe, des tuyaux robinets, entonnoirs etc.

Les tissus caoutchoutés sont fabriqués par deux méthodes principales : les uns sont *calandrés*, c'est-à-dire recouverts de caoutchouc à la calandre ; les autres *solutionnés*, ou en d'autres termes recouverts avec du caoutchouc dissous et tous sont vulcanisés par l'un des procédés connus, en vapeur, en étuve ou par le procédé de Parkes.

Tissus calandrés

Lorsqu'on se propose de les vulcaniser en étuve ou dans une chaudière à vapeur, on commence par choisir un *caoutchouc mélangé*, préparé d'après les procédés que nous avons indiqués, et renfermant une certaine proportion de soufre.

Le caoutchouc mélangé est d'abord réchauffé ; pendant ce temps, la pièce d'étoffe est enroulée régulièrement autour d'un rouleau en bois monté sur un axe et placée devant la calandre, dont les cylindres sont chauffés à une température convenable. Ces préparatifs terminés, on présente une certaine quantité de gomme mélangée entre les deux cylindres supérieurs de la calandre, dont on règle l'écartement suivant l'épaisseur que l'on veut donner à la couche imperméable ; après quoi, on introduit, entre les deux cylindres inférieurs, l'extrémité de la pièce d'étoffe sur laquelle s'applique alors la feuille de caoutchouc.

Quand la surface doit être vernie, le tissu caoutchouté, au sortir de la calandre, est dirigé sur un rouleau plongeant en partie dans une auge renfermant le vernis, puis il va s'enrouler sur un dévidoir.

Le tissu est ensuite transporté dans une étuve à air chaud, où on élève graduellement la température jusqu'à 120 à 130°. La durée de la cuisson varie avec la nature du mélange, avec la quantité de soufre qu'il renferme et avec la température. En général, on chauffe à la plus basse température possible ; cela allonge, il est vrai, la durée de la cuisson ; mais l'étoffe proprement dite n'est pas brûlée, ce qui est un point très important.

Le procédé de fabrication que nous venons de décrire très brièvement s'applique

non seulement aux tissus lisses, mais aussi aux *tissus maroquinés*. Pour préparer ces derniers, on commence par appliquer sur l'étoffe une feuille de caoutchouc mélangé ; au sortir de la calandre on enroule simplement le tissu sur un noyau en bois, puis on le passe dans une *maroquineuse*. Cet appareil consiste en deux cylindres superposés dont les tables sont guillochées et recouvertes d'une garniture de papier maroquiné. En faisant passer le tissu entre les deux cylindres animés d'un mouvement de rotation, la surface caoutchoutée reçoit l'empreinte du cylindre maroquiné et passe ensuite sur un rouleau vernisseur. Le tissu enroulé sur un tourniquet est vulcanisé en étuve. Les tissus maroquinés servent généralement à faire des couvertures pour voitures, des caparaçons etc., aussi emploie-t-on pour les fabriquer de forts tissus en coton ou en laine.

La vulcanisation en étuve à air chaud ne réussit bien qu'avec des mélanges renfermant de la litharge ou un autre oxyde de plomb ; le caoutchouc passe au noir ou au brun pendant la cuisson, c'est ce qui fait que le procédé est spécialement réservé à la fabrication des tissus recouverts de caoutchouc noir et en particulier des tissus vernis.

En ce qui concerne les tissus avec caoutchouc blanc, la vulcanisation a lieu dans une chaudière à vapeur. A cet effet, le tissu est reçu, au sortir de la calandre, sur un noyau en bois, sa surface est talquée ; puis il est enroulé sur lui-même autour d'un grand tambour en tôle ou mandrin, comme s'il s'agissait d'une feuille caoutchouc ; on l'introduit ensuite dans le vulcaniseur à vapeur où il reste de 1 à 3 heures à une température de 125-140°, suivant la composition du caoutchouc mélangé.

Lorsqu'on suit ce mode de vulcanisation, on ne peut pas préparer des tissus recouverts de vernis, car celui-ci est attaqué par la vapeur ; ce procédé est donc exclusivement réservé à la fabrication des tissus mats.

Les tissus calandrés sont aussi vulcanisés par le procédé à froid ; le caoutchouc mélangé et coloré, suivant les circonstances, avec des poudres blanches, noires rouges, bleues etc..., ne doit pas renfermer du soufre. Nous dirons comment on procède en parlant des tissus solutionnés.

Tissus solutionnés

En étudiant les propriétés du caoutchouc, nous avons dit que cette substance se dissolvait partiellement dans un certain nombre de liquides tels que le sulfure de carbone, le chloroforme, la benzine, l'essence de térébenthine, etc..., ce sont ces dissolutions qu'on emploie pour imperméabiliser les étoffes.

PRÉPARATION DES DISSOLUTIONS DE CAOUTCHOUC

Choix du dissolvant. — Le meilleur dissolvant du caoutchouc, est incontes-

tablement le sulfure de carbone, seul ou mélangé avec 5 à 6 % d'alcool pur. Mais ce liquide est très volatil, et ses vapeurs inflammables le rendent dangereux à manipuler ; de plus il possède une odeur désagréable, en même temps qu'il présente certains inconvénients au point de vue de la santé. Pour ces raisons, il est peu utilisé comme dissolvant.

Le chloroforme est aussi un bon dissolvant du caoutchouc, mais par suite de son prix élevé, on lui préfère généralement la benzine et l'essence de térébenthine. Ces deux derniers liquides sont employés dans la majeure partie des fabriques de tissus imperméables ; ils doivent être bien purs et surtout exempts de matières grasses ; en s'évaporant, ils ne doivent pas laisser de résidus poisseux.

Dissolutions. — Les dissolutions ou pâtes qui servent à enduire les tissus sont de diverses natures ; les unes sont préparées avec du caoutchouc pur, les autres avec du caoutchouc mélangé. Les premières sont vulcanisées par le procédé à froid : les secondes, s'ils renferment du soufre, sont traitées en étuve ou dans une chaudière à vapeur, dans le cas contraire, elles sont vulcanisées par le procédé de Parkes.

Les solutions sont formées avec des proportions variables de liquide : on emploie tantôt des dissolutions épaisses, composées par exemple de 1 kilogramme de caoutchouc et 2 kilogrammes de benzine, tantôt des solutions plus fluides préparées avec 1 kilogramme de caoutchouc et 8 à 10 kilogrammes de benzine. Quelle que soit la proportion du dissolvant, les matières subissent toujours le même traitement avant d'être appliquées sur les étoffes ; nous allons étudier les appareils qui servent à les préparer.

Appareils pour préparer les solutions. — Le caoutchouc doit être lavé et bien sec ; puis il est mastiqué ou malaxé. Nous avons décrit le traitement auquel le caoutchouc brut est soumis pour être amené à cet état ; nous avons également fait connaître comment on obtenait le caoutchouc mélangé, c'est-à-dire combiné mécaniquement avec des matières accessoires ou colorantes ; nous ne reviendrons pas sur les appareils déjà connus, tels que laveur, diable, mélangeur.

Pour permettre au dissolvant d'agir rapidement, on commence par réduire le caoutchouc mélangé, ou simplement mastiqué, s'il s'agit de caoutchouc pur, en feuilles d'environ 1 à 1 1/2 millimètre d'épaisseur. Pour cela, on l'introduit d'abord dans un réchauffeur, puis on le passe dans un laminoir ou dans une calandre.

Au moyen d'une toile sans fin horizontale, mise en mouvement en avant de la calandre, la feuille qui sort de cette machine est dirigée vers un grand récipient en tôle, placé à distance, et renfermant une quantité de benzine déterminée d'avance. En même temps que cette feuille de caoutchouc est immergée dans le dissolvant, on remue le tout avec une spatule en bois et, après avoir bien agité, on place le couvercle du récipient pour empêcher l'évaporation du liquide. On

laisse ainsi les matières en présence pendant 24 à 48 heures ; on agite de temps en temps, si on juge à propos.

Parfois, au lieu de remuer la masse pâteuse avec une spatule en bois, on se sert d'un pétrin mécanique qui opère plus vite et mieux.

La pâte obtenue n'est pas suffisamment homogène, elle renferme encore des grumeaux et des particules de matières non écrasées qu'il s'agit de faire disparaître; dans ce but, on la fait passer dans un ou plusieurs des appareils suivants : broyeur à dissolution à 2 cylindres ou à 3 cylindres, caisse à dissolution, tamisier, etc...

Broyeur à dissolution à 2 cylindres. — Il ressemble au broyeur employé pour préparer le caoutchouc mélangé, seulement ses organes n'ont pas besoin d'être aussi puissants. Un fort couteau, oscillant autour d'un axe horizontal parallèle aux cylindres, peut être amené au contact avec le cylindre à grande vitesse, de façon à racler et à rassembler les matières qui y restent attachées.

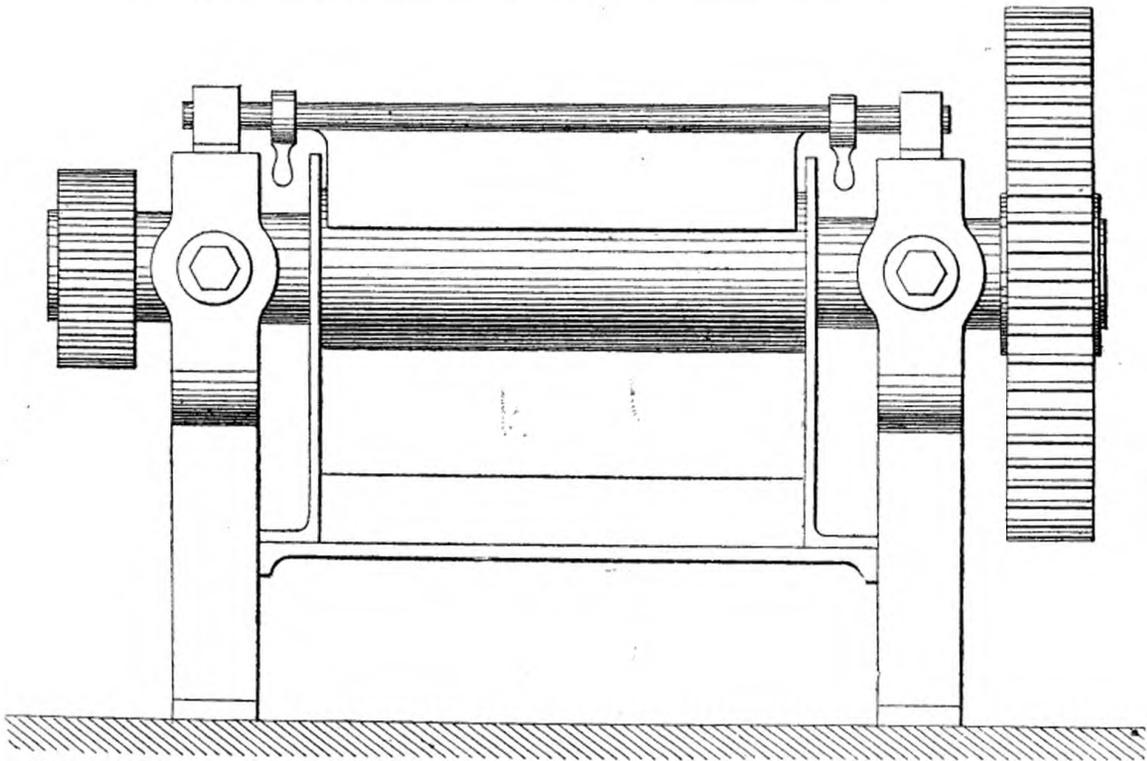


FIG. 17. — BROYEUR A DISSOLUTION A DEUX CYLINDRES.

La figure 17 représente cette machine dans laquelle on traite 2 à 4 kilogrammes de dissolution ; la matière est broyée entre les deux cylindres serrés à fond et est arrêtée par le couteau ; elle traverse ainsi 3 à 4 fois l'appareil.

Broyeur à dissolution à 3 cylindres. — Le broyeur qui est représenté par les figures 18 et 19, construit par MM. de Coster, Rikkers et C^{ie}, se compose de 3 cylindres horizontaux dont les axes se trouvent dans un même plan horizontal.

La dissolution ou matière pâteuse est introduite entre les deux premiers cylindres où elle subit un premier broyage ; le second cylindre la conduit vers le troisième où elle est broyée une seconde fois en passant entre les deux ; un couteau disposé à l'arrière permet de ramasser la pâte sur le troisième cylindre.

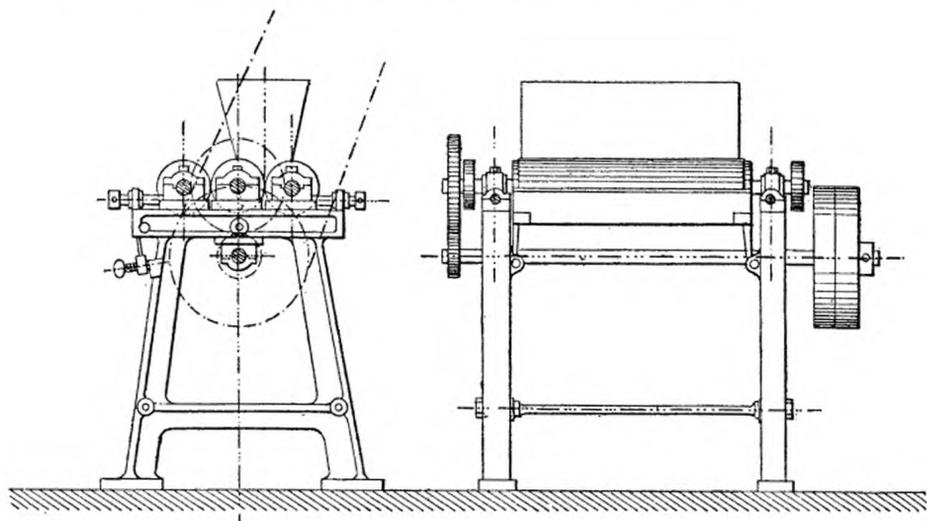


FIG. 18-19. — BROYEUR A DISSOLUTION A TROIS CYLINDRES.

Il est facile de concevoir un appareil semblable à 4 ou 5 cylindres qui produirait 3 ou 4 broyages au lieu de deux ; mais cela serait, croyons-nous, compliquer la machine et la rendre plus coûteuse, sans qu'il en résulte des avantages appréciables. Il est toujours facile en effet de soumettre la masse pâteuse à une seconde opération, dans la même machine, si la première n'a pas donné de résultats suffisants.

Caisse à dissolution. — Cet appareil, connu aussi sous le nom d'*Epurateur de dissolution*, est formé d'une caisse en bois, évasée vers le haut et dont le fond est occupé par un petit cylindre horizontal en fonte contre lequel viennent buter deux couteaux horizontaux.

La masse pâteuse étant introduite dans la caisse, on imprime un mouvement de rotation au cylindre qui entraîne la matière et l'écrase en passant contre les couteaux ; ceux-ci sont naturellement réglés de façon à ne laisser qu'un très fai-

ble espace entre eux et le cylindre. La matière écrasée tombe dans un récipient placé en dessous.

Tamiseur. — Un tamiseur pour dissolution se compose essentiellement d'un corps cylindrique dont le fond est occupé par une ou plusieurs tôles perforées, ou par des toiles métalliques superposées plus ou moins fines, et d'un piston susceptible de se mouvoir dans le cylindre.

La dissolution étant introduite dans cet appareil, le piston la refoule à travers les toiles métalliques qui arrêtent toutes les impuretés. Il est facile de comprendre qu'en disposant, au fond du cylindre, des toiles suffisamment fines, il sera toujours possible de pousser l'épuration de la matière à tel degré fixé d'avance.

ENDUISAGE DES TISSUS

Après avoir traversé un ou plusieurs des appareils précédents, la dissolution suffisamment broyée, bien homogène, est prête à être étendue sur les étoffes.

Le principe de la fabrication consiste à enduire le tissu d'une couche extrêmement mince de dissolution qui, après l'évaporation du dissolvant, laisse une pellicule de caoutchouc ; on applique ainsi successivement sur le tissu, deux, trois... cet jusqu'à huit à dix couches de dissolution, en prenant soin, après chaque couche, de laisser ou de faire évaporer le dissolvant avant de passer la suivante.

A l'origine, l'évaporation du dissolvant s'effectuait à l'air libre, à la température ordinaire, ce qui, dans certains cas exigeait 2 et 3 heures pour chaque couche. On peut juger par là ce qu'il fallait de temps pour étendre les 10 couches de dissolution.

Aujourd'hui, on fait évaporer le dissolvant en faisant passer le tissu solutionné au-dessus d'une table creuse chauffée à la vapeur. Toutes les nouvelles machines sont basées sur ce principe ; nous nous abstenons donc de parler de l'ancien système.

Machine à étendre. — La machine à étendre se compose d'un cylindre horizontal recouvert de caoutchouc et d'un couteau dont la lame peut venir en contact avec le cylindre. La figure 20, représente une coupe de l'appareil ; A est le

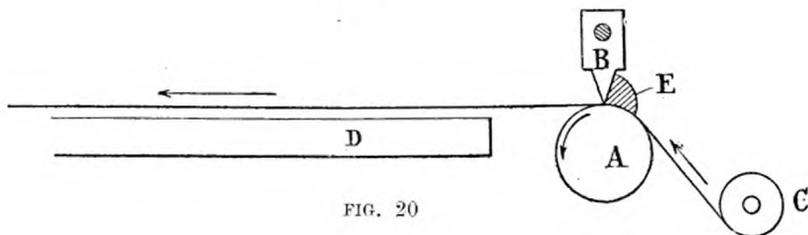


FIG. 20

cylindre ; B le couteau ; C une pièce de tissu enroulée autour d'un noyau en bois ; D table creuse en fonte, chauffée intérieurement par un courant de vapeur ; E dissolution destinée à recouvrir le tissu.

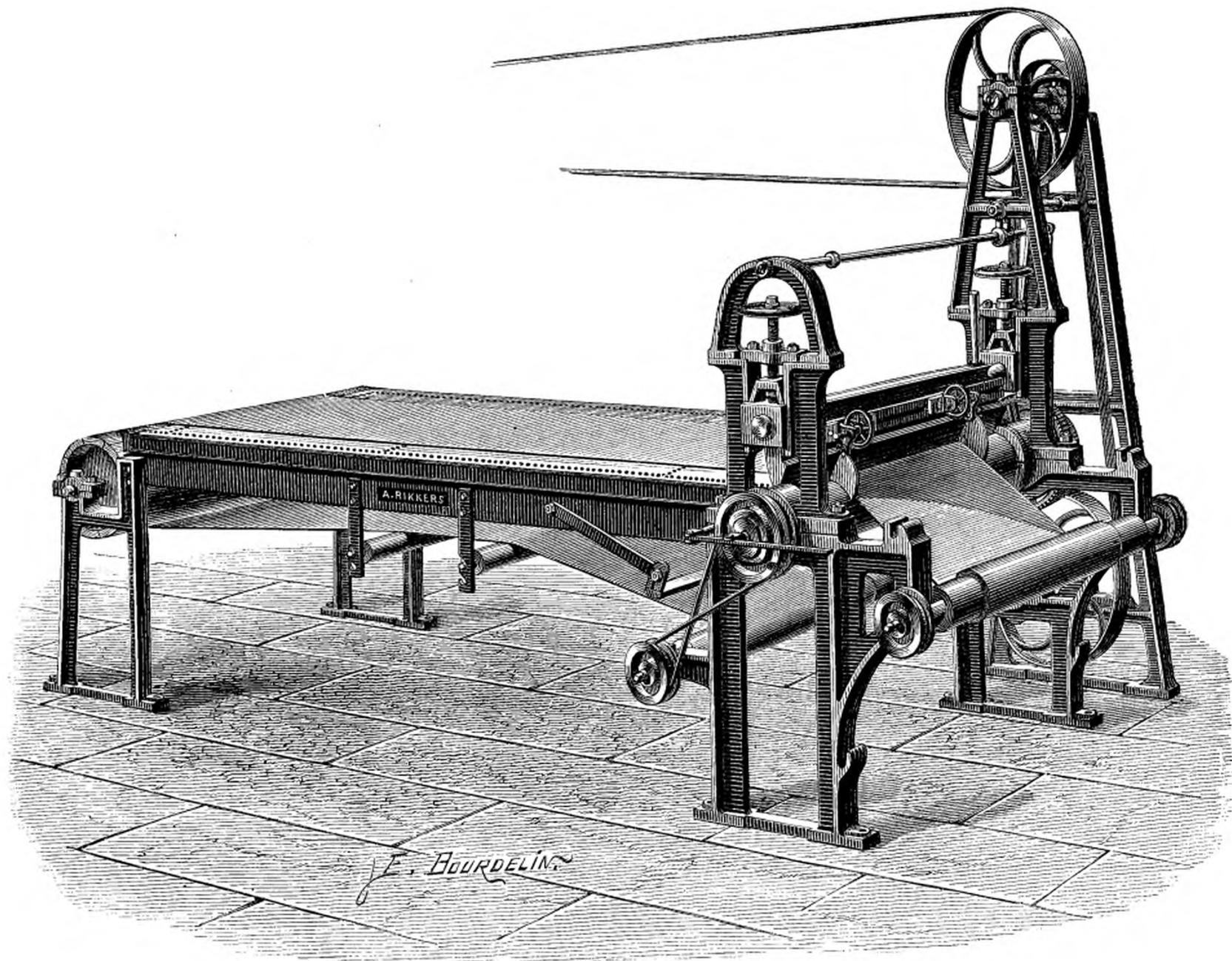


FIG. 21. — MACHINE A ETENDRE

La machine étant mise en mouvement, le tissu attiré dans le sens de la flèche se recouvre d'une couche de dissolution en passant entre le cylindre A et le couteau B ; puis passant sur la table D dont la longueur est d'environ 4 mètres, le dissolvant s'évapore ; le tissu va s'enrouler sur un noyau en bois disposé en-dessous de la table à vapeur.

Tel est le principe des machines à étendre actuellement en usage ; elles peuvent varier cependant par certains détails de construction. La figure 21 est la vue de la machine à étendre construite par MM. de Coster, Rikkers et C^{ie}. Nous croyons inutile de faire une description détaillée des organes de cet appareil dont il est facile de comprendre le mécanisme, en se reportant au croquis (fig. 20).

En employant des dissolvants suffisamment volatils et des dissolutions un peu épaisses, c'est-à-dire formées avec 1 kilogramme de caoutchouc et 2 kilogrammes de benzine légère, par exemple, l'évaporation du liquide s'effectue par le simple passage du tissu solutionné au-dessus de la table à vapeur. L'opération est par conséquent continue et marche avec une vitesse d'environ 4 mètres par minute ; il faut avoir soin, bien entendu, de mettre de temps en temps une certaine quantité de solution devant le couteau de la machine.

D'autre part, le couteau doit être réglé pour que la couche de dissolution qui reste sur le tissu soit parfaitement uniforme ; des vis de réglage visibles sur la machine de MM. de Coster, Rikkers et C^{ie}, permettent d'obtenir ce résultat. Lorsqu'on emploie des dissolutions épaisses, on se contente généralement d'étendre 3 ou 4 couches superposées qui se collent ensemble pour former une seule épaisseur de caoutchouc. Avec des dissolutions fluides, on étend 10 à 12 couches.

Vulcanisation des tissus solutionnés simples. — Les tissus solutionnés simples, c'est-à-dire avec caoutchouc extérieur, peuvent être vulcanisés en étuve ou en vapeur, comme les tissus calandrés ; le mélange qui sert à préparer la dissolution doit alors renfermer une certaine proportion de soufre. Les tissus noirs sont presque toujours vulcanisés en étuve ; ils peuvent être vernis.

Les tissus recouverts avec des caoutchoucs blancs, rouges, bleus, verts, etc., sont ordinairement vulcanisés par le procédé à froid, c'est-à-dire au moyen du chlorure de soufre dissous dans le sulfure de carbone ; dans ce cas, les mélanges ne renferment pas de soufre.

Appareil à vulcaniser les tissus. — Le liquide vulcanisant est une dissolution de chlorure de soufre dans le sulfure de carbone. Les proportions des deux liquides sont variables ; cependant la quantité de chlorure de soufre est ordinairement comprise entre 2 et 5 % ; le mélange suivant est souvent employé :

Sulfure de carbone.	96 litres
Chlorure de soufre.	4 »
	<hr/>
	100 »

Pour vulcaniser des tissus caoutchoutés, il suffit de les faire passer sur un rou-

leau, plongeant en partie dans une auge remplie de liquide vulcanisant, et qui est mis en mouvement par le frottement du tissu lui-même.

L'appareil (fig. 22), qui réalise ce programme se compose des organes suivants :

- A B C, Bâtis ;
- D Rouleau dérouleur sur lequel se trouve le tissu caoutchouté ;
- E et F Tambours en bois ;
- H Grand tambour sécheur ;
- L Rouleau servant de guide ;
- M Rouleau enrouleur ;
- R et R' Rouleaux vulcaniseurs plongeant dans les auges G et G' ;

Le tissu à vulcaniser contourne le tambour E, frotte sur les rouleaux vulcaniseurs R et R', contourne le tambour F, puis le tambour sécheur H et le rouleau guide L pour de là venir s'enrouler sur un noyau en bois disposé en M qui reçoit un mouvement de rotation du moteur de l'atelier. Le tissu s'enroulant en M détermine le mouvement de tout le système, dans le sens indiqué par les flèches.

Dans ce type d'appareil, nous avons figuré deux rouleaux vulcaniseurs ; c'est pour être sûr qu'aucune partie de la surface du tissu n'échappe à l'action du liquide ; cela permet en outre d'imprimer un mouvement plus rapide que dans le cas où l'on ne fait usage que d'un seul rouleau. Le tambour sécheur H est en cuivre et est chauffé intérieurement par la vapeur, afin d'activer l'évaporation des liquides restés sur le tissu. Ce chauffage doit être fait avec précaution ; car les vapeurs de sulfure de carbone sont très inflammables ; il doit être réglé de façon à ce que le tissu soit sec après avoir contourné le tambour sécheur.

Cette méthode de vulcanisation est applicable aux tissus solutionnés et aussi aux tissus calandrés ; mais comme l'action du liquide vulcanisant n'est que superficielle, on n'obtiendrait que de mauvais résultats avec des tissus calandrés un peu épais ; les tissus solutionnés eux-mêmes n'échappent pas complètement à ce défaut.

Les tissus ainsi préparés dégagent une mauvaise odeur, même longtemps après avoir été fabriqués. Pour faire disparaître cette odeur, on expose les tissus pendant une heure ou deux, dans une étuve à air chaud, puis dans une atmosphère imprégnée d'ammoniaque, ce qui a en outre pour effet de neutraliser l'excès d'acide, s'il y en a, et enfin dans une atmosphère parfumée, si on le juge à propos.

Le même appareil, qui sert à vulcaniser, peut également être employé à vernir.

Fabrication des tissus doubles. — Les tissus doubles sont constitués par une couche de caoutchouc placée entre deux tissus. Pour les fabriquer, on prépare deux tissus simples, caoutchoutés à la manière ordinaire, et on les superpose à la machine à doubler, en mettant la face caoutchouc de l'un en contact avec la face

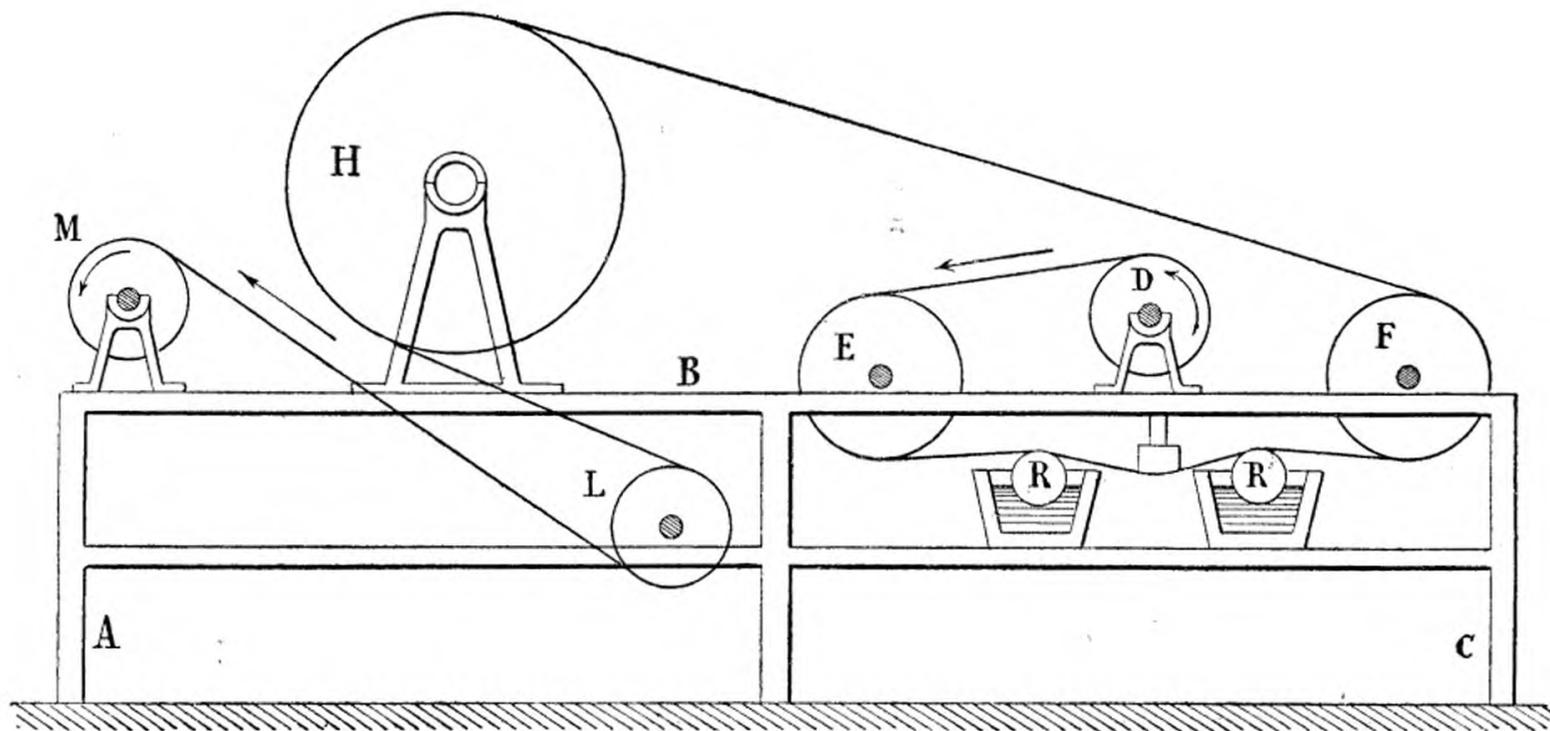


FIG. 22. — MACHINE A VULCANISER LES TISSUS

caoutchouc de l'autre. Cette méthode s'applique aussi bien aux tissus calandrés qu'aux tissus solutionnés.

Avec la calandre, la couche de caoutchouc déposée sur un tissu est relative-ment épaisse, par conséquent en superposant deux tissus de cette catégorie, on forme un tissu double, épais et lourd, qui ne trouve d'applications que dans les cas où une grande résistance est exigée. Les tissus pour vêtements doivent être légers ; ils sont ordinairement fabriqués avec des étoffes recouvertes de solutions, ce qui permet d'obtenir une épaisseur de caoutchouc aussi mince que l'on veut.

Quand les deux tissus sont caoutchoutés, on les vulcanise séparément, en les faisant passer dans l'appareil que nous avons décrit ; puis on les superpose à la machine à doubler. Dans ce cas, le collage s'effectuant entre deux surfaces vulcanisées n'est pas toujours très solide, malgré la précaution prise habituellement d'opérer le doublage immédiatement après la vulcanisation. Pour remédier à cet inconvénient, tantôt on vulcanise un tissu seulement et on double ; tantôt on vulcanise les deux tissus, on repasse l'un d'eux à la machine à étendre pour le recouvrir d'une couche très mince de dissolution et on les double ; tantôt on les repasse tous les deux à la machine à étendre avant de les doubler.

FABRICATION DES TISSUS SIMPLES A SURFACES MODIFIÉES

Les tissus avec caoutchouc apparent ne sont pas d'un aspect agréable, aussi a-t-on cherché à modifier la surface caoutchoutée par une foule de moyens.

Les *tissus veloutés* par exemple, qui ont eu il y a quelques années un si grand succès dans la fabrication de vêtements pour dames, sont recouverts de farine ou de fécule de pomme de terre en poudre impalpable. Au sortir de la machine à étendre, quand le tissu a reçu la dernière couche de dissolution, on répand à la surface la farine qui adhère au caoutchouc ; une brosse mécanique régularise la couche et enlève tout ce qui est en excès. Les tissus veloutés sont ordinairement vulcanisés en étuve. Pour faciliter l'adhérence de la farine, la dernière couche de dissolution doit être de nature très adhésive.

Les *tissus transparents* sont fabriqués à la machine à étendre avec plusieurs couches d'une dissolution fluide de caoutchouc pur ; il reste une pellicule mince de caoutchouc transparent ou semi-transparent qui laisse voir l'étoffe. Ces tissus sont très légers ; ils sont vulcanisés au chlorure de soufre.

On fabrique encore des tissus recouverts de fibres végétales ou animales ; le procédé est le même que pour les veloutés. Sur la dernière couche de dissolution, qui doit être très adhésive, on étend la matière réduite en poudre fine ou en parcelles plus ou moins tenues, puis on enlève l'excès avec une brosse. On recouvre ainsi la surface caoutchoutée avec de la poudre de coton, de la laine ou de soie, ce qui donne au tissu l'apparence d'un tissu double.

Il est facile de comprendre que ce procédé peut donner lieu aux effets les plus variés. Ainsi quand le tissu a été recouvert d'une épaisseur de caoutchouc suffi-

sante, on imprime, par rouleaux ou par une méthode connue, sur la face caoutchoutée, des dessins avec une dissolution très adhésive. Pendant que ces dessins sont encore adhésifs, on poudre la surface avec une matière quelconque ; la poudre adhère seulement aux parties imprimées, c'est-à-dire qui ont reçu de la dissolution, et reproduit ainsi les dessins ou les ornements. De nouveaux dessins peuvent être appliqués par dessus les premiers ; de sorte qu'en combinant convenablement les impressions et les poudrages, on fabrique des tissus ornés de dessins de plusieurs couleurs, avec des fibres végétales ou animales, qui modifient complètement l'aspect des tissus simples ordinaires.

Octobre 1889

LA GUTTA-PERCHA A L'EXPOSITION

PAR

René BOBET

La Gutta-Percha dans les classes 39, 45, 62

La gutta-percha diffère essentiellement du caoutchouc ; cependant ces deux substances présentent par certains côtés des analogies telles qu'ordinairement elles sont mises en œuvre par les mêmes industriels. Dans ces conditions, il est tout naturel de rencontrer, à l'Exposition universelle, la gutta-percha à côté du caoutchouc dans les classes 39 et 45 et aussi dans la classe 62, puisque ce sont les mêmes fabricants qui travaillent les deux substances.

Les exposants de gutta-percha sont :

MM. Decourdemanche et C^e, dans la classe 45, avec une belle collection d'objets en gutta-percha parmi lesquels nous citerons une pompe pour acides, des cuvettes de différentes grandeurs pour photographies, des cruches, des entonnoirs, des brocs, des mesures, etc..., pour acides et pour fabricants de vinaigres.

Dans la vitrine de MM. François Grellou et C^e, nous remarquons des tuyaux, des bouteilles, de la baudruche et une courroie de transmission en gutta-percha.

M. Menier expose, dans la classe 45 et dans la classe 62, des échantillons de produits bruts, appartenant aux sortes dites gutta-percha Bornéo et Pahang Nerah Sumatra. Ces échantillons sont de couleur blanche ; la coupe laisse voir des parcelles de bois et d'autres impuretés emprisonnées dans la masse. A côté se trouvent des spécimens de gutta-percha épurée.

The India Rubber, gutta-percha and telegraph Works C^o nous montre dans la classe 62, des échantillons de gutta-percha brute et différents objets : cuvettes, entonnoirs, bouteilles, tuyaux, etc..., et de la baudruche très fine.

La Société générale des Téléphones, dans son pavillon spécial, a réuni, à côté de quelques spécimens de gutta-percha brute, toute une série d'objets parmi lesquels nous citerons : des feuilles et plaques pour divers usages ; des brocs, des bouteilles, entonnoirs et seaux pour acides ; des courroies de transmission et disques pour fermeture de turbines ; des tuyaux et des tiges cylindriques ; des gar-

nitures de gorges pour poulies destinées aux transmissions de mouvement par câbles métalliques, etc.

Nous signalerons encore, dans la classe 39, MM. Martiny, Werstraet et C^e et MM. Ganthey-Hausmann ; chacune de ces maisons expose quelques objets en gutta-percha.

Nous parlerons des fabricants de câbles électriques isolés à la gutta-percha et au caoutchouc, lorsque nous étudierons ultérieurement la fabrication de ces sortes de conducteurs électriques. On voit, par cet aperçu rapide des objets exposés, que la gutta-percha a de nombreuses applications. Si cette industrie n'a pas pris de très grands développements, cela tient à différentes causes dont les principales sont : le manque de matières premières, leurs prix toujours élevés et les difficultés qu'éprouvent les fabricants pour se procurer de la gutta-percha pure ou simplement de composition uniforme.

NATURE DE LA GUTTA-PERCHA — LIEUX DE PRODUCTION VÉGÉTAUX PRODUCTEURS

La gutta-percha se rencontre dans la sève de certains arbres appartenant à la famille des sapotacées et désignés par le Docteur Hooker sous le nom d'*Isonandra-gutta*. C'est donc une matière d'origine végétale comme le caoutchouc, mais beaucoup plus rigide et moins élastique que ce dernier, et en outre susceptible d'acquiescer, par une légère élévation de température, une plasticité qu'elle abandonne par le refroidissement, pour reprendre sa consistance primitive.

Les premiers échantillons de gutta-percha ont été importés en 1842, en Angleterre, par le Docteur Montgomerie et étaient alors désignés sous le nom de *Mazer wood*. Depuis cette époque une industrie nouvelle, basée sur l'emploi de la gutta-percha, s'est créée et a pris des développements importants, malgré l'incertitude qui continue à régner sur la nature exacte des végétaux qui fournissent cette substance. Les botanistes ne sont pas tous d'accord sur ce point ; aujourd'hui encore, certains d'entre eux mettent en doute jusqu'à l'existence de l'arbre du Docteur Hooker, tel qu'il a été décrit par ce savant. Malgré tous les renseignements qu'on a cherché à se procurer, la question reste obscure et devient de jour en jour plus difficile à résoudre, par suite de l'accumulation de documents destinés à l'élucider, et qui sont pour la plupart contradictoires.

Quoiqu'il en soit les arbres à gutta-percha sont très répandus dans tout l'archipel indien. L'*Isonandra-gutta* croît à Java, à Sumatra, à Macassar ou île des Célebes, à Bornéo, à Singapour, etc..., et en général dans l'archipel malais, dans une zone limitée par le 3^e degré de latitude nord et le 3^e degré de latitude sud.

Outre l'*Isonandra-gutta*, les guttifères présentent plusieurs variétés qui fournissent des produits de qualités très différentes. Comme les arbres appartenant à la même famille se trouvent rarement en groupe, les Malais qui récoltent le suc

laiteux sont souvent obligés de parcourir de longues distances, dans des forêts inextricables, avant de rencontrer deux arbres de la même essence, aussi ont-ils été conduits à mélanger les exsudations de plusieurs variétés de guttifères, sans se préoccuper de la différence de qualité des produits récoltés.

Dans l'île de Bornéo, la gutta-percha la plus estimée est de couleur rougeâtre et est fournie par un arbre appelé *Dichopsis gutta* qui atteint souvent 30 et 40 mètres de hauteur. Il est assez difficile d'indiquer la production de chaque arbre, car cette quantité varie suivant sa grosseur et suivant la saison pendant laquelle la récolte est faite ; néanmoins, on peut évaluer la production moyenne à 25 kilogrammes, les plus petits donnent 10 à 15 kilogs, les plus grands jusqu'à 40 et 45 kilogs. En dehors de la *dichopsis gutta*, il existe d'autres genres de *dichopsis* produisant des guttas-perchas de basse qualité ; on peut citer entre autres une espèce qui donne une gutta-percha blanche de qualité inférieure ; l'arbre qui fournit cette sorte a des proportions beaucoup moindres que le précédent et ne produit guère que 5 à 10 kilogs de gutta-percha. Les indigènes mélangent les sortes inférieures avec la variété rougeâtre, de sorte que les matières qui nous parviennent ne sont presque jamais de composition homogène, cela seul suffit pour expliquer les différences que les savants trouvent si souvent dans les résultats des analyses élémentaires pratiquées sur les guttas-perchas commerciales.

Indépendamment des guttas-perchas proprement dites, extraites de l'*isonandra-gutta*, de la *dichopsis-gutta* et autres arbres similaires, il existe un grand nombre de végétaux appartenant, comme les précédents, à la famille des Sapotacées et qui donnent des gommés ayant la plus grande analogie tantôt avec la gutta-percha, tantôt avec le caoutchouc. En général ces substances possèdent les propriétés intermédiaires entre ces deux corps ; une des plus connues est la *Balata*, qui nous vient de la Guyane et qu'on peut considérer comme une sorte de gutta-percha, car elle en a toutes les propriétés.

D'après le docteur Hugo Muller, la balata serait plus molle à la température ordinaire et moins dure à froid que la gutta-percha ; elle s'altérerait moins rapidement sous l'influence de l'air et de la lumière et, par ses caractères physiques, devrait être considérée comme un corps intermédiaire entre la gutta-percha et le caoutchouc.

M. G. S. Senman, dans un rapport adressé au Gouvernement anglais au sujet de la balata dans la Guyane anglaise, paraît professer les mêmes opinions que le docteur Hugo Muller sur la nature et les caractères de cette substance qui réunit, suivant lui, les propriétés du caoutchouc et celles de la gutta-percha. Il reconnaît cependant que le suc d'autres plantes est parfois mêlé à celui de la balata et il cite entre autres le *touchpong* qui donne du véritable caoutchouc et le *bartaballi* qui fournit une gomme inférieure.

Ces idées n'ont pas été admises par tout le monde et plusieurs savants, contes-

tant les observations faites par le docteur Hugo Muller, considèrent la balata comme de la gutta-percha véritable et d'excellente qualité.

Nous ne sommes pas éloignés de croire que les observations des uns et des autres sont exactes, seulement les expériences ont été faites sur des échantillons différents, les uns ont opéré sur un mélange de balata et de caoutchouc, les autres sur de la balata pure. Cela expliquerait suffisamment les divergences d'opinions qui ont cours sur cette matière.

Quoiqu'il en soit, la balata est évidemment une sorte de gutta-percha ; elle s'extrait d'arbres connus sous les noms de *minusops balata*, *sapota mulleri* *balata franc* ou *bullet tree* qui se trouvent en abondance dans la Guyane française, dans la Guyane anglaise et dans une partie du Vénézuéla. Ces arbres, appartenant à la famille des Sapotacées, atteignent jusqu'à 30 et 35 mètres de hauteur et une grosseur de 1^m50 de diamètre près du sol ; le suc qui s'écoule des incisions est blanc, et devient brun par une exposition plus ou moins prolongée à l'air.

DIFFÉRENTES VARIÉTÉS DE GUTTAS-PERCHAS COMMERCIALES

Les guttas-perchas qu'on trouve dans le commerce sont désignées sous le nom des contrées qui les produisent ; ainsi on rencontre sur les marchés les sortes dites *Java*, *Sumatra*, *Bornéo*, *Macassar*, qui renferment toutes une proportion plus ou moins grande d'impuretés. En outre les différentes variétés de guttas-perchas récoltées sont presque toujours adulterées, au lieu même d'origine, par des mélanges que les indigènes font sur place, et comme ces mélanges sont formés de guttas-perchas et de matières résineuses possédant des compositions chimiques identiques, il n'a pas été possible jusqu'à présent d'opérer la séparation des corps constituants. Cette situation explique en partie les propriétés variables des guttas-perchas du commerce qui, sous des apparences semblables, fournissent cependant aux industriels qui les emploient des résultats bien différents.

D'un autre côté, les expériences auxquelles se livrent les savants sont forcément faites sur des guttas-perchas qui proviennent des exsudations de plusieurs essences d'arbres. Or ces mélanges, effectués dans les pays d'origine, ne sont pas invariables ; il n'est donc pas étonnant d'obtenir des résultats différents et qui même se contredisent dans bien des cas.

Sur le marché de Londres, les guttas-perchas sont vendues sous leur nom d'origine ; mais cela ne suffit pas pour constituer une classification raisonnée et rationnelle, car souvent l'origine véritable est inconnue des importateurs ou des consignataires qui les reçoivent de Singapour et de Macassar, et qui ignorent la provenance réelle des marchandises qui leur sont expédiées. Néanmoins cette classification est adoptée à Londres où l'on trouve à acheter des guttas-perchas depuis 50 centimes jusqu'à 10 et 12 francs le kilogramme. La première qualité est l'es-

pièce dite *Macassar*, c'est la plus estimée et la plus recherchée ; puis viennent le *Java*, le *Sumatra* et le *Bornéo*, enfin ce qu'on appelle la *reboiled gutta* formée avec des déchets agglomérés sous l'action de l'eau bouillante et qui est toujours de très basse qualité.

EXTRACTION DE LA GUTTA-PERCHA

Deux méthodes sont pratiquées pour extraire la gutta-percha. L'une consiste à abattre l'arbre et, après l'avoir placé sous une certaine inclinaison, à faire des incisions de distance en distance. Au dessous de chaque incision, on place un vase en terre, une coquille de noix de coco ou des feuilles convenablement disposées pour recevoir la sève qui s'écoule. Ce liquide possède la blancheur du lait au moment où il sort des incisions ; puis il brunit au contact de l'air. Il se coagule, plus rapidement que le caoutchouc, en formant à la surface une couche solide qu'on pétrit entre les mains, pour en former un pain ou bloc plus ou moins grossier. Ces pains sont ultérieurement soumis à l'ébullition, pendant environ 30 minutes, dans une bassine remplie d'eau. Quand la matière suffisamment amollie est devenue malléable, elle est coulée dans des moules dont elle prend et conserve la forme en se refroidissant.

La deuxième méthode consiste à faire des incisions sur l'arbre sans l'abattre et à recueillir dans des récipients les produits de l'exsudation. La matière est ensuite pétrie entre les mains puis convertie en blocs comme dans la première méthode.

Le procédé par incisions sur l'arbre resté debout est peu pratiqué ; nous estimons que les 95/100 des guttas-perchas sont récoltés en employant la méthode par abattage.

Dans ces conditions la destruction des guttifères marche rapidement et la substance qu'ils produisent devient tous les jours plus rare et plus chère. Les intéressés, c'est-à-dire les industriels qui utilisent la gutta-percha, se sont préoccupés de cette situation qui conduit fatalement à la disparition à peu près complète des guttifères dans un délai peu éloigné ; ils ont reproché aux gouvernements de ne rien faire pour empêcher cet état de choses et ont émis des vœux pour que l'abattage soit prohibé.

Sur certains points, les gouvernements locaux sont intervenus : les uns ont défendu l'abattage des arbres ; d'autres ont été jusqu'à défendre l'exportation de la gutta-percha, ce qui était un moyen peut-être un peu radical ; d'autres encore ont soumis l'extraction à une série de réglementations qui ne paraissent pas devoir produire des résultats bien appréciables, car il est bien évident que tous les règlements qu'on pourra édicter n'auront d'effet utile que s'ils sont exécutés, ce qui semble assez difficile à atteindre dans des contrées où la surveillance administrative est nulle.

Mieux inspirés, plusieurs gouvernements font en ce moment des essais de culture qui donnent des résultats assez satisfaisants. Nous avons dit que les guttifères se rencontraient dans une zone d'environ 3 degrés de chaque côté de l'équateur; certains botanistes ont pensé que ces arbres pourraient être acclimatés dans des pays, en dehors de la zone naturelle, et ont tenté des essais à Ceylan, où de jeunes plants ont été introduits au Jardin botanique. D'après les derniers renseignements, qui datent du commencement de l'année 1889, les arbres Gutta Sundek avaient atteint une hauteur de 9 mètres, et les Gutta Taban Puteh une hauteur de 4 mètres. Le gouvernement anglais poursuit ces essais de culture à Ceylan, à Singapour, et sur d'autres points.

De son côté, le gouvernement néerlandais a entrepris des plantations d'arbres à gutta-percha dans ses possessions de l'archipel indien; les essais qu'il tente en ce moment sont faits sur plusieurs variétés d'arbres, dans la zone où ils croissent à l'état naturel; il y a donc lieu d'espérer que cette culture réussira. La culture des guttifères aura le grand avantage de permettre la sélection dans les espèces; de plus les plantations, convenablement dirigées par les Européens, fourniront nécessairement des substances, si non plus pures, du moins d'origine certaine; on ne sera plus exposé à trouver dans les produits de ces plantations des gutta-perchas mélangées et adultérées par l'addition de gommés et de résines de diverses natures, comme c'est le fait des exploitations actuelles par les Malais et les Chinois.

COMMERCE DE LA GUTTA-PERCHA BRUTE

La plus grande partie de la gutta-percha, qui arrive sur les marchés d'Europe et d'Amérique, est fournie par les îles de la Sonde; ainsi en 1884, d'après M. N.-P. Trevenen, l'exportation des Détroits s'élevait aux chiffres suivants :

Nord Bornéo britannique	549 piculs.
Péninsule malaise orientale	1,527 »
Java	584 »
Labuan.	245 »
Sarawak	2,115 »
Sumatra.	24,966 »
Autres îles	<u>22,081 »</u>
	52,067 piculs.

En comptant le picul à 60 kil. 47, on trouve que l'exportation totale atteignait 3,148,491 kilogrammes en 1884.

Si, d'autre part, on consulte le tableau des importations en Angleterre pour la même année, on constate qu'il est entré dans ce pays 2,929,700 kilogrammes de gutta-percha provenant des Détroits, c'est-à-dire plus de 92 % de la production

totale. Il en résulte que 8 % à peine ont été dirigés sur d'autres pays de consommation.

Ces chiffres indiquent que le commerce de la gutta-percha est concentré en Angleterre; les ports d'Amsterdam et de Rotterdam reçoivent quelques envois directs des pays de production; de petites quantités sont aussi dirigées sur les ports français; mais, grâce aux nombreuses lignes de navigation, qui relient l'Océanie à l'Angleterre, la majeure partie va à Londres. C'est là que les cours s'établissent, et, comme le nombre des importateurs, aussi bien que celui des acheteurs directs, est très limité, il arrive fréquemment que les négociations se font à prix secrets. Cependant, de temps en temps, souvent à des intervalles de plusieurs mois, les intéressés communiquent les cours à certains journaux spéciaux.

Le prix de la gutta-percha est des plus variables; pour en donner une idée, il nous suffira de faire connaître quelques cours cotés pendant ces derniers temps sur la gutta-percha véritable de première qualité :

En novembre 1888	11 fr. 00 c. le kil.
En janvier 1889	9 50 »
En mai 1889	10 00 »
En juillet 1889.	13 00 »

Les autres qualités sont naturellement cotées beaucoup plus bas. Ainsi, en juillet 1889, pendant que la première qualité valait 13 francs le kilogramme, la gutta-percha bonne qualité était cotée 8 à 9 francs; la gutta-percha blanche, 7 francs; la gutta-percha rebouillie inférieure, 2 fr. 50.

Dans certains cas, la qualité inférieure rebouillie, est offerte à 1 franc et même à 50 centimes le kilogramme, suivant son état d'impureté.

Nous avons pu nous procurer des documents relativement à l'importation de la gutta-percha brute en Angleterre; en ce qui concerne la France, l'Allemagne, la Russie, les Etats-Unis, etc., les statistiques embrassent généralement le caoutchouc et la gutta-percha sous la même rubrique, de sorte qu'il nous a été impossible de déterminer exactement l'importation de la gutta-percha dans ces pays qui, du reste, font très peu d'importation directe, et tirent cette matière première de l'Angleterre. Néanmoins, comme les îles de la Sonde fournissent la presque totalité de la gutta-percha consommée dans le monde, et que 92 % des produits récoltés dans ces contrées vont en Angleterre, nous pouvons évaluer la production totale annuelle aux chiffres de l'importation anglaise, augmentés de 8 à 10 %.

Voici, d'après les statistiques publiées en Angleterre, le mouvement des importations dans ce pays depuis l'année 1880.

IMPORTATION DE LA GUTTA-PERCHA EN ANGLETERRE

ANNÉES	POIDS EN KILOGRAMMES	VALEUR EN FRANCS
1880	3.345.000 kilogr.	13.328.000 francs.
1881	3.477.000 —	12.698.000 —
1882	3.705.000 —	13.630.000 —
1883	3.241.000 —	12.041 030 —
1884	3.186.000 —	11.684.000 —
1885	2.735.000 —	8.765.000 —
1886	2.067.000 —	6.812.000 —
1887	1.226.000 —	3.952.000 —
1888	1.142.000 —	4.584.000 —

Ce tableau montre que, dans ces dernières années, l'importation de la gutta-percha en Angleterre a été constamment en diminuant. D'ailleurs, la consommation et les stocks ont suivi une marche analogue; ainsi, au mois d'août 1889, les stocks sont tombés à 995 tonnes, alors que les années précédentes, à pareille époque, ils étaient de 2,000 à 2,500 tonnes. En 1883, la consommation anglaise dépassait 2,700,000 kilogrammes, et tombait à 700,000 kilogrammes en 1888.

Gutta-Percha épurée.

COMPOSITION ET PROPRIÉTÉS DE LA GUTTA-PERCHA

La gutta-percha commerciale est toujours très impure; aussi est-il nécessaire de la débarrasser de ses impuretés, lorsqu'on veut établir sa composition et étudier ses propriétés. Pour la purifier, on la dissout dans le sulfure de carbone, on filtre et on verse la dissolution sur une lame de verre. Le sulfure de carbone s'évapore à l'air; il reste comme résidu une pellicule mince qui est de la gutta-percha pure. On détache facilement cette pellicule en la recouvrant d'eau; au bout de quelques minutes, l'adhérence cesse, et la feuille soulevée à l'un des coins abandonne la lame de verre.

La gutta-percha, ainsi préparée, est à peu près blanche, car les matières colorantes sont restées sur le filtre en même temps que les corps étrangers.

Composition. — Payen a déterminé la composition de la gutta-percha, préalablement épurée, par la méthode que nous venons d'indiquer; il a reconnu qu'elle était formée de trois principes immédiats. Voici du reste comment il relate le résultat de ses recherches :

« La gutta-percha épurée est formée de trois principes immédiats, très diffé-

rents entre eux, quant à leurs propriétés ; isomériques, puisque leur composition élémentaire est la même ; ce sont des carbures d'hydrogène isomères, également du caoutchouc épuré : tous sont en effet représentés par la formule C^8H^7 .

« Ces trois principes immédiats, que j'ai appelés *gutta*, *albane* et *fluavile*, se rencontrent dans la gutta-percha suivant les proportions un peu variables ci-après :

Gutta.	75 à 82
Albane	19 à 14
Fluavile.	6 à 4
	<hr/>
	100 100

« Le premier de ces principes immédiats réunit presque toutes les propriétés de l'ensemble constituant la gutta-percha normale ou simplement épurée ; la deuxième, l'albane, substance cristalline, diffère beaucoup des deux autres : elle est blanche, se dissout abondamment dans l'alcool anhydre bouillant, qui la dépose en grande partie, par un refroidissement ménagé, sous forme de cristaux diaphanes, lamelleux, formant des groupes mamelonnés, irradiés d'un centre commun. De semblables agglomérations cristallines se forment par la concentration de la solution alcoolique à l'air. De 0° à 100° , l'albane ne manifeste aucun changement ; à $+ 160^{\circ}$, sa fusion commence ; de $+ 175^{\circ}$ à 180° , sa diaphanéité est complète ; elle a une fluidité oléiforme ; par le refroidissement, elle se solidifie en une masse transparente et plus dense que l'eau. L'acide chorhydrique semble sans action sur l'albane, tandis que les acides sulfurique et azotique *concentrés* (monohydratés) l'attaquent vivement comme la gutta-percha pure et la gutta-percha toute entière.

« L'albane est beaucoup plus soluble dans la benzine et l'essence de térébenthine à chaud, dans le sulfure de carbone, l'éther et le chloroforme ; ces deux derniers dissolvants laissent déposer, par l'évaporation, en groupes de lamelles irradiées ; l'alcool anhydre bouillant la dissout, et la laisse cristalliser par le refroidissement.

« La fluavile, résine jaune, est diaphane, un peu plus lourde que l'eau, solide, dure, cassante à 0° ; elle s'assouplit par degrés en s'échauffant ; vers 50° , elle éprouve une sorte d'amollissement qu'on reconnaît en maintenant le vase incliné ; elle ne reprend entièrement son niveau qu'en quinze ou vingt minutes. A $+ 60^{\circ}$, elle devient pâteuse ; de 100 à 110° , sa fluidité est complète ; chauffée davantage, jusqu'à l'ébullition, elle éprouve graduellement une altération profonde, brunit, dégage des vapeurs acides et plusieurs carbures d'hydrogène.

« La fluavile est soluble à froid dans l'alcool, l'éther, la benzine, l'essence de térébenthine, le sulfure de carbone, le chloroforme ; tous ces dissolvants, évaporés, laissent en résidu la fluavile jaune amorphe. Elle retient avec force une partie de l'alcool, que l'on en sépare en chauffant le mélange à 100° dans le vide, jusqu'à cessation de boursofflement.

« L'albane et la fluavile offrent, dans leurs relations entre elles, une propriété fort remarquable ; lorsque, ayant traité à chaud par l'alcool anhydre la gutta-percha divisée, on décante le liquide, qui tient en dissolution les deux carbures d'hydrogène ; par le refroidissement et le repos pendant plusieurs jours, il se dépose sur les parois du vase clos, et jusqu'au niveau de la solution, des granules blancs, arrondis, opalins, formés d'une sorte de nucleus de fluavile diaphane, recouvert d'une incrustation cristalline d'albane. Cette singulière structure se démontre en traitant par l'alcool anhydre froid, qui dissout le nucleus jaunâtre, et laisse la plus grande partie de l'incrustation blanche.

« C'est en traitant la gutta-percha par l'alcool bouillant, à plusieurs reprises jusqu'à épuisement, que l'on élimine les deux carbures d'hydrogène ci-dessus, et que l'on obtient le troisième ou la gutta isolée. »

La *gutta pure* est blanche, opaque ou demi-translucide à froid, insoluble dans l'eau, l'alcool et l'éther ; elle se dissout en partie dans la benzine et l'essence de térébenthine, complètement soluble dans le sulfure de carbone et le chloroforme ; elle est souple, tenace et extensible ; elle est peu ou point élastique. Toutes les propriétés de la *gutta* se retrouvent dans la *gutta-percha* épurée que nous étudions un peu plus loin.

La composition de la gutta se rapproche beaucoup de celle du caoutchouc, Faraday a trouvé qu'elle renfermait 87,2 % de carbone et 12,8 d'hydrogène. D'après plusieurs analyses effectuées par M. Oudemans, la quantité de carbone serait comprise entre 87,64 et 89,29, et celle d'hydrogène entre 11,79 et 12,00. Dans ces conditions, la formule chimique de la gutta pourrait être écrite C^8H^8 ou $C^{20}H^{32}$.

Suivant M. Oudemans, la gutta, l'albane et la fluavile seraient représentés par les formules suivantes :

Gutta	$C^{20}H^{32}$
Fluavile	$C^{20}H^{32}O$
Albane.	$C^{20}H^{32}O^2$

D'autres savants ont trouvé des résultats un peu différents, ce qui n'a rien d'étonnant, puisque les échantillons sur lesquels on opère sont formés de mélanges variables, et qu'en outre la matière subit à l'air une altération progressive dont on ne peut tenir compte.

Quant à la composition de la gutta-percha, elle diffère sensiblement de celle de la gutta ; M. Hoffmann donne les chiffres suivants :

Carbone	62.79
Hydrogène	9.29
Oxygène.	27.92
	<hr/>
	100.00

D'un autre côté M. Soubeiran a trouvé que la gutta-percha renfermait :

Carbone..	83.50
Hydrogène.	11.50
Oxygène.	5.60
	<hr/>
	100.00

Ces deux analyses sont loin de concorder et montrent combien peuvent différer deux échantillons, soit par suite de la différence de provenance, soit par suite du degré d'oxydation plus ou moins avancé de la matière. Pour obtenir des résultats concordants et exacts, il faudrait opérer sur des échantillons non falsifiés et non mélangés et faire l'analyse aussitôt après l'extraction et la coagulation.

Propriétés de la gutta-percha. — La gutta-percha épurée est une matière solide, flexible, tenace et extensible. Quand on soumet une lanière à une traction graduée, on peut lui faire prendre une longueur double et même triple de sa longueur primitive ; elle conserve alors à peu près la longueur acquise, c'est dire que la gutta-percha est très peu élastique.

Elle possède une dureté comparable à celle du bois ; sa structure est celluleuse, mais si on l'étire de manière à lui faire subir un allongement égal ou supérieur à sa longueur initiale, sa structure se transforme et devient fibreuse.

Sa densité est comprise entre 975 et 980.

Elle est insoluble dans l'eau chaude, comme dans l'eau froide. Cependant on a observé qu'une feuille mince de gutta-percha, soumise à l'action prolongée de l'eau, absorbe ce liquide, surtout quand il est chaud ; néanmoins la quantité d'eau absorbée est toujours très minime.

Elle est insoluble dans l'alcool et dans l'éther. La benzine et l'essence de térébenthine ont une action dissolvante peu prononcée à froid ; en chauffant, il ne se produit qu'une dissolution partielle de la matière. Les véritables dissolvants de la gutta-percha sont le sulfure de carbone et le chloroforme ; quand on fait agir ces liquides, la matière ne se gonfle pas comme le fait le caoutchouc, mais se dissout peu à peu et donne naissance à une liqueur dont la coloration est en rapport avec la nature de l'échantillon sur lequel on a opéré. En filtrant à plusieurs reprises on peut se débarrasser des matières colorantes et en même temps des impuretés, s'il y en a ; puis quand la liqueur filtrée est suffisamment limpide et incolore, on fait évaporer le dissolvant ; le résidu est de la gutta-percha épurée sensiblement blanche.

La gutta-percha n'est pas attaquée par les alcalis ; elle résiste aux acides faibles ou dilués. Les acides sulfurique et azotique concentrés l'attaquent très vivement ; elle est également altérée par un contact prolongé avec l'acide chlorhydrique concentré. Elle résiste aux huiles et aux corps gras.

A la température ordinaire de nos climats, la gutta-percha ne subit pas de modifications appréciables et conserve sensiblement la même consistance au-des-

sous comme au-dessus de zéro. Chauffée à 50° elle s'amollit, devient malléable et en même temps adhésive ; elle se soude alors facilement à elle-même, il suffit pour cela de maintenir les deux parties à réunir en contact, avec une légère pression. Ces propriétés se développent à mesure que la température s'élève ; vers 100°, elle acquiert une consistance pâteuse, semi-fluide, et peut être moulée avec la plus grande facilité ; par le refroidissement, elle reprend sa dureté primitive, tout en conservant la forme qu'on lui a donnée. Cette propriété est fréquemment utilisée pour prendre des empreintes et pour fabriquer des objets de formes variées. En continuant à chauffer au-dessus de 100°, la gutta-percha devient de plus en plus fluide, elle fond vers 130° ; puis elle entre en ébullition et se décompose en donnant des vapeurs d'eau et des carbures d'hydrogène. Il reste un petit résidu charbonneux.

La gutta-percha s'électrise par le frottement et est mauvais conducteur de la chaleur et de l'électricité. Par suite de cette dernière propriété, elle sert à isoler les conducteurs électriques et principalement les câbles sous-marins. Un fil de cuivre entouré d'une couche de gutta-percha suffisamment épaisse, se trouve isolé, l'électricité parcourt un tel conducteur sans déperdition, ou avec une perte insignifiante, par suite de la résistance considérable que l'enveloppe offre au passage du fluide électrique. Le pouvoir isolant de cette substance décroît rapidement à mesure que la température augmente.

La gutta-percha se décompose à l'air, surtout quand elle se trouve sous la forme de feuilles ou d'objets de faible épaisseur. Dans ce cas, elle perd la plupart de ses propriétés, la surface durcit, se fendille et on peut observer que les feuilles minces, comme la baudruche par exemple, qui ont subi cette décomposition, sont devenues friables et se brisent entre les doigts. Ce qui est singulier, c'est que certains échantillons résistent parfaitement à toute détérioration, tandis que d'autres placés dans les mêmes conditions tombent en poussière, en les touchant ; on ne peut guère expliquer ces différences que par la nature variable des substances que les pays producteurs nous envoient sous le nom de gutta-percha.

Il paraît résulter des recherches faites sur ces décompositions, au contact de l'air, que la matière se résinifie, s'oxyde comme le caoutchouc, mais plus rapidement. L'oxydation est surtout sensible lorsque les rayons solaires interviennent, elle est encore plus rapide lorsque la matière est soumise alternativement à l'action du soleil et de la pluie. — Par contre, on a constaté qu'à l'abri de la lumière diffuse il ne se produisait aucune détérioration appréciable.

Dans l'eau douce et surtout dans l'eau de mer, la gutta-percha se conserve sans altération ; c'est ce qu'on a pu observer, à plusieurs reprises, sur des câbles sous-marins restés immergés 15 et 20 ans et qui, au bout de ce temps, étaient en parfait état en ce qui concerne le diélectrique.

Il résulte de ces observations que le meilleur moyen de conserver la gutta-percha est de la tenir immergée dans l'eau et quand c'est possible dans l'eau de

mer. On peut encore la conserver à l'abri de l'air et de la lumière, dans une caisse hermétiquement fermée, par exemple, ou dans des chambres sombres qui ne sont pas soumises à des variations de température trop fréquentes.

EPURATION

La gutta-percha brute, telle que nous la livre le commerce, renferme du sable, de la terre et surtout des débris ligneux ; pour l'utiliser, il faut la débarrasser de toutes ces impuretés, ce qui se fait par divers procédés, les uns chimiques, les autres mécaniques.

Epuraton par le sulfure de carbone. — En étudiant ses propriétés, nous avons indiqué un moyen de purification qui consiste à traiter la matière brute par le sulfure de carbone ou le chloroforme. Lorsque la substance est dissoute dans un de ces liquides, on verse sur un filtre en mousseline, ou sur une toile métallique suffisamment fine, de manière à séparer les impuretés. Dans d'autres cas, on agite la dissolution et on la laisse reposer pendant 3 à 4 jours, puis quand tous les corps étrangers sont tombés au fond du vase, on soutire la partie liquide par un ajutage percé à une hauteur suffisante au-dessus du fond. Pour faciliter la précipitation des corps étrangers, on peut ajouter du plâtre en poudre ; après avoir agité, le plâtre se dépose, entraînant avec lui les particules étrangères ; au bout de 2 jours, on peut soutirer.

En apportant des soins suffisants, au besoin en filtrant à plusieurs reprises, on obtient une liqueur limpide et incolore qui renferme la gutta-percha en dissolution, et que l'on verse sur des plaques de verre pour faire évaporer le dissolvant. Il reste sur le verre une membrane de gutta-percha épurée que l'on détache en humectant avec de l'eau pendant quelques minutes.

Epuraton par rapes mécaniques. — La première opération consiste à diviser la gutta-percha brute en fragments au moyen de couteaux fixés sur l'une des faces d'une roue verticale animée d'un mouvement de rotation. L'appareil ressemble beaucoup à un coupe-racine ; il comprend ordinairement 3 à 4 couteaux solidement fixés sur une roue ou disque monté sur un bâtis et faisant 150 à 200 révolutions par minute. La gutta-percha est présentée devant les lames qui la divisent en fragments ou copeaux que l'on recueille dans une caisse disposée en dessous ; pendant ce travail, les couteaux sont constamment arrosés par un filet d'eau.

Après ce découpage préliminaire, la substance est soumise à une série de traitements dans des appareils que nous avons figurés dans un schéma d'ensemble, (fig. 1), afin d'essayer de faire comprendre le mode d'opérer.

Au sortir du coupe-racine, les fragments sont introduits dans une cuve A remplie d'eau à la température ordinaire ; les corps étrangers plus lourds que l'eau tombent au fond, la gutta-percha qui surnage est recueillie et déposée sur

une tablette B, devant une rape mécanique C, analogue à celle qui est employée, dans les sucreries. La matière est entraînée mécaniquement dans cet appareil qui, en tournant, la transforme en petits fragments qui tombent dans une cuve remplie d'eau D placée en dessous; les nouvelles impuretés mises à découvert par la rape tombent au fond de la cuve et la gutta-percha surnageant arrive sur une toile sans fin E, légèrement inclinée, qui la remonte dans une rape F, semblable à la première; les parcelles retombent dans une cuve pleine d'eau G où une toile sans fin H reprend les parties qui surnagent pour les conduire dans une troisième rape I, qui les divise une dernière fois, avant de tomber dans une cuve K contenant de l'eau à 70 ou 80°.

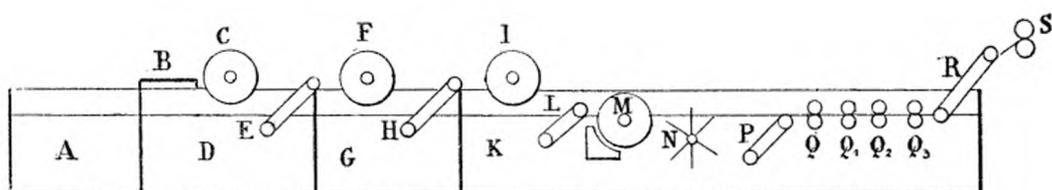


FIG. 1. — DISPOSITION SCHÉMATIQUE DE L'ÉPURATION

Une toile sans fin L conduit la gutta-percha dans une machine M agissant comme les piles en usage dans les fabriques de papier, et comprenant un tambour armé de lames tournant au-dessus d'un radier curviligne, au fond duquel sont fixées des lames semblables. Pendant son passage entre ces deux systèmes de lames, la matière ramollie par l'eau tiède de la cuve est broyée, puis soumise à l'action d'un agitateur N placé à la suite. Une nouvelle toile sans fin P la reprend pour la faire passer entre une série de rouleaux superposés deux à deux Q, Q₁, Q₂, Q₃, entre lesquels elle s'agglomère. Enfin une dernière toile sans fin R la conduit hors de la cuve dans un laminoir à deux cylindres S qui la comprime et la transforme en feuille, tout en chassant l'excès d'eau. Pour faire disparaître les dernières traces d'humidité, on peut faire sécher les feuilles à l'air; mais il est préférable de les chauffer dans une chaudière à double fond maintenue à une température de 110° environ, par un courant de vapeur; on agite la masse pâteuse pour faciliter l'évaporation de l'eau et on obtient de la gutta-percha pure, exempte d'eau et susceptible d'être travaillée et moulée.

Il existe de nombreux procédés pour éliminer les impuretés contenues dans la gutta-percha brute; mais il nous paraît inutile de nous étendre ici trop longuement sur cette question que les inventeurs semblent avoir affectionnée d'une façon toute particulière, si nous en jugeons par le nombre des méthodes proposées: nous nous contenterons de dire quelques mots du procédé d'épuration le plus généralement suivi, qui consiste à opérer comme pour le caoutchouc.

Procédé d'épuration par lavage. — Filtration. — La gutta-percha brute

est d'abord découpée en petits morceaux, au moyen d'une scie circulaire ou d'un coupe-racine ; dans l'un et dans l'autre cas, l'outil est constamment arrosé pendant le travail par un filet d'eau.

La matière divisée en fragments est mise à digérer, pendant 5 à 6 heures au moins, dans une cuve remplie d'eau dont la température est maintenue à environ 60° par un jet de vapeur. Durant son passage dans une ou plusieurs cuves à eau chaude, la matière se désagrège et une partie des impuretés, celles qui sont plus lourdes que l'eau, se séparent d'elles-mêmes et tombent au fond des cuves.

La gutta-percha qui surnage est ensuite introduite dans un laveur à deux cylindres, identique à celui que nous avons décrit en parlant du caoutchouc ; seulement au lieu de faire couler de l'eau froide sur la matière pendant le travail, on emploie de l'eau tiède. A part cette différence, le lavage s'exécute de la même manière, et on fait passer la gutta-percha entre les deux cylindres tournant en sens contraire à une vitesse différente, jusqu'à ce que toutes les impuretés soient entraînées par l'eau de lavage.

Quand on désire obtenir un produit parfaitement pur, on soumet la gutta-percha lavée à une filtration particulière dans une sorte de *presse à filtres* d'une construction spéciale. Cette machine consiste en un cylindre vertical en fonte dans lequel se meut un piston actionné directement par le piston d'une presse hydraulique. Le cylindre est muni d'une enveloppe dans laquelle on fait circuler un courant de vapeur, de manière à maintenir l'appareil à une température convenable ; son fond est constitué par plusieurs plaques superposées, percées de petits trous, ou par plusieurs toiles métalliques à mailles très fines ; généralement on emploie 3 ou 4 plaques perforées, ou des toiles métalliques en même nombre, placées les unes au-dessus des autres, à un faible écartement, et dont les mailles vont en décroissant.

La gutta-percha à épurer est d'abord réchauffée, puis introduite dans la presse à filtres dont l'enveloppe reçoit un courant de vapeur. Quand le piston est mis en mouvement, la matière est chassée à travers les toiles métalliques qui arrêtent toutes les impuretés d'une grosseur supérieure aux trous des mailles ; parfois la matière traverse successivement deux appareils, l'un enlève les plus grosses impuretés, l'autre retient les plus fines parcelles des corps étrangers. On conçoit donc qu'en choisissant des toiles métalliques à mailles suffisamment serrées, on puisse pousser l'épuration jusqu'à telle limite qu'on voudra.

Du reste, dans bien des cas, on se contente du lavage.

Avant d'être mise en œuvre, la gutta-percha est séchée à l'air libre, et soumise à l'agglomération afin d'éliminer l'air et l'eau qui sont restés interposés dans les pores.

Mastication ou agglomération de la gutta-pércha

L'appareil dont on se sert pour agglomérer la gutta-pércha épurée se nomme *masticateur* ou *pétrisseur* ; il possède la plus grande analogie avec la machine du même nom employée pour le caoutchouc.

Pétrisseur. — Il se compose (fig. 2) d'une caisse cylindrique fixe, placée horizontalement, dans l'axe de laquelle tourne un rouleau plein en fonte dont la surface est couverte de cannelures longitudinales, de telle sorte qu'il présente en coupe transversale l'aspect d'un pignon denté. Le diamètre du rouleau est un peu

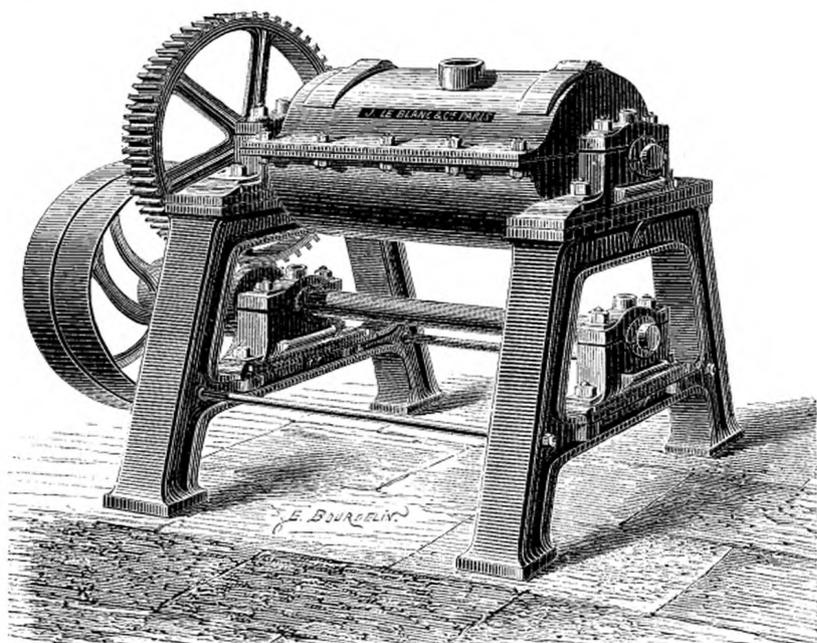


FIG. 2. — PÉTRISSEUR

plus faible que celui de la caisse cylindrique qui l'enveloppe ; en tournant, il entraîne la matière que l'on a introduite entre les deux organes, la comprime entre ses cannelures et les parois de l'enveloppe, rapproche les molécules qui se soudent entre-elles et s'agglomèrent, en même temps que l'air et l'eau emprisonnés sont expulsés.

La caisse cylindrique est souvent munie, à sa partie inférieure, d'un double fond dans lequel on lance, au besoin, un jet de vapeur. Le rouleau à cannelures

reçoit un mouvement de rotation, par l'intermédiaire d'engrenages et de poulies qui sont figurés sur le dessin.

Au commencement du pétrissage, on lance un courant de vapeur dans le double fond, puis on règle l'arrivée de vapeur de manière à maintenir une température convenable et en ayant soin de tenir compte de l'échauffement produit dans la masse par les frottements.

Après avoir subi l'action du pétrisseur, la gutta-percha est prête à être utilisée. Ordinairement on la passe dans un laminoir qui la convertit en feuilles, elle est ensuite emmagasinée, sous cette forme, dans des caves.

Comme les caoutchoucs, les différentes espèces de gutta-percha subissent pendant le travail d'épuration une perte sensible, variable avec les provenances et les qualités. Les meilleures sortes perdent ordinairement 15 à 20 %, les sortes intermédiaires 20 à 25 %, les qualités inférieures 25 et 30 % et plus. En tenant compte de ces déchets, on arrive à établir le prix de revient de la gutta-percha épurée : ainsi une matière qui est achetée brute 12 francs le kilogramme, et qui subit pendant la purification une diminution de poids de 20 % par exemple, revient à 15 francs le kilogramme, sans comprendre les frais occasionnés pour la débarrasser de ses impuretés, ce qui, on en conviendra, est un prix bien élevé.

GUTTA-PERCHA MÉLANGÉE

La gutta-percha épurée est souvent mélangée avec d'autres substances, soit pour en diminuer le prix de revient, soit pour la rendre plus dure et plus résistante. Les substances dont on fait usage le plus fréquemment sont : la craie, le plâtre, le sulfate de baryte, l'asphalte, les oxydes de zinc et de plomb, etc., etc... En faisant varier les proportions et la nature des matières incorporées avec la gutta-percha, on obtient des produits de consistance variable et qui sont pour la plupart, plus fermes et très inférieurs au produit primitif ; en y ajoutant une certaine quantité de caoutchouc, on augmente au contraire la souplesse et l'élasticité. On peut incorporer avec la gutta-percha une infinité de matières, et on conçoit par cela même qu'il est possible d'obtenir un nombre infini de mélanges doués de propriétés différentes.

L'incorporation des matières accessoires avec la gutta-percha peut s'effectuer avec le *pétrisseur*. Dans ce cas, la gutta-percha épurée est d'abord pétrie et travaillée dans l'appareil jusqu'à ce qu'elle soit bien amollie ; les substances réduites en poudre fine sont alors introduites, peu à peu, dans le pétrisseur que l'on fait fonctionner jusqu'à ce que la masse soit devenue homogène.

On opère aussi avec un *mélangeur* à 2 cylindres horizontaux disposés l'un à côté de l'autre et tournant en sens inverse avec une vitesse différente. L'appareil est le même que celui que nous avons décrit dans l'étude du caoutchouc ; les 2

cylindres sont creux et chauffés intérieurement par un courant de vapeur. La gutta-percha épurée est placée entre les 2 cylindres et travaillée jusqu'à ce qu'elle soit suffisamment molle pour absorber les substances accessoires, qui sont alors ajoutées peu à peu et qui finissent par former un mélange plastique.

Applications de la gutta-percha

OBJETS DIVERS

La gutta-percha possède la propriété de devenir molle et plastique, lorsqu'on la soumet à une température modérée ; en cet état, il est facile de lui faire prendre une forme quelconque, qu'elle conserve après son refroidissement. Elle peut, en outre, être refondue et transformée plusieurs fois, par le procédé du moulage, sans qu'elle subisse aucune détérioration.

Grâce à la facilité avec laquelle elle se travaille et à ses autres propriétés, la gutta-percha sert à confectionner les objets les plus variés tels que : feuilles et plaques pour usages divers, cordes pour joints et pour transmissions, fils, tubes, tabliers pour fermetures de turbine, garnitures de pistons de pompes, courroies de transmission etc.

Elle sert encore à fabriquer des entonnoirs, robinets, seaux, brocs, bassines vases, mesures, bouteilles, tuyaux etc..., et en général tous les objets pour acides ; elle est utilisée pour confectionner des appareils et instruments de chirurgie, des urinaux divers, des cuvettes etc... ; elle est très employée pour isoler les conducteurs électriques.

Elle sert encore à revêtir des cuves en bois pour la galvanoplastie, ou pour les bains d'acide, à faire des cuvettes pour photographes, des chaussures pour malteurs et égoutiers, des chapeaux pour mineurs et autres, des manches d'outils etc., etc.

Enfin, la gutta-percha, dissoute dans le sulfure de carbone ou dans le chloroforme, constitue une excellente colle qui résiste bien à l'humidité.

Dans ces nombreuses applications, la gutta-percha est employée soit à l'état pur, soit sous forme de mélanges avec des matières inertes qui en diminuent la valeur, en même temps qu'elles atténuent ou transforment ses propriétés naturelles ; quant à la mise en œuvre, elle s'effectue par le laminage, le façonnage ou le moulage.

Feuilles. — Pour transformer la gutta-percha épurée en feuilles, on commence par la réchauffer dans le pétrisseur ou mieux dans un mélangeur à 2 cylindres ; puis on l'introduit dans un *laminoir*, semblable à celui qui sert pour le caoutchouc. Elle sort de cet appareil sous forme d'une feuille dont l'épaisseur est déterminée par l'écartement des 2 cylindres.

Les feuilles laminées sont la base de la fabrication de la plupart des objets façonnés et moulés.

Cordes et tubes. — Les cordes et les tubes en gutta-percha se préparent avec la machine qui sert à fabriquer les cordes et les tubes en caoutchouc.

La matière, suffisamment amollie dans un réchauffeur à 2 cylindres, est introduite dans la machine à cordes, maintenue à une température convenable par un courant de vapeur circulant dans l'enveloppe, et, suivant la forme de la filière, en sort à l'état de corde pleine ou de tuyau. Pour éviter la déformation, il faut refroidir rapidement la matière au sortir de la filière ; ce résultat est atteint en faisant plonger la corde, ou le tuyau produit, dans une sorte de gouttière, d'environ 15 à 20 mètres de longueur, dans laquelle on fait circuler un courant d'eau froide.

Courroies de transmission. — Les courroies de transmission en gutta-percha n'offrent pas une résistance aussi grande que les courroies en cuir ou en caoutchouc ; cependant elles sont quelquefois employées dans les endroits humides dont la température n'est pas trop élevée ; elles donnent alors des résultats satisfaisants.

Il résulte d'expériences pratiquées au Conservatoire des Arts et Métiers par M. Tresca qu'une courroie en gutta-percha s'allonge de $1/10^{\circ}$ sous une charge de 250 grammes par millimètre carré, et indéfiniment sous une charge de 360 grammes par millimètre carré. Ces chiffres rapprochés de ceux trouvés pour le caoutchouc (3 kilogrammes) montrent la grande différence qui existe entre ces deux genres de courroies, au point de vue de la résistance. Nous estimons que les courroies en gutta-percha ne doivent pas travailler à plus de 100 grammes par millimètre carré ; elles ne peuvent donc être employées pour transmettre de grandes forces, car la charge pratique qu'on doit leur imposer, nécessiterait des courroies de dimensions et de prix exagérés. L'emploi des courroies en gutta-percha doit donc être limité aux petites forces, et là où règne une grande humidité, en même temps qu'une température peu élevée.

Gutta-percha vulcanisée

SOUPLE ET DURCIE

La vulcanisation de la gutta-percha a pour but de rendre la matière insensible aux changements de température ; cette opération trouve son utilité dans le cas où les objets sont exposés à une chaleur modérée. On sait en effet que la gutta-percha s'amollit par la chaleur et qu'à 60° environ elle perd une grande partie de sa ténacité pour devenir malléable. Les objets soumis à une tempéra-

ture de 60 à 100° et au-dessus sont donc susceptibles de se déformer complètement, c'est pour obvier à cet inconvénient qu'on les vulcanise.

Les procédés de vulcanisation sont identiques à ceux que nous avons décrits en parlant du caoutchouc ; nous ne ferons que rappeler ici les trois principaux.

1° Vulcanisation par mélange de la gutta-percha avec du soufre ou des sulfures, avec ou sans additions de matières accessoires, suivi d'une cuisson à haute température ;

2° Vulcanisation par immersion dans un bain de soufre fondu à une température de 125 — 140°.

3° Vulcanisation par le chlorure de soufre dissout dans le sulfure de carbone.

Lorsqu'on vulcanise, au moyen du soufre ou de sulfures mélangés mécaniquement avec la gutta-percha, ce qui est le procédé le plus généralement suivi et le seul efficace lorsque l'épaisseur des objets dépasse 1 1/2 à 2 millimètres, il est nécessaire de prendre quelques précautions, pour éviter les piqûres et les soufflures qui se produisent fréquemment à l'intérieur de la masse. La gutta-percha renferme en effet des huiles essentielles qui se volatilisent aux températures de la vulcanisation et dont il est nécessaire de se débarrasser, si l'on veut obtenir des objets compacts et non poreux. On atteint facilement ce résultat en soumettant la gutta-percha, avant de la mélanger avec le soufre, à une température de 150° environ, pendant quelques heures ; on exécute ensuite le mélange et on vulcanise comme s'il s'agissait du caoutchouc.

En employant des mélanges contenant 3 à 10 % de soufre, chargés ou non, et es exposant ensuite à une température de 128 à 140°, pendant un laps de temps de une à trois heures, variable avec la nature de la composition, on obtient de la gutta-percha souple.

Dans le cas où il s'agit de préparer de la gutta-percha durcie, on opère absolument comme pour le caoutchouc durci, c'est-à-dire qu'on ajoute à la gutta-percha préalablement chauffée de 30 à 50 % de soufre, puis le mélange est soumis pendant 4 à 10 heures à une température de 130 à 145°, suivant les circonstances. Le produit obtenu est très dur et très noir s'il est pur ; ces deux caractères, toutes choses égales d'ailleurs, sont plus accentués que lorsqu'il s'agit du caoutchouc ; à part cette différence, les propriétés de la gutta-percha durcie noire ou colorée sont les mêmes que celles de l'ébonite et de la vulcanite.

CONDUCTEURS ÉLECTRIQUES ISOLÉS

A LA GUTTA-PERCHA ET AU CAOUTCHOUC

On donne le nom de conducteurs électriques isolés à des fils et à des câbles métalliques entourés d'une enveloppe isolante, destinée à empêcher la déperdi-

tion du fluide électrique ; ces sortes de conducteurs sont recouverts avec de la gutta-percha, du caoutchouc ou différents composés spéciaux. Notre étude restera limitée aux applications de la gutta-percha et du caoutchouc, c'est dire que nous ne nous occuperons ici que des conducteurs isolés avec l'une ou l'autre de ces deux substances.

La gutta-percha est un corps mauvais conducteur de l'électricité, et comme son pouvoir isolant est considérable, elle a trouvé dans l'industrie des fils et câbles électriques de nombreuses applications. Cette substance a été employée pour les premiers câbles sous-marins ; aujourd'hui encore presque tous les conducteurs de cette catégorie reçoivent une enveloppe isolante en gutta-percha ; il en est de même de la grande majorité des câbles souterrains, servant à la télégraphie et à la téléphonie. Cependant, comme cette matière est d'un prix élevé, on a cherché à la remplacer par d'autres substances moins chères ; aussi utilise-t-on aujourd'hui les propriétés isolantes de plusieurs compositions particulières renfermant souvent une certaine proportion de gutta-percha ; néanmoins toutes les fois qu'on veut obtenir des câbles bien isolés, sans exagérer l'épaisseur du diélectrique, on donne la préférence à la gutta-percha pure qui continue à occuper le premier rang dans la fabrication des câbles sous-marins et souterrains.

Les câbles pour lumière électrique et ceux pour le transport de force sont ordinairement isolés avec du caoutchouc, qui paraît être le meilleur diélectrique pour ces sortes d'applications.

Les câbles pour téléphonie et pour sonneries, ne transmettant que des courants très faibles, sont recouverts tantôt avec de la gutta-percha, tantôt avec des guipages enduits de composés spéciaux.

Les fabricants de câbles électriques figurent à l'Exposition universelle dans la classe 62.

M. Menier expose une belle collection de fils et câbles pour les différentes applications de l'électricité, nous citerons : les câbles isolés à la gutta-percha et comprenant des câbles télégraphiques à un ou plusieurs conducteurs sous plomb ; des câbles sous-marins ou sous-fluviaux avec protection de jute tannée et armatures de fils de fer galvanisé ; des câbles isolés au caoutchouc, pour courants de haute et basse tension ; des câbles avec isolement au caoutchouc et tresse enduite ou sous plomb, etc. La maison Menier a fabriqué, pour les installations électriques de différentes villes, plusieurs modèles de câbles, parmi lesquels nous signalerons ceux qui ont été posés à Paris dans les rues Saint-Denis et de Bondy : ils sont composés de fils de cuivre étamé recouverts de caoutchouc et protégés par une gaine de plomb de deux millimètres et demi d'épaisseur ; ils sont placés dans des caniveaux en bois de pin injectés à la créosote, disposés en tranchées sous trottoir.

The India Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works Co a réuni, à côté de quelques spécimens de gutta-percha brute et ouvrée, plusieurs types de câbles

pour les diverses applications de l'électricité : des câbles recouverts de gutta-percha et de tissus, d'autres avec une couverture en plomb ; des câbles sous-marins et souterrains de plusieurs types, etc. ; des câbles isolés au caoutchouc pour lumière électrique et pour transport de force.

MM. François Grellou et C^e exposent des fils électriques et des câbles pour diverses applications, plusieurs spécimens de câbles pour lumière, etc.

MM. Martiny, Werstræet et C^e nous montrent des échantillons variés de fils et câbles isolés à la gutta-percha, des fils recouverts de guipages de coton, des fils et câbles pour lumière électrique isolés au caoutchouc et recouverts de guipages, etc.

MM. Houry, Aboilard et C^e exposent des fils et câbles télégraphiques de plusieurs types.

M. Henry Geoffroy fabrique des fils et des câbles isolés à la gutta-percha, des fils recouverts de soie, des câbles sous plomb et des câbles pour lumière.

La *Société générale des Téléphones* nous montre quelques échantillons de câbles électriques isolés, dans sa vitrine de la classe 45 ; mais c'est dans le pavillon spécial que cette Société a élevé près de la Tour Eiffel qu'elle a réuni une des collections les plus complètes de câbles électriques pour tous les usages.

Cette société fabrique :

Des câbles sous-marins et sous-fluviaux, isolés à la gutta-percha, protégés par des couches de jute tannée, une armature de fil de fer galvanisé, des couches de filin goudronné et de composition asphaltique ;

Des câbles télégraphiques souterrains, isolés à la gutta-percha et recouverts de rubans tannés ou caoutchoutés et d'une enveloppe de plomb ; d'autres sont protégés, comme les câbles sous-marins, par une armature de fil de fer galvanisé, par des filins goudronnés et une composition asphaltique ;

Des câbles téléphoniques souterrains de différents types, isolés à la gutta-percha et protégés comme les précédents, soit par un tube de plomb, soit par une armature de fil de fer ;

Des câbles pour lumière électrique : les uns, pour basse tension, isolés par une ou plusieurs couches de caoutchouc ou par des rubans caoutchoutés, protégés par un tube de plomb ; les autres, pour courants à haute tension, avec une forte épaisseur de caoutchouc comme matière isolante et des enveloppes protectrices variables consistant en rubans goudronnés, tube de plomb, ou armature métallique ;

Des câbles concentriques à deux conducteurs pour lumière et différents câbles spéciaux.

L'industrie des câbles électriques isolés est donc largement représentée à l'Exposition universelle ; son développement depuis une dizaine d'années est dû en grande partie aux nouvelles applications de l'électricité à la téléphonie et à l'éclairage électrique. Les câbles exposés appartiennent à tous les types ; nous allons

chercher à expliquer d'une manière générale en quoi consiste la fabrication de quelques-uns d'entre eux.

Fabrication des câbles isolés à la gutta-percha

Un conducteur électrique isolé se compose essentiellement d'un conducteur métallique et d'une enveloppe isolante ; l'ensemble de ces deux éléments constitue ce qu'on appelle l'âme. A son tour, l'âme est entourée d'une enveloppe protectrice destinée à la garantir contre les avaries, les chocs et les accidents auxquels elle est exposée. L'importance de cette enveloppe protectrice varie naturellement avec la nature du câble, la position qu'il doit occuper et différentes autres circonstances ; dans tous les cas, quel que soit le rôle qu'un tel câble doit remplir, qu'il s'agisse de transmission télégraphique ou téléphonique, qu'il serve au transport de force ou à l'éclairage électrique, il est toujours constitué par les trois éléments que nous venons d'indiquer, savoir : conducteur métallique, enveloppe isolante et enveloppe protectrice.

Conducteur. — On emploie des fils de cuivre parfaitement pur. Si ce métal contient de très faibles quantités de fer, de phosphore, d'arsenic, etc., sa conductibilité est diminuée d'une façon très sensible : ainsi, si nous exprimons la conductibilité du cuivre pur par 100, celle du même métal renfermant seulement 0.48 pour 100 de fer sera exprimée par 36 ; avec des traces d'arsenic la conductibilité est réduite à 60, etc. Les administrations qui commandent des câbles électriques spécifient généralement que le cuivre devra avoir une conductibilité égale aux 95 ou 98 centièmes du cuivre pur ; de plus, pour que la résistance électrique soit exactement la même dans toute la longueur, les fils doivent posséder une régularité parfaite, c'est-à-dire une section absolument constante.

Les conducteurs sont formés d'un ou plusieurs fils, suivant le service qu'ils doivent remplir, parfois, on en compte jusqu'à 20 et 40, mais le plus souvent le nombre de fils est compris entre 1 et 7. La section dépend du reste de l'intensité des courants transportés et doit être telle que l'échauffement produit par le passage des courants n'occasionne aucune détérioration dans l'enveloppe isolante.

Quand le conducteur est composé, ce qui est le cas le plus fréquent, les fils sont réunis en toron et sont noyés dans une matière plastique proposée en 1859 par MM. Chatterton et Willoughby Smith, et connue actuellement sous le nom de *Chatterton*, l'un des inventeurs. Le *Chatterton* est formé de gutta-percha, de résine et de goudron de Norvège dans les proportions suivantes :

Gutta-percha.	60 k.
Résine.	20
Goudron de Norvège	20
	<hr/>
	100 k.

Pour le préparer, on fait fondre, dans une bassine chauffée à la vapeur ou autrement, la résine réduite en poudre avec le goudron, puis on ajoute la gutta-percha découpée en petits morceaux. Le tout, intimement mélangé, constitue une masse pâteuse et adhésive à chaud, qui durcit par le refroidissement.

Pour fixer les idées, considérons un toron de 7 fils, composé d'un fil central entouré de 6 autres fils disposés symétriquement autour du premier. Dans ce cas, on fait passer le fil central dans une cuve remplie de Chatterton maintenu à l'état pâteux, et les 6 autres fils, enroulés régulièrement sur 6 bobines, sont disposés autour de ce noyau, au moyen d'une machine à corder. Le toron ainsi formé passe à son tour dans un bain de Chatterton pâteux qui remplit les interstices et recouvre tous les fils. Au sortir de ce bain, il traverse une ou plusieurs ouvertures qui enlèvent l'excédent de matière et le calibrent à un diamètre fixé d'avance; en même temps l'enduit se solidifie en se refroidissant.

Comme on le voit, le Chatterton sert de remplissage; en outre, il a pour but de faciliter l'adhérence de la gutta-percha, qui va être appliquée par dessus, avec le conducteur. Malgré le rôle important que semble jouer cette substance, les usines bien outillées sont parvenues à s'en passer et recouvrent directement le toron de fils de cuivre d'une graine cylindrique en gutta-percha.

Enveloppe isolante.— L'enveloppe isolante est formée de gutta-percha épurée par l'un des procédés que nous avons décrits. Pour l'appliquer sur le conducteur métallique enduit ou non de chatterton, on se sert d'un appareil désigné sous le nom de machine à couvrir et on exécute le travail en une ou plusieurs opérations, c'est-à-dire que l'épaisseur de gutta-percha qui doit entourer le conducteur est obtenue au moyen d'une ou plusieurs couches superposées.

La machine à couvrir se compose essentiellement de plusieurs ajutages dont les conducteurs en mouvement occupent le centre et à travers lesquels la gutta-percha est refoulée sous pression. Cet appareil comprend un cylindre dans l'axe duquel se trouve une vis sans fin animée d'un mouvement de rotation, et une boîte avec laquelle il communique. Sur l'une de ses faces, la boîte est percée de trous qui servent d'entrée aux fils, lesquels ressortent sur la face opposée par des filières correspondantes. La gutta-percha, qui remplit le cylindre et la boîte, est chassée, par la pression de la vis, à travers les filières; pendant ce temps, chaque fil, entrant dans la boîte et convenablement guidé, se dirige vers la filière qu'il traverse exactement dans l'axe, en laissant tout autour un espace annulaire libre, de sorte qu'il est ainsi recouvert à sa sortie d'une gaine cylindrique, puisque la gutta-percha est forcée de sortir avec lui. Les différents organes de la machine sont chauffés par un courant de vapeur circulant dans une enveloppe, de manière à ce que la matière soit rendue plastique.

Au sortir de la machine, le fil traverse un long caniveau rempli d'eau froide, afin de déterminer le refroidissement et le durcissement de la couche de gutta-percha. Ce refroidissement doit être rapide, sinon la matière encore fluide se dé-

forme, il se produit un décentrage de l'enveloppe et par suite l'isolement cesse d'être régulier. Après avoir parcouru un espace de 100 à 150 mètres et quelquefois davantage, l'âme suffisamment refroidie est enroulée sur des bobines qui, en tournant, déterminent le degré d'avancement du conducteur dans la machine.

L'enveloppe isolante est souvent appliquée sur le conducteur en 2 ou 3 couches successives ; en opérant ainsi, on diminue l'importance et les conséquences des défauts qui peuvent exister dans l'enveloppe. Pendant le passage dans la machine à couvrir, les bulles d'air restées emprisonnées dans la masse viennent se loger dans l'enveloppe ; or il est bien évident que ces bulles trouvent plus difficilement à se loger dans une couche mince que dans une couche épaisse, et en admettant même qu'un peu d'air reste logé dans la première couche par exemple, il est bien peu probable que les deux autres couches renfermeront les mêmes défauts, juste vis-à-vis les premiers. Par conséquent, en appliquant l'enveloppe isolante par couches successives, on a des chances d'éviter les bulles d'air, ou dans tous les cas, on atténue l'importance de ces défauts.

Du reste, dès que la première couche de gutta-percha est appliquée, on éprouve l'isolation du fil, en le soumettant à une très forte pression hydraulique et en y faisant passer un courant électrique pour constater sa conductibilité. Si des défauts existent, on les répare.

Avant de passer la deuxième couche et pour permettre à celle-ci d'adhérer plus intimement avec la première, on applique d'abord un enduit mince de chatterton, ce qui se fait en conduisant le fil à travers un bain pâteux de cette composition, puis en lui faisant traverser une ou plusieurs filières qui enlèvent l'excès de matière resté à la surface.

Le conducteur passe alors une seconde fois dans la machine à couvrir et après avoir été soumis à un nouvel examen et à de nouveaux essais électriques, il est enduit à nouveau de chatterton, puis traverse une dernière fois la machine à couvrir.

L'âme est alors conservée, pendant 15 à 20 jours, dans une cuve remplie d'eau ; ce n'est qu'au bout de ce temps qu'on lui fait subir de nouveaux essais électriques ; on a en effet observé que les résultats étaient plus réguliers en opérant ainsi, après quelques jours de repos, et non pas immédiatement au sortir de la machine. L'âme est prête à recevoir l'enveloppe protectrice.

Le procédé que nous venons de décrire commence à être abandonné. Plusieurs fabriques de câbles électriques appliquent maintenant l'enveloppe isolante en une seule fois, sans même prendre le soin d'enduire le conducteur avec le chatterton. Le toron de fils de cuivre, préparé dans la machine à corder, subit des essais de conductibilité, puis passe dans un tube chauffé et de là, directement, dans la machine à couvrir dont les filières sont établies de manière à obtenir, en une seule opération, l'épaisseur convenable de gutta-percha. Comme il est facile de le comprendre, cette nouvelle méthode simplifie considérablement le travail et sup-

prime l'emploi du chatterton ; mais elle exige, d'un autre côté, des appareils plus perfectionnés et des précautions pour éviter l'introduction de l'air dans la machine ; en outre, l'âme doit être refroidie rapidement au sortir de la filière, afin d'éviter la déformation de l'enveloppe et par suite les décentrages.

On procède alors à différents essais ; ainsi dans le cas où il s'agit de câbles sous-marins, on expose l'âme à une pression hydraulique supérieure à celle qu'elle est destinée à supporter en service, de sorte que si des bulles d'air sont emprisonnées dans l'enveloppe, elles apparaissent à la surface et les défauts sont aussitôt réparés. Pour exécuter ces essais, l'âme enroulée sur un tambour est introduite dans un cylindre hydraulique où elle est soumise, au moyen d'un accumulateur, à une pression de 500 à 600 kilogrammes par centimètre carré ; pendant qu'elle supporte cette pression, on fait passer dans le fil un courant électrique qui permet de constater les pertes et les défauts, s'il y en a. Après cette épreuve, l'âme passe à l'atelier des enveloppes protectrices.

Les câbles isolés à la gutta-percha sont toujours très employés ; cependant on se sert aussi de composés spéciaux, formés de substances diverses, dans lesquels il entre souvent une certaine quantité de gutta-percha. Nous ne faisons que signaler ces compositions, qui peuvent varier beaucoup, et qui sont souvent appliquées sur le conducteur par des procédés analogues à celui dont il vient d'être question.

Enveloppes protectrices. — Les enveloppes protectrices varient avec le service que les câbles sont destinés à remplir et avec le milieu dans lequel ils doivent fonctionner.

Les câbles sous-marins exigent une enveloppe protectrice d'une nature toute particulière et dont les dimensions varient, suivant la nature du fond sur lequel ils reposent et suivant la profondeur d'immersion. L'enveloppe protectrice doit pouvoir résister aux efforts développés pendant la pose, et aussi aux courants et remous auxquels le câble est exposé au fond de la mer ; c'est ce qui fait qu'on emploie des armatures métalliques très puissantes constituées par un certain nombre de fils de fer enroulés en hélice.

Pour garantir l'âme contre les déformations que l'armature métallique pourrait occasionner, on la recouvre d'abord de 2 ou 3 protections ou enveloppes de jute tanné. Dans les câbles fabriqués antérieurement à l'année 1860, le chanvre ou le jute servant à entourer l'âme était imbibé de goudron. M. Willoughby Smith fit alors remarquer que le goudron, par suite de sa propriété isolante, avait une tendance à masquer temporairement les imperfections pouvant exister dans l'enveloppe en gutta-percha ; les défauts se manifestaient ensuite, quand le câble était en service, et occasionnaient alors des arrêts fort préjudiciables. C'est pour remédier à ces inconvénients que M. Willoughby Smith proposa de remplacer le goudron par le tannin, qui est un corps conducteur plutôt qu'un isolant, et qui, par suite, a pour effet de développer les défauts existants au lieu de les atténuer, comme le fait le goudron. Ces idées furent adoptées, et depuis 1860

l'âme des câbles sous-marins est généralement recouverte de chanvre ou de jute plongé dans le tannin.

Après avoir observé la qualité de son isolation, l'âme entourée de jute tanné passe dans la machine à câbler où elle est recouverte d'un certain nombre de fils de fer ou d'acier disposés en hélice. Quand les circonstances l'exigent, une deuxième armature de fils d'acier est appliquée par dessus la première ; puis pour préserver ces armatures métalliques contre l'action de l'eau de mer, on les recouvre d'une couche de goudron, ensuite de deux bandes de chanvre et de jute goudronné, enroulées en hélice, l'une dans un sens, l'autre en sens contraire ; enfin on applique un composé bitumineux par dessus le tout.

Toutes ces opérations s'exécutent dans une série d'appareils disposés en ligne, l'âme entre à une extrémité, le câble tout fabriqué s'enroule à l'autre extrémité sur une grande poulie ou tambour qui reçoit le mouvement du moteur de l'atelier. Un frein très puissant permet d'arrêter instantanément tout l'ensemble, dès qu'un accident se produit.

Malgré les complications des organes et des opérations nécessitées par ces différentes enveloppes protectrices, on peut fabriquer facilement 6000 mètres de câbles par jour.

Les câbles terminés sont emmagasinés dans des cuves où ils restent jusqu'au moment de la pose.

La fabrication des câbles souterrains est beaucoup moins compliquée. Ceux qui doivent être placés dans des tuyaux en fonte ou en poterie installés sous le sol, sont simplement recouverts de deux à trois couches de chanvre ou de jute imprégné de tannin, afin de garantir l'enveloppe isolante pendant la pose. On fabrique aussi des câbles électriques à enveloppe de plomb ; dans ce cas, l'âme est d'abord entourée de deux couches de jute tanné et est ensuite introduite dans un tuyau en plomb d'un diamètre un peu supérieur. Pour assurer l'adhérence entre le tuyau en plomb et l'âme, on fait passer le câble ainsi préparé dans des filières d'un diamètre convenable ; grâce à sa malléabilité, le plomb s'aplatit contre l'âme. Les câbles sous plomb sont ordinairement placés dans les égouts des villes.

Lorsque les câbles souterrains sont placés dans des tranchées creusées dans le sol ; on les fabrique comme des câbles sous-marins, mais avec une armature métallique moins résistante.

Câbles isolés au caoutchouc

Les câbles isolés au caoutchouc se fabriquent de la manière suivante :

Les fils de cuivre, qui doivent être étamés afin d'empêcher l'oxydation, traversent d'abord la machine à câbler d'où ils sortent sous forme d'un toron qui est dirigé à travers une dissolution de caoutchouc dans la benzine. Le toron ainsi imprégné de dissolution parcourt l'intérieur d'un tube en fer, chauffé ex-

térieurement, afin de hater l'évaporation de la benzine ; au besoin, on applique par ce procédé plusieurs couches, de manière à obtenir une épaisseur convenable de caoutchouc. La dissolution employée dans cette circonstance ne doit renfermer ni soufre, ni sulfure pour que la gaine de caoutchouc formée autour du conducteur ne soit pas susceptible d'être vulcanisée par le procédé du chauffage ; on évite ainsi les réactions qui pourraient se produire entre le cuivre et le soufre, si ces deux substances se trouvaient en présence.

Le conducteur ainsi recouvert se rend dans une machine où il reçoit une autre gaine de caoutchouc mélangé renfermant une certaine proportion de soufre. Dans cette machine, le conducteur passe entre deux bandes longitudinales de caoutchouc dont les bords sont coupés mécaniquement par deux couteaux ; les bords fraîchement coupés sont pressés l'un contre l'autre par deux disques à rainure qui déterminent ainsi l'adhérence, et assurent la formation d'une gaine cylindrique qui entoure la première. L'épaisseur du caoutchouc varie naturellement avec la nature du courant que le câble est destiné à transmettre.

Par dessus, on enroule en hélice et en sens inverse deux bandes de toile solutionnée, c'est-à-dire recouverte d'une dissolution de caoutchouc dans la benzine.

Le câble ainsi constitué est enroulé sur un tambour ou bobine en fer que l'on introduit dans un vulcaniseur et dans lequel il reste, pendant 1 à 3 heures, à une température de 130 à 145°, suivant les proportions de soufre contenues dans les mélanges. Au bout de ce temps, le caoutchouc est vulcanisé, à l'exception toutefois de la première enveloppe en contact avec les fils de cuivre.

Ces sortes de câbles, dont la construction peut varier suivant les besoins, sont principalement employés pour la lumière électrique et pour le transport de force. Ils sont protégés par une forte tresse de chanvre goudronné, par un tuyau en plomb ou par tout autre moyen ; ils sont posés dans les égouts, ou dans des canaux spéciaux installés sous le sol.

Pour les câbles dont nous venons de parler, il est absolument indispensable d'intercaler, entre les fils de cuivre et le caoutchouc sulfuré, une certaine épaisseur de caoutchouc sans soufre.

En effet, le cuivre serait attaqué par le soufre en excès que tout caoutchouc vulcanisé renferme toujours en proportions variables ; c'est pour éviter le contact entre ces deux corps qu'on recouvre les fils de cuivre étamé avec une couche de caoutchouc pur ; certains fabricants ajoutent par dessus une couche de caoutchouc mélangé sans soufre, et entourent le tout d'une gaine de caoutchouc mélangé avec soufre, c'est-à-dire susceptible de se vulcaniser par une exposition à une température convenable.

Pendant ces derniers temps, les nombreuses installations d'éclairage électrique, exécutées à l'intérieur de l'Exposition universelle et dans Paris, ont donné un grand essor à la fabrication de câbles isolés au caoutchouc.

LES MACHINES FRIGORIFIQUES

et leurs applications

à l'Exposition universelle de 1889

PAR

Gustave RICHARD

INGÉNIEUR CIVIL DES MINES

~~~~~

Nous nous proposons de décrire dans ce mémoire, qui n'est pas un traité, les principaux appareils actuellement employés dans l'industrie pour la production artificielle du froid et leurs applications les plus importantes : nous ne ferons qu'insister plus longuement sur les appareils exposés, en trop petit nombre pour que leur description seule eût suffi à donner une idée assez exacte de l'état actuel de l'industrie du froid.

En outre, nous n'avons pas hésité à faire, pour la rédaction de ce mémoire, de nombreux emprunts au travail que nous avons présenté sur ce même sujet au congrès international de mécanique appliquée (1).

Les divers moyens appliqués ou proposés pour la production du froid artificiel sont très nombreux, mais un seul a survécu et semble devoir se maintenir dans la grande industrie du moins : c'est celui qui consiste à utiliser le froid produit par la détente d'un gaz comprimé ou d'une vapeur liquéfiée, refroidis pendant leur compression.

Parmi les autres moyens, que nous nous bornerons à indiquer en passant, il faut retenir le suivant, fondé sur le principe de Leslie, et qui consiste essentiellement à vaporiser dans le vide un liquide plus ou moins volatil, dont les vapeurs sont ensuite rejetées dans l'atmosphère (*Atkinson*) ou absorbées par un réactif que l'on régénère indéfiniment. Le type le plus connu de ces machines est l'appareil domestique de *Carré* (2) qui emploie comme liquide volatil l'eau même à congeler et comme absorbant l'acide sulfurique, déjà préconisé par *Nairne* (1880), *Vallance* (3) et *Tellier* (4). Tout récemment M. *Fleuss* (5) a apporté à cet appareil quelques modifications de détail, qui en rendent le maniement plus

1. Production mécanique et utilisation du froid artificiel (*Bulletin de la Société d'Encouragement*, (novembre et décembre 1889), *Comptes-Rendus du Congrès et Annales du Conservatoire des Arts-et-Métiers*, 2<sup>e</sup> série, vol. 1.

2. Brevets anglais 4164 de 1876.

3. Brevets anglais 4884 et 5001 de 1874.

4. Brevet anglais 228 de 1872.

5. Brevets anglais 2408 de 1875 et 223 de 1887.

facile, mais sans lui enlever l'inconvénient du danger que présente fatalement l'emploi de l'acide sulfurique dans les usages domestiques. D'autres inventeurs, notamment *Windhausen* (1), *Galland* (2), *Conacher*, *Williams* et *Lange* (3) ont appliqué en grand les appareils à acide sulfurique; mais les difficultés inhérentes à la délicatesse des pompes à faire le vide, à la manutention et à la régénération de l'acide ont empêché ces appareils de se maintenir dans la pratique, malgré leurs dispositions ingénieuses et la supériorité temporaire de leur rendement.

On évite ces manipulations dangereuses et compliquées, mais aux dépens du rendement et de l'activité de la machine, en remplaçant l'absorption des vapeurs par une condensation, comme dans l'appareil d'*Atkinson* (4) et dans l'intéressante petite machine industrielle de *Blythe* et *Southby*, qui présente en compensation l'avantage très précieux d'une innocuité parfaite (5).

La production du froid par les *dissolutions salines* et les combinaisons endothermiques est également restée limitée aux appareils domestiques, malgré l'ingéniosité développée par un grand nombre d'inventeurs, notamment *Siemens* (6), *Mort* (7), *Rossi* (8), *Galland* et *Wilson* (9). Enfin, tout récemment M. *Dewey* a proposé de produire le froid en utilisant les effets électro-thermiques de Peltier et de Thomson (10).

Nous allons maintenant étudier avec quelques détails le genre de machines frigorifiques presque exclusivement adoptées aujourd'hui dans l'industrie, fondées, comme nous l'avons dit, sur l'emploi de la détente des gaz comprimés ou de vapeurs liquéfiées.

Ces machines se divisent en deux classes :

*Machines à gaz comprimés;*

*Machines à gaz liquéfiés.*

Les machines à gaz liquéfiés se divisent elles-mêmes en deux variétés: machines à *compression* et machines à *affinité*, suivant qu'on emploie, pour liquéfier les gaz, la compression mécanique, ou, après leur dissolution dans un liquide absorbant, l'action de la chaleur sur ce liquide.

## Machines à air

*Considérations générales.* — Le principe très simple du fonctionnement des machines frigorifiques à air est le suivant : si, après avoir comprimé une masse

1. Brevets anglais 1678 de 1878, 2010 de 1880. — *Engineering*, 27 octobre 1882, p. 404. — *La Nature*, 3 mai 1884.

2. Brevet anglais 1346 de 1873. — PÉCLET, *La Chaleur*, t. III, p. 150.

3. Brevets anglais 14082 de 1886; 1181, 2319 de 1887; 860 de 1888.

4. Brevet anglais 16547 de 1886.

5. *The Engineer*, 28 décembre 1888, p. 530.

6. Brevets anglais 1105 de 1855, 2074 de 1858.

7. Brevet anglais 1208 de 1876.

8. id. 8777 de 1884.

9. id. 1308 de 1879.

10. *Electrical World*. 26 octobre 1889, p. 274.

d'air, on la laisse se refroidir à la température ambiante, puis se détendre en accomplissant un travail, cet air se refroidira au-dessous de la température ambiante d'une quantité proportionnelle au travail de détente (1).

Dans les machines à cycle fermé, c'est toujours la même masse d'air qui agit, tantôt comprimée, tantôt détendue, circulant indéfiniment dans la machine; avec les machines à cycle ouvert, l'air se renouvelle à chaque aspiration du compresseur, pour être expulsé dans l'atmosphère après sa détente. On peut évidemment, dans ce dernier cas, utiliser la basse température de l'air qui retourne ainsi dans l'atmosphère pour refroidir l'air aspiré au compresseur : c'est une application aux machines frigorifiques des récupérateurs de chaleur des moteurs à air chaud.

Il est d'ailleurs facile de voir, d'après ce qui précède, que l'on peut considérer en général les machines frigorifiques à air comme l'inverse des moteurs thermiques ou à air chaud : elles transforment du travail en chaleur de compression, tandis que les moteurs thermiques transforment de la chaleur en travail de détente.

On en déduit immédiatement cette conséquence, vérifiée par la pratique : que, toutes choses égales, le rendement des machines frigorifiques diminue avec la chute de température, ou avec l'écart des températures extrêmes de leur cycle ; mais on peut faire ressortir plus clairement la raison d'être de ce fait important et caractéristique en remarquant que le rendement d'une machine frigorifique est d'autant plus élevé que la chaleur cédée par le corps à refroidir au gaz détendu diffère moins de celle qu'il faut enlever à l'air pendant sa compression. Le rendement serait égal à l'unité si ces chaleurs étaient égales, puisque l'on utiliserait alors en froid, ou en calories négatives, l'équivalent du travail de compression dissipé en chaleur absorbée par le refroidissement du compresseur. Or, la température initiale  $t_1$  de l'air est donnée — c'est la température de l'atmosphère — ainsi que la température  $t_3$  au commencement de la détente, qui est celle de l'eau dont on se sert pour refroidir le compresseur : la température  $t_2$  de l'air à la fin de sa compression, avant son refroidissement, et sa température  $t_4$  à la fin de sa détente sont, au contraire, variables à volonté. La chaleur de compression étant proportionnelle à  $(t_2 - t_3)$  et la chaleur prise au corps refroidi à  $(t_1 - t_4)$ , on voit, que le rendement thermique augmente à mesure que diminue la différence :

$$(t_2 - t_3) - (t_1 - t_4),$$

ou, puisque  $t_1$  et  $t_3$  sont constantes, la différence

$$t_2 - t_4$$

des températures extrêmes du cycle.

1. A consulter sur les machines à air: Armengaud. « Etude sur la production mécanique du froid. 1874, Ledoux. — Théorie des machines à froid (*Annales des Mines*, juillet-août 1874). — Lightfoot. *Machines for producing cold, air* (Inst. of Mechanical Engineers, janvier 1881). — J. Coleman. *Refrigerating Machinery* (Inst of Civil Engineer, London, 14 février 1882).

Pour  $t_2 = t_4$  le rendement serait, comme nous l'avons dit, égal à l'unité; mais la puissance frigorifique de la machine serait aussi tout à fait nulle : cette puissance, ou l'activité frigorifique, diminue en effet avec la chute de température. — Sous une autre forme, on obtiendrait théoriquement, en diminuant la détente de l'air, des coefficients économiques plus élevés, mais aussi des machines moins énergiques, de plus en plus encombrantes, plus coûteuses, et d'un rendement organique de moins en moins élevé, de sorte qu'il s'établît, bientôt entre ces divers facteurs de la valeur réelle de la machine, un équilibre dont on ne peut guère formuler l'équation, mais que la pratique ne tarde pas à préciser suffisamment pour chaque application particulière.

Dans la majorité des cas, on admet comme la plus avantageuse une détente de l'air variant de 2,5 à 3.

On suppose parfois que l'air décrit dans les machines frigorifiques le cycle de rendement maximum ou de Carnot, compris, comme on le sait, entre deux adiabatiques et deux isothermiques. — Dans ce cas, le coefficient économique de la machine frigorifique, inverse de celui du moteur à air chaud correspondant, est égal à :

$$\frac{T_4}{T_2 - T_4},$$

et le travail  $\theta$ , nécessaire pour produire une calorie négative  $a'$

$$\theta = 425 \frac{T_2 - T_4}{T_4}.$$

Il va sans dire que ces rendements ne sont jamais atteints en pratique par la raison que les machines à air ne fonctionnent jamais suivant un cycle de Carnot. Les compressions et les détentes adiabatiques sont en effet irréalisables à cause de la conductibilité des parois; et, lors même qu'on pourrait les réaliser, on n'aurait probablement aucun intérêt à employer le cycle de Carnot, qui conduirait, en raison de l'acuité des angles sous lesquels se coupent les adiabatiques et les isothermiques, à des machines de dimensions exagérées, perdant en résistances passives, en frais d'achat et d'entretien, tout le bénéfice thermique du cycle.

Dans la pratique, on n'opère pas, comme le suppose la théorie, la compression de l'air en deux phases : une compression adiabatique suivie d'un refoulement à pression constante grâce à un refroidissement du gaz comprimé; on effectue au contraire la compression d'un seul coup, autant que possible suivant une isothermique. En un mot, au lieu d'amener le point

figuratif du cycle de  $a$  en  $c$ , par le trajet  $abc$  (fig. 1), on l'y amène directement par  $ac$ , suivant une courbe se rapprochant autant que possible d'une isothermique. — On diminue ainsi le travail de compression d'une quantité représentée par l'aire du triangle  $abc$ , sans rien changer à la puissance de détente ou à l'énergie frigorifique de l'air définie par la position du point  $c$ .

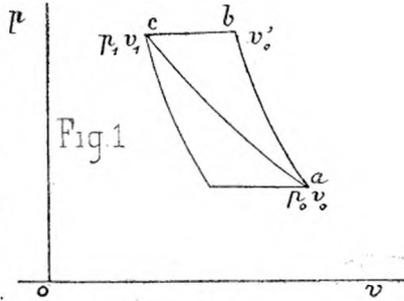


Fig. 1

*Courbes réelles de compression et de détente.* — Il faut, pour apprécier l'écart entre les courbes réelles de détente et de compression de l'air et les courbes théoriques, s'en référer aux diagrammes relevés sur les compresseurs et les détendeurs.

— Les figures 2 et 3, dans lesquelles on a reporté, à côté des courbes théoriques, les courbes de diagrammes pris sur des machines à air de M. Lightfoot, nous fournit quelques renseignements à cet égard. — Pendant la compression, la courbe du diagramme BF se rapproche plus de la courbe adiabatique BD, correspondant à une élévation de température de  $130 - 10 = 120^\circ$ , que de l'isothermique correspondant à une élévation de température nulle. L'air employé renfermait 0,007 de vapeur d'eau en poids, ou 88 % de l'hygrométrie de saturation à sa température initiale de  $10^\circ$ .

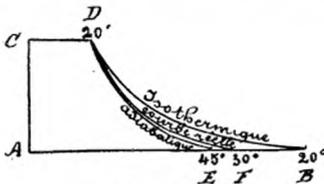


Fig. 2

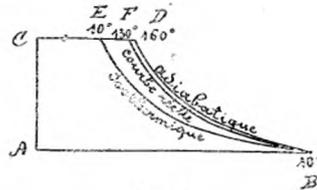


Fig. 3

Après sa compression, l'air était, dans cette machine, abaissé, par un réfrigérant convenable de  $104$  à  $20^\circ$ , point à partir duquel il se détendait (fig. 2), suivant une courbe plus rapprochée, comme cela doit être, de l'adiabatique DF que de l'isothermique DB, et tombait à une température de  $-60^\circ$ , plus élevée de  $20^\circ$  que la température limite correspondant à l'adiabatique ( $^1$ ).

L'humidité de l'air vient s'ajouter à la conductibilité plus ou moins parfaite des parois des cylindres compresseurs et détendeurs pour apporter dans l'allure des courbes de compression et de détente des perturbations impossibles à définir par le calcul, parce que la vapeur d'eau y subit des changements d'état indé-

1. Lightfoot. « On machines for producing cold air » Inst. of Mechanical Engineers, janvier 1881.

minées : une surchauffe partielle pendant la compression et une congélation partielle pendant la détente. Cette congélation, qui détermine une précipitation de la vapeur sous forme de givre, de glace ou de neige impalpable ne tarderait même pas, si l'on ne prenait les mesures nécessaires pour s'en débarrasser, à arrêter le fonctionnement de la machine. — Sans essayer de chiffrer exactement l'influence de l'humidité de l'air sur le rendement, on peut néanmoins définir son action : elle a pour effet d'élever la température de l'air détendu par sa chaleur de congélation, et de diminuer par conséquent le rendement d'autant plus que la détente ou la pression initiale de l'air est plus faible, compensant ainsi en partie, comme les résistances passives, l'avantage des faibles détentes et des chutes de température modérées.

On peut, il est vrai, éviter ces inconvénients de l'humidité de l'air en marchant à cycle fermé, avec une masse d'air toujours la même, desséchée une fois pour toutes; mais, tout en augmentant ainsi le rendement même de la machine, on n'obtiendrait que de mauvais résultats pour l'une des applications les plus rationnelles et des plus importantes de ces appareils : la production directe de l'air froid. La déféctuosité inévitable de l'engin intermédiaire qu'il faudrait employer compenserait, et au delà, l'amélioration du rendement de la machines à air. Aussi les machines à air à cycle fermés ne sont elles peu répandues.

*Refroidissement complémentaire. Emploi des régénérateurs.* — Le refroidissement de l'air pendant sa compression, par une circulation d'eau autour des compresseurs, unique ou combinée avec une injection d'eau ne suffit pas; il faut le compléter par le passage de l'air au travers d'un refroidisseur interposé entre le compresseur et le détenteur, et disposé de manière à sécher l'air, c'est-à-dire, à le ramener à l'état hygrométrique correspondant à sa température et à sa pression à l'entrée du détenteur. — Ce séchage est nécessaire surtout avec les compresseurs à injection d'eau, où le volume de cette injection atteint environ le centième d'une cylindrée. Ces refroidisseurs peuvent prendre les formes les plus variées, mais la plupart sont constitués, sur le principe des condenseurs à surface des machines à vapeur, par une série de tubes ou de serpents entourés d'une circulation d'eau froide et parcourus par l'air à refroidir.

On peut, comme nous l'avons déjà fait remarquer, compléter ce refroidissement au moyen de l'air froid qui s'échappe, imparfaitement utilisé, du bac à glace ou de la chambre refroidie par la machine. Il suffit de faire traverser, à l'air comprimé et déjà refroidi en partie par un premier appareil à circulation d'eau, un second condenseur à surfaces refroidies par l'air de la chambre froide. Cette solution très rationnelle, indiquée et appliquée par sir *William Siemens* dès 1857 (1), exige, pour être efficace, des surfaces de refroidissement très étendues, en raison du peu de conductibilité de l'air et de sa faible chaleur spécifique. On peut citer

1. Brevet anglais 2064 de 1857 et Siemens. Scientific works. Vol. II, p. 192.

parmi les inventeurs qui l'ont appliquée avec le plus de succès : MM. *Windhausen* <sup>(1)</sup> et *Bell-Coleman* <sup>(2)</sup>.

MM. *Lightfoot* et *Hall*, dont les machines figuraient à l'Exposition, effectuent ce refroidissement d'une manière différente, dans un petit cylindre détenteur spécial, que l'air traverse avant d'arriver au grand cylindre, et au sortir duquel il abandonne la plus grande partie de son humidité en parcourant, entre le petit et le grand détenteur, un sécheur à chicanes disposées comme celles d'un anti-primeur de chaudières à vapeurs. — Nous décrirons plus bas en détail cette ingénieuse disposition en même temps que les machines de M. Hall.

Mais l'emploi des refroidisseurs sécheurs les plus efficaces ne peut jamais abaisser l'humidité de l'air au-dessous de l'état hygrométrique normal correspondant à sa pression et à sa température à l'entrée du détenteur principal; de là, dans ce détenteur, formation d'un précipité de neige ou de givre, réduit sans doute au minimum, mais néanmoins assez important pour nécessiter, avec la plupart des machines à cycles ouverts, l'emploi d'appareils spécialement disposés pour évacuer méthodiquement cette neige. — Ces appareils, ou boîtes à neige — *snow-boxes* des anglais — consistent essentiellement en une capacité ou chambre de dépôt faisant suite au détenteur, pourvue de pointes, de rugosités ou de chicanes disposées de manière à y faciliter la précipitation de la neige et du givre qui s'échappent du détenteur. — On vide de temps en temps ces boîtes, qui doivent être facilement accessibles, et sur lesquelles les soupapes d'échappement du détenteur doivent s'ouvrir de manière à faciliter l'évacuation de la neige.

Parmi les moyens proposés pour augmenter le rendement des machines frigorifiques à air, il convient de citer, comme des plus intéressants et des plus rationnels en théorie, l'emploi de régénérateurs analogues à ceux des moteurs à air chaud, c'est-à-dire, constitués par des réseaux de toiles métalliques ou de briques perforées, plus actifs et moins encombrants que les refroidisseurs auxiliaires dont nous venons de parler. Malheureusement, ces régénérateurs présentent en pratique, aussi bien dans les machines frigorifiques que dans les moteurs à air chaud, de graves inconvénients : ils se rouillent et s'engorgent par l'humidité de l'air et les dépôts de givre — leur fonctionnement très imparfait et leur entretien difficile ont obligé les constructeurs à y renoncer, même pour les machines à cycle fermé, comme celles de *Kirk*, l'un des premiers inventeurs qui ait essayé l'application de ces régénérateurs aux machines frigorifiques <sup>(3)</sup>.

Dans la machine de *Kirk* (fig. 4) que nous ne pouvons que rappeler sans la décrire en détail, l'air, toujours le même, était alternativement comprimé puis détendu

1. Brevet anglais 669 de 1869

2. *Inst. of Civil Engineers, London*, 14 février 1882.

3. Brevet anglais 1218 de 1862. *Inst. of Civil Engineers*, 1874, vol. XXXVII, p. 244 et 20 mars 1884.

par un compresseur spécial. Lors de sa compression, il passait dans un cylindre vertical, sous un gros piston déplaceur épais, non conducteur, et renfermant au centre les toiles métalliques du régénérateur : ce piston était alors au haut de sa course, et l'air comprimé se refroidissait à  $t_1^{\circ}$  au contact du fond du cylindre rafraîchi par une circulation d'eau très active. — L'air comprimé, ainsi rafraîchi

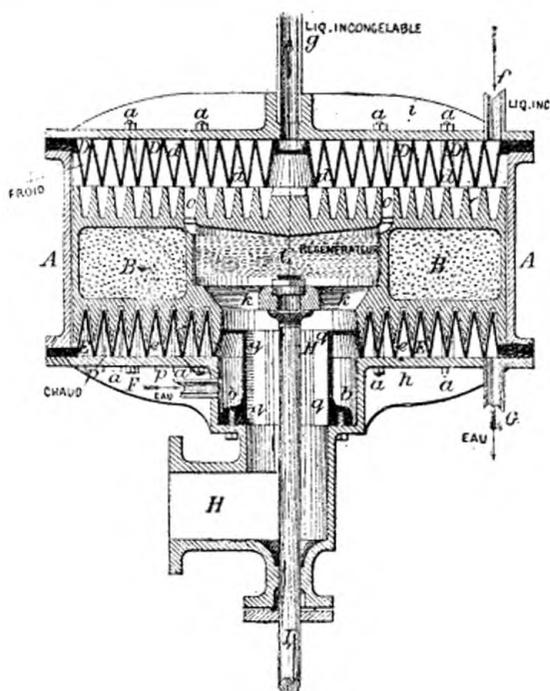


Fig. 4. — Régénérateur Kirk.

LÉGENDE. — B, Piston déplaceur non conducteur renfermant au centre le régénérateur à toiles métalliques C. Les deux faces du piston sont garnies de saillies circulaires qui viennent s'emboîter dans les canaux circulaires correspondants  $d$  et  $e$ , dont sont munis les fonds D et E du cylindre A. Ces canaux sont constitués par des tôles embouties galvanisées, aussi peu épaisses que possible, maintenues entre les brides du cylindre A et consolidées par des supports boulonnés  $a$ . Le fond inférieur E est rafraîchi à  $t^{\circ}$  par une circulation d'eau qui entre par  $f$  et sort par C, après avoir parcouru les canaux de circulation  $e$ , et circulé autour de l'enveloppe Hb de la tige du piston I. Cette enveloppe est pourvue d'ailettes radiales  $q$ , destinées à transmettre son froid à l'air comprimé chaud admis du compresseur au régénérateur par H, lorsque le piston B se trouve en haut de sa course. L'air comprimé se refroidit alors à  $t_1$ , au contact du fond E et des ailettes  $q$ . Le fond supérieur D est parcouru suivant  $fg$  par une circulation de liquide incongelable auquel l'air, refroidi à  $t_2$  par sa détente lors du retour du piston compresseur, transmet son froid après avoir traversé le régénérateur C, par  $ko$ , à la descente du piston déplaceur B.

à  $t_1^{\circ}$ , se détendait ensuite en traversant le régénérateur pendant la descente du piston déplaceur. Il communiquait sa température de détente  $t_2$  au régénérateur, et refroidissait le liquide incongelable qui circulait dans le fond supérieur du cylindre, que l'on employait comme véhicule du froid. Lorsque le piston

déplaceur remontait, l'air détendu repassait au travers du régénérateur avant d'aller se recomprimer de nouveau au compresseur, et recommencer l'opération que nous venons de décrire. La machine de Kirk date de 1862 — elle constitue à peu près la seule tentative sérieuse d'application des régénérateurs aux machines frigorifiques à air : elle n'a pas réussi, malgré les détails de construction très ingénieux proposés par son inventeur, et cette idée n'a pas été reprise depuis. J'ai cru devoir néanmoins le signaler à nos lecteurs pour les avertir de la difficulté pratique de ce problème théoriquement fort simple, mais sans vouloir néanmoins décourager des essais dans cette voie, car on ne doit jamais désespérer de voir un jour se réaliser l'application heureuse d'une idée théoriquement exacte.

Quel que soit leur avenir, et nous ne pensons pas que l'on puisse améliorer beaucoup leur rendement, les machines à air se présentent comme des appareils d'un rendement très inférieur à celui de leurs analogues : les machines frigorifiques à gaz liquifiés par compression ; leur rendement organique ne dépasse guère 80 %, et leur rendement frigorifique une production de 1000 calories négative environ par cheval-heure indiqué au compresseur, et il faut faire passer dans les compresseurs environ 40 litres d'air par calorie négative. Ce ne sont là, bien entendu, que des données moyennes, suffisantes pour ne caractériser qu'en gros l'allure générale des machines frigorifiques à air.

Avant d'aborder l'analyse des principaux organes des machines à air, je signalerai quelques types dans lesquels on s'est écarté de la combinaison ordinaire de ces machines, composées d'un *compresseur*, d'un *refroidisseur* d'air comprimé, d'un *détendeur* et d'un *réfrigérant*. Telles sont les machines d'Allen<sup>(1)</sup> et de Klein<sup>(2)</sup> où l'air fonctionne entre des pressions élevées, 20<sup>atm</sup> et 5<sup>atm</sup>, de manière à diminuer l'encombrement, la machine de M. Herbert Lloyd<sup>(3)</sup> mixte, à air et à gaz ammoniac, dans laquelle l'air comprimé est, avant de passer au détendeur, refroidi par une vaporisation de gaz ammoniac liquéfié, et quelques machines, comme celles de G. Stoper<sup>(4)</sup> et de Dugald Clerk<sup>(5)</sup>, où la compression puis la détente s'opèrent successivement, dans plusieurs cylindres disposés en cascade.

## Principaux organes des machines à air

Nous allons, avant d'aborder la description proprement dite des principales machines à air, passer rapidement en revue les organes les plus importants de ces

- |     |                             |
|-----|-----------------------------|
| (1) | Brevet anglais 472 de 1882. |
| (2) | id. 1944 de 1881.           |
| (3) | id. 1420 de 1883.           |
| (4) | id. 1522 de 1856.           |
| (5) | id. 3536 de 1881.           |

machines, qui sont communs à tous ces appareils.— Notre tâche sera facile, car la plupart de ces organes procèdent presque directement des mécanismes analogues, dont on trouve la description et l'étude approfondie dans les traités de mécanique générale, et dont ils ne diffèrent que par des détails d'adaptation.

Les principaux organes d'une machine frigorifique à air sont, comme cela résulte de leur définition générale :

- le *compresseur* ;
- le *refroidisseur et sécheur* d'air ;
- le *détendeur* avec sa boîte à neige ;
- le *réfrigérant*.

*Compresseur.* — Le compresseur peut être à simple ou à double effet ; on y distingue comme principaux éléments :

- les *soupapes* et *distributeur*s,
- les *garnitures* ou *stuffing-box*,
- le *piston*,
- les *moyens de refroidissement*.

Les compresseurs à double effet sont les plus fréquemment employés, surtout sur les navires, où l'encombrement doit être réduit le plus possible. A terre, où cette considération n'a pas la même importance, on préfère souvent les cylindres à simple effet, plus accessibles et sans autre garniture que celle du piston ; moins actifs, le refroidissement de l'air pendant la compression y est plus facile, et ils durent plus longtemps.

Les *soupapes*, ordinairement en fer ou en acier, sont en général pourvues d'un amortisseur des chocs, *dash-pot* ou autre : le dispositif des machines *Clerk* (1) (fig. 5) est l'un des mieux étudiés. Les soupapes de *M. Giffard* sont, comme nous le verrons plus bas, soit en acier battant par une seule ligne de contact sur un siège en bronze ou en caoutchouc (2), soit formées d'un corps en caoutchouc serré entre deux rondelles métalliques et appliqué sur le siège par la pression même de l'air comprimé, qui dilate le caoutchouc (3).

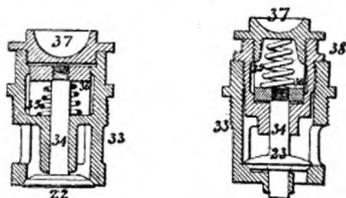


Fig. 5.— *Clerk*. Soupapes d'aspiration et de refoulement. 37, 38 bouchons qu'il suffit de dévisser pour avoir la soupape dans la main. 34, tige des soupapes 22 et 23 ; 25 ressort de rappel. 36 piston formant amortisseur des choc. 33 corps de la chapelle des soupapes vissé dans les fonds du cylindre compresseur.

Les soupapes d'aspiration du compresseur des machines de *Haslam* (4) sont, fig. 7 et 8, articulées à leurs tiges par un joint sphérique leur permettant de s'appliquer toujours exactement sur leur siège, qui est refroidi, comme celui des soupa-

1. Brevet anglais 3536 de 1881.
2. id. 3108 de 1877.
3. id. 2064 de 1875.
4. id. 3032 de 1883.

pes de refoulement, par une circulation d'eau. Il en est de même du siège des soupapes de M. *Matthews* (1), (fig. 8), qui sont formées par une large rondelle annulaire découpée en secteurs flexibles, occupant tout le fond du cylindre. Les

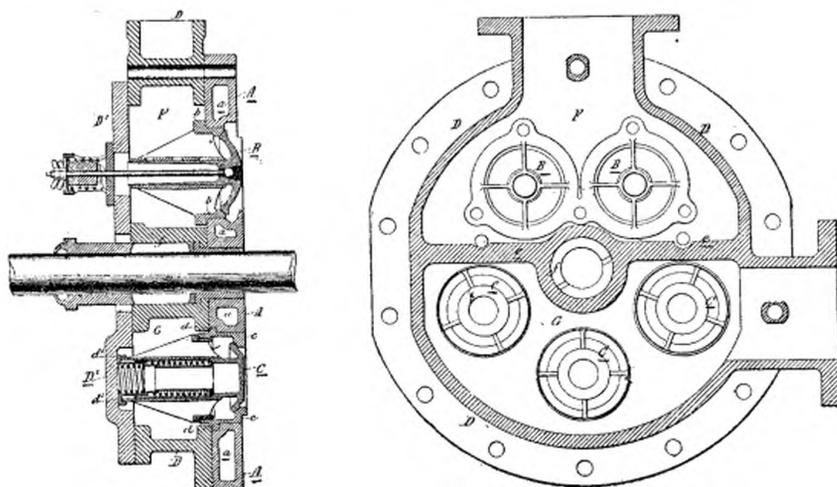


Fig. 6 et 7. — *Haslam*. BB, soupapes d'aspiration rappelées sur leurs sièges *b* par des tiges à articulations sphériques. CC, soupapes de refoulement ramenées sur leurs sièges *c* par une gaine *d*, à ressorts *d'*. *aa* circulation d'eau dans le plateau *A*. *D*, fond du cylindre divisé par la cloison *e* en deux chambres : une d'aspiration *F* et l'autre de refoulement *G*. *D*, regards boulonnes, permettant l'accès des soupapes.

soupapes du compresseur à double effet de *Chambers* (2), qui occupent aussi tout le fond du cylindre, sont montées sur un faux couvercle appliqué contre un garnissage en caoutchouc par un fort ressort; ce ressort cède aux coups d'eau, et permet de réduire sans danger l'espace nuisible au minimum.

Dans quelques compresseurs d' *Ellis* (3) les soupapes d'aspiration et de refoulement, annulaires (fig. 9) à gorge et très légères, sont à double siège et présentent à l'entrée et à la sortie de l'air de larges ouvertures sous une faible levée.

Quelques inventeurs [*Gorrie* (4), *Nehrlich* (5)] ont employé des soupapes commandées mécaniquement, dont les ouvertures sont plus promptes que celles des soupapes automatiques. D'autres constructeurs, comme M. *Lightfoot* (6), emploient dans certains cas des robinets analogues à ceux des machines *Corliss* ou des tiroirs, comme dans les machines de *Haslam* (7) et d' *Ellis* (8); mais

1. Brevet anglais 5648 de 1886. — *Industries*, 5 octobre 1888.
2. id. 605 de 1882 — *Engineering*, 7 avril 1882, p. 340.
3. id. 5274 de 1888.
4. id. 13224 de 1850.
5. id. 1873 de 1874.
6. id. 673 de 1882.
7. id. 1484 de 1880.
8. id. 4832 de 1885.

l'expérience ne paraît pas avoir encore suffisamment établi la supériorité de ces distributeurs sur les soupapes ordinaires.

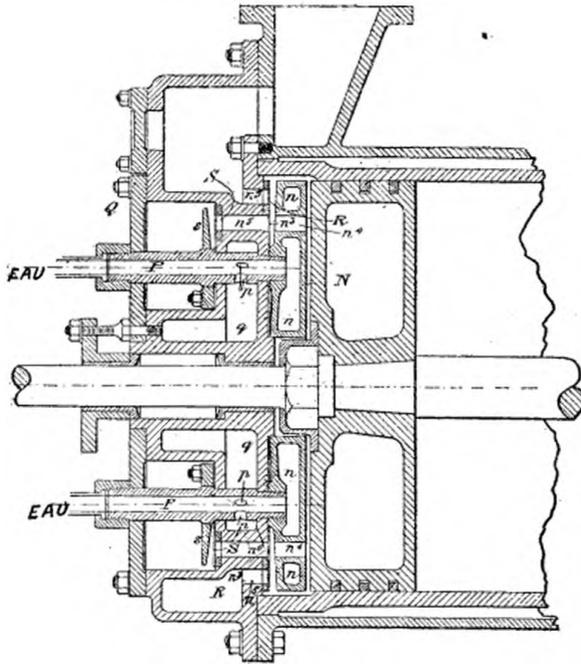


Fig. 8. — Robert Matthews

Une circulation d'eau amenée par les tuyaux P P, à trous  $p$ , traverse le fond  $q$  du cylindre et la plaque de garde N n de la soupape d'aspiration R. Cette soupape, constituée comme il est dit dans le texte, laisse l'air pénétrer de R au cylindre par les orifices  $n^3 n^4$  : au retour du piston, l'air comprimé est refoulé par la soupape S, à garde  $s$ , au travers des orifices  $n^3 n^5$ .

Parmi les différents systèmes de garnitures proposés pour la tige du piston, nous n'avons guère à signaler que le *stuffing-box* à cuir embouti de M. Giffard<sup>(1)</sup>, qui n'existe plus d'ailleurs sur la plupart de ses nouvelles machines.

La garniture des pistons de M. Giffard se compose essentiellement d'un segment en caoutchouc durci appliqué sur les parois du cylindre par la pression même de l'air refoulé<sup>(2)</sup>. Cette garniture, qui peut être aussi formée de segments métalliques contre-butés par du caoutchouc<sup>(3)</sup>, remplace avantageusement la garniture à rondelle coincée appliquée sur les premières machines de M. Paul Giffard<sup>(4)</sup>.

Les moyens de refroidissement du compresseur consistent en une enveloppe à circulation d'eau, étendue parfois au couvercle et même au piston<sup>(5)</sup>, et

1. Brevet anglais 2064 de 1875.
2. id. 3108 de 1877.
3. id. 2064 de 1875.
4. id. 2011 de 1871, 627 de 1873.
5. Sturgeon, Brevet anglais de 4863 de 1877.

combinée souvent avec l'emploi d'une injection d'eau pulvérisée, que l'on retrouve dans les machines les plus anciennes (1). M. *Kilbourn* rend l'action de la circulation d'eau plus efficace en faisant le cylindre intérieur de ses compresseurs en bronze, moins épais et plus conducteur que la fonte.

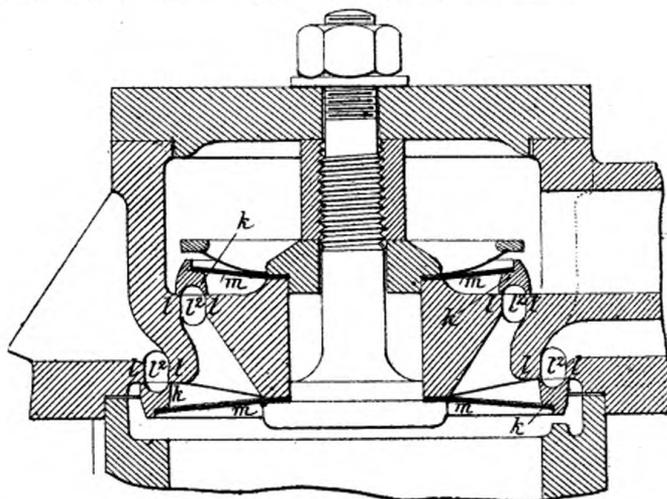


Fig. 9, *Ellis*. — R soupapes annulaires à gorges  $l_2$ , appliquées sur leurs sièges  $l_1$  par des ressorts  $m m$ .

*Refroidisseur-sécheur*. — Le refroidissement de l'air au compresseur même ne suffit pas dans la plupart des cas : il faut alors achever ce refroidissement en soumettant l'air comprimé au contact de tubes à circulation d'eau froide ou à l'action d'une seconde injection d'eau. Dans ce dernier cas, le refroidisseur doit être forcément suivi d'un sécheur, pour débarrasser l'air de son excès d'eau avant son entrée au détendeur. Tel est le cas des machines de *Teal et Fryer* (2), *Laidlaw et Robertson* (3), *Bell et Coleman* (4).

Quant aux tubes des refroidisseurs, souvent en cuivre, ils sont parfois annulaires (5) ou croisés (6) pour en multiplier les surfaces. M. *Chambers* refroidit l'air du compresseur en lui faisant traverser plusieurs faisceaux consécutifs de tubes en U, libres de se dilater, et autour desquels circule le liquide réfrigérant, de sorte que la surface entière des tubes est également utilisée (7). M. *Clerk* remplace (fig. 10) les tubes par une série de gros cylindres concentriques fermés à un bout seulement, emboîtés les uns dans les autres avec des jeux où circulent alternativement l'air comprimé et l'eau de refroidissement (8).

1. *Gorie*, brevet anglais 13234 de 1850. — *Teal et Fryer*, brevet anglais 3957 de 1879.

2. Brevet anglais 3957 de 1879.

3. id. 2666 de 1864.

4. *Inst. of Civil Eng.*, 20 mars 1884.

5. *Bryce-Douglas*, brevet anglais 1188 de 1880.

6. *Allen*, brevet anglais 3788 de 1880.

7. Brevet anglais 605 de 1882. — *Engineering*, 7 avril 1882, p. 320.

8. id. 3536 de 1881.

Les tubes peuvent être, en totalité ou en partie, refroidis par un courant d'air froid venant soit en partie directement du détendeur et en partie du réfrigérant, comme dans les machines de *Windhausen* (1) et de *Haslam* (2), soit en totalité par le retour du réfrigérant au compresseur, comme dans les machines de *Bryce-*

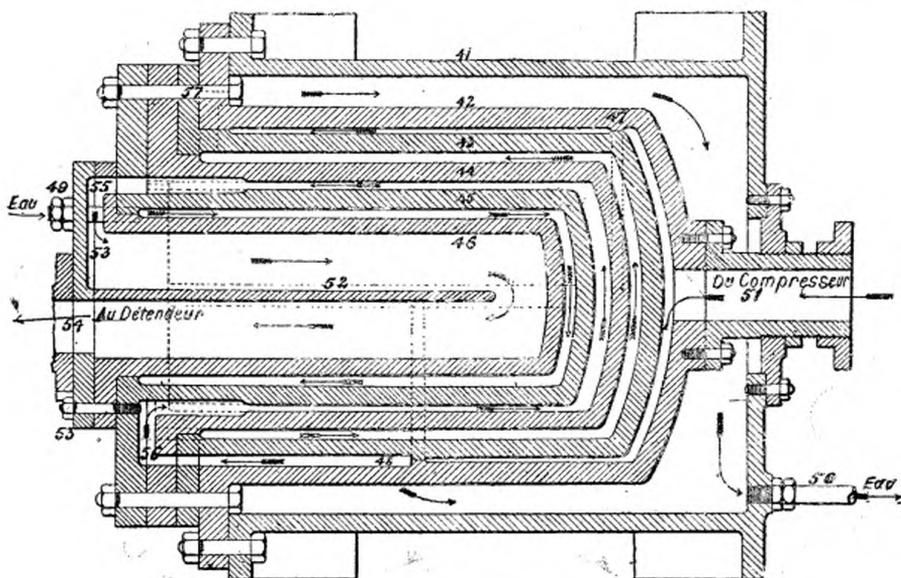


Fig. 10, Clerk. — 41...46 Tubes emmanchés les uns dans les autres en réservant entre-eux des espaces annulaires où circulent en sens contraire l'air comprimé, allant du compresseur au détendeur suivant le trajet 51, 53, 52, 54), et l'eau de circulation suivant 49... 50.

*Douglas* (3), *Northcott* (4), *Ellis* (5) et *Matthews* (6). Dans les machines de *Bell* et *Coleman*, l'air rafraîchi au sortir du compresseur par un arrosage achève de se refroidir, en même temps qu'il se sèche, par son passage au travers d'une série de tubes renfermés dans la chambre froide ou réfrigérant (7). Dans les machines de *Lightfoot*, au contraire, ce refroidissement supplémentaire s'opère (fig. 11, 12 et 13) dans un petit détendeur spécial, que l'air traverse avant d'arriver au grand détendeur, et au sortir duquel il abandonne la majorité de son eau en parcourant, entre les deux détendeurs, une série de chicanes disposées comme celles d'un antiprimeur (8). Ces deux modes de refroidissement complémentaire sont théoriquement équivalentes, mais le procédé *Lightfoot* comporte des appareils moins encombrants et plus simples.

1. Brevet anglais 669 de 1869.
2. id. 5060 de 1880.
3. id. 1188 de 1880.
4. id. 4051 de 1882.
5. id. 4882 de 1885.
6. id. 5648 de 1886.
7. id. 1034 de 1877.
8. 4065 de 1880 *Inst. of Mechanical Eng.*, 4 janv. 1881.

Nous ne ferons que signaler le dispositif de séchage proposé par M. *Nehrlich*, où l'air comprimé, préalablement refroidi, se débarrasse de la majeure partie de son humidité par un refroidissement complémentaire dans l'enveloppe du cylindre détenteur (1).

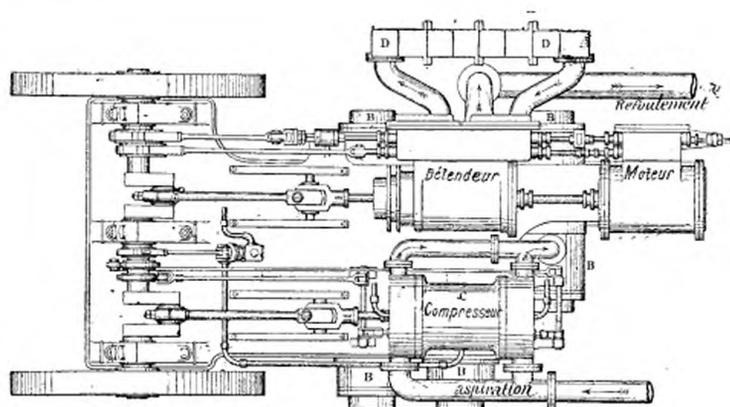


Fig. 11. — Ensemble de la machine

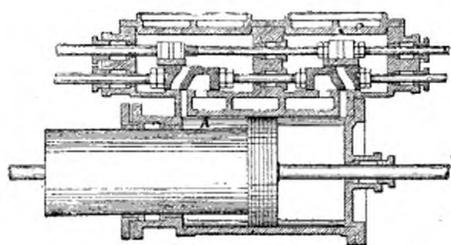


Fig. 12. — Cylindre détenteur

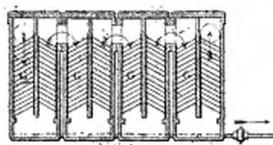


Fig. 13. — Sécheur intermédiaire

Fig. 11, 12 et 13. — *Machine Halt et Lightfoot*

L'air refoulé par le compresseur à double effet C, à une pression absolue de 4 kil. 5 environ, dans les refroidisseurs tubulaires B, commence à se détendre dans l'espace annulaire ménagé autour du fourneau à l'avant du cylindre détenteur E, où sa température s'abaisse à 0° environ: de là, il passe au travers des chicanes G (fig. 13) du sécheur intermédiaire D, où il dépose la moyenne partie de son humidité, et d'où il passe à l'arrière du cylindre E, pour y achever sa détente. Le cylindre moteur A est conjugué au cylindre E de manière que la détente de l'air aide son travail.

*Détendeur.* — Les principaux organes du cylindre détenteur sont les mêmes que ceux du compresseur. On y trouve, comme moyens de distribution, les soupapes automatiques ou desmodromiques (2), les robinets (3) et les tiroirs (4) plans ou cylindriques équilibrés (5).

1. Brevet anglais 1873 de 1874.
2. Inglis, brevet anglais 3340 de 1877.
3. Matthews. 5648 de 1886.
4. Haslam, de 1484 de 1880.
5. Ellis, de 4882 de 1885.

La détente est souvent réglée automatiquement en fonction de la pression finale au compresseur. Tel est le cas des machines de *Teal et Fryer* (1), de *Dugald Clerk* (2) et de *Wilson et Sturgeon* (3). Dans plusieurs machines, le détenteur est, en outre, pourvu d'un reniflard empêchant la pression d'y tomber au-dessous de celle de l'atmosphère.

Afin de réduire ses frottements au minimum, la soupape d'admission du détenteur de *M. Sturgeon* est (fig. 14) maintenue sur son siège par un disque-membrane en acier dont elle traverse le milieu.

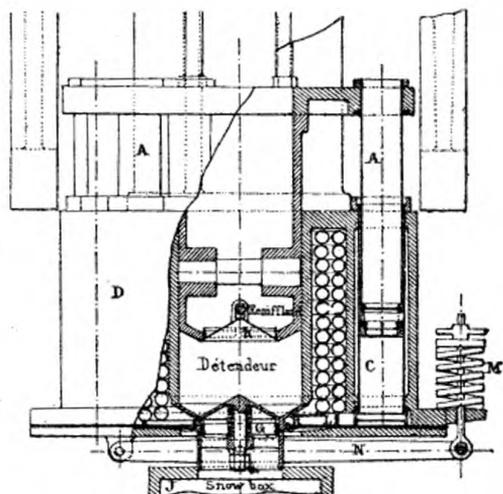


Fig. 14. *Sturgeon*.—Compresseur à cylindres multiples. AA pistons compresseurs en bronze, à cylindres C disposés autour du détenteur dans une enveloppe D.

Quand le piston du détenteur descend, dès que la pression de l'air détendu atteint celle de l'atmosphère, il repousse la soupape d'échappement G, malgré le ressort L, et s'échappe dans le *snow-box* J. Vers la fin de sa course, le piston repousse et ouvre la soupape d'admission O, dont ce mouvement ferme G, et qui reste, à la montée du piston, ouverte pendant une fraction de la course ascendante réglée par la tension du ressort M.

Les soupapes des machines *Giffard* de 1877 reposent sur leur siège par une arrête tranchante, coupant à chaque coup la glace qui tendrait à s'y déposer, et celles des machines de *Hesketh* sont disposées de manière à en faciliter le dégagement vers la boîte à neige, qui suit presque toujours immédiatement le détenteur (4).

Ces boîtes à neige (*snow-box*), utiles dans toutes les machines à air, sont

1. Brevet anglais 3957 de 1879.
2. id. 3536 de 188
3. id. 91 de 1883.
4. id. 3989 de 1881.

indispensables à celles qui ne sont pas pourvues d'un refroidisseur-sécheur spécial ; elles consistent essentiellement en une capacité faisant suite au détendeur, dans laquelle l'air refroidi dépose sa neige ou sa glace de condensation sur des surfaces rugueuses, pourvues de pointes (1), ou mieux disposées en chicanes (2). On a proposé, pour éviter les *snow-box* sans avoir recours aux moyens précités, divers artifices, tels que l'injection au détendeur d'air comprimé (3) ou de liquide incongelable (4). Ces moyens exceptionnels sont en général compliqués et préjudiciables au rendement de la machine.

*Réfrigérant.* — Le réfrigérant des machines à air ne présente guère de particularités intéressantes qu'en raison de ses adaptations à des applications spéciales, dont la plus importante est la conservation des viandes, que nous étudions dans un autre chapitre.

Les réfrigérants des machines à cycle fermé sont parfois pourvus d'un reniflard ou d'un régulateur de pression, constitué, par exemple, comme celui de *Windhausen*, par une poche en caoutchouc jouant le rôle d'accumulateur (5).

Quelques inventeurs, *Williams* notamment, ont proposé, mais sans succès, d'opérer la réfrigération par la détente directe de l'air comprimé au travers d'un liquide incongelable (6) : il se produisait des commencements de congélation, et la majorité du travail de détente se dissipait hors du liquide ou par des remous qui le réchauffaient.

## Principaux types de machines à air

*Windhausen* (7). — La première machine à air de M. Windhausen date de 1869, et n'est plus employée aujourd'hui que très rarement dans l'industrie. Nous croyons néanmoins utile de la décrire sommairement à cause de son importance historique.

Cette machine, très remarquable pour son époque, est à cycle fermé; son objet principal — erroné en ce qui concerne le rendement — était, non pas de produire de l'air froid directement utilisable comme air froid, mais de faire de la glace au moyen de l'air refroidi. — L'air, toujours le même, comprimé sur l'une des faces d'un long piston non conducteur, est, dans cette machine de *Windhausen*, détendu sur l'autre face du piston, après s'être refroidi sur deux séries de

1. Sturgeon, brevet anglais 91 de 1883.
2. Hargreaves et Inglis, brevet anglais 1747 de 1878.
3. Northcott, brevet anglais 4052 de 1882.
4. Gorrie, brevet anglais 13234 de 1850.
5. Brevet anglais 669 de 1869.
6. id. 147 de 1853.
7. Brevets anglais 669 de 1869, 3142 de 1873, 4762 de 1876.

tubes rafraîchies l'une par un courant d'eau, l'autre par de l'air froid revenant du bac à glace, ou pris directement à la sortie du détenteur.

Le piston non conducteur B (planche I et II) d'une épaisseur presque égale à sa course, aspire l'air par le clapet  $b$  et le refoule, par  $a$ , au travers du tuyau  $J_1$  et des tubes du refroidisseur F, qui l'amène par J à l'aspiration  $a_1$  du détenteur constitué par l'arrière du cylindre A. La soupape d'admission  $a_1$  se ferme en un point de la course qui détermine le degré de détente ; l'air froid et détendu s'échappe, par la soupape  $b_1$ , partie au refroidisseur F, au travers du tuyau  $J_2$ , partie au bac à glace, par le tuyau  $J_3$ , puis du bac à glace au réfrigérant par  $J_3$ ; enfin, ces deux parties de l'air froid reviennent à l'aspiration  $b$  du compresseur par le tuyau  $J_4$ .

Le refroidisseur F est divisé en deux parties  $F_2 F_3$  par une chambre tubulaire  $F_1$ , traversée par les tubes. La première partie  $F_2$  est rafraîchie par la circulation d'eau qui refroidit l'avant compresseur du cylindre A ; la seconde partie  $F_3$  est rafraîchie par l'air froid amené directement au détenteur par  $J_2$ , et du bac à glace par  $J_3$ .

Les proportions d'air admises au refroidisseur F par  $j_2$  et par  $j_3$  sont réglées à volonté par la manœuvre du robinet  $p$ , qui permet de graduer ainsi la température finale de l'air, d'autant plus basse, entre certaines limites, que l'on en dérive une proportion plus grande directement du détenteur au refroidisseur.

L'arrière détenteur du cylindre A est enveloppé d'une matière non conductrice et séparé de l'avant compresseur par un espace vide  $c$ , qui empêche ou, du moins, diminue considérablement les échanges de température par les parois.

Les mouleaux du bac à glace, enveloppés de liquide incongelable, sont séparés par des chicanes en bois  $H_3$ , destinées à uniformiser la distribution de l'air froid sur les mouleaux.

L'intérieur du bac à glace communique avec une poche en caoutchouc  $z$ , destinée à servir de régulateur de pression à l'air du bac; quand cette pression tend à s'élever au-dessus de celle de l'atmosphère, la poche se gonfle ; l'inverse a lieu quand la pression s'abaisse, de sorte que la pression du bac reste sensiblement égale à celle de l'atmosphère.

Les soupapes  $a_1 b_1$  du détenteur sont commandées mécaniquement par la tringle  $S'$  et les leviers  $S_4$ .

Les fuites d'air sont récupérées automatiquement au travers du reniflard R, qui laisse, lorsque la pression du bac s'abaisse malgré la poche  $z$ , de l'air pénétrer de l'atmosphère au compresseur, après s'être filtré et desséché sur une couche de chlorure de calcium.

M. Windhausen a construit depuis, un certain nombre de machines plus simples, à cylindres détenteurs et compresseurs séparés, mais moins ingénieuses que sa première machine. — Enfin, en 1876, il a proposé la machine représentée shé-

matiquement par la figure 15, qui se distingue aussi par quelques particularités nouvelles.

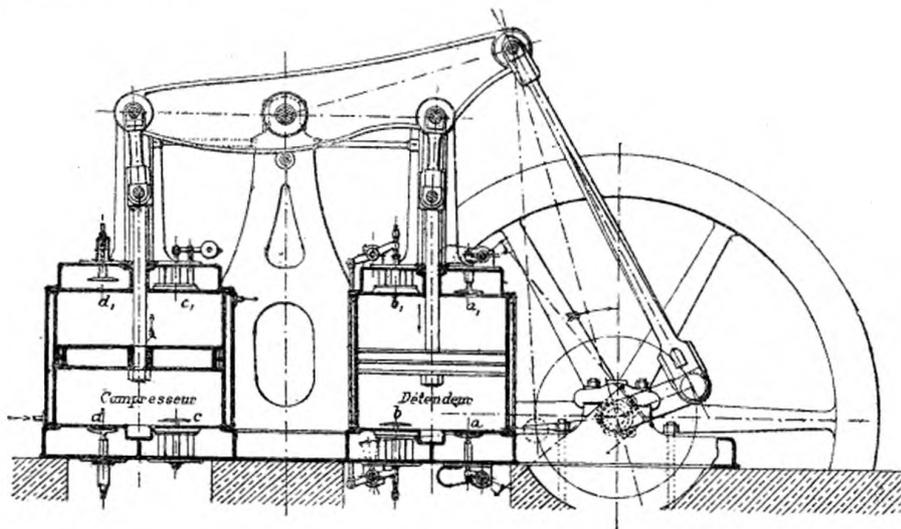


Fig. 15. Windhausen (1876). — Machine à air avec compresseur et détenteur à double effet conjugués par un balancier.  $aa_1$ ,  $dd_1$  soupapes d'aspiration.  $bb_1$ ,  $cc_1$  soupapes de refoulement desmodromiques.

La machine est à cycle ouvert et comprend deux cylindres à double effet : un compresseur et un détenteur. Lorsque le piston du détenteur monte, il aspire de l'air par la soupape  $a$ , qui se ferme mécaniquement au point de détente; puis l'air détendu passe, à la descente du piston, par la soupape  $b$  et le tuyau D (fig. 16), dans la chambre du réfrigérant, ou chambre froide. De cette chambre, l'air froid passe par le tuyau L, les tubes du refroidisseur G et le conduit M à l'aspiration  $d$  du compresseur (fig. 15) qui l'expulse par  $c$ , après l'avoir ramené à la pression atmosphérique.

L'air nouveau aspiré au détenteur y est amené par le tuyau K et les ouvertures H (fig. 16) tout autour des tubes G, sur lesquels il dépose, en se refroidissant, la majeure partie de son humidité.

L'air du compresseur échauffé par la

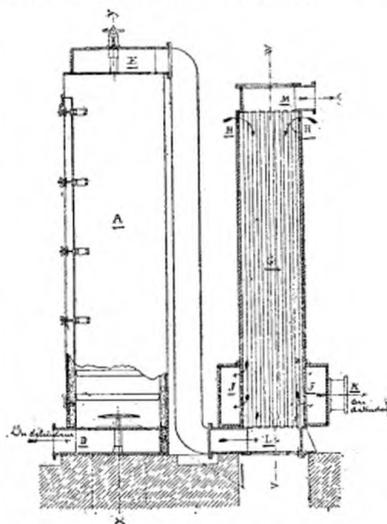


Fig. 16. Windhausen (1876). — A chambre froide recevant en D l'air du détenteur et l'amenant, par ELM, au compresseur, au travers des tubes G, autour desquels l'air aspiré au détenteur, suivant HJK, va se refroidir avant sa détente.

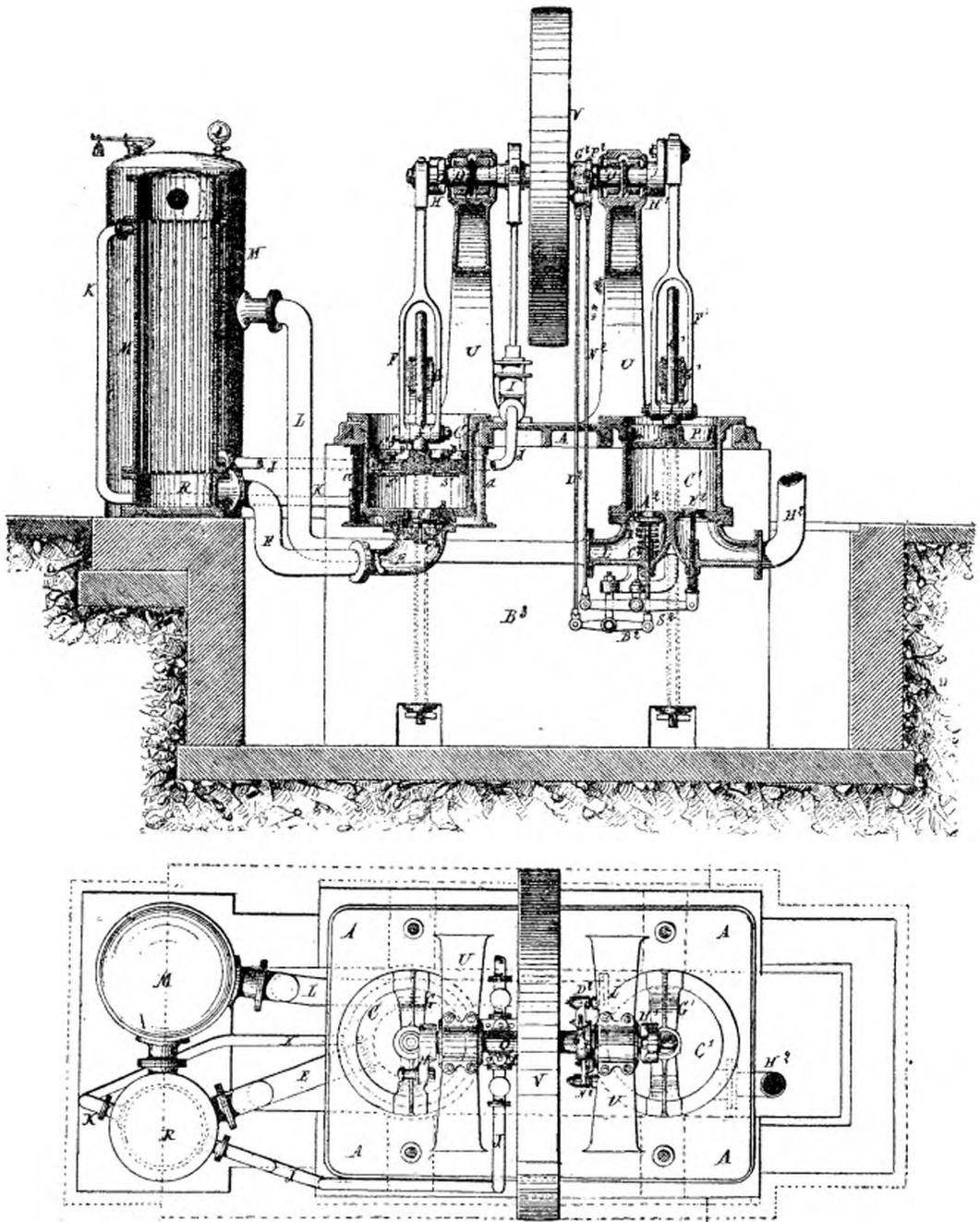


Fig. 17. — *Machine Giffard verticale, 1877.*

C, C<sub>1</sub> cylindres compresseur et détenteur à simple effet, à pistons conjugués par les manivelles HH' calées à 90° sur l'arbre moteur oo', conduit par la poulie V et porté par les batis UA. Les tiges c c' des pistons sont attaquées par des bielles à fourche FF' et guidées par des étriers GG'. SS', soupapes d'aspiration du compresseur (fig. 19) S, soupape de refoulement (fig. 18), R refroidisseur à tubes rafraîchis par une circulation d'eau (IKJ) et parcourus par l'air comprimé admis par E. M, réservoir accumulateur d'air comprimé le recevant refroidi de R, et l'amenant par L à l'aspiration du détenteur. A<sup>2</sup> E<sup>2</sup>, soupapes d'aspiration et de refoulement du détenteur actionnées par les mouvements (G<sup>2</sup> D<sub>2</sub> B<sub>2</sub>) (P<sub>2</sub> N<sub>2</sub> S<sub>2</sub>). H<sup>2</sup>, échappement de l'air du détenteur à la chambre froide.

compression peut-être employé au chauffage, mais le compresseur peut-être néanmoins rafraîchi par une circulation d'eau.

L'objet principal de M. Windhausen, en étudiant cette machine, paraît avoir été de se dispenser d'un condenseur à circulation d'eau; mais on arrivait ainsi à des appareils très volumineux, qui ne se sont pas répandus.

### Machines Giffard (1)

Les machines à air de M. Paul Giffard, que l'on peut considérer comme un initiateur de cette matière, datent de 1873: elles ont été très remarquées à l'Exposition de 1878, souvent initiées depuis, et tiennent encore aujourd'hui dans leur spécialité, un rang des plus honorables.

Les types des machines Giffard sont très nombreux; le plus répandu en France est le type vertical, représenté par les figures 17, dont un exemplaire fonctionnait à l'Exposition de 1889, dans la section des produits alimentaires.

Les cylindres compresseur C et détenteur C<sub>1</sub>, conjugués par des manivelles à 90°, sont à simple effet. L'air aspiré au compresseur au travers des soupapes s<sub>1</sub>s<sub>1</sub> du piston est refoulé, par la soupape S<sub>1</sub> et le tuyau E, au travers des tubes du condenseur à surfaces R, ou réfrigérant, d'où il passe au réservoir de pression M. L'air comprimé et froid passe ensuite du réservoir M, par le tuyau L, à la soupape d'aspiration A<sub>1</sub> du détenteur. Cette soupape se ferme mécaniquement au point voulu pour la détente, après laquelle l'air est évacué du détenteur par la soupape E<sub>2</sub> et le tuyau H<sub>2</sub>.

La soupape de refoulement du compresseur S se compose (fig. 18) d'un disque en acier très léger, à tige creuse, battant par une simple circonférence de contact presque linéaire sur un siège en bronze vissé dans le fond du cylindre et percé des ouvertures nécessaires à l'évacuation de l'air refoulé.

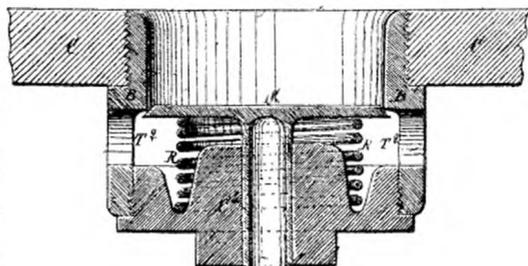
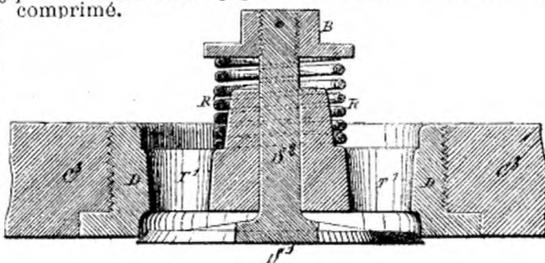


Fig. 18. — Giffard. Soupape de refoulement du compresseur D fond du cylindre. B siège en bronze. S soupape en acier à tige creuse D', appliquée sur son siège par un ressort R. T<sub>2</sub>T<sub>1</sub> orifices de refoulement de l'air comprimé.



Les soupapes d'aspiration (fig. 19), également

la soupape S<sub>1</sub> à tige S<sub>2</sub> et à ressort R<sub>1</sub>, pressant sur l'écrou B<sub>1</sub>. T<sub>1</sub> T<sub>2</sub> orifices d'aspiration.

1. Brevets anglais 627 de 1873, 2064 de 1875, Ledoux. *Théorie des machines à froid. Revue industrielle* 1881 p. 233. *Bulletin de l'industrie minière* juin 1876 *The Engineer*, 6 juillet, 17 août 1883.

très légères, sont construites d'une manière analogue. Leur tige est hexagonale (fig. 20).

Le piston du cylindre de compression a pour garniture un anneau de caoutchouc double (fig. 21) doux à l'intérieur et durci à l'extérieur, appliqué par la pression même de l'air, qui agit par les trous T.

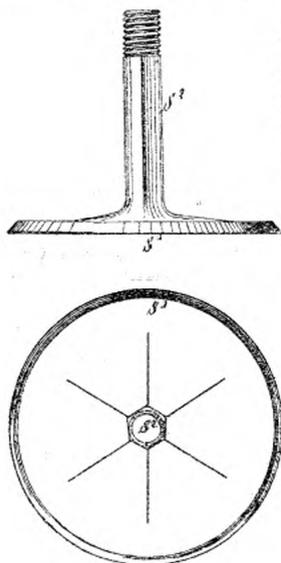


Fig. 20. — Giffard. — Détail d'une soupape d'aspiration du compresseur S<sup>2</sup>, à tige hexagonale S<sup>3</sup>.

Les soupapes d'admission et d'échappement du détenteur, également en acier et très légères, battent sur des sièges en caoutchouc durci : celles d'échappement par une zone linéaire très étroite, de manière à couper la glace qui s'y déposerait par le refroidissement de l'air.

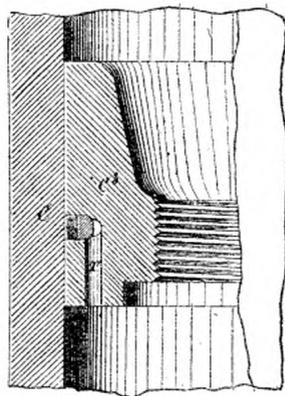


Fig. 21. — Piston Giffard C<sup>3</sup>, à garnitures mixte en caoutchouc C. appuyée par la pression de l'air en T.

Les soupapes du détenteur sont conduites desmodromiquement par des cames qui permettent de régler à volonté l'admission et, par suite, la détente, dont le travail vient aider, comme on le voit, celui de la poulie motrice. On peut donc, avec cette machine, régler à volonté, et dans des limites très étendues déterminées par les dimensions mêmes des cylindres compresseur et détenteur, le degré de détente ou l'intensité du froid produit.

M. Ledoux, qui a établi une théorie complète de la machine Giffard, a donné, pour le rendement théorique d'une machine de ce type fonctionnant sans espaces nuisibles, avec de l'air à l'état hygrométrique 1/2, le tableau suivant, par mètre cube d'air pris à 15°, et en supposant un rendement organique de 92 %.

Un espace nuisible de 4 % des cylindrées diminuerait de 100 calories par cheval théorique le rendement de la machine.

Comme on le voit, la machine Giffard, obéissant à la loi générale des machines frigorifiques, a un rendement d'autant moindre que la chute de tempé-

rature ( $t_1-t_2$ ) est plus élevée, ou le refroidissement plus intense et la pression finale plus haute au compresseur.

| Pression au réservoir M. | Température finale $t_1$ au compresseur. | Température finale $t_2$ au détenteur. | Chute de température $t_1-t_2$ | NOMBRE de calories négatives obtenues. | NOMBRE DE CALORIES NÉGATIVES |                             |                             |                            |
|--------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
|                          |                                          |                                        |                                |                                        | par kilogrammètre théorique. | par cheval-heure théorique. | par kilogrammètre effectif. | par cheval-heure effectif. |
| 1 <sup>atm</sup> 1/2     | 51° 04                                   | — 0,43                                 | 15° 43                         | 4455                                   | 0,01531                      | 4134                        | 0,00454                     | 1226                       |
| 2                        | 79 31                                    | 21,70                                  | 36 70                          | 10600                                  | 0,00843                      | 2276                        | 0,00436                     | 1117                       |
| 2 1/2                    | 102 93                                   | 37,25                                  | 52 25                          | 15090                                  | 0,00660                      | 1782                        | 0,00393                     | 1061                       |
| 3                        | 123 39                                   | 50,80                                  | 65 80                          | 18997                                  | 0,00545                      | 1472                        | 0,00355                     | 939                        |
| 3 1/2                    | 141 57                                   | 61,53                                  | 76 53                          | 22095                                  | 0,00481                      | 1299                        | 0,00328                     | 886                        |
| 4                        | 157 98                                   | 70,58                                  | 85 58                          | 24710                                  | 0,00435                      | 1176                        | 0,00307                     | 829                        |
| 4 1/2                    | 173 00                                   | 78,26                                  | 93 26                          | 26928                                  | 0,00409                      | 1104                        | 0,00290                     | 783                        |

La figure 22 représente une machine verticale Giffard. Le refroidisseur R, et le réservoir de pression M y sont juxtaposés, au lieu de se trouver côte à côte. Un appareil de ce type, de 18 chevaux, peut fournir environ 650 mètres cubes

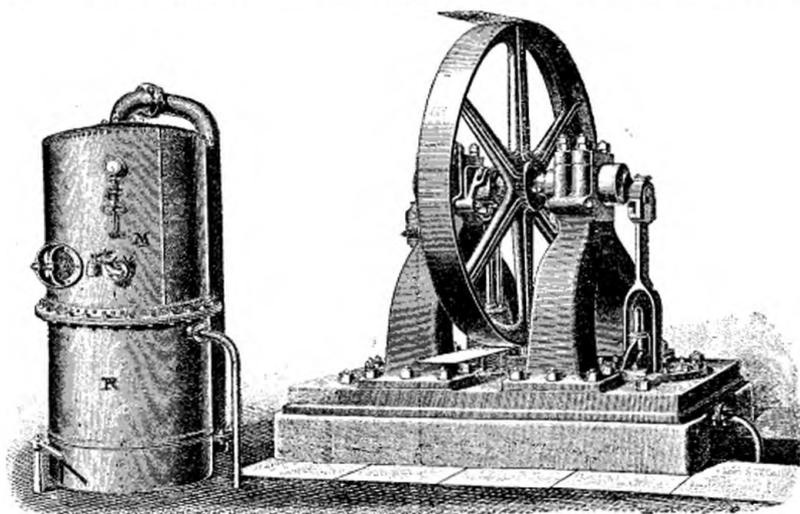


Fig. 22. — Giffard. Machine type symétrique.  
M réservoir de pression, R refroidisseur

d'air à 0° par heure, ou 100 kilogrammes de glace, soit environ 10,000 calories négatives utilisées, ou 550 calories par cheval, chiffre notablement inférieur, comme il fallait s'y attendre, au rendement théorique.

Ainsi que nous l'avons dit, la machine de M. Giffard peut revêtir les formes

les plus diverses, suivant ses adaptations : les figures 23 à 26 en présentent quelques exemples.

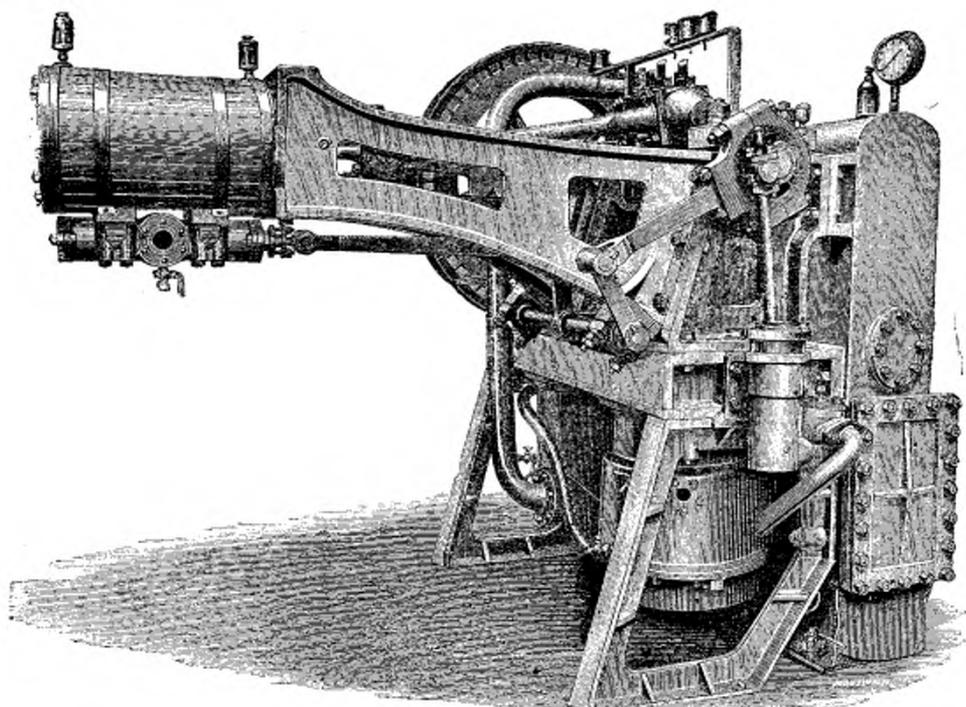


Fig. 23 — *Giffard* machine type marin de 140 mètres cubes.

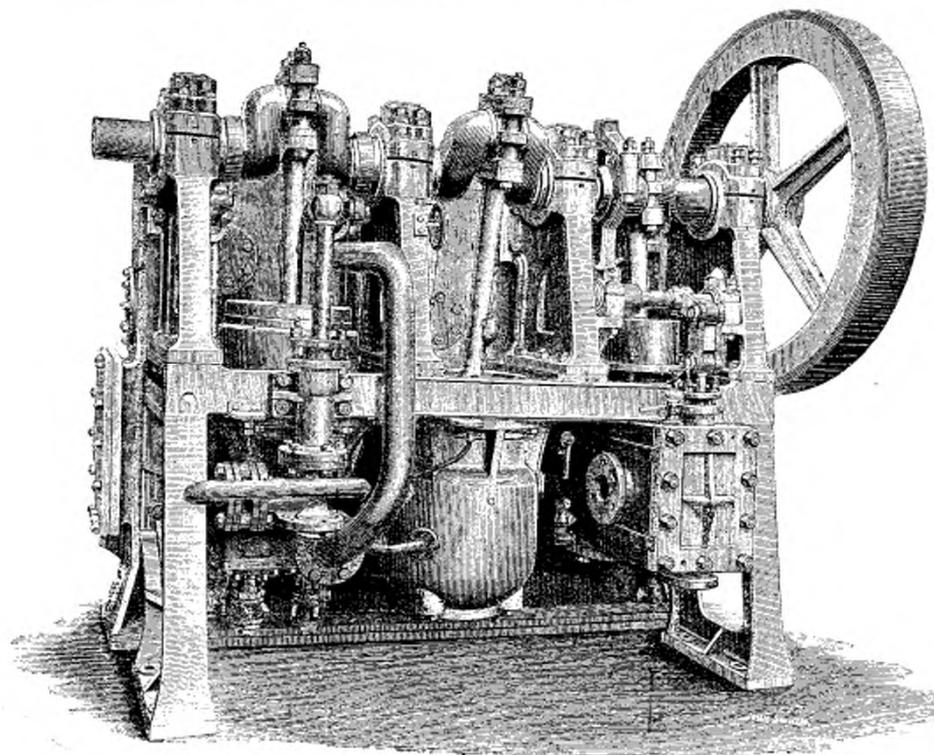


Fig. 24. — *Giffard* type marin de 200 mètres cubes.

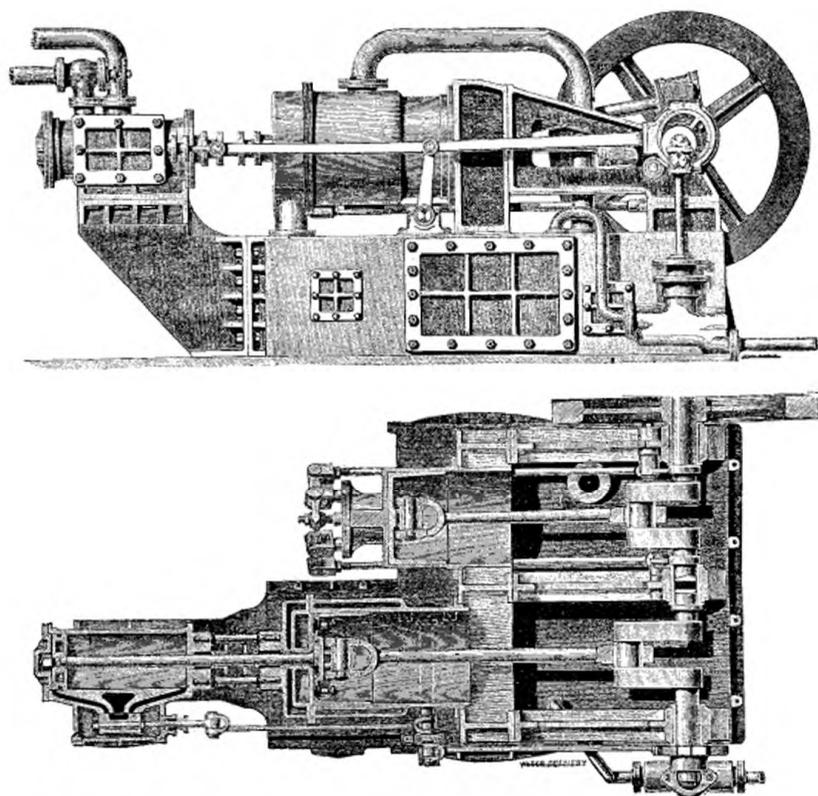


Fig. 25 et 26. — *Giffard*, Machine horizontale de 600 mètres cubes,

La machine représentée par la fig. 23 a son refroidisseur et son réservoir d'air groupés dans un cadre vertical appuyé sur la muraille du navire. — Les cylindres compresseurs et détendeurs ont 330 millimètres de diamètre, et débitent par heure 140 mètres cubes d'air à  $-50^{\circ}$ .

La machine représentée par la fig. 24, à cylindres de  $400 \times 400$ , fonctionne sur des navires de la *Peninsular and Oriental C<sup>o</sup>*, et débite, à 120 tours, 300 mètres cubes d'air à  $-40^{\circ}$ .

Ainsi qu'on le voit, dans ces deux machines, le moteur à vapeur est ingénieusement groupé sur un même bâtis, avec leurs cylindres à air, le condenseur,

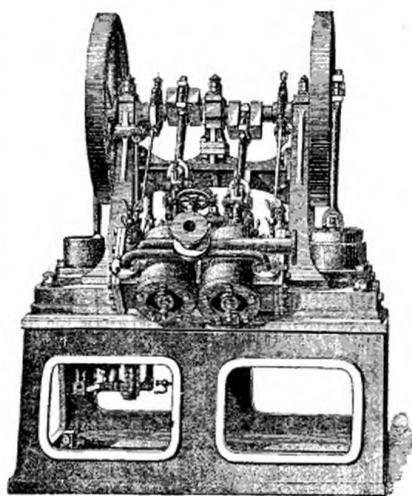


Fig. 27. — *Giffard*, Machine de 60 m.

le réservoir d'air, et la pompe de circulation, en un ensemble à la fois compact et accessible.

La machine représentée par les figures 25 et 26 est plus importante; elle débite, avec des cylindres de  $500^{\text{mm}} \times 500$  et de  $500 \times 630$ , environ 600 mètres cubes d'air par heure, à  $-40^{\circ}$ , à la vitesse très modérée de 100 tours par minute. — Le cylindre à vapeur a  $300^{\text{mm}} \times 630$  de course.

Pour les faibles puissances, 60 mètres cubes, on préfère le type à cylindres inclinés représenté par la figure 27.

### MACHINES BELL & COLEMAN (1)

*Bell-Coleman.* — Les machines de MM. *Bell* et *Coleman* sont destinées principalement au refroidissement et à la conservation des viandes par l'air froid. Dans la machine de 1877, l'air comprimé est refroidi par une injection d'eau au compresseur d'abord, puis dans un saturateur à toles perforées arrosées d'eau. De là, il traverse, pour se sécher, un antiprimeur à chicanes, qui est comme la contre-partie du saturateur, puis une série de tubes inclinés vers le fond de l'antiprimeur, et parcourant sur une grande longueur la chambre froide. L'eau que l'air comprimé dépose dans ces tubes en se refroidissant, s'évacue ainsi naturellement par le bas du sècheur. Au sortir de ces tubes, l'air refroidi et débarrassé de son excès d'eau passe au détendeur, qui l'envoie dans la chambre froide.

La machine de 1883, spécialement destinée aux navires, est remarquable par la compacité et l'harmonie de son ensemble. L'appareil, tout en double (moteur compresseur et détendeur), est formé de deux mécanismes complets, qui peuvent fonctionner en compound ou indépendamment en cas d'accident à l'un d'eux. Le bâti qui les supporte renferme les pompes à air et le condenseur des cylindres à vapeur, ainsi que les boîtes à neige, disposées sous les détendeurs, où l'air passe avant d'arriver dans la chambre froide.

Les machines Bell-Coleman sont très répandues à bord des navires, et notamment sur les lignes d'Australie, où elles donnent toute satisfaction.

Les figures 28 à 31 représentent l'ensemble et les principaux détails de la machine Bell et Coleman de 1878.

Les compresseurs à double effet, au nombre de quatre, sont placés de front derrière les cylindres détendeurs D et les cylindres moteurs V.

Ils sont refroidis par une injection d'eau alimentée par les pompes I, et refoulent leur air dans une conduite générale R aboutissant, par D', au refroidisseur A, constitué (fig. 32) par une série de tôles perforées H, arrosées d'eau

1. Brevets anglais 1034 de 1877. 3862 de 1878. 4191 de 1879. 3625 de 1881. 638 de 1882. 5507 de 1883. *Inst. of Civil Engineers London*, 14 fév. 1882 (J. J. Coleman. *On air refrigerating Machinery*). *The Engineer*, 9 sept. et 18 nov. 1887, p. 219 et 410. 14 avril 1882, p. 267.



froide en F, et que l'air traverse de bas en haut. Au sortir du refroidisseur, l'air passe, par E, au sécheur B, constitué, comme A, par une colonne de tôles perforées que l'air traverse de haut en bas en y déposant la majorité de l'eau

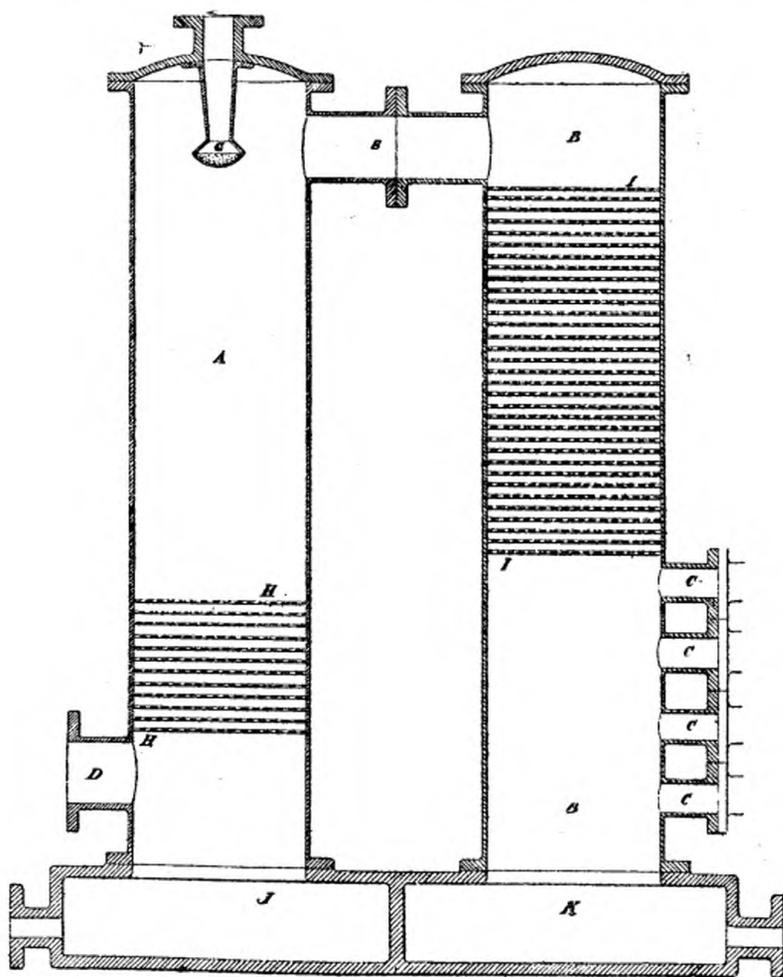


Fig. 31. — Bell-Coleman.

*Déail du refroidisseur-sécheur.*

A, colonne du refroidisseur remplie de plaques perforées..H, arrosées d'eau en G, et parcourues de bas en haut par l'air comprimé refoulé en D. B colonne sécheuse dont les tôles perforées I sont parcourus de haut en bas par l'air comprimé frais allant, suivant (EBI) au tubes *c* de la chambre froide. JK évacuation de l'eau précipitée en A B et C.

entraînée de A, laquelle s'écoule en K. Au sortir de ce premier sécheur, l'air traverse une série de tubes *cc*, logés dans la chambre froide M, dont la basse température précipite en K la majeure partie de son humidité, de sorte que l'air arrive de ces tubes à l'aspiration du compresseur, par N, presque sec et

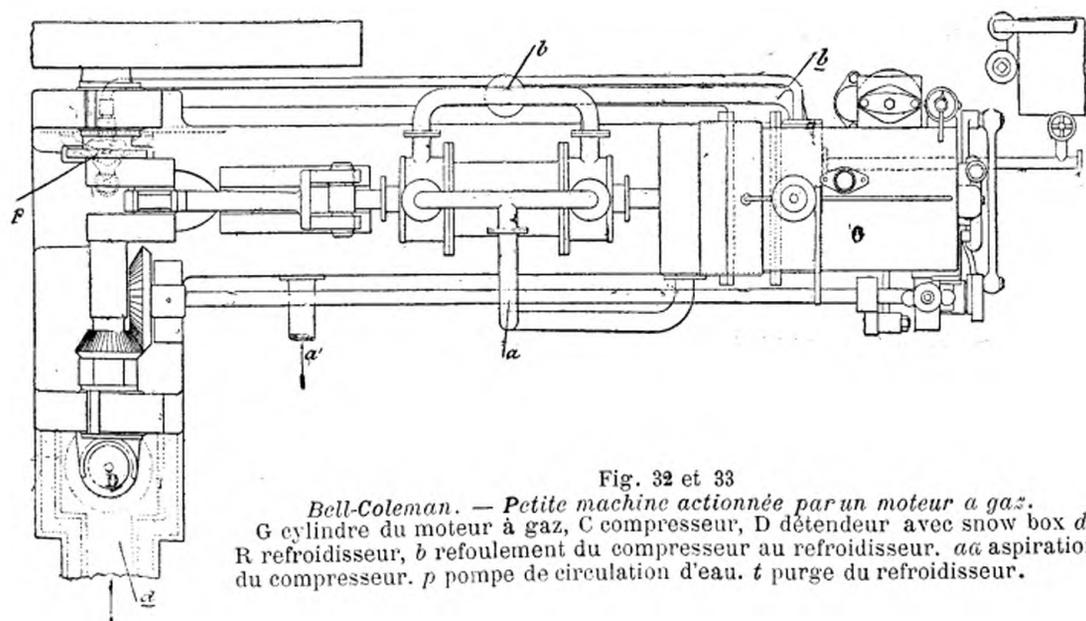
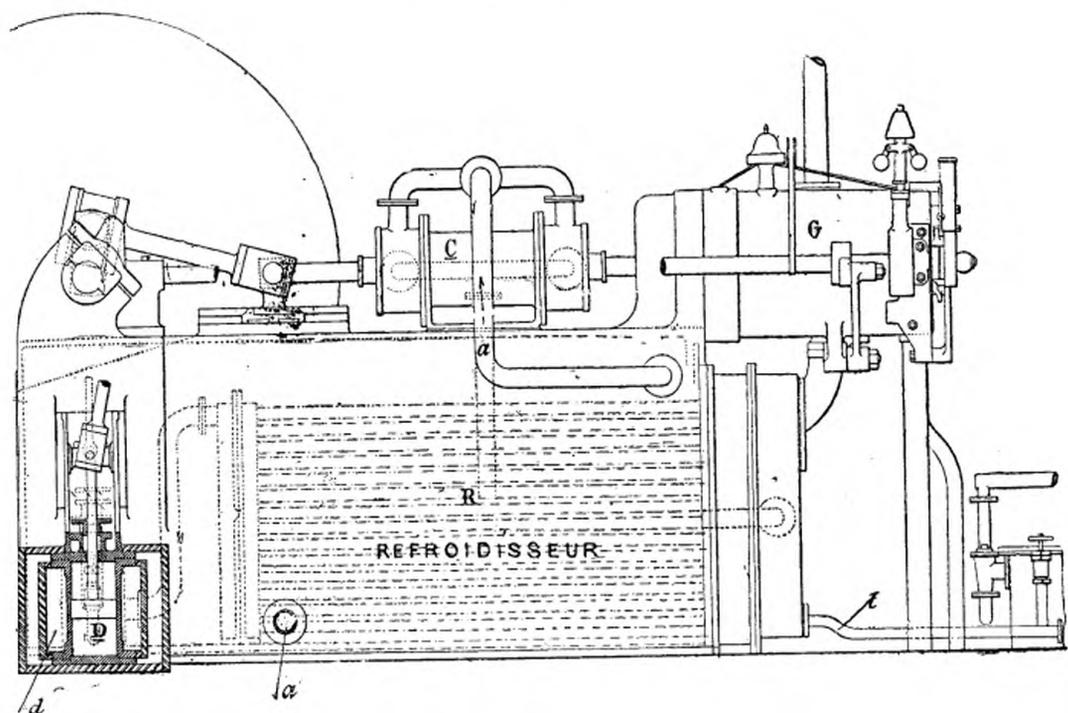


Fig. 32 et 33

*Bell-Coleman. — Petite machine actionnée par un moteur à gaz.*  
 G cylindre du moteur à gaz, C compresseur, D détenteur avec snow box *d*.  
 R refroidisseur, *b* refoulement du compresseur au refroidisseur. *aa* aspiration  
 du compresseur. *p* pompe de circulation d'eau. *t* purge du refroidisseur.

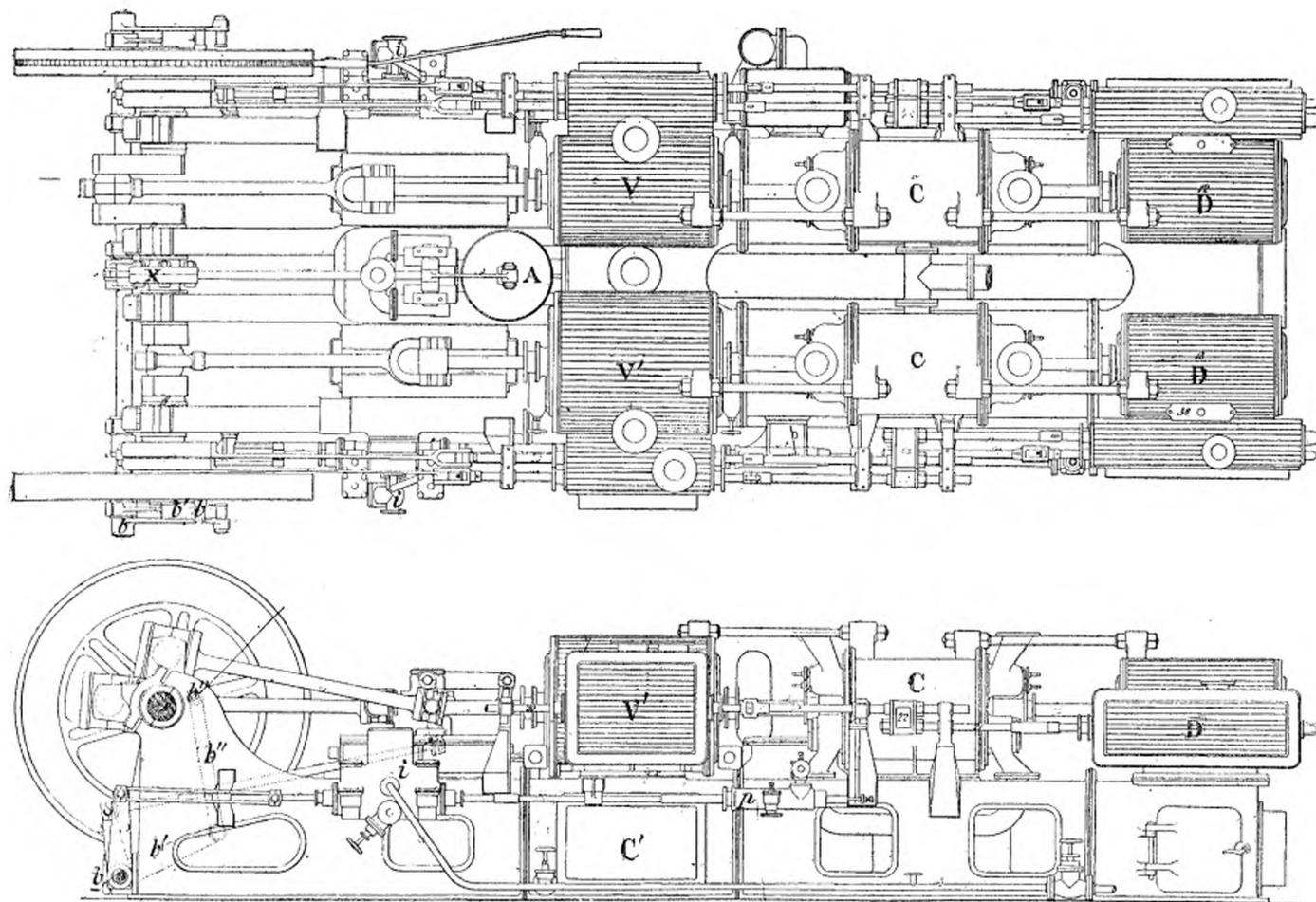


Fig. 34 et 35. — Bell-Coleman. *Machine du type marin de 1883.*  
 VV', cylindres à vapeur de haute et basse pression. CC compresseurs. DD détendeurs. A pompe à air. p pompe de circulation du condenseur à surfaces C'. X accouplement facultatif de l'arbre moteur. bb'b'' commande de la pompe d'injection d'eau aux compresseurs et au réfrigérant.

froid, à 1° environ. Après sa détente, l'air passe par P à la chambre froide M, d'où il revient indéfiniment à l'aspiration du compresseur.

Dans la petite machine spécialement disposée pour être actionnée directement par un moteur à gaz G (fig. 33 et 34), l'air passe du compresseur C, par *bb*, au compartiment de droite du refroidisseur R, où il est rafraîchi par une injection d'eau, et d'où il traverse, vers le détenteur D, les tubes du réfrigérant. — Du détenteur D, l'air passe, au travers du snow-box *d*, à la chambre froide, d'où il revient au compresseur par *a' a*, en circulant autour des tubes du refroidisseur R. La circulation de l'eau autour du compresseur et du cylindre G du moteur à gaz s'opère à l'aide d'une pompe actionnée par l'excentrique *p*, L'avant du refroidisseur se purge par le tuyau *t*.

Le type de 1883, pour navires, est représenté par les figures 34 et 35. Les cylindres compresseurs C et détenteurs D, à double effet, sont enfilés en tandem à la suite des cylindres à vapeur de haute et de basse pression V et V', qui peuvent fonctionner soit en compound, soit séparément, en découplant en X l'arbre des manivelles. Le condenseur à surface C' a sa pompe à air en A et sa pompe de circulation en *p*. La pompe à air unique A est mue, indépendamment du découplement en X, par l'un ou l'autre des renvois (*b b''*).

On voit en *i* les pompes d'injection d'eau aux compresseurs et au réfrigérant non représenté sur les figures. La distribution de l'air se fait aux compresseurs par des soupapes automatiques et aux détenteurs par des tiroirs actionnés par les excentriques mêmes des cylindres moteurs. Ces machines fonctionnent avec une compression de 2 kil. 8, et peuvent refroidir de 80° 2000 mètres d'air par heure. »

### MACHINES DE HALL (1).

Les premières machines de Hall n'étaient guère, de l'avis de son ingénieur, M. Lightfoot, que des machines Giffard modifiées : telle est, par exemple, la machine verticale représentée par les figures 36 à 40, destinée à débiter, à 60 tours, 420 mètres cubes d'air froid par heure. L'air aspiré au cylindre compresseur à enveloppe d'eau C par le tuyau A est refoulé par B au refroidisseur D, qui renferme 170 tubes de laiton horizontaux, de 13 millimètres de diamètre et de 1<sup>m</sup>,35 de long, disposés en cinq faisceaux parcourus du haut en bas par une circulation d'eau froide. Ainsi que l'indique la figure 38, l'air comprimé traverse le refroidisseur en sens contraire de la circulation de l'eau, c'est-à-dire de bas en haut, en rencontrant de l'eau de plus en plus froide. Au sortir du refroidis-

1. *Inst. of Mechanical Eng.*, janv. 1881 et *Revue industrielle*, 15 janvier 1884 « *On machines for producing cold air* » par T.-B. Lightfoot. *The Engineer* 1<sup>er</sup> octobre 1880, 14 avril 1882. *Engineering*, 29 septembre 1882,

seur D, l'air, abaissé à une température inférieure de 5 à 6° seulement à celle de l'eau de circulation, se rend dans le réservoir G, où il dépose une partie de son humidité, qui s'en évacue par le bas au moyen de robinets de purge. L'air comprimé, refroidi et en partie desséché, est amené par le tuyau I au détenteur E, où il s'abaisse à la pression atmosphérique, et d'où il s'échappe par le tuyau J.

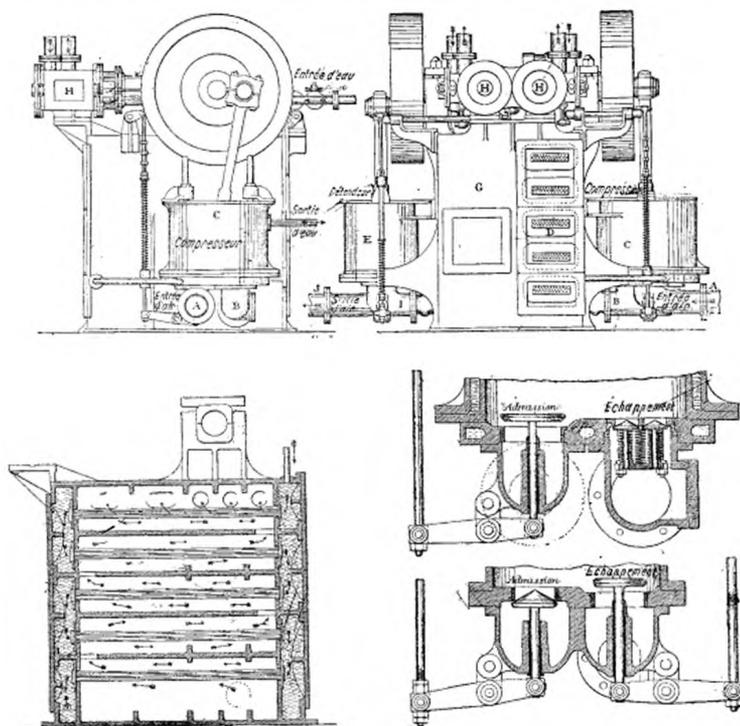


Fig. 36 à 40

Hall. *Machine verticale. Ensemble; détails du refroidisseur et des soupapes du compresseur et du détenteur.*

C, compresseur à enveloppe d'eau.

E, Détendeur.

G, Refroidisseur.

HH, Cylindres du moteur à vapeur.

Les soupapes d'admission et d'échappement du détenteur (fig. 40) sont desmodromiques : au compresseur, la soupape d'aspiration est seule conduite mécaniquement (fig. 40), tandis que les soupapes de refoulement, au nombre de six, fonctionnent automatiquement. Les cylindres du moteur à vapeur H. H. n'ont à vaincre que les résistances passives de la machine et la différence entre les travaux de compression et de détente de l'air.

Les diagrammes moyens relevés sur le compresseur et le détendeur de cette machine sont représentés par les figures 41 et 42.

Les principales caractéristiques de cette machine sont les suivantes :

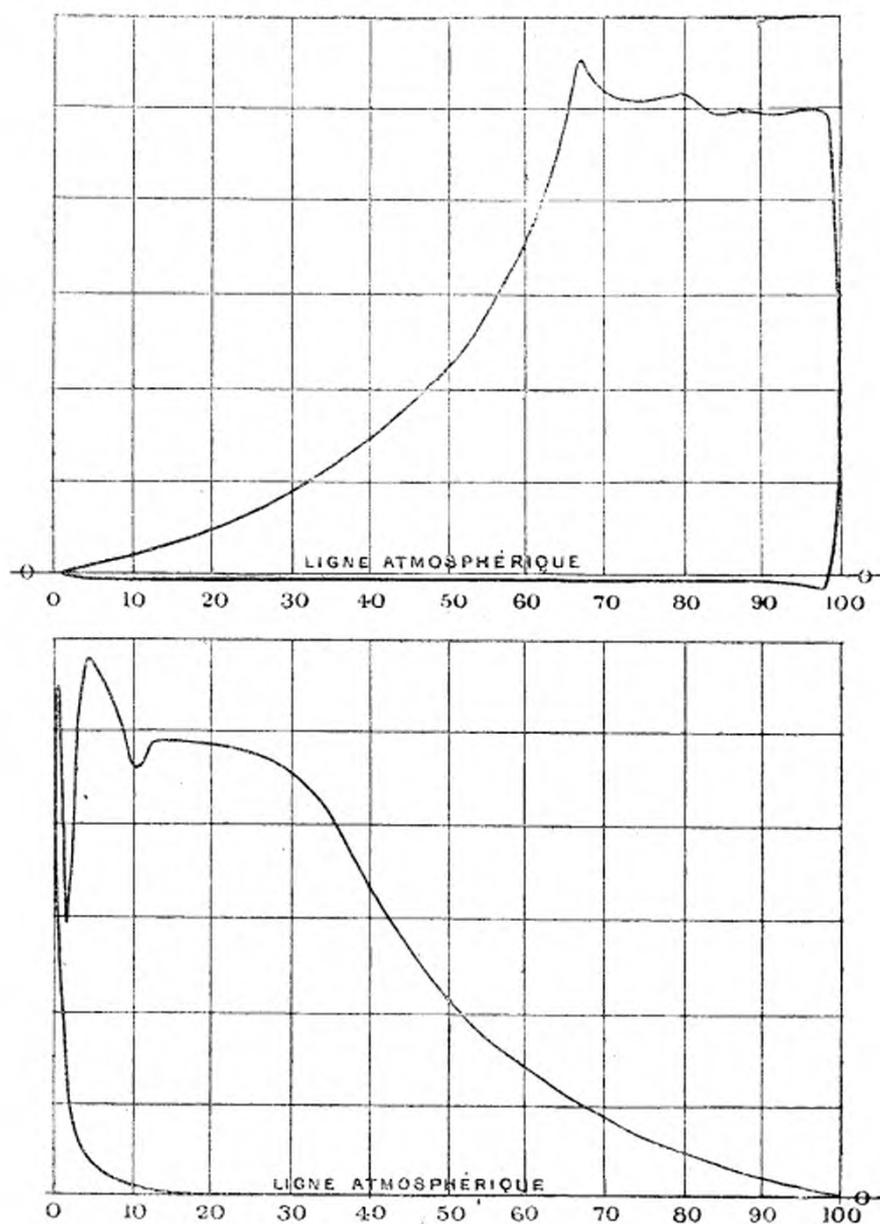


Fig. 41 et 42. — Hall. Machine des fig. 36 à 40. — Diagrammes du compresseur et du détendeur à l'échelle 0 k. 5 par division.

|                                           |                       |
|-------------------------------------------|-----------------------|
| Diamètre du cylindre compresseur. . . . . | D = 685 <sup>mm</sup> |
| — cylindre détendeur. . . . .             | d = 560               |
| Course du piston . . . . .                | 460                   |
| Tours par minute . . . . .                | 62                    |
| Pression dans le réservoir G. . . . .     | 4 <sup>k</sup> ,35    |
| Température de l'air aspiré . . . . .     | 11°                   |
| — comprimé . . . . .                      | 113°                  |
| — en G . . . . .                          | 21°                   |
| — détendu . . . . .                       | — 63°                 |

|                                                         |                          |
|---------------------------------------------------------|--------------------------|
| Travail de compression . . . . .                        | 43 chev. 10              |
| — détente . . . . .                                     | 28 » 60                  |
| Différence (travail moteur) . . . . .                   | 14 » 50                  |
| Cylindres moteurs, diamètre . . . . .                   | 305 <sup>mm</sup>        |
| — course . . . . .                                      | 250                      |
| Travail moteur indiqué . . . . .                        | 24.6                     |
| Pression d'admission de la vapeur . . . . .             | 4 kil.                   |
| Température de l'eau de circulation initiale . . . . .  | 14°                      |
| — — finale . . . . .                                    | 63°                      |
| Dépense d'eau de circulation par minute . . . . .       | 4 kil. 20                |
| Travail perdu par le refroidissement de l'air . . . . . | 19 chev.                 |
| Rapport . . . . .                                       | $\frac{D^2}{d^2} = 1.50$ |
| Rendement organique . . . . .                           | 0.58                     |

Le refroidisseur D. D. de la petite machine représentée par la figure 43 ne comprend que deux faisceaux de tubes : l'air comprimé, refoulé par B autour de la première série de ces tubes, passe à la seconde par dessus le diaphragme L, puis au détendeur. Le cylindre moteur unique H est placé verticalement entre le détendeur et le compresseur.

Les deux machines que nous venons de décrire ne produisent pas d'air froid sec. Pour obtenir de l'air sec, on se sert, comme nous l'avons vu page 122, de la détente même de l'air, qui se fait alors en deux temps. L'air comprimé, humide et refroidi, est détendu d'abord dans un premier cylindre ou détendeur intermédiaire, d'où il passe au détendeur final, après avoir déposé presque toute son humidité dans un séchoir à chicanes interposé entre les deux détendeurs. — Prenons comme exemple de l'air à 35°, comprimé à 4<sup>k</sup>,50 absolus, et pleinement

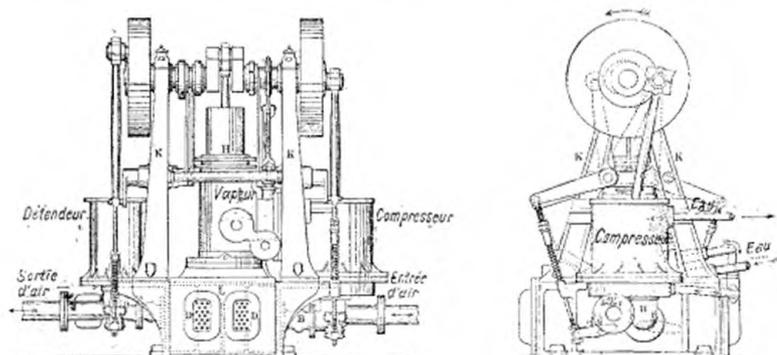


Fig. 43. — Hall. — Machine verticale symétrique.

B, refoulement de l'air comprimé au refroidisseur DL. H cylindre moteur à vapeur. K bâtis supportant l'arbre moteur.

saturé de vapeur d'eau, c'est-à-dire renfermant en suspension 0,008 de son poids de vapeur d'eau. Après une détente de 1,75, cet air, refroidi à 1° et ramené à une pression de 2<sup>k</sup>,45, ne renfermera plus que 0,0016 d'eau au sortir du premier détendeur et du séchoir. Cet air, admis ensuite au second détendeur, s'y détendra suivant une adiabatique, ou à très peu près, et ne renfermera plus, à la fin

de sa détente, que 0,001 d'eau ; l'humidité précipitée au détendeur (0,0006 est recueillie en givre dans la boîte à neige. L'air s'échappe donc du second condenseur avec très peu de vapeur en suspension.

Le diagramme, fig. 44 permet de comparer les deux modes de dessèchement de l'air : par une détente intermédiaire, comme dans les machines de Hall, et par le refroidissement complémentaire de l'air comprimé au moyen de l'air détendu, comme dans les machines de Bell-Coleman. Au sortir du premier refroidisseur ou du réservoir C, (fig. 11, p. 13), l'air comprimé à 4 kil. 50 et

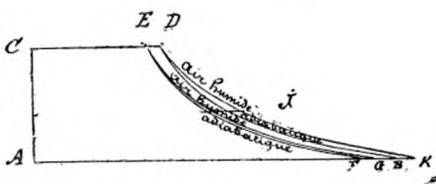


Fig. 44.

à la température de  $35^{\circ}$  occupe un volume CD : après son refroidissement à  $5^{\circ}$  sous pression constante, son volume a diminué de DE. Pendant ce refroidissement par l'échange de température avec de l'air froid extérieur au travers des tubes d'un condenseur à air, cet air froid a abandonné une quantité de chaleur suffisante pour élever de  $46^{\circ}$  une même masse d'air sec : on voit que la courbe réelle de détente (EG) ne s'écarte que très peu de la courbe de détente adiabatique (EF) de l'air supposé sec en E, car l'air ne renferme que très peu d'humidité en E à la température de  $5^{\circ}$ .

Avec le système de Hall, l'air se détend d'abord, dans le premier détendeur, suivant DJ, jusqu'à la pression de 2 kil. 40, et la température s'abaisse de  $35^{\circ}$  en précipitant la même proportion d'humidité que dans le premier cas, par le refroidissement à  $5^{\circ}$  sous pression constante.

Dans le second détendeur, cet air presque sec, se détend suivant JR jusqu'à la pression atmosphérique et une température de  $-55^{\circ}$ , tandis que l'adiabatique DB de l'air sec conjuguée, à DK, aboutirait à une température finale de  $-70^{\circ}$ . La température finale est donc moindre, à détente égale, avec le système de Hall  $-55^{\circ}$  au lieu de  $-85^{\circ}$  ; mais à la fin de la détente seulement, aussitôt au sortir du détendeur. En effet, dans l'autre système, l'air détendu s'échauffe en refroidissant l'air comprimé pour en précipiter l'humidité, tandis, qu'avec le procédé Hall, l'air qui s'échappe du second détendeur est entièrement utilisé pour l'application immédiate de son froid.

En outre, le travail restitué par la détente est, avec le procédé Hall, plus grand dans le rapport des deux surfaces ACDK. ACEG.

D'après M. Lightfoot, les quantités de vapeur d'eau précipitées aux différentes phases du refroidissement, dans une machine de Hall capable de refroidir par heure 420 mètres cubes d'air pris à  $32^{\circ}$  seraient données par le tableau ci-dessous.

|                                   |       |       |
|-----------------------------------|-------|-------|
|                                   | kil.  | 0/0   |
| Vapeur contenue dans l'air à 320° | 20.50 | 100   |
| Déposée dans le refroidisseur G   | 15    | 74.10 |
| Après la première détente         | 4.20  | 20.40 |
| En givre, dans l'air refroidi     | 0.40  | 2.05  |
| Total.....                        | 19.60 |       |
| Restant dans l'air froid.....     | 0.90  | 3.45  |

Les figures 45 et 46 représentent une machine de Hall à cylindres moteurs inclinés pourvu d'un sécheur Lightfoot. L'air comprimé, refoulé par A au refroidisseur qu'il traverse en rencontrant de l'eau de plus en plus froide, passe par C au haut du cylindre de détente, dans l'espace annulaire duquel il subit sa première détente. De cet espace, l'air refroidi à 1° environ passe par D, au travers du sécheur à chicanes E, dans le réservoir K, où il

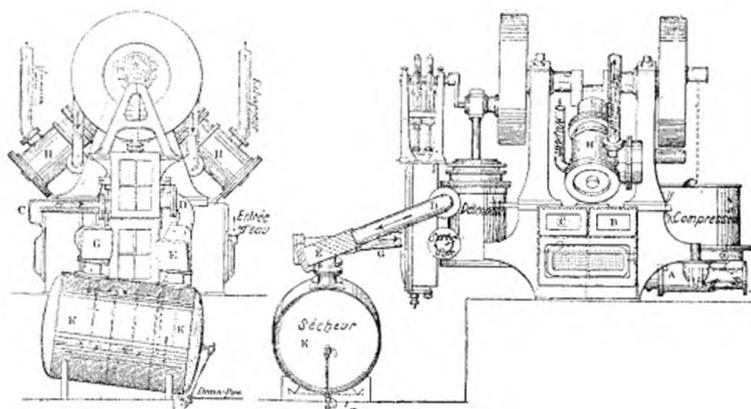


Fig. 45 et 46. — Hall. Machines à cylindres inclinés

HH, cylindres moteurs. A refoulement du compresseur au refroidisseur BC puis dans l'espace annulaire du détenteur. E boîte à chicanes où l'air dépose, après la première détente, la majorité de son eau, qui s'écoule en K. G conduite amenant l'air sec au bas du détenteur, où il subit sa grande détente.

dépose presque toute son humidité, et qui l'envoie, par le tuyau G, au bas du cylindre détenteur, où il achève de se détendre et de se refroidir. Dans cette machine, le compresseur est refroidi par une circulation d'eau séparée au lieu de l'être, comme dans les appareils précédents, par de l'eau qui a déjà refroidi le rafraîchisseur B; il en résulte que la température de l'air aux compresseurs est plus basse: 110° au lieu de 130°. Cet air arrive au premier détenteur à une température de 35°, et très humide; il sort de la machine parfaitement sec.

Les figures 47 représentent deux séries diagrammes de cette machine pris à 60 tours sur le compresseur et les deux détenteurs.

Pour la marine, on préfère, en général, les machines horizontales. Les figures

11 à 13, page 123 représentent un type de machine Hall de ce genre, à sécheur détenteur, pouvant débiter à 65 tours 140 mètres cubes d'air par heure. Le compresseur à double effet est pourvu d'un cylindre en bronze, plus mince et plus conducteur que la fonte, afin d'en faciliter le refroidissement.

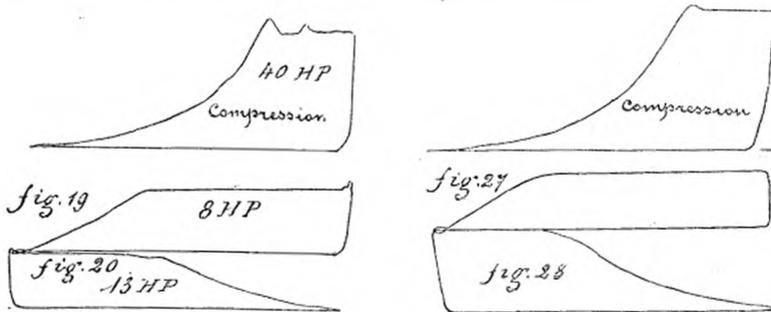


Fig. 47. Diagrammes du compresseur et des deux détenteurs. Machines Hall (fig. 45 et 46).

L'air, comprimé à 4 kil. 50 s'échappe dans les refroidisseurs BB, d'où il passe, à l'avant du détenteur E, dans l'espace annulaire A, puis au sécheur à chicanes D, représenté en détail par la figure 12, et dont la disposition des toiles C est due à M. Cowper. Du sécheur, l'air passe à l'arrière du détenteur, où il achève sa détente et son refroidissement.

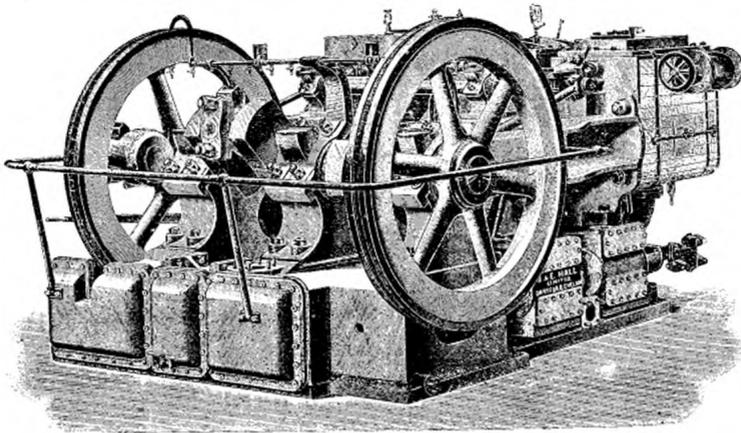


Fig. 48. — Hall. Machine de 2000 m<sup>3</sup> à l'heure

Dans quelques types de machines plus puissantes, le compresseur et le cylindre à vapeur sont placés dans le prolongement l'un de l'autre, au dessus de l'arbre du

volant commandé par un renvoi à balancier. Le piston du cylindre détenteur placé en contre-bas et dans le plan de l'arbre du volant, est commandé par une manivelle en arrière de  $75^{\circ}$  sur la manivelle motrice. Le balancier qui renvoie le mouvement à la manivelle motrice actionne aussi la pompe à air du condenseur à injection logé dans le bâtis. L'admission au détenteur s'opère, comme pour les machines précédentes, au moyen de tiroirs Meyer réglables à volonté : les soupapes d'échappement sont desmodromiques. Des machines de ce type, occupant  $6^m,40$  de long, sur  $2^m,45$  de haut et autant de large fonctionnent à l'établissement frigorifique des Docks de Sainte Catherine à Londres, où elles débitent 300 mètres d'air par heure.

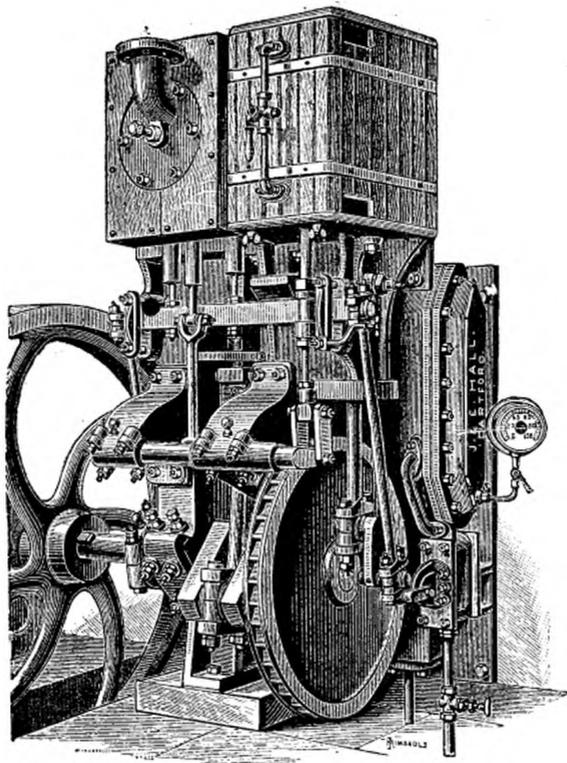


Fig. 49. — Hall. Machine de  $50\text{ m}^3$

L'une des machines les plus puissantes construites par M. Hall (fig. 48), débite jusqu'à 2000 mètres cubes d'air froid par heure, sous un encombrement relativement faible de  $4^m,20 \times 2^m,70 \times 2^m$  de hauteur. Elles sont appliquées

sur plusieurs navires pour le transport des viandes, notamment par la *Colonial Union Line*, pour la Nouvelle-Zélande.

La machine type n° 11, la plus puissante construite jusqu'à présent par M. Hall, débite, avec une puissance de 240 chevaux, 4000 mètres d'air par heure. Son encombrement est de  $5^m,800 \times 3^m \times 1^m,85$ . Elle est aussi du type horizontal double, avec machine à vapeur compound.

Nous citerons, à côté de ces grandes machines, les petits appareils établis par M. Hall pour les installations domestiques ou industrielles de peu d'importance comme les machines du type A, qui peuvent être disposées à volonté horizontalement ou verticalement, et la machine verticale représentée par la figure 49, qui débite par heure  $53^{m3}$  d'air à  $-40^\circ$ , avec une puissance motrice de 4 chevaux, un moteur à gaz par exemple.

### MACHINES LIGHTFOOT

M. Lightfoot, autrefois attaché à l'usine de M. Hall, inventeur du procédé de séchage de l'air par détente intermédiaire adopté par ce constructeur (1) a construit depuis, pour son compte, un certain nombre d'appareils frigorifiques à air, dont nous allons présenter une description sommaire d'après un mémoire que Lightfoot a présenté en mai 1886 à l'institution des Mechanical Engineers de Londres (2).

La machine représentée par les figures 50 à 52 peut débiter, suivant sa vitesse, de 600 à 1700 mètres cubes d'air par heure. Le compresseur C est à double effet, et le détendeur E à simple effet, avec robinets distributeurs en bronze phosphoreux qui marchent sans bruit avec de très faibles espaces nuisibles. Ces robinets fonctionnent d'après M. Lightfoot, très bien et avec fort peu d'usure. On peut facilement accéder au piston du détendeur dont la partie la plus froide est, comme on le voit, très éloignée du compresseur toujours un peu chaud.

L'air, admis au compresseur par les robinets AA, est refoulé par le tuyau B au refroidisseur R, dont les tubes, en métal Muntz et de 20 millimètres de diamètre, sont parcourus par un courant d'eau que la pompe P refoule par D au refroidisseur, puis, par F et H, autour du compresseur. L'humidité de l'air précipité dans le refroidisseur se purge à la main ou automatiquement; l'air, qui y circule en sens contraire du courant d'eau, s'en échappe à une température ne dépassant que de  $2^\circ$  à  $3^\circ$  celle de l'eau. — Il faut environ  $4 \frac{1}{2}$  à 6 litres

1. Brevet anglais 4065 de 1880.

2. *On refrigerating and ice making machinery* et brevet anglais 678 de 1882.

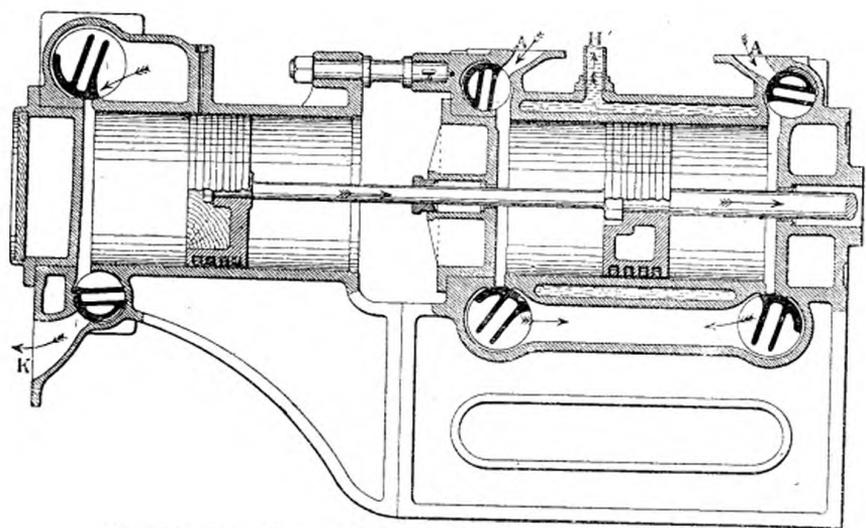
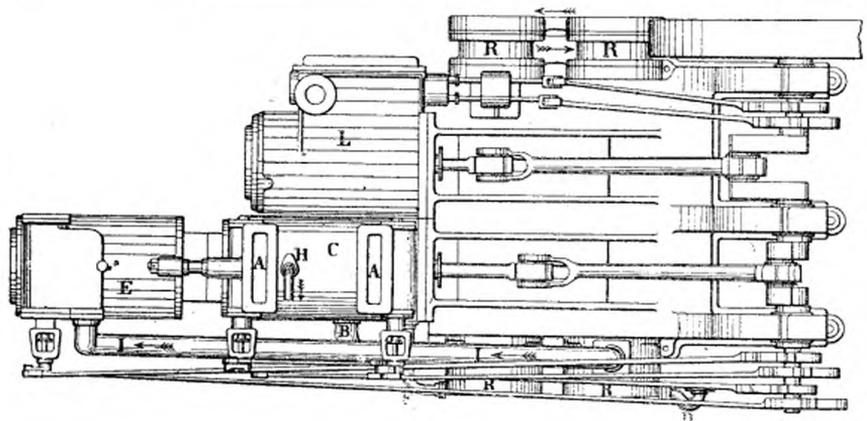
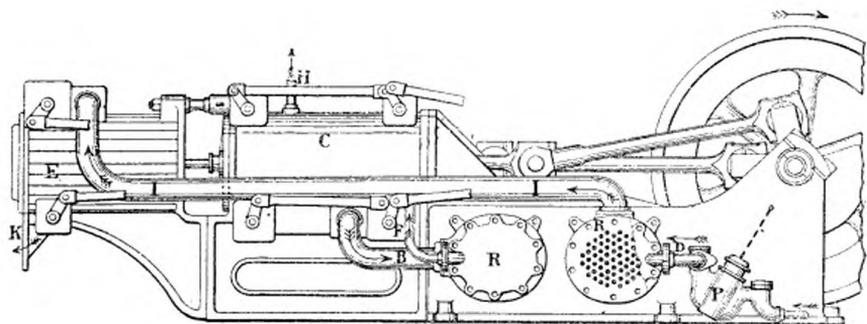


Fig. 50, 51 et 52. — *Lightfoot. Machine de 600 à 1700 m<sup>3</sup>*  
 Élévation, plans, détails du compresseur et du détendeur  
 L cylindre à vapeur. E compresseur. E détendeur.  
 B tuyau amenant l'air comprimé au détendeur par les refroidisseurs RR et  
 le tuyau I. P pompe de circulation d'eau aux refroidisseurs puis au com-  
 presseur suivant H E. A admission au compresseur.

d'eau par mètre cube passé dans la machine, c'est-à-dire, trois ou quatre fois le poids de l'air. — Du refroidisseur, l'air passe, par I, au détendeur E, d'où

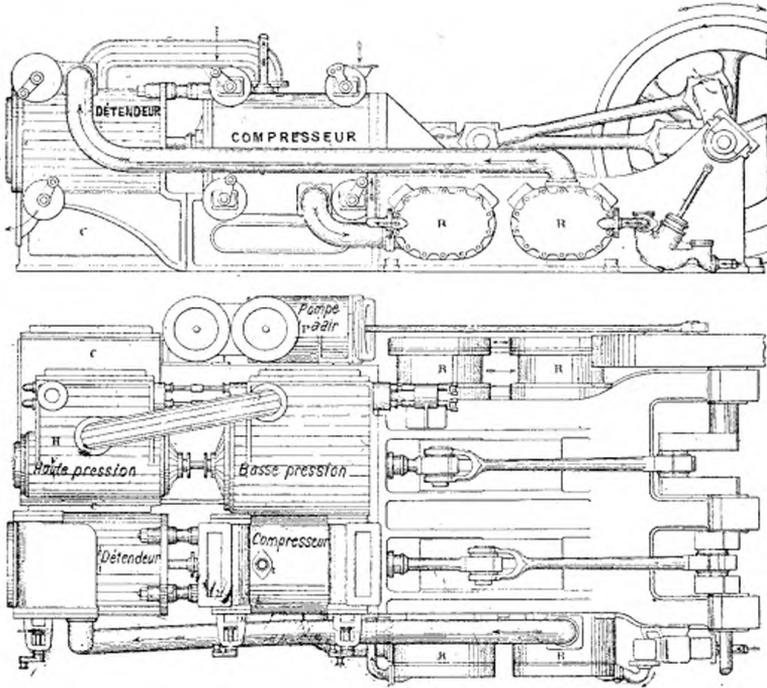


Fig. 53 et 54. — *Lightfoot*. Machine horizontale à moteur compound RR refroidisseur, C condenseur à surfaces.

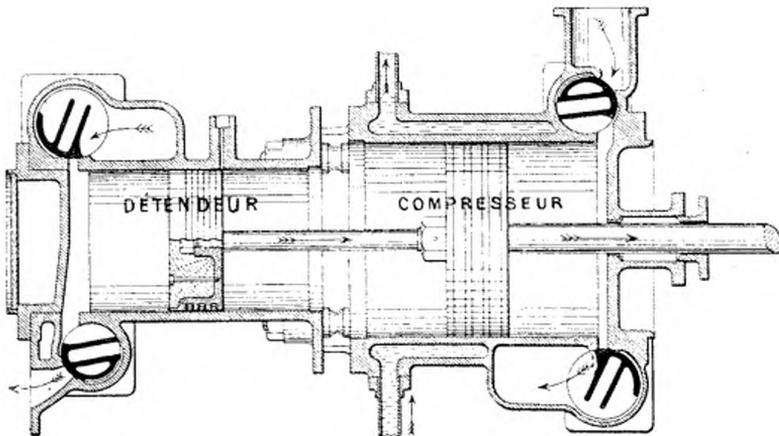


Fig. 55. — Détail du compresseur et du détendeur des machines de 600 m<sup>3</sup>

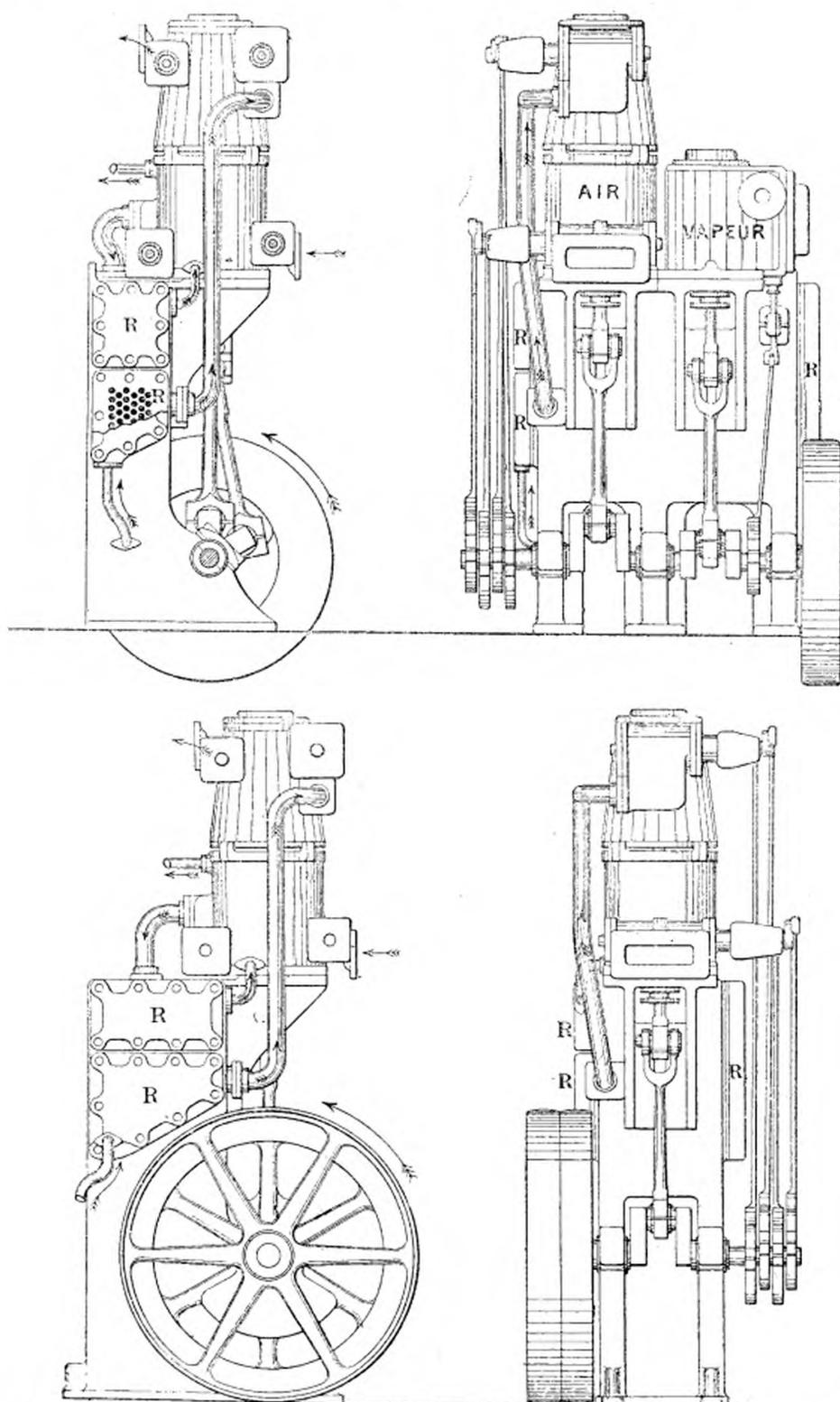


Fig. 56 à 59. — *Lightfoot*. Machines verticales avec et sans moteur à vapeur conjugué.

il s'échappe par K. à  $-60$  ou  $-70^{\circ}$ , après avoir restitué par sa détente environ 60 0/0 du travail de compression.

On peut facilement, sans augmenter l'encombrement de la machine, ajouter au cylindre à vapeur un condenseur d'injection ou à surfaces et sa pompe à air, ou un cylindre de détente pour marcher en compound. — Dans ce cas, (fig. 53 et 54 le condenseur à surface C est placé sous le cylindre de haute pression H, et la pompe à air latéralement en P. La même eau sert pour le condenseur et pour le refroidisseur R, qu'elle traverse avant d'arriver au condenseur.

Pour les machines de terre débitant plus de 1700 mètres cubes à l'heure, M. Lightfoot préfère la disposition verticale avec compresseur et détenteur à simple effets commandés par une machine horizontale compound. La plus puissante machine qu'il ait construite sur ce modèle débite 8000 mètres cubes à l'heure. Le compresseur est rafraîchi par une injection d'eau intérieure, qui s'écoule constamment sur la face active du piston et sur les parois du cylindre sans se disperser dans l'air comprimé.

Au-dessous d'un débit de 600 mètres, à air, M. Lightfoot préfère employer aussi des compresseurs et des détenteurs à simple effet conjugués comme l'indique la figure 55, ce qui permet de simplifier et de réduire encore l'encombrement de la machine.

Les types verticaux représentés par les figures 56 à 59, également de faible force, ont leurs refroidisseurs R venus de fonte avec le bâtis.

D'après M. Lightfoot, il faudrait, pour abaisser de  $+12^{\circ}$  à  $-60^{\circ}$  avec de l'eau à  $12^{\circ}$ , une tonne d'air par heure, dépenser environ 18 chevaux indiqués au cylindre moteur des grandes machines.

## MACHINES DE HARGREAVES ET INGLIS (1)

Les machines de MM. Hargreaves et Inglis, construites par la maison Hick Hargreaves and Co, de Boulton, se distinguent par quelques particularités intéressantes.

Les figures 61 et 62 représentent les principales particularités des machines verticales très compactes, à cylindres compresseur et détenteur superposés. Au compresseur, l'air est refroidi par une injection d'eau. Les soupapes d'admission et d'échappement du détenteur sont commandées mécaniquement par des cames *a* et *e*, qui donnent sans choes des ouvertures et des fermetures très rapides. Les espaces nuisibles sont très réduits. L'air comprimé passe du com-

1. Brevets anglais 3340 de 1877, 1747 de 1878. *Engineering*, 4 août 1884.

presseur au réservoir B (fig. 64), puis au détendeur et au réfrigérant *c*, ou frigorifère, d'où il revient au compresseur. L'air à refroidir, aspiré par un ventilateur E, est refoulé, dans la chambre froide D, autour des tubes du frigorifère *c*, après avoir été filtré et purifié en E.

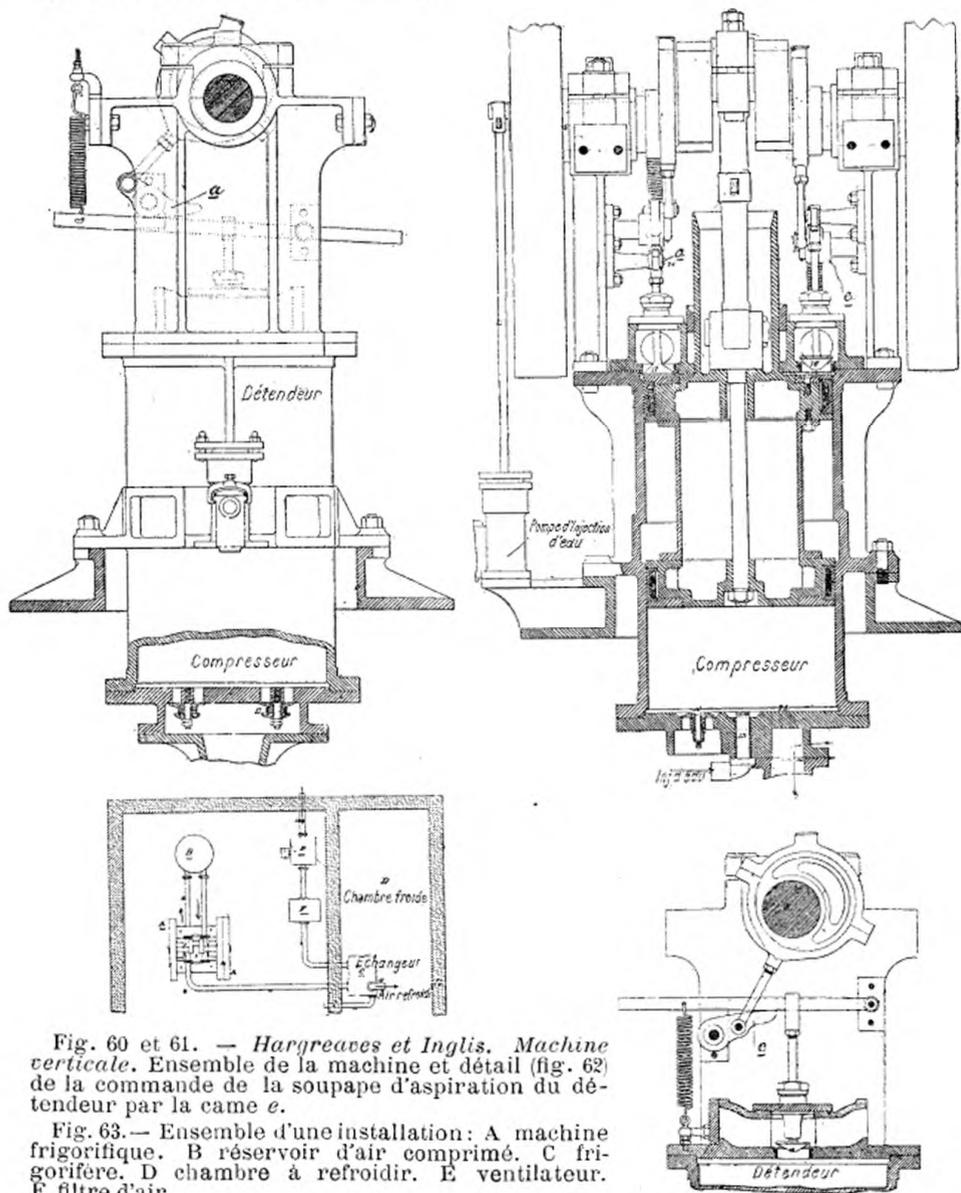


Fig. 60 et 61. — Hargreaves et Inglis. Machine verticale. Ensemble de la machine et détail (fig. 62) de la commande de la soupape d'aspiration du détendeur par la came *e*.

Fig. 63. — Ensemble d'une installation: A machine frigorifique. B réservoir d'air comprimé. C frigorifère. D chambre à refroidir. E ventilateur. F filtre d'air.

Le compresseur des machines horizontales est à double effet. — Dans le type représenté par les figures 64 à 68, l'air comprimé se rafraîchit dans les

tubes d'un refroidisseur R qu'il traverse de haut en bas avant d'arriver au détendeur faisant suite au compresseur sur le même bâti. Le détendeur a sa distribution faite par quatre robinets Corliss : deux pour l'admission et deux

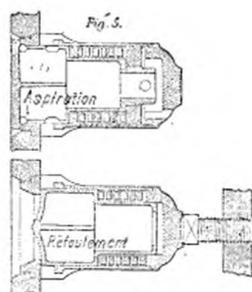
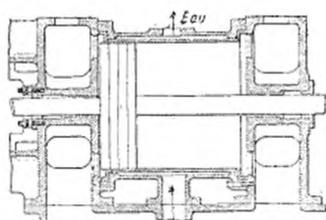
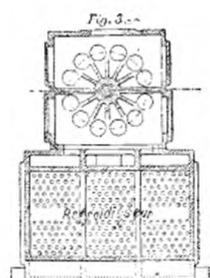
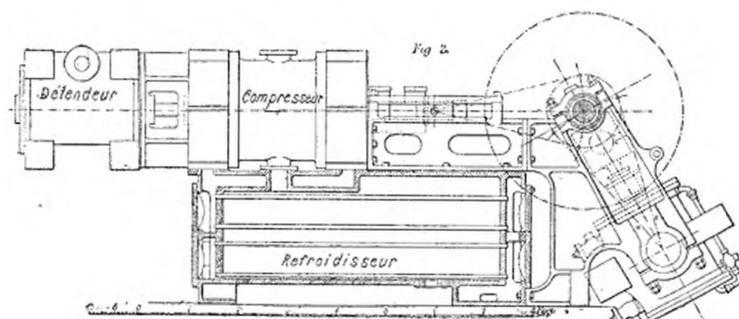
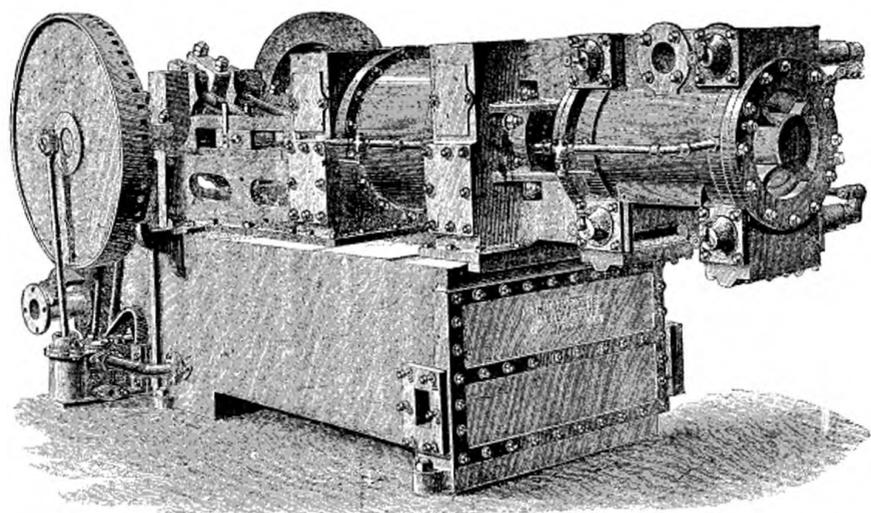


Fig. 61 à 68. — Hick. Hargreaves. Ensemble d'une machine horizontale : Coupe transversale par le compresseur, détail du compresseur et de ses soupapes d'aspiration et de refoulement.

pour l'échappement, au-dessous des cylindres, très accessibles et à l'abri des engorgements par la neige. Les robinets d'échappement sont seuls pourvus de déclis : ceux de l'admission sont mûs par un excentrique sans déclanchement. Le compresseur est pourvu de soupapes d'aspiration et de refoulement automatiques, à ressort réglables à volonté, et très accessibles (fig. 68).

Le cylindre de la machine à vapeur, oscillante et bien isolée du détenteur, est monté à part à l'autre extrémité du bâtis.

Les principales caractéristiques de cette machine sont les suivantes :

|                               |                      |     |              |
|-------------------------------|----------------------|-----|--------------|
| Cylindres compresseur. .      | diamètre :           | 530 | millimètres. |
| — détenteur                   | —                    | 400 | —            |
| — moteur                      | —                    | 457 | —            |
| —                             | course :             | 457 | —            |
| Refroidisseur..               | Nombre des tubes.    | 234 |              |
| —                             | Diamètre des tubes : | 25  | —            |
| Vitesse 120 tours par minute. |                      |     |              |

En marche normale, la pression moyenne de l'air est de 2 kil. 80 au compresseur et de 1 kil. 50 au détenteur.

Deux machines de ce modèle fonctionnent pour la conservation des viandes transportées de la Nouvelle-Zélande à bord du Marsala.

#### MACHINES DE HASLAM (1)

Les machines frigorifiques fabriquées à Derby par M. Haslam, qui est aussi le constructeur des appareils Bell-Coleman, sont très répandues en Angleterre.

Les soupapes d'aspiration B (fig. 6 et 7, p.119) et de refoulement C, du compresseur, ont leurs sièges ajustés dans un plateau en bronze A, rafraîchi par une circulation d'eau *a*. Le fond du compresseur est divisé par une cloison *c* en deux compartiments renfermant l'un deux soupapes d'aspiration, et l'autre trois soupapes de refoulement. — Les guides des soupapes de refoulement sont simplement vissés dans leurs sièges, de sorte qu'il suffit d'enlever le regard D' du plateau extérieur pour accéder aux soupapes et les démonter très facilement ; il en est de même pour les soupapes d'aspiration, suspendues à leurs tiges par un joint sphérique, qui assure la liberté du guidage et empêche tout broutement du guide par défaut de coïncidence entre son axe et celui de la tige.

Dans la machine représentée par les figures 69 et 70 les cylindres compresseur et détenteur sont disposés en C et en D, latéralement aux cylindres de haute et de basse pression A et A' du moteur compound, dont le condenseur G fait partie du bâtis général. — On voit en H la pompe de ce condenseur, en I

1. Brevets anglais 1484, 5060 de 1880; 2032 de 1883. *The Engineer*, 9 sept. 1887. p. 219.

les pompes alimentaires, en MM les pompes de circulation du refroidisseur et du compresseur.

Le refroidisseur est divisé en deux parties E et F : la première partie est refroidie par une circulation d'eau et la seconde par l'air froid même sortant du détenteur ou de la chambre froide. L'air comprimé et chaud arrive du

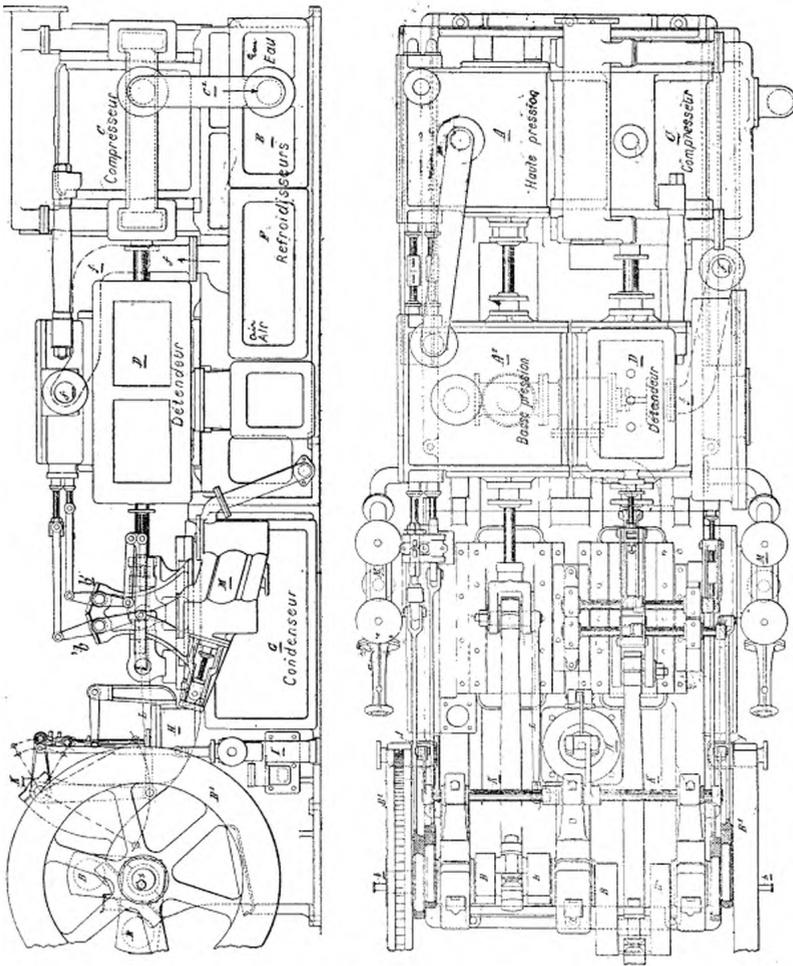


Fig. 69 et 70. — Haslam. Machine horizontale à moteur compound  
H pompe à air, H pompe alimentaire, MM pompes de circulation.

compresseur au premier refroidisseur par C', passe successivement autour des tubes des deux refroidisseurs, et sort de f par f' au détenteur, où il arrive déjà refroidi et débarrassé de presque toute son humidité.

La commande de pompes H et I se fait par le renvoi de mouvement K, et celle des pompes de circulation M par les boutons *b*. — Les soupapes du compresseur sont automatiques; le détendeur est desservi par des tiroirs représentés en détails sur la figure 71, et commandés par excentrique et balancier *b'*. L'air comprimé admis aux chambres A et B passe, à chaque extrémité du détendeur, par les tiroirs de détente C et D, d'admission et d'échappement E F. Ces derniers tiroirs, équilibrés par des couronnes à ressorts ( $E_1 E_2$ ) ( $F_1 F_2$ ) admettent l'air comprimé par G et H, puis laissent l'air détendu s'échapper par ces mêmes lumières en J, dans la boîte à neige, à laquelle on arrive facilement par le couvercle  $J_1$ .

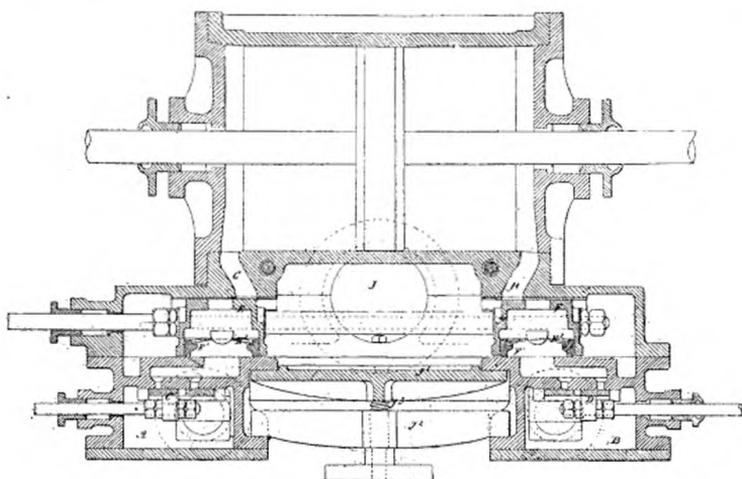


Fig. 71. — Haslam. Détail du détendeur.

AB chambres des tiroirs de détente C et D. EFGH tiroirs et lumières d'admission et d'échappement.  $E' F'$  plaques d'équilibre des tiroirs E et F, à ressorts  $E_2 F_2$ . J tuyau d'échappement.  $J^1$  regard serré par la vis  $J^3$  et l'étrier  $J^2$ .

Les figures 72 et 73 représentent une autre disposition adoptée par M. Haslam pour refroidir l'air au sortir du compresseur par l'air du détendeur ou par un retour de la chambre froide.

Dans les deux cas, l'air comprimé et chaud est refoulé par  $A_2 B$  au travers d'une série de tubes  $B_2$ , enfermés dans un compartiment E, et se rend par  $B_4$  au détendeur, dont il sort très froid par D.

Dans le premier cas, l'air même du détendeur passe de la vanne K au conduit en bois 9, qui l'amène au bas du compartiment E, d'où il se rend à la chambre froide par ( $i D_1$ ) après avoir refroidi l'air comprimé dans les tubes  $B_2$ .

Dans le second cas, on ferme les vannes K et J et l'on ouvre les vannes M et X. L'air qui revient de la chambre froide par L passe alors à l'aspira-

tion P du compresseur, non plus directement, mais par le trajet ( $L_1$  EN  $L_2$ ) en passant autour des tubes  $B_2$ .

Lorsque les tubes  $B_2$  s'engorgent par le dépôt de givre et de glace que l'air y dépose en se refroidissant, on n'a qu'à fermer toutes les vannes (I j M N) : la

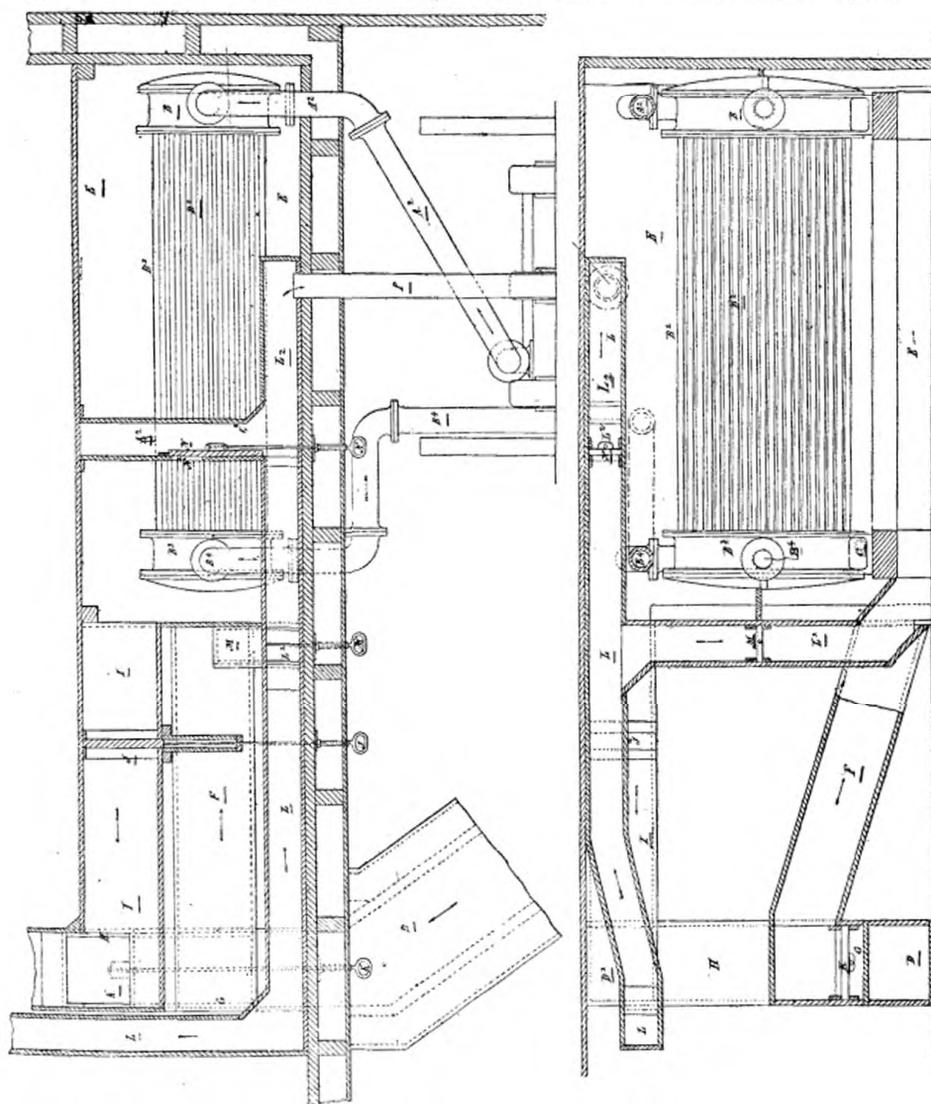


Fig. 72 et 73. — Refroidisseur Haslam. Élévation et plans-coupes.

$B_2$ , tubes traversés par l'air comprimé chaud amené du compresseur par  $A_2B$  et allant par  $B_1$  à l'aspiration du détendeur. D, échappement du détendeur. K, vanne permettant d'envoyer l'air froid au détendeur, par  $F_1$ , en E, autour des tubes  $B_2$ , d'où il passe par IJD<sub>1</sub> à la chambre froide.

MN, vannes permettant de dévier l'air revenant de la chambre froide à l'aspiration P du compresseur autour des tubes B, par le trajet ( $L_1E$   $NL_2$ ).

chaleur de l'air comprimé dégivre très rapidement les tubes, dont l'eau de fusion s'évacue par *c*.

La machine de Haslam représentée par les figures 74 et 75 est double avec deux cylindres à vapeur, deux compresseurs *C*, deux détendeurs à double effet *E*. — En temps ordinaire, les cylindres à vapeur marchent en compound; en cas

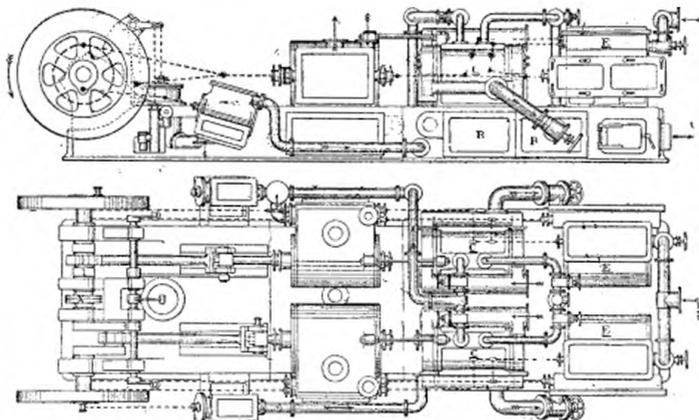


Fig. 74 et 75. — Haslam. Machine double horizontale, *CC*, compresseur, *EE*, détendeurs conjugués par un arbre découplable en *X*. *RR*, refroidisseur à air et à eau.

d'avarie avec l'une des machines, on découple l'arbre des manivelles en *X*, et l'on marche avec le moteur en bon état. On reconnaît facilement sur cette machine les organes décrits à propos de la machine représentée par les figures 69 et 70.

### Machines de M. Matthews

Les machines de M. Matthews, construites par MM. Matthews et Goodfellow, de Hyde, sont de date récente (1) et présentent plusieurs particularités de détail très remarquables.

Les fig. 76 et 77 représentent une machine Matthews à cycle fermé.—L'air, au sortir du compresseur *D*, traverse deux refroidisseurs : il arrive d'abord, par le tuyau *J*, au refroidisseur à eau *E*, d'où il passe dans la colonne cloisonnée *c*, qui l'amène, par *X*, au refroidisseur à air *E*<sub>2</sub>, dont les tubes sont entourés par l'air froid qui revient de la chambre froide au compresseur suivant le trajet *W E*<sub>2</sub> *V*.

1. Brevets anglais 5648 de 1886, 4780 de 1887. *The Engineer, et Industries*, 5 oct. 1888.

La distribution s'effectue au détendeur par des robinets Corliss (fig. 78 et 79). — L'air comprimé et refroidi arrive aux robinets d'admission I par la lumière  $i_2$ , lorsqu'elle vient en face du canal  $i$ , en même temps que les lumières  $i_1$   $i_4$  arrivent en face du canal  $i_3$ . Quand le robinet est fermé, comme sur la figure 80, la pression exercée par l'air comprimé en  $i$  est équilibré par celle qu'il exerce en  $i_3$  dans la saignée ménagée à cet effet sur la paroi inférieure de l'enveloppe du robinet. Le boisseau du robinet est, en outre, percé aux extrémités de trous  $i_6$ , qui laissent l'air comprimé passer sur ses deux faces  $i_7$ , de manière qu'il soit à peu près équilibré suivant sa longueur. — Le boisseau

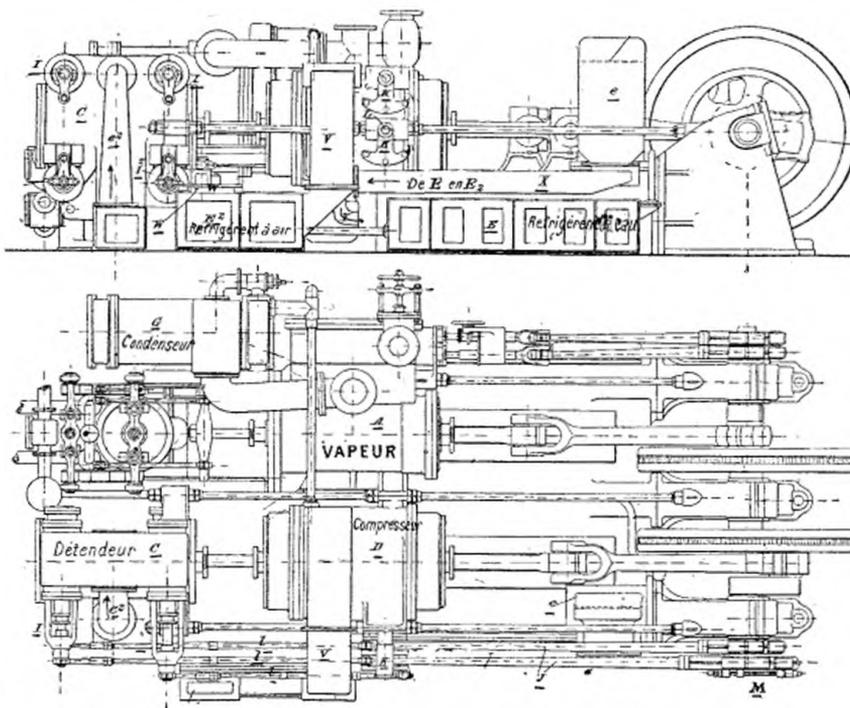


Fig. 76 et 77. — Matthews. Machine horizontale simple. A, cylindre moteur, C, détendeur, D, compresseur, II, robinets Corliss commandés par le mécanisme M, K, e, colonne cloisonnée amenant l'air comprimé au refroidisseur E. X, tuyau amenant l'air comprimé de E. en E<sub>2</sub>.

W, conduit amenant l'air e<sup>2</sup> de la chambre froide à l'aspiration V du compresseur suivant (e, W, E<sub>2</sub>, V).

des robinets d'échappement I<sup>2</sup> est largement ouvert, de manière à éviter toute accumulation d'eau. Les robinets d'admission sont actionnés (fig. 81) par un excentrique à rayon variable M, dont la tige J attaque la bielle l par un renvoi de mouvement K, ayant pour effet d'accélérer la vitesse des robinets au moment de leur fermeture. — Les robinets d'échappement sont commandés de même par un excentrique à course invariable.

Les soupapes du détenteur ont une forme particulière. La soupape d'aspiration est constituée, comme nous l'avons vu (fig. 8, page 120), par un disque

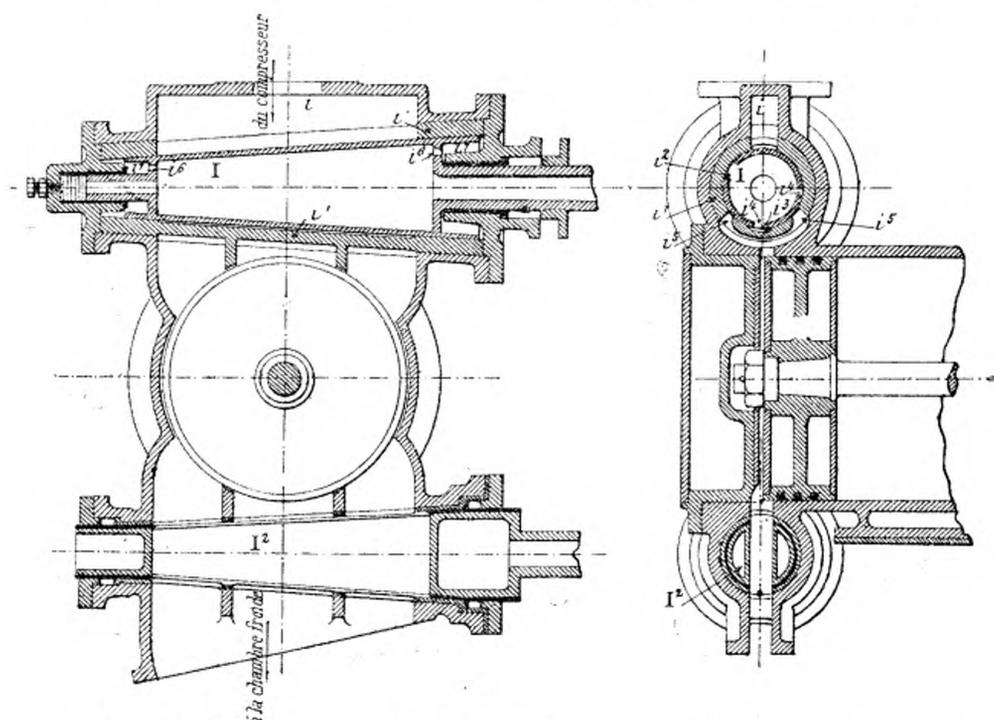


Fig. 78 et 79. Matthews. Robinets de distribution des détenteurs.

1, robinet d'admission équilibré longitudinalement en  $i^6$ ,  $i^7$  et latéralement en  $i^3$  : quand la lumière  $i^2$  vient en  $\iota$ , l'admission de l'air comprimé se fait par  $i_2$ ,  $i_4$ ,  $i_5$ .  $I^2$  robinet d'échappement.

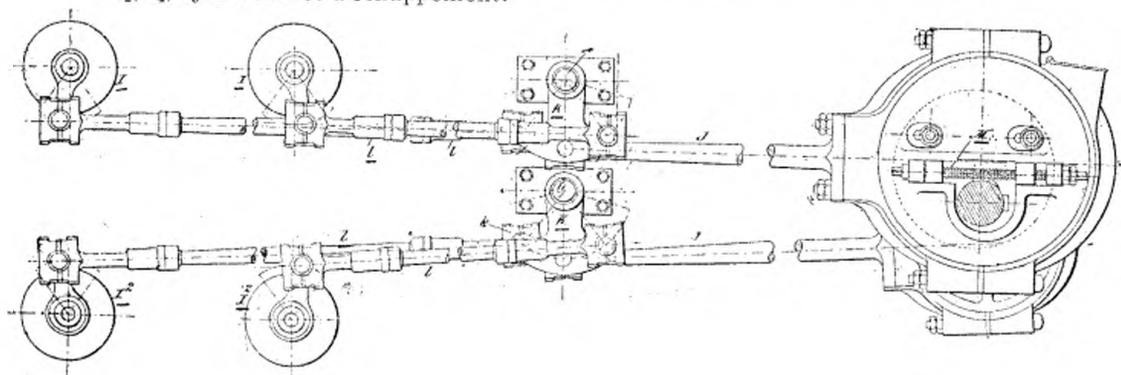


Fig. 80. — Matthews. Mécanisme de distribution commandant les robinets d'admission I et d'échappement  $I_2$ , par des excentriques à course variable M et des renvois accélérés K.

de laiton très mince R, d'une seule pièce ou en deux pièces, fendu radicalement, comme l'indique la figure 81, en  $r_3$ , et battant sur un plateau de

garde N, à circulation d'eau  $n$ . L'eau est amenée au plateau de garde N, ainsi qu'au fond du cylindre  $q$ , par les tuyaux de circulation P, percés de

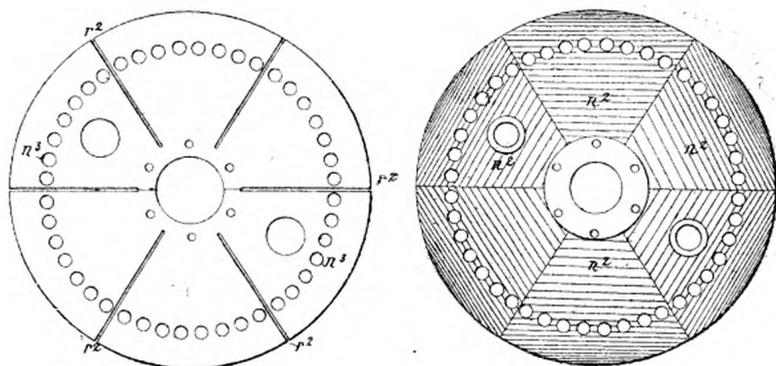


Fig. 81 et 82. — Matthews. Détail des clapets-disques d'aspiration et de refoulement du compresseur (fig. 8, p.120).

trous  $p$ . — La soupape de refoulement est constituée, comme la soupape d'aspiration, par un disque segmenté  $s$ , battant sur une plaque de garde  $S$ . L'air aspiré par l'enveloppe  $R$  passe, lorsque la soupape d'aspiration se lève, au travers de nombreux orifices d'admission  $n^3$   $n^3$ ..., dont sont percés le fond du cylindre et le plateau  $N$  : l'air comprimé est refoulé, au travers des ouvertures  $n_3$ , au-dessous de la soupape de refoulement.

Pour les machines très importantes, M. Matthews adopte de préférence la disposition représentée par les figures 83 et 84. Le moteur à vapeur compound est à trois cylindres : un pour la haute pression  $A$ , et deux de détente ( $BB$ ), dont la vapeur s'échappe par les tuyaux 2 au condenseur  $H$ , desservi par les pompes à air  $II$ , dont le refoulement s'évacue par les tuyaux 3. — Les compresseurs  $DD$  et les détenteurs  $CC$  sont enfilés sur le prolongement des tiges des pistons de  $BB$ . L'air comprimé, refoulé par les tuyaux 4 au refroidissement  $EEE$ , à circulation d'eau, passe, par la colonne 5 et le tuyau 6, au refroidisseur à air  $F$ , qui l'amène, par le tuyau 7, aux détenteurs. — Une machine de ce type fonctionne aux abattoirs de Berkinhead, et débite 4000 mètres cubes d'air par heure.

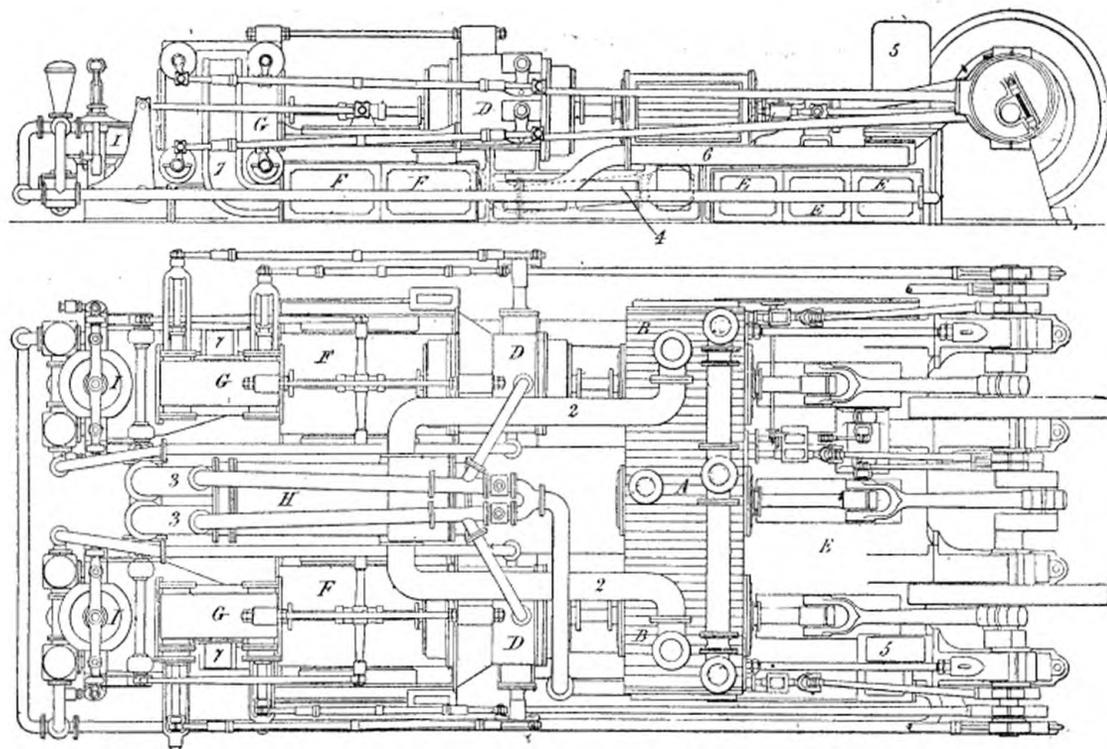


Fig. 83 et 84. — *Matthews. Machine de grande puissance* A, cylindre moteur de haute pression. BB, cylindres de basse pression. H, condenseur relié par les tuyaux 2, à l'échappement de BB, et par 3, 3 aux pompes à air, H. DD, compresseurs. CC, détendeurs, 4, tuyau amenant l'air comprimé au refroidisseur à eau E, d'où il passe, par 5 et 6, au refroidisseur à air FF, puis, par 7, au détendeur.

## Machines à gaz liquéfiés par compression

*Considérations générales.* — Ces machines, dont les nombreuses variétés constituent l'espèce de beaucoup la plus répandue et la plus importante des machines frigorifiques, ne diffèrent théoriquement des machines à air que par la liquéfaction du corps travailleur pendant la période de compression. — De même que l'on peut considérer les machines frigorifiques à air comme théoriquement l'inverse des moteurs à air chaud, on peut, avec la même approximation lointaine, envisager les machines frigorifiques à gaz liquéfiés comme des moteurs à vapeur inversés, et leur appliquer en gros les mêmes considérations générales qu'aux machines à air. C'est ainsi que le rendement des machines à gaz liquéfiés diminue, comme celui des machines à air, à mesure que leur chute de température augmente, à mesure que baisse la température du bac à glace ou de l'enceinte à refroidir.

Toutefois, bien que fonctionnant d'après le même principe général, les machines à gaz liquéfiés se distinguent des machines à air par deux avantages très importants : elles sont beaucoup plus actives, et leur rendement est presque toujours beaucoup plus élevé.

L'activité plus énergique est due, comme pour les moteurs à vapeur comparés aux machines à air chaud, à ce que la chaleur spécifique en volumes des gaz liquéfiés est beaucoup plus élevée que celle de l'air comprimé aux plus hautes pressions de la pratique : le travail de liquéfaction d'un litre de gaz est beaucoup plus considérable que celui de la compression au même point d'un litre d'air, et la chaleur de vaporisation beaucoup plus grande que la chaleur de détente de l'air. En fait, pour ne citer que l'un des moins actifs parmi les gaz liquéfiables : l'acide sulfureux ; il faudrait faire passer par les cylindres d'une machine à air environ 4000 mètres cubes d'air pour produire le même froid qu'avec 1 mètre cube d'acide sulfureux liquide, bien moins actif pourtant que l'ammoniac et l'acide carbonique.

L'augmentation du rendement des machines à gaz liquéfiés est due en partie à leur activité plus énergique, qui améliore leur rendement organique en permettant d'obtenir les mêmes effets avec des mécanismes plus réduits ; mais la principale cause de cette amélioration du rendement est, qu'à réduction de volume égale, le travail de compression est bien moins élevé avec les gaz liquéfiables ; qu'il s'en perd moins en chaleur dissipée, et qu'il s'en emmagasine par conséquent une plus forte proportion dans le gaz liquéfié que dans l'air comprimé puis refroidi.

Sous une autre forme, à égalité de travail dépensé à la compression, la chute de température sera beaucoup plus élevée avec l'air, et, par conséquent, le ren-

dement plus bas : en revanche, on obtiendra avec l'air des températures beaucoup plus basses qu'avec la plupart des gaz liquéfiables, l'acide carbonique excepté.

En fait, on dépense souvent avec les machines à air, à puissances frigorifiques égales, trois et quatre fois plus de charbon qu'avec les machines à gaz liquéfiés.

Ce meilleur rendement, joint à ce fait qu'elles sont à la fois plus actives et débarrassées de tous les inconvénients inhérents à l'humidité de l'air, suffit pour justifier la préférence accordée presque universellement aujourd'hui aux machines à gaz liquéfiés dans les climats tempérés et pour les installations fixes, où il est facile de se procurer les composés chimiques nécessaires à leur fonctionnement.

D'autre part, la température finale des gaz liquéfiés étant, après leur vaporisation, moins basse que celle de l'air des machines à air, il en résulte, que leur coefficient économique s'abaisse plus vite avec l'augmentation de la température de compression ou de l'eau qui refroidit le serpentin où s'opère la liquéfaction : le rendement des machines à air reste, en conséquence, à peu près indifférent au climat, tandis que celui des machines à gaz liquéfiés baisse notablement dans les pays chauds, à mesure que s'élève le point de liquéfaction de leurs gaz.

Quant à la théorie des machines à gaz liquéfiables, bien que suffisamment avancée pour rendre compte des principales circonstances de leur marche, elle est encore très incomplète, pour des raisons que nous avons données en parlant des machines à air, et, en outre, parce que l'étude des gaz employés dans ces machines est, elle-même, très imparfaite, ou plutôt n'a jamais été poursuivie en vue de cette application particulière.

L'insuffisance de données scientifiques exactes sur la manière dont la plupart de ces gaz se comportent aux environs du changement d'état nous met, par exemple, dans l'impossibilité de décider si un gaz liquéfiable se comporte pendant sa compression dans un cylindre de machine à glace, comme une vapeur surchauffée ou comme un gaz ; en un mot, si l'on fonctionne au régime de *saturation* ou au régime de *surchauffe*. On est encore très loin de posséder, sur ce qui se passe dans les compresseurs des machines frigorifiques, des données comparables à celles dont M. Hirn a doté l'industrie des machines à vapeur par sa magnifique étude expérimentale. Si l'on fonctionne en surchauffe, on se rapproche de l'allure des machines à air, qui permet de réaliser, mais aux dépens du rendement, des abaissements de température plus étendus qu'au régime de saturation, qu'il faut, en général, s'efforcer de maintenir comme le plus avantageux sous tous les rapports ; meilleur rendement, pressions moins élevées, moindre fatigue des organes essentiels : cylindres et soupapes des machines.

Sans pouvoir l'affirmer avec exactitude, il est néanmoins permis de penser que l'on marche à très peu près au régime de saturation, du moins avec l'ammoniac et l'acide

sulfureux, en donnant aux pistons des vitesses modérées et en refroidissant la compression par une circulation d'eau énergique : on peut du reste, mais sans que l'on ait constaté de ce fait une amélioration notable du rendement, assurer ce régime en injectant, comme le font quelques constructeurs, un peu de gaz liquéfié à chaque aspiration du compresseur.

Les machines à gaz liquéfiés se distinguent encore des machines à air par l'absence des cylindres détenteurs, remplacés par un simple robinet de détente, que l'on ouvre plus ou moins suivant l'allure de la machine. L'objet de ce cylindre est, en effet, de restituer au moteur de la machine une partie du travail de compression, en utilisant le travail de la détente comme force motrice; mais, avec les machines à gaz liquéfiés, le travail que l'on pourrait ainsi utiliser serait très faible, à peine équivalent, dans la plupart des cas, aux résistances passives du cylindre détenteur, qui ne se présente plus, dès lors, que comme une complication inutile. Aussi ne retrouve-t-on cet organe que sur quelques machines à acide carbonique. La suppression du cylindre détenteur constitue un avantage, une simplification de plus, en faveur des machines à gaz liquéfiés.

On sait, d'après les données fondamentales de la thermodynamique, qu'entre les mêmes limites de températures, la nature du corps travailleur qui décrit un cycle fermé est, en ce qui concerne le rendement du cycle, tout à fait indifférente. — Il ne saurait en être de même pour le rendement réel du moteur, dont les dimensions et, par suite, le rendement organique ne dépendent pas seulement de la chute de la température, mais aussi de la chute de pression du cycle. D'ailleurs il faut, en outre, tenir compte, pour le choix des gaz, d'autres conditions que celles du rendement : il faut faire entrer en considération leur prix d'achat ou de revient et quelques-unes de leurs propriétés physiologiques et chimiques, telles que l'innocuité, l'inflammabilité, leur neutralité plus ou moins complète vis-à-vis des métaux usuels.

Les principaux gaz employés actuellement dans les machines frigorifiques, sont l'*éther sulfurique* ordinaire, l'*éther méthylique*, le *chlorure de méthyle*, l'*acide sulfureux* et l'*ammoniac*. On a récemment proposé l'*éthylène*, (1) mais sans grand avantage *a priori*, et l'*acide carbonique*, remarquable par sa haute pression de liquéfaction et sa puissante énergie frigorifique.

La figure 86 indique l'allure probable des courbes des tensions de liquéfaction ou de saturation des premiers de ces gaz entre les températures de  $-50^{\circ}$  et  $+110^{\circ}$ , et celle de la vapeur d'eau. La supériorité de l'ammoniac se manifeste clairement à l'aspect seul de ces courbes.

Les gaz simples que nous venons de citer ne sont pas les seuls que l'on emploie dans les machines frigorifiques : on y utilise aussi des mélanges de gaz liquéfiables susceptibles de réagir les uns sur les autres, de se combiner, puis de se séparer de nouveau pendant la compression et la détente, en donnant ainsi

1. Wroblewski. Comptes rendus. 2 Juillet 1884. P. 136.

lieu à des réactions favorables à l'économie des machines. On a donné à ces mélanges le nom de *liquides mixtes* : on voit sur la figure 85 le tracé de la courbe d'un de ces mélanges, dû à M. Pictet, et dont nous indiquerons les principales propriétés après avoir décrit celles des gaz simples.

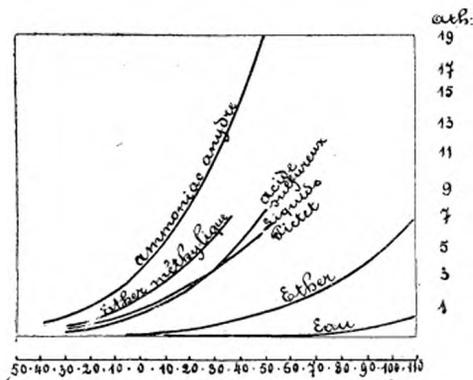


Fig. 85

**Gaz simples.** — *L'éther sulfurique* a été le premier des gaz liquéfiables ou vapeur gazeuse employés couramment pour les machines frigorifiques. Ses tensions de vapeur très faibles — 0,6 atmosphères à 20° — permettaient en effet d'en aborder l'emploi sans craindre aucune difficulté de construction redoutable ; mais, en compensation, sa chaleur de vaporisation est très faible, de 90 calories seulement, et son énergie frigorifique est notablement inférieure à celle des autres gaz. Il en résulte qu'il exige des machines très encombrantes, des cylindres compresseurs environ trois fois plus grands que ceux des machines à ammoniac. Aussi le rendement des machines à éther est-il, en général, peu élevé : la puissance indiquée au cylindre moteur y est parfois égale au double du travail du compresseur (1). En outre l'éther est très inflammable : on cite plusieurs incendies attribués à son emploi dans les machines frigorifiques.

Ces considérations suffisent pour expliquer l'abandon dans lequel sont tombées les machines à éther depuis que les progrès de la mécanique ont permis de triompher facilement des difficultés de construction inhérentes à l'emploi des gaz plus énergiques, comme l'acide sulfureux et l'ammoniac.

*L'acide sulfureux* se présente immédiatement après l'éther sulfurique dans l'ordre des énergies frigorifiques croissantes. Il se liquéfie sous la pression atmosphérique à la température de — 10° ; à 30°, sa pression de liquéfaction est de 4 atmosphères et demie ; sa chaleur de vaporisation est de 100 calories (2). On

1. Lightfoot. Refrigerating Machinery. Inst. of Mechanical Engineers Mai 1886 p. 214.

2. 91 calories à 0° d'après Cailletet et Mathias. Comptes rendus 6 juin 1887, p. 1567.

peut se faire une idée de son énergie frigorifique réelle dans les machines qui l'emploient en disant qu'il faut compter, avec les grands appareils en bonnes conditions, que le piston du compresseur doit engendrer un volume de 9 à 10 litres environ par calorie négative effectivement transmise au réfrigérant, soit, en pratique,  $1^{\text{m}^3}$  1/2 par minute et par quintal de glace à l'heure, chiffre déjà très notablement inférieur à l'encombrement des machines à air, dont l'énergie frigorifique maxima n'est, comme nous l'avons dit, que de 0 cal. 04 par mètre cube passé dans les cylindres, ou qui exigent, par calorie négative, le passage de 25 mètres cubes d'air environ aux cylindres.

L'acide sulfureux n'est pas inflammable comme l'éther, et on lui attribue souvent la propriété de graisser de lui même les cylindres compresseurs ; en revanche, la moindre trace d'eau ou d'air humide le transforme rapidement en acide sulfurique, qui détériore très vite les mécanismes et les serpentins ; en outre, sa fabrication, difficile et très coûteuse si on ne l'exécute pas en grand, met les propriétaires des machines à acide sulfureux à la discrétion des fournisseurs de ce produit.

En fait, depuis que l'on fabrique couramment les machines à ammoniac, les machines à acide sulfureux perdent chaque jour du terrain, sauf dans les pays chauds, où leurs basses pressions sont plus avantageuses que dans les climats tempérés.

*L'éther méthylique* ( $\text{C}^3 \text{H}^3 \text{O}$ ) à une chaleur de vaporisation de 200 calories, environ, double de celle de l'acide sulfureux. D'après son promoteur *M. Tellier*, ses tensions de vapeur seraient les suivantes :

| Températures | Tensions             | Températures | Tensions             |
|--------------|----------------------|--------------|----------------------|
| — 20°        | 1 <sup>atm</sup> ,50 | + 10         | 3 <sup>atm</sup> ,75 |
| — 15°        | 2                    | 15           | 4 25                 |
| — 10°        | 2 25                 | 20           | 4 75                 |
| — 5°         | 2 50                 | 25           | 5                    |
| 0°           | 2 75                 | 30           | 5 25                 |
| + 5°         | 3 25                 |              |                      |

On voit, qu'à 20°, *l'éther méthylique* se liquéfie sous une pression effective de 4 atmosphères environ, au lieu des 2 atmosphères 1/2 de l'acide sulfureux et des huit atmosphères de l'ammoniac. Il n'attaque ni le fer, ni les bronzes, mais il s'enflamme facilement. Les machines de *M. Tellier* qui employaient ce gaz, et sur lesquelles on retrouve, très ingénieusement appliqués, un grand nombre de détails de construction brevetés depuis à nouveau par d'autres constructeurs se sont peu répandues (1). *M. Tellier* préparait l'éther méthylique en faisant agir à 120° de l'acide sulfurique concentrée sur de l'alcool méthylique, ou esprit de

1. Brevet anglais 337 de 1864, 368 de 1869. *Annales industrielles* 10 septembre 1871, Pécelet. *La Chaleur*, (Edition Hudelo), t. III, p. 160.

bois ; on obtenait ainsi, en observant quelques précautions délicates, environ un volume d'alcool pour deux volumes d'éther.

Le *chlorure de méthyle*, dont l'emploi a été préconisé par M. Vincent (1) bout à 23° sous la pression atmosphérique. A 20°, sa pression de liquéfaction est de 4 atmosphères et demie.

Ce gaz n'attaque pas les métaux, mais il est inflammable, moins cependant que l'éther.

Ses tensions de vapeur sont les suivantes :

|                    |     |      |      |      |      |          |
|--------------------|-----|------|------|------|------|----------|
| températures — 23° | 0.  | 15.  | 20   | 25   | 30   | 35       |
| tensions           | 1k. | 2.48 | 4.11 | 4.80 | 5.60 | 6,50 7.5 |

Les machines à chlorure de méthyle, construites d'abord par M. Crespin étaient exposées dans la Galerie des Machines par leurs nouveaux constructeurs : MM. *Douane Jobin et C<sup>e</sup>*.

Nous arrivons maintenant à *l'ammoniac anhydre*, qui est actuellement, de beaucoup le gaz le plus employé dans les machines frigorifiques.

Les tensions de vapeur ou de liquéfaction de ce gaz sont les suivantes :

| Températures | Tensions             | Températures | Tensions         |
|--------------|----------------------|--------------|------------------|
| — 30°        | 1 <sup>atm</sup> ,14 | 5°           | 5 <sup>atm</sup> |
| 25           | 1 45                 | 10           | 6 02             |
| 20           | 1 83                 | 15           | 7 12             |
| 15           | 2 28                 | 20           | 8 40             |
| 10           | 2 82                 | 25           | 9 80             |
| 5            | 3 45                 | 30           | 11 44            |
| 0            | 4 19                 | 35           | 13 08            |
|              |                      | 40           | 15 29            |
|              |                      | 45           | 17 38            |
|              |                      | 50           | 19 98            |

A 20°, la tension de liquéfaction de l'ammoniac est donc de 8 atmosph. 40, au lieu de 3 atmosph. 30 pour l'acide sulfureux ; mais sa chaleur de vaporisation très considérable, 500 calories (2), presque aussi grande que celle de l'eau, lui assure une puissance frigorifique très énergique.

Il suffit, dans les conditions ordinaires de la pratique, c'est-à-dire avec de

1. *Bulletin de la Société chimique de Paris*, t. XXXI. Brevet anglais 470 de 1879. *Revue industrielle* 18 février 1879, 26 août 1886.

2. Lightfoot. 313 cal. d'après Ledoux.

l'eau de condensation à 20° et un bain réfrigérant à — 7°, de faire passer au compresseur environ 0<sup>m</sup>3,500 de gaz ammoniac par minute, pour une production de 100 kilogrammes de glace à l'heure, soit environ 3 litres par calorie négative utilisée au réfrigérant.

Théoriquement, entre les mêmes limites de température, — 15 et + 20° une même machine donnerait, par mètre cube de gaz aspiré au compresseur :

|                         |     |                |
|-------------------------|-----|----------------|
| Avec l'ammoniac         | 560 | cal. négatives |
| Avec l'acide sulfureux  | 200 | —              |
| Avec l'éther sulfurique | 30  | —              |

Le rendement théorique, indépendant de la nature du corps, serait le même pour ces trois gaz : de 0 cal. 018 environ par kilogrammètre indiqué au compresseur (1).

Entre — 30 et + 20°, le rendement tombe à 0 cal. 0093. Mais ces rendements théoriques ne sont jamais atteints dans la pratique, à beaucoup près, car il ne faut pas compter, même avec les meilleures machines à ammoniac, et dans les conditions les plus favorables, sur une production de glace de plus de 25 à 30 kilogrammes par kilogrammes de charbon, ou de 40 kilogrammes par cheval-heure indiqué au compresseur; c'est-à-dire, sur un rendement de plus de 0 cal. 015 par kilogrammètre indiqué au compresseur.

L'ammoniac liquéfiée constitue un liquide incolore, d'une densité de 0,76 environ, s'alliant en toute proportion et avec un dégagement de chaleur à l'eau, pour laquelle il possède une grande affinité. La moindre fuite d'ammoniac dans l'air se décèle non seulement par son odeur caractéristique, mais aussi par la formation d'un nuage de vapeurs blanches, dues principalement à l'absorption de l'humidité de l'air par l'ammoniac.

En résumé, l'ammoniac se présente comme un gaz d'une puissance frigorifique considérable, sans développer, dans les climats tempérés du moins, des pressions exagérées ni même difficiles à tenir avec des appareils bien construits (12 atmosphères à 30°). Ce gaz n'est pas inflammable; moins toxique et plus actif que l'acide sulfureux, il se prépare très facilement en partant de l'ammoniac ordinaire du commerce, qu'il suffit de distiller au moyen d'appareils fort simples, fournis d'ordinaire avec la machine frigorifique dont l'acquéreur ne dépend plus alors de personne pour son approvisionnement. Ces avantages suffisent pour expliquer la préférence donnée presque partout aujourd'hui au gaz ammoniac.

*L'acide carbonique* est, de beaucoup, le gaz le plus énergique employé dans les machines frigorifiques. Il exigerait, en effet, à puissances frigorifiques égales, d'après M. Windhausen, des compresseurs 50 fois moindres qu'avec l'éther, 25

1. Ledoux, p. 51.

fois moindres qu'avec l'acide sulfureux, et 15 fois moindres que pour l'ammoniac, bien que sa chaleur de vaporisation soit, d'après M. Mathias, très faible : 51 cal. à 6°. En revanche, ses pressions de liquéfaction sont très élevées, comme on le voit d'après le tableau ci-dessous :

| Températures | Pression de liquéfaction |
|--------------|--------------------------|
| — 30°        | 10 <sup>atm.</sup>       |
| — 20         | 22                       |
| — 15         | 25                       |
| — 10         | 28                       |
| — 5          | 33                       |
| 0            | 38                       |
| + 10         | 46                       |
| 15           | 50                       |
| 20           | 57                       |
| 30           | 75                       |
| 40           | 90                       |
| 45           | 100                      |

Dans la pratique, les machines à acide carbonique fonctionnent entre des pressions limites de 20 atmosphères à l'aspiration et de 70 atmosphères à la compression, parfois même de 90 atmosphères.

L'acide carbonique atteint en effet son point critique à 31°. A partir de ce point, où le liquide et l'atmosphère gazeuse qui la surmonte, de mêmes densités à peu près, se dissolvent l'un dans l'autre en formant un mélange encore mal défini et de chaleur de vaporisation presque nulle, la liquéfaction du gaz devient très difficile<sup>(1)</sup>. L'acide carbonique n'attaque pas sensiblement les métaux : son liquide, incolore et de densité 0,9, flotte sur l'eau comme de l'huile, sans s'y mélanger : il est, au contraire, très soluble dans l'éther, dans les huiles essentielles et l'acide sulfureux, avec lesquels il forme des mélanges réfrigérants très énergiques, descendant jusqu'à — 80° à l'air libre et à — 103° dans le vide.

La fabrication de l'acide carbonique par la réaction de l'acide sulfurique sur le carbonate de chaux est très simple et peu coûteuse : certains procédés le produisent actuellement d'une façon tout à fait industrielle<sup>(2)</sup>, et on livre aujourd'hui l'acide carbonique liquide, dans des bombonnes en fer ou en acier, pour une foule d'applications très diverses.

Il ne reste donc plus à vaincre, pour généraliser l'emploi de l'acide carbonique dans les machines frigorifiques, que les difficultés de construction inhérentes à

1. Andrews Phil. trans 1869 p. 575. J. Thomson. Proc Royal Society, London 1871. Van der Waals Over de continuïteit van den gas en Vloeistofstand. Leyde 1873 p. 56. Maxwell Theory of Heat p. 125. Clausius *Annales de chimie et de physique*, nov. 1884. Cailletet, Collardeau et Mathias et Guye, comptes rendus, 24 juin 16 septembre 1889 et 20 janvier 1890.

2. Herberthz et Guéret, brevets anglais 8617 de 1864 14927 de 1887. Gall, Société d'encouragement, mars 1889. — Hazenori, *Génie civil*, 4 janv. 1890, p. 237.

ses hautes pressions de liquéfaction ; ces difficultés ne sont pas insurmontables, on peut même affirmer que les plus graves d'entre elles ont déjà été vaincues.

**Les liquides mixtes.** — *Machines à liquides binaires.* — C'est, croyons-nous, à MM. Tessié du Motay et Rossi que l'on doit attribuer la première idée d'utiliser dans les machines frigorifiques à compression les liquides mixtes ou binaires, c'est-à-dire, constitués par le mélange de deux liquides volatils susceptibles de se séparer en se vaporisant à de certaines pressions, puis de se recombiner ensuite lorsqu'on augmente ces pressions. Dans cette recombinaison, l'affinité chimique entre en jeu pour aider à la liquéfaction du mélange et soulager d'autant le travail du compresseur, pourvu que l'on enlève par une circulation d'eau suffisant la chaleur de cette combinaison.

MM. Tessié du Motay et Rossi (1) ont choisi comme liquides mixtes les combinaisons fournies par l'éther ordinaire, l'acide sulfureux ou le gaz ammoniac. L'éther absorbe à la température de 0° environ 50 % de son poids d'acide sulfureux et 6 % de son poids d'ammoniac. Le résultat est un liquide incolore, stable à la température ordinaire, comme l'éther. Alternativement raréfié puis comprimé, ce liquide se comporte dans la circulation d'une machine à compression comme l'éther ordinaire, mais avec une énergie frigorifique plus considérable ; il présente en outre sur l'éther l'avantage de ne pas s'enflammer et, dit-on, de graisser naturellement les organes du compresseur, comme le ferait l'acide sulfureux.

On obtient ainsi une marche presque aussi active qu'avec l'acide sulfureux, mais à pressions moindres : une atmosphère et demie au plus. Quelques machines fonctionnent aux Etats-Unis avec les liquides binaires de MM. du Motay et Rossi, notamment aux forges de M. H. Delamater, à New-York ; il y a tout lieu de penser qu'elles sont préférables aux machines à éther, et, en tout cas, plus sûres, puisque leur liquide n'est pas inflammable.

Au lieu de chercher à diminuer les pressions de liquéfaction déjà trop basses de l'acide sulfureux, M. Pictet (2) s'est, au contraire, efforcé de les relever, en l'associant avec l'acide carbonique, qu'il peut absorber en toutes proportions en formant une série de liquides binaires dont le point d'ébullition varie de — 70° à — 7°, suivant leur richesse en acide carbonique. Celui de ces liquides choisi par M. Pictet a pour formule symbolique CSO<sup>4</sup> ; son point d'ébullition est de — 19°. Comme tous les liquides de la série, il se décompose aux basses températures en une suite de liquides intermédiaires émettant chacun des vapeurs pour leur compte et se recombinant aux températures ordinaires sous une pression modérée. Il en résulte qu'aux basses températures — dans les serpentins du bac à glace, par

1. Brevets anglais 2864 de 1886, 2548 et 2549 de 1888. — *Engineering*, août, 1888.

2. Brevets anglais 292 et 1284 de 1880, 16557 de 1884, 12514 de 1889. — *The Engineer*, 20 août 1880, p. 144.

exemple — la tension, égale à la somme des tensions élémentaires de l'acide carbonique et de l'acide sulfureux, sera plus grande que celle de l'acide sulfureux, tandis, qu'aux températures ordinaires, elle pourra être peu différente. C'est, en effet, ce qui a lieu : les tensions respectives du liquide (CSO<sup>4</sup>) et de l'acide sulfureux sont de 3 atm. 40 et 3 atm. 30 à 20°, de 2 atm. 20 et de 1 atm. 90 à 5°. A 35°, les tensions sont égales ; à 50°, elles sont de 6 atm. 86 pour le liquide binaire et de 8 atm. 3 pour l'acide sulfureux. Il y a donc économie de force motrice ou diminution du travail du compresseur parce que, toutes choses égales, la pression augmente à l'aspiration ; une partie du travail de liquéfaction est opéré par le jeu de l'affinité chimique qui s'exerce entre l'acide carbonique et l'acide sulfureux aux températures ordinaires de la compression, et dont on n'a qu'à dissiper la chaleur dans l'eau du condenseur.

Voici d'ailleurs textuellement l'exposé que M. Pictet a présenté de sa découverte devant l'Académie des Sciences, le 9 février 1885.

« Dans les machines frigorifiques actuelles, fonctionnant au moyen de liquides volatils simples, comme l'ammoniaque, l'éther sulfurique ou méthylique, l'acide sulfureux, on utilise, comme source de froid, le passage de l'état liquide à l'état gazeux, sans qu'aucun phénomène chimique intervienne. J'ai donné, dans une note précédente, la relation qui lie les variations de température de ces liquides avec les tensions de vapeur correspondantes. Cette relation montre que, quel que soit le liquide volatil, le nombre de kilogrammètres dépensés par la pompe de compression de la machine frigorifique est constant, pour un même écart de température entre le condenseur et le réfrigérant de l'appareil frigorifique et un même effet frigorifique. Les différents systèmes de machines ne diffèrent que par les tensions absolues des vapeurs sur les deux faces du piston compresseur, et par les détails dans le dispositif.

« Une théorie entièrement nouvelle apparaît lorsque, au lieu d'employer un liquide volatil unique et fixe, on emploie un liquide volatil *susceptible de se dédoubler en deux ou plusieurs liquides volatils par le simple fait d'un abaissement de température*. En d'autres termes, si l'on peut trouver deux ou plusieurs liquides volatils qui s'associent ensemble d'autant plus intimement que la température s'élève davantage (entre certaines limites) et qui se dissocient plus ou moins complètement aux basses températures, la relation entre les tensions maxima des vapeurs émises par ce mélange et les températures correspondantes diffère absolument de celle qui est commune à tous les liquides volatils simples.

« Pour fixer les idées, et montrer comment cette conception théorique vient d'être sanctionnée par la pratique, j'exposerai d'abord quelques considérations générales sur les relations qui existent entre les liquides volatils, leur température d'ébullition et leur constitution chimique.

« En utilisant les méthodes graphiques pour l'étude de ce problème, nous pouvons formuler la loi générale suivante : Lorsqu'on associe de l'oxygène à

une molécule quelconque d'un liquide volatil, on diminue toujours son pouvoir volatil, et la température du point d'ébullition du nouveau liquide s'élève. Cette fixation de l'oxygène peut être physique ou chimique, par dissolution ou par combinaison.

« *Exemples.* — L'oxyde de carbone bout à  $-140^{\circ}$ , l'acide carbonique bout à  $-75^{\circ}$ , et l'eau de seltz ordinaire n'est que l'association, par dissolution de l'oxyde d'hydrogène à l'acide carbonique.

L'acide sulfureux bout à  $-10^{\circ}$ , l'acide sulfurique anhydre bout à  $+32^{\circ}$ , et l'acide sulfurique hydraté bout à  $+326^{\circ}$ .

L'éther sulfurique bout à  $+35^{\circ},5$ , l'alcool absolu correspondant, dont la molécule a plus d'oxygène, bout à  $+78^{\circ},3$ , l'alcool hydraté bout à des températures supérieures à  $78^{\circ},3$ .

L'azote bout à  $-180^{\circ}$ , l'acide hypoazotique à  $+25^{\circ}$ , l'acide azotique à  $+50^{\circ}$ , le même monohydraté à  $+85^{\circ}$ , et quadrihydraté à  $123^{\circ}$ .

Le chlore bout à  $-40^{\circ}$ , l'acide hypochloreux à  $+20$ , et l'acide chlorique  $137^{\circ},5$ .

« En résumé, l'association de l'oxygène à diminuée, atténué le pouvoir volatil des liquides primitifs.

« J'ai appliqué cette loi à l'acide carbonique.

« En oxydant par voie de dissolution l'acide carbonique, on produit toute une série de liquides volatils dont les points d'ébullition s'échelonnent entre  $-70^{\circ}$  et  $-7^{\circ},5$ . J'ai oxydé l'acide carbonique en l'associant à l'oxyde de soufre, et voici les symboles qui représentent ces diverses combinaisons avec leur température d'ébullition.

|                               | Température<br>d'ébullition. |                        | Température<br>d'ébullition. |
|-------------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|
| $C^{40}O^{82}S$ (acide carbo- | $^{\circ}$                   | $CO^6S^2$ . . . . .    | $-15^{\circ}$                |
| nique presque pur).           | $+71$                        | $CO^8S^3$ . . . . .    | $-12$                        |
| $C^{30}O^{62}S$ . . . . .     | $-54$                        | $CO^{10}S^4$ . . . . . | $-9,5$                       |
| $C^{20}O^{42}S$ . . . . .     | $-41$                        | $CO^{12}S^5$ . . . . . | $-8,6$                       |
| $C^{10}O^{22}S$ . . . . .     | $-26$                        | $CO^{14}S^6$ . . . . . | $-8$                         |
| $CO^4S$ . . . . .             | $-19$                        | $CO^{16}S^7$ . . . . . | $-7,5$                       |

« On peut donc constituer un liquide quelconque entrant en ébullition à n'importe quelle température comprise entre  $-71^{\circ}$  et  $-7^{\circ}$ .

« De plus, voici la propriété générale de tous ces liquides : aux températures élevées, l'association des composants est complète ; aux basses températures, le liquide volatil se décompose en une série de liquides intermédiaires, émettant chacun des vapeurs pour son compte.

« Si l'abaissement de température est très considérable, à  $-30^{\circ}$  ou  $-40^{\circ}$ , les liquides volatils  $CO^{12}S^5$ ,  $CO^{16}S^7$ ,  $CO^{20}S^9$  se décomposent d'une manière visible dans le matras de verre où ils sont scellés, et l'on voit apparaître une émulsion

blanchâtre dans la masse du liquide, émulsion qui se transforme, après un certain temps, en deux ou trois liquides transparents, séparés par des nappes horizontales; les liquides s'étageant par ordre de densité. Nous n'avons pas encore pu analyser ces liquides, mais nous communiquerons bientôt le résultat de ces recherches.

« Il résulte de cet ensemble des faits une anomalie apparente, très extraordinaire, quant à la courbe des tensions maxima des vapeurs émises par ces liquides mixtes. En effet, plus la température s'abaisse, plus le liquide primitif se décompose en liquides élémentaires volatils, émettant chacun des vapeurs: la somme de toutes ces tensions élémentaires est bien plus considérable que celle qui correspondrait à un liquide fixe unique. Par contre, aux températures supérieures, tous ces liquides se combinent en un seul; la tension maximum des vapeurs est sensiblement réduite sous l'influence des affinités qui se développent.

« Pour mettre ce point tout à fait en lumière, car il est le but essentiel de cette communication, je donne ci-après les tensions de vapeurs du liquide dont le symbole est  $\text{SCO}_4$ , comparativement à celles de  $\text{SO}^2$  seul.

| Températures.<br>o | $\text{SCO}_4$<br>atm | $\text{SO}^2$<br>atm | Températures<br>o | $\text{SCO}_4$<br>atm | $\text{SO}^2$<br>atm |
|--------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|
| - 30 . . . . .     | 0,77                  | 0,36                 | + 10 . . . . .    | 2,55                  | 2,35                 |
| - 25 . . . . .     | 0,89                  | 0,05                 | + 15 . . . . .    | 2,98                  | 2,60                 |
| - 20 . . . . .     | 0,98                  | 0,61                 | + 20 . . . . .    | 3,40                  | 3,30                 |
| - 19 . . . . .     | 1,00                  | 0,63                 | + 25 . . . . .    | 3,92                  | 3,8                  |
| - 15 . . . . .     | 1,18                  | 0,76                 | + 30 . . . . .    | 4,45                  | 4,6                  |
| - 10 . . . . .     | 1,34                  | 1,00                 | + 35 . . . . .    | 5,05                  | 5,3                  |
| - 5 . . . . .      | 1,60                  | 1,25                 | + 40 . . . . .    | 5,72                  | 6,2                  |
| - 0 . . . . .      | 1,83                  | 1,51                 | + 45 . . . . .    | 6,30                  | 7,2                  |
| + 5 . . . . .      | 2,20                  | 1,90                 | + 50 . . . . .    | 6,86                  | 8,3                  |

« Il ressort donc, de tout ce qui précède, une conséquence très considérable comme résultat pratique. Si l'on introduit dans une machine frigorifique le nouveau liquide volatil  $\text{SCO}_4$ , la tension des vapeurs dans le réfrigérant sera très supérieure à celle de l'acide sulfureux pur, tandis que la tension à la compression, dans le condenseur où les vapeurs repassent à l'état liquide, sera sensiblement moindre que celle des vapeurs d'acide sulfureux. Le piston compresseur recevra ainsi une poussée plus forte à l'aspiration, moins forte à la compression, d'où résultera une grande économie dans le travail nécessaire pour le fonctionnement de la pompe. C'est le travail dû aux actions physico-chimiques, associant les liquides élémentaires, qui soulage directement le moteur mécanique extérieur.

« La formation de ces nouveaux liquides volatils, leurs propriétés physico-chimiques, ouvrent donc une voie nouvelle aux appareils destinés à produire les basses températures et à les utiliser industriellement. »

Les principales propriétés du liquide binaire de Pictet sont représentées

par la courbe des pressions de ce liquide (fig. 87) qui domine celle de l'acide sulfureux de  $-45^{\circ}$  à  $+20^{\circ}$ , puis s'abaisse au-dessous d'elle à partir de ce point, c'est-à-dire aux températures moyennes de la compression.

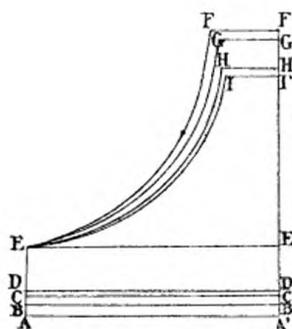


Fig. 86. — Travaux de liquéfaction correspondant aux courbes de la fig. 88, de  $-15^{\circ}$  à  $+30^{\circ}$ .

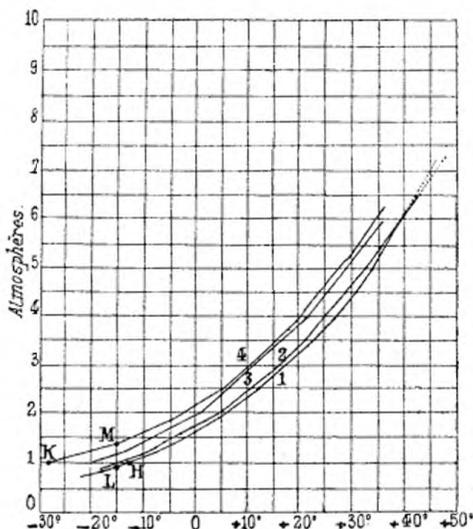


Fig. 87. — Courbes des pressions de liquéfaction en fonction des températures. 1, acide sulfureux, 2 et 3, acides sulfureux et acide carbonique, 4, acide sulfureux saturé d'acide carbonique.

Les courbes de la figure 87, tracées d'après un récent brevet de M. Pietet donnent, entre  $-30^{\circ}$  et  $+50^{\circ}$ , les pressions de liquéfaction (1) de l'acide sulfureux, (4) de l'acide sulfureux saturé d'acide carbonique, (2) et (3) celles des composés intermédiaires. A la pression atmosphérique, l'acide sulfureux pur se liquéfie en H, à  $-12^{\circ}$  — et l'acide saturé à  $-30^{\circ}$ , en K, donnant, à volumes de vapeurs égaux, une fois et demie plus de froid. A'  $-15^{\circ}$ , la pression M du gaz saturé est de 1atm.,4, tandis que la pression L de l'acide sulfureux n'est que de 0,9 atmosphères.

D'après la figure 86, qui représente les travaux de liquéfaction correspondant avec du gaz aspiré à  $-15^{\circ}$  et liquéfié à  $+30^{\circ}$  figurés par les aires

$$\begin{array}{l} D D_1 I_1 E D \quad \text{pour l'acide sulfureux pur} \\ A A_1 F_1 F E A \quad \text{pour l'acide sulfureux saturé} \\ B E G G_1 B_1 B \\ C E H H_1 C_1 C \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \\ \\ \text{pour les mélanges des courbes 2 et 3,} \end{array} \right.$$

on voit que le travail correspondant à l'acide sulfureux saturé d'acide carbo-

nique est loin d'être une fois et demi plus grand que celui de l'acide sulfureux pur.

Cette considération explique comment on aurait d'autre part constaté (1) d'après M. Pictet, par la substitution seule du liquide ( $CSO^4$ ) à l'acide sulfureux, une économie ou augmentation du rendement de 50 % (340 kilogrammes de glace au lieu de 215 kilogrammes) ; mais il est permis d'élever quelques doutes à ce sujet, car l'emploi du liquide binaire ne s'est pas répandu depuis la date de cet essai (1885).

M. Pictet a proposé pour la fabrication de son liquide mixte d'acide carbonique et d'acide sulfureux, l'appareil représenté par les figures 88 dans lequel on utilise la réaction qui se produit à  $320^\circ$  environ entre le carbone et l'acide sulfurique concentré à  $66^\circ$  Beaumé. Cette réaction produit un mélange d'acide sulfureux et d'oxyde de carbone ; en y ajoutant un équivalent de carbone et deux d'oxygène, produits par la décomposition du carbonate de chaux au moyen de l'acide chlorhydrique ou sulfurique, on obtient le mélange gazeux binaire de Pictet :  $CSO^4$ .

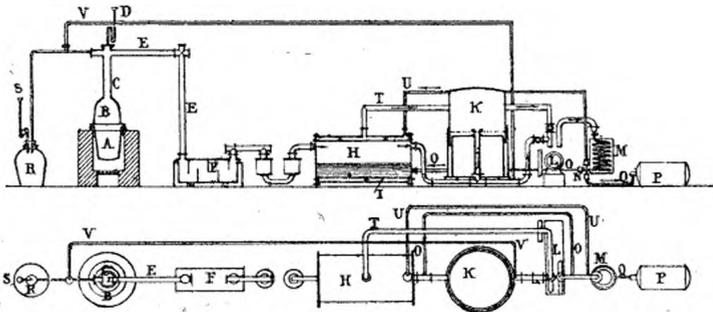


Fig. 88. — Fabrication du liquide Pictet ( $CSO^4$ ).

La cornue en fonte A renferme 250 à 300 kilogrammes de charbon chauffé à  $320^\circ$  environ, sur lequel on fait tomber, par D, un filet contenu d'acide sulfurique. L'acide carbonique se produit en R et se mélange en E aux produits de la cornue A, pour se rendre dans le récipient H, après s'être débarrassé de la plupart de ses impuretés physiques en F. Du récipient refroidisseur H, le mélange se rend au gazomètre K, d'où la pompe L l'aspire pour le liquéfier, au travers du serpentín M, dans le liquéfacteur P. Le bas du serpentín M communique en outre, par U, avec l'enveloppe du refroidisseur H, et, par O, avec l'intérieur de cette chambre. On commence par diriger toutes les vapeurs dans l'enveloppe de H, où elles s'accablent en se liquéfiant, puis on met, par T, cette enveloppe

1. Nouvelles machines frigorifiques, Genève, H. Georg, 1885, p. 32.

en communication avec l'aspiration de la pompe L, de sorte que l'évaporation du liquide de l'enveloppe I l'abaisse à  $-20^{\circ}$  environ : on maintient ensuite cette température pendant toute la durée de l'opération en réglant convenablement l'ouverture du tuyau T. Le compresseur L aspire dès lors les vapeurs directement du gazomètre K et les liquéfie en M, d'où elles repassent, par N O, en H, à la pression du gazomètre K, c'est-à-dire à la pression atmosphérique. Sous l'influence de cette chute de pression, le liquide bout spontanément en abandonnant le petit excès d'acide carbonique ajouté intentionnellement au mélange, et qui retourne à la pompe après s'être mêlé de nouveau aux vapeurs qui arrivent directement de A au gazomètre. C'est la hauteur même du gazomètre qui indique l'importance de l'excès ou du manque d'acide carbonique, et permet de régler en conséquence la marche de l'opération. Il s'accumule ainsi en H un grand volume de liquide Pictet à  $-20^{\circ}$ , que l'on recueille directement dans les bonbonnes en cuivre, ou en P, après les avoir fait repasser par la pompe et le serpentín M. L'excédent d'acide carbonique revient du gazomètre en R, par V, s'ajouter à celui que produit la réaction de l'acide sulfurique sur le carbonate de chaux.

M. Quiri <sup>(1)</sup> a proposé ensuite, en 1886, l'emploi de liquides binaires d'acide sulfureux, de sulfure de carbone et de divers hydrocarbures. Nous ne connaissons aucune application des machines de M. Quiri qui emploient, comme celles de Pictet, des condenseurs à tubes en U et des soupapes silencieuses à *dash-pots*.

### Principaux organes des machines à gaz liquéfiés par compression.

Les organes essentiels de toute machine à gaz liquéfiés par compression sont comme pour les machines à air, au nombre de quatre :

- le *compresseur* ou la pompe ;
- le *refroidisseur-condenseur* ou liquéfacteur ;
- le *détendeur* ;
- le *réfrigérant* ;

Nous allons exposer les principales particularités de ces différents organes, qui, bien qu'essentiellement les mêmes dans les différentes machines, se distinguent néanmoins les uns des autres par de nombreux détails de construction, parfois très importants suivant la nature des gaz à liquéfier.

1. Brevet anglais 14606 de 1886.

*Compresseur.* — Le compresseur peut être à simple ou à double effet, vertical ou horizontal. On y distingue comme éléments principaux :

- les *soupapes* ;
- les *garnitures* ou stuffing-box ;
- les *pistons* ;
- les *moyens de refroidissement*.

Les compresseurs à double effet sont les plus employés ; on les place ordinairement dans le prolongement des cylindres des moteurs à vapeur horizontaux qui les actionnent directement. Ils sont plus actifs et moins chers que les compressions à simple effet ; c'est pour cela qu'on les emploie de préférence : mais les cylindres horizontaux s'usent plus vite, parce qu'ils s'ovalisent. Les joints et garnitures des cylindres à double effet, soumis à la pression de liquéfaction et plus difficiles à maintenir étanches, absorbent un travail de frottement plus considérable.

Les compresseurs à simple effet sont presque toujours verticaux ; les soupapes d'aspiration et de refoulement sont ordinairement placées dans le haut, de sorte que le stuffing-box n'est jamais au contact direct du gaz à comprimer, et n'a guère à se défendre que des fuites du piston. Les compresseurs à simple effet sont le plus souvent au nombre de deux, accouplés par manivelle à 180°, et disposés de façon que l'avarie de l'un n'entraîne pas l'immobilisation de l'autre. Malgré leur prix plus élevé et leur encombrement plus assujettissant, les compresseurs verticaux commencent à se répandre beaucoup (*Vincent, Fixary, Lavergne, Windhausen et Frick*), parce que leur conduite est plus facile, leur entretien moins onéreux et leur durée plus prolongée. Rien ne s'oppose d'ailleurs à ce qu'on les fasse à double effet, mais, à notre avis, sans aucun avantage réel (1).

*Soupapes.* — Les soupapes les plus fréquemment employées sont en fer ou en acier, coniques et à ressort : leurs mouvements sont presque toujours automatiques, c'est-à-dire déterminés par la pression même des gaz, rarement desmodromiques, comme dans les machines à éther de *Harrison* (2) et de *Du-bern* (3).

Il importe que ces soupapes, celles du refoulement surtout, fonctionnent sans chocs. On évite ce choc en les munissant d'un amortisseur *dash-pot* gazeux, comme dans les machines de *Pictet*, de *Quiri* et de *Wood* (4), ou liquide, comme celles de *Lavergne* (5). Dans cette dernière machine, la soupape de refoulement occupe seule tout le haut du compresseur : elle fonctionne dans un bain d'huile

1. Exemple : la machine de l'*Artic* a un seul cylindre de 430mm × 1m faisant 40 tours par minute et 45 tonnes de glace par jour (*Engineering*, 8 fév. 1889).

2. Brevet anglais 2362 de 1857.

3. id. 4579 de 1882.

4. Brevets anglais 16558 de 1884 et 14606 de 1886. — *The Engineer*, 4 fév. 1887.

5. *Revue industrielle*, 28 juillet 1888.

dont elle force une partie à s'écouler, lors de sa levée, au travers d'orifices étranglés, qui en amortissent le lancé par leur résistance. Une disposition analogue avait été proposée, en 1832, par MM. *Wood* et *Richmond* (1) : le piston chargé

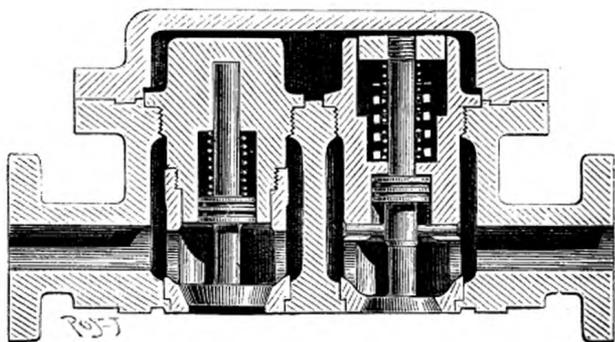


Fig. 89. — Soupapes d'aspiration et de refoulement du compresseur vertical *Wood*.

d'huile soulevait par la compression du gaz une soupape annulaire faisant cloche au-dessus du cylindre, et ramenée par l'élasticité d'un tampon de caoutchouc. Les soupapes doivent être, en outre, parfaitement accessibles : celles des machines de *Kilbourn* (2), *Fixary* (3), *Lavergne*, *Quiri* et *Wood* satisfont pleinement à cette condition importante. Les soupapes des machines *Wood* sont enfermées (fig. 89) dans des chapeaux qu'il suffit de dévisser pour avoir le tout dans la main (soupape, ressort, *dash-pot* et siège); elles peuvent, en outre, se régler très facilement en tournant de l'extérieur l'écrou de leur ressort (4).

On a quelquefois, dans certaines machines à éther, notamment dans celles de *Blée* (5), cherché à diminuer le travail d'aspiration en équilibrant les soupapes; mais c'est une complication plus nuisible qu'utile.

Il faut, en tout cas, toujours munir, dans les machines verticales surtout, les soupapes d'aspiration d'un étrier ou d'un écrou de sûreté, empêchant, comme dans les machines de *Wood* (6) et de *Fixary*, la chute de la soupape en cas de rupture de son ressort ou de sa tige, et leur assurant ainsi autant de sécurité qu'aux distributeurs desmodromiques. Nous ferons remarquer incidemment, à ce propos, que les machines verticales commandées par courroies présentent, à cause de leur moindre volant, en ce qui concerne les ruptures par obstruction

1. Brevet anglais 5798 de 1882.

2. *Engineering*, 20 octobre 1882.

3. Haton de la Goupillière, *Cours de machines*, p. 888.

4. *The Engineer*, 4 février 1887.

5. Brevet anglais 3005 de 1861.

6. id. 7824 de 1885.

accidentelle des cylindres, plus de sécurité que les compresseurs horizontaux rigidement reliés au moteur à vapeur.

*Stuffing-box.* — Le suffing-box est, en sa qualité de joint mobile, le plus

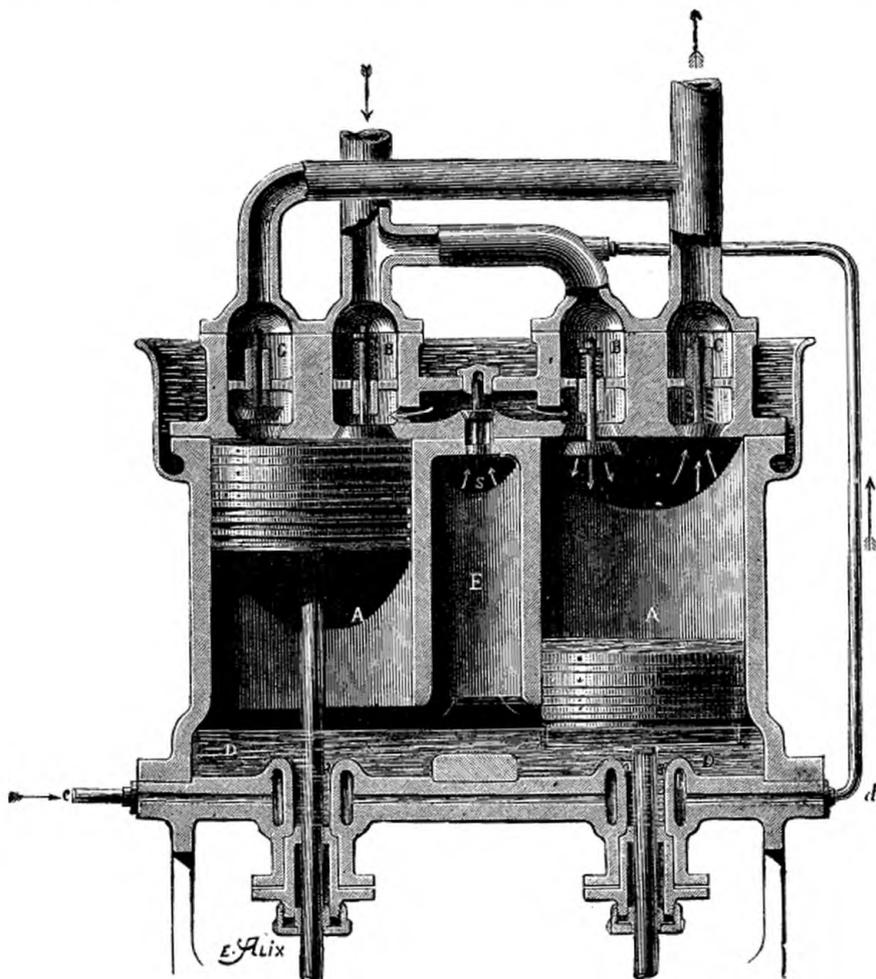


Fig. 90. — Joint pâteux Fixary.

Application aux compresseurs verticaux à simple effet.

Légende. — Les deux compresseurs AA' communiquent au bas par une nappe d'huile D; les pistons viennent baigner à chaque coup dans cette huile par leurs cannelures inférieures sans segments, qui en ramènent une partie le long des parois des cylindres. Ils sont en outre chargés d'une couche d'huile qui supprime tout espace nuisible aux soupapes de refoulement C. Les suites d'ammoniac aux pistons se recueillent dans la chambre d'équilibre E, d'où elles retournent aux soupapes d'aspiration B dès que leur pression dépasse la charge de la soupape d'équilibre s.

Une dérivation de l'ammoniac détendu, amené par le tuyau c, retourne à l'aspiration par d en circulant en bb autour de la gaine d'huile aa des tiges de pistons : cette huile, considérablement refroidie, constitue en aa le joint pâteux. La même disposition s'applique aux compresseurs à double effet.

difficile à tenir, principalement dans les compresseurs à double effet, où il est soumis à toute la pression du refoulement. La solution la plus anciennement employée consiste à faire le stuffing-box double, et à ménager entre les deux garnitures un espace en communication avec l'aspirateur du compresseur. Les fuites qui échappent à la première garniture sont ainsi récupérées par l'aspiration même du compresseur, et la seconde garniture n'a plus à résister qu'à la pression d'aspiration. Cette pression, négative dans le cas des machines à éther, n'est que de 1 kilogramme à 1 kil. 5 absolus pour les machines à gaz ammoniac, mais elle est déjà très élevée pour les machines à acide carbonique; aussi M. *Raydt* a-t-il fait rendre les fuites de sa première garniture non pas dans l'aspiration du compresseur, mais dans un petit gazomètre spécial, qui les restitue de temps en temps à la circulation (1). Pour les machines à ammoniac, les garnitures sont presque toujours à joint d'huile, c'est-à-dire constituées en grande partie par un bain ou une gaine de pétrole, dont une fraction passe, à chaque coup du compresseur, dans la circulation du graissage; tel est le cas des machines de *Linde*, *Wood*, *Lavergne*. On en retrouve un exemple remarquable dans la machine à éther méthylique de *Tellier* (2). Comme cas particulier, je citerai celui des machines verticales de *West*, dont les compresseurs, les bielles et les manivelles sont entièrement enfermés dans une enveloppe pleine d'huile; les cylindres des compresseurs n'ont aucune garniture et plongent dans cette huile; le stuffing-box est reporté à la pénétration de l'arbre moteur dans l'enveloppe générale, qui rend malheureusement le mécanisme inaccessible (3). Dans les machines de *Lebrun* (4) et d'*Osenbruck* (5) les pistons, les bielles et l'arbre moteur sont enfermés dans une enveloppe d'huile.

M. *Fixary* a donné, de cette question (fig. 90), une solution générale beaucoup plus simple, qui consiste à entourer la gaine d'huile du stuffing-box d'une dérivation du gaz ammoniac détendu suffisante pour la congeler en partie: l'huile forme alors autour de la tige du piston un *joint pâteux*, absolument imperméable et sans frottement; on donne en outre à ce joint, dans les compresseurs horizontaux, une longueur un peu plus grande que celle de la course du piston, de manière que les parties de la tige qui pénètrent dans le compresseur ne voient jamais l'atmosphère.

*Pistons.* — Les pistons sont presque toujours pourvus d'une garniture à plusieurs segments analogues à ceux des machines à vapeur. Dans la plupart des machines verticales, les pistons sont surmontés d'une couche d'huile sans cesse

1. Brevet anglais 15475 de 1884.

2. Pécelet, *La Chaleur*, t. III, p. 158.

3. Brevet anglais 3964 de 1887.

4. *Gazette du Brasseur*, 19 février 1888.

5. Schwartz, *Eismaschinen*, p. 340.

renouvelés qui, pénétrant en partie sous la soupape de refoulement, supprime les espaces nuisibles en même temps qu'elle lubrifie le cylindre. et concourt à l'étanchéité du piston. Dans les machines de *Lavergne*, cette couche d'huile, introduite au-dessus du piston par la soupape d'aspiration, est (fig. 91) très épaisse, et les segments ne sont pas tout à fait étanches, de manière que la majeure partie de

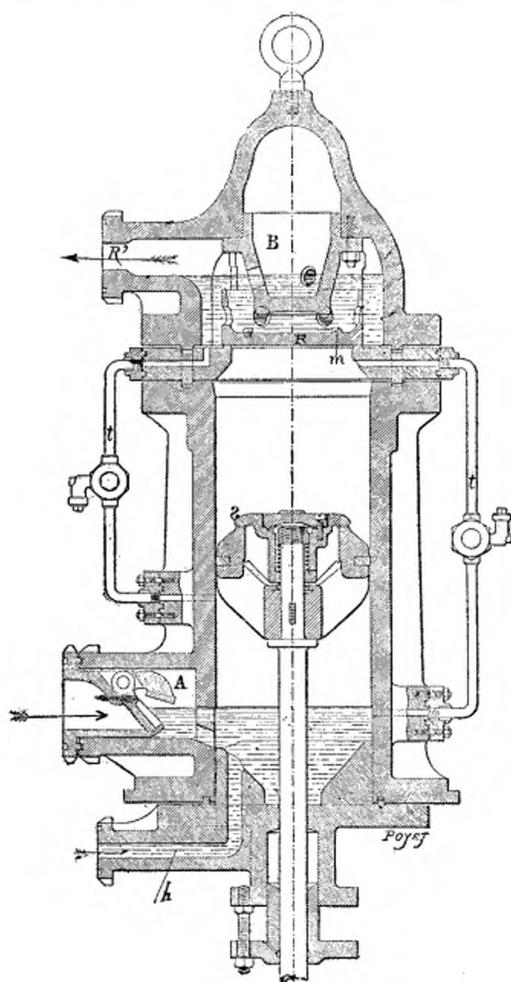


Fig. 91. — *Compresseur Lavergne*

Légende. — L'ammoniac aspiré par A au travers du bain d'huile, alimenté par h passe, au retour du piston, dans le haut du compresseur, en même temps qu'une partie notable de l'huile, au travers de la soupape S du piston. Quand le piston remonte, il refoule l'ammoniac et une partie de l'huile au travers de la soupape R par le tuyau de refoulement R', qui aboutit au condenseur. La majorité de l'huile qui passe au-dessus du piston, au bas de sa course, s'écoule pendant sa montée entre les segments de sa garniture et les parois du cylindre, de manière qu'il ne touche la soupape R que par une couche d'huile peu épaisse, supprimant complètement l'espace nuisible et renouvelée chaque fois. La soupape de refoulement R, unique et sans autre ressort que l'ammoniac comprimé en B, occupe tout le fond du cylindre et baigne dans de l'huile dont la résistance à l'étranglement entre les bas de B et l'anneau m amortit les chocs de la levée. — tt, purgeurs.

l'huile s'écoule, pendant la montée du piston, entre sa garniture et les parois du cylindre : le restant passe, par la soupape de refoulement, dans la circulation de graissage. On réalise ainsi un piston parfaitement étanche, à frottement réduit, et dont la garniture d'huile absorbe, comme le joint pâteux de *Fixary*, une partie de la chaleur de compression. On peut employer avantageusement, pour les hautes pressions surtout, des pistons liquides analogues à ceux des compresseurs *Sommeiller* ; on retrouve cette solution dans certaines machines horizontales

de *Kilbourn* (1), et dans les machines à acide carbonique de *Windhausen* (2). Dans ces derniers appareils, comme dans ceux de *Gamgee* (3), la compression se fait en deux fois. Commencée par une face sèche du piston, elle s'achève, au retour, par une masse d'eau glycéinée, que la face arrière de ce piston refoule jusqu'aux soupapes d'évacuation, et dont une partie forme la garniture hydraulique du stuffing-box. C'est une solution ingénieuse des liquéfactions à haute pression. M. *Raydt* a préféré employer un piston plongeur très long, rafraîchi intérieurement par une circulation d'eau (4). Nous citerons, comme cas extrême de ce genre, le compresseur *Beyligh* (5), dont le piston est constitué par une masse de mercure, et celui de *Mac Millan*, où la compression s'opère graduellement par le refoulement d'eau glycéinée dans un long cylindre en tôle (6). On peut affirmer, tout en reconnaissant l'ingéniosité de quelques-unes de ces solutions, qu'elles ne sont pas nécessaires avec les pressions modérées correspondant à la liquéfaction de l'ammoniac par exemple, pressions que soutiennent parfaitement, dans les machines horizontales à double effet, les garnitures ordinaires à segments.

*Refroidissement.* — Bien qu'il soit possible, ainsi que paraissent le démontrer de nombreux diagrammes pris notamment sur des machines *Linde* (7), de conserver le régime de saturation rien que par une enveloppe d'eau, plusieurs inventeurs, entre-autres MM. *Wood* (8) et *Puplett* (9), ont appliqué avec succès, comme moyen de refroidissement, l'injection d'une certaine quantité de gaz liquéfié pulvérisé dans le compresseur. Dans la machine de *Wood*, le gaz aspiré du réfrigérant à la pompe rencontre à angle droit un petit jet d'ammoniac liquide pulvérisé au-dessus de la soupape d'aspiration. Dans la machine de *Puplett*, c'est au moyen d'un petit tiroir que l'on injecte, au commencement de la compression du gaz liquéfié du condenseur au compresseur. Nous ne savons pas si l'on a essayé ce mode de refroidissement sur les machines à acide carbonique, et nous manquons d'expériences comparatives pour en apprécier l'effet. Dans la machine *Fixary*, le joint congelé contribue à refroidir le compresseur, comme le bain d'huile des machines *Lavergne*, le piston liquide de *Windhausen* et le plongeur à circulation d'eau de *Raydt*; et l'application de ces divers moyens paraît parfaitement suffisante.

*Espaces nuisibles.* — Nous avons vu comment on peut supprimer complète-

1. Brevet anglais 2356 de 1879.
2. Brevets anglais 2548, 2549 de 1888.
3. Brevet anglais 4065 de 1877.
4. id. 15475 de 1881.
5. id. 3062 de 1863.
6. id. 3333 de 1881.
7. *The Engineer*, 11 fév. 1887, p. 107.
8. Brevets anglais 5798 de 1882, 9547 de 1886.
9. Brevet anglais 12543 de 1884.

ment les espaces nuisibles au moyen de pistons liquides ou chargés d'huile convenablement renouvelée : ce moyen, spécialement applicable aux machines à simple effet verticales, est le plus employé ; mais on peut aussi, en donnant aux pistons une forme sphérique épousant celle des fonds des cylindres, arriver à réduire à presque rien les espaces nuisibles dans les machines horizontales. Le plongeur de *Raydt* vient buter à fond de course sur la soupape de refoulement, qui occupe presque tout l'arrière du cylindre horizontal. Nous ne citerons que pour mémoire la solution proposée par M. *Blée* (1), qui consiste essentiellement à donner à la crosse une course plus longue que celle du piston qui lui est relié par un ressort.

*Condenseur ou liquéfacteur.* — Les condenseurs sont constitués, en général, par des faisceaux de tubes droits ou des serpentins traversés par le gaz à liquéfier et entourés par l'eau de refroidissement ou de circulation. Les tubes sont en cuivre ou en fer pour les machines à éther et à acide sulfureux, en fer ou en acier pour le gaz ammoniac et l'acide carbonique.

Les serpentins doivent être multiples et disposés de façon que l'avarie de l'un d'eux ne puisse entraîner l'arrêt de la machine pendant longtemps : les tubes droits réalisent au plus haut degré ce désiratum, mais ils exigent aux plaques tubulaires de nombreux joints analogues à ceux des condenseurs à surfaces, et qui tiennent difficilement des hautes pressions. Avec les serpentins, le nombre de ces joints est très réduit. M. *Kilbourn* les rend absolument étanches en serrant

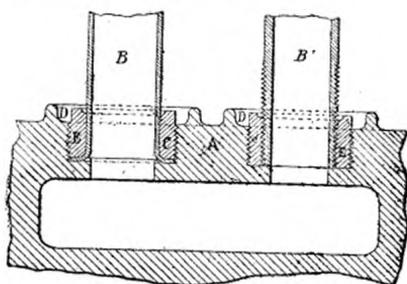


Fig. 92. — Joints des serpentins de *Kilbourn*.

Légende. — B, bout de tube rabattu, serré par un écrou C au fond d'un trou E, fraisé dans la plaque A, recouvert en D d'une soudure à l'étain. B', serrage analogue sans rabattement.

ammoniac autour des tubes parcourus par l'eau de refroidissement, qui circule en sens inverse (2).

(fig. 92) les bouts des tubes rabattus au moyen d'un écrou vissé dans un trou fraisé de la plaque du condenseur, sur lequel on applique ensuite une soudure à l'étain (3) maintenue elle-même par une gorge venue dans la plaque tout autour du tube et de son écrou.

Les tubes du condenseur de M. *Puplett* sont en U, libres de se dilater sans contrainte, et divisés en deux groupes, dont le premier reçoit à l'intérieur des tubes l'ammoniac du compresseur, tandis que le second groupe reçoit ce même

1. Brevet anglais 3005 de 1831.
2. id. 5070 de 1882.
3. id. 12541 de 1884.

M. *Pictet* a proposé l'emploi d'une série de serpentins plats verticaux, débouchant chacun dans deux tubes maîtres horizontaux, sur lesquels ils sont emmanchés par des joints faciles à surveiller, et où les gaz circulent méthodiquement (1); le grand volume des tubes collecteurs faciliterait, d'après M. *Pictet*, la liquéfaction des gaz. M. *Quiri* a proposé aussi, pour sa machine à liquides hétérogènes, un condenseur à tubes en U (2). Le condenseur de M. *Wood* est formé d'un certain nombre de serpentins reliés au compresseur par un distributeur dont on peut les isoler séparément en cas d'avaries à l'un d'eux (3). Ces serpentins, plus accessibles et plus actifs que les condenseurs immergés, ne sont pas plongés dans une circulation d'eau, mais exposés à l'air libre à une mince chute d'eau, comme les appareils bien connus de *Baudelot*. C'est un mode de refroidissement que l'on emploie volontiers aux États-Unis; on le retrouve dans les machines de *Lavergne* (4) combiné parfois avec l'addition d'un condenseur auxiliaire refroidi par le retour de l'ammoniac gazeux détendu autour de ces tubes (5).

Cette utilisation du froid des gaz dans des condenseurs auxiliaires n'a pas grande raison d'être avec l'ammoniac, dont les pressions n'ont rien d'excessif, mais il n'en est pas de même avec l'acide carbonique. Aussi M. *Raydt* a-t-il, à notre avis, bien fait d'entourer le liquéfacteur de sa machine d'un bain refroidi par le retour de l'acide carbonique à l'aspiration du compresseur (6).

Une solution analogue consiste, comme le fait M. *Puplett*, à plonger les tuyaux du condenseur dans le bain du bac à glace (7). Dans aucun cas, l'on n'augmente le rendement de la machine, mais on diminue la fatigue du compresseur.

On a souvent proposé d'activer l'action des condenseurs en faisant traverser au gaz un espace annulaire entre des tubes noyés dans une circulation d'eau, ou en contrariant sa marche par une série de chicanes multipliant les surfaces refroidissantes, comme dans les machines à éther de *Harrison* (8) et dans certaines machines à ammoniac de *Wood* (9), mais ces dispositions entraînent d'ordinaire à des complications et à des difficultés d'entretien hors de proportion avec leur utilité spéciale — notamment en ce qui concerne les fuites.

Le mode de refroidissement du condenseur le plus employé consiste, comme nous l'avons vu, en une circulation ou en une aspersion d'eau; c'est d'ailleurs le plus simple et le plus efficace; aussi me bornerai-je à signaler seulement deux

1. Brevet anglais 16558 de 1884.
2. id. 14606 de 1886.
3. id. 9547 de 1886.
4. *Revue industrielle* 28 juillet 1888.
5. Brevet anglais 4352 de 1880.
6. id. 15475 de 1884.
7. id. 14378 de 1887.
8. id. 383 de 1871.
9. id. 5798 de 1882.

procédés particuliers proposés par MM. *Beylihg* (1) et *Ballantine* (2). Les tubes du condenseur de M. *Beylihg* sont refroidis par la vaporisation que provoque l'action d'un courant d'air lancé par un ventilateur sur des canevas mouillés qui entourent les tubes. Dans le condenseur de *Ballantine*, on fait agir la vaporisation d'eau pulvérisée par un certain nombre d'injecteurs à air comprimé.

Dans certaines machines à éther, comme celle de *Harrison*, on peut activer la condensation par un jet d'éther refroidi agissant comme l'eau d'un condenseur à injection; mais ce mode de condensation ne présente aucun avantage.

Enfin, lorsque l'on ne dispose que d'une quantité limitée d'eau pour la condensation, on peut employer presque toujours la même eau, en la refroidissant par son passage en pluie dans un courant d'air; on ne perd ainsi que l'eau vaporisée par ce courant d'air. M. *Richmond* a proposé un vaporisateur-refroidisseur de ce genre bien étudié et susceptible de rendre service dans cas (3).

*Détenteur.* — Dans la plupart des machines à gaz liquéfiés, le détenteur consiste en un simple robinet à pointe graduée, interposé entre le condenseur et le réfrigérant, le plus près possible du réfrigérant. On peut rendre la manœuvre de ce robinet automatique en le commandant, comme l'a proposé M. *Wood* (4), par un mécanisme servo-moteur fonction de la pression du réfrigérant; mais c'est une grande complication pour peu de chose. Avec l'acide carbonique, qui comporte une grande différence de pression entre le condenseur et le réfrigérant, une soupape différentielle suffit, comme l'a proposé M. *Windhausen* (5), ou mieux encore, ainsi que cet inventeur le fait pour ses nouvelles machines (6), l'interposition, entre le condenseur et le réfrigérant, d'un cylindre détenteur, dont le travail de détente est restitué au compresseur, comme dans les machines à air. Dans les machines à éther, on a parfois employé avec succès, comme organe de détente automatique, une soupape flottante ouvrant le détenteur dès que le niveau de l'éther atteint une certaine hauteur au bas du condenseur (7).

*Robinetterie, tuyauterie.* — La robinetterie des machines à compression doit être très soignée; celle des machines à gaz ammoniac, qui exclut l'emploi du laiton et du bronze, doit être exécutée en fonte de premier choix ou en fer et en acier. Parmi les solutions proposées pour assurer l'étanchéité parfaite de robinets, je citerai (fig. 93) les robinets à garnitures d'huile de *Wood* (8) et à

1. Brevet anglais 3062 de 1864.

2. id. 3121 de 1880.

3. id. 5798 de 1882.

4. *Ibid.* 5789 de 1882.

5. *Ibid.* 2864 de 1886.

6. *Ibid.* 2549 de 1888.

7. *Harrison*, Brevet anglais 747 de 1856.

8. Brevet anglais 9547 de 1886 et *Chapman*. Brevet anglais 11915 de 1888.

clefs calées de *Kilbourn* (1) dont le boisseau est forcé par un contre-écrou qu'il faut desserrer pour ouvrir le robinet.

La tuyauterie doit être aussi de première qualité, en cuivre étiré pour certains gaz, en fer ou en acier pour l'ammoniac; on doit éviter les coudes brusques. Comme joints, on peut citer ceux de *Kilbourn*, à double écrou et manchon serrés sur plomb, et ceux de *Lavergne*, à manchon soudé (2) ou à brides vissées, soudées et serrées sur le plomb.

*Graissage.* — Le graissage se fait, pour l'ammoniac et l'acide carbonique, par une circulation d'huile minérale, presque toujours automatique. On sépare l'huile du gaz refoulé avec elle au moyen d'un égoutteur analogue aux sècheurs des chaudières à vapeur (appareils *Kilbourn* (3), *Wood* (4), *Ficary*). Dans quelques machines *Lavergne* (5) l'huile est séparée de l'ammoniac au sortir du compresseur par un chauffage qui en dégage les gaz dissous, puis refroidie et passée dans un second séparateur à chicanes avant de revenir au compresseur.

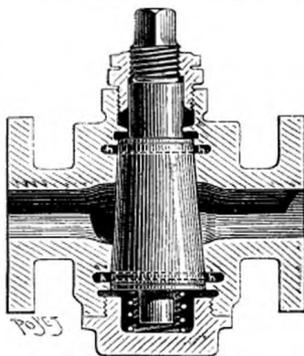


Fig. 93. — Robinet Wood avec garniture d'huile en *h h*.

*Réfrigérant.* — Le réfrigérant est comme la contre-partie, la réciproque du compresseur. Le plus souvent, il se borne à refroidir un liquide incongelable convenablement agité autour des tubes ou des serpentins dans lesquels se détend le gaz liquéfié; mais les formes du réfrigérant varient considérablement suivant le but qu'il doit remplir, ou suivant ses adaptations, que nous étudierons en parlant des applications des machines frigorifiques. Les tubes et les serpentins du réfrigérant se prêtent, pour les mêmes raisons, aux mêmes spécialisations que ceux des condenseurs. On y retrouve, comme aux condenseurs, les tubes soit droits, soit en U greffés sur deux collecteurs supérieurs (*Pictet*) (6), et les serpentins sectionnés (*Wood*) (7) ou annulaires (*Harrison*) (8). La méthode la plus pratique consiste, pour les grands réfrigérants surtout, à constituer les serpentins par une série de longs tubes droits, reliés par des coudes à brides. L'agitation du liquide à refroidir est produite le plus souvent par des turbines placées au fond du bac, à l'un des bouts du réfrigérant. Les tubes en cuivre, en

1. Brevet anglais 5070 de 1882.
2. *Revue Industrielle*, 23 juillet 1888.
3. *Engineering*, 20 octobre 1882.
4. Brevet anglais 9547 de 1886.
5. *Ibid.* 14095 de 1887.
6. *Ibid.* 12631 de 1887.
7. *Ibid.* 5798 de 1882.
8. *Ibid.* 383 de 1874.

fer ou en acier sont lisses : il y aurait peut-être intérêt à essayer l'effet de tubes à ailerons ou à rondelles, permettant d'augmenter la surface réfrigérante tout en diminuant le nombre des tubes et des joints.

## PRINCIPAUX TYPES DE MACHINES A GAZ LIQUÉFIÉS

### Machines Pictet

C'est à M. R. Pictet (1) que l'on doit le développement de la machine frigorifique à acide sulfureux. Le cycle et l'ensemble de sa machine sont les mêmes que ceux de toutes les machines à liquéfaction : parmi ses principaux détails de construction, il faut citer la garniture du stuffing-box double, avec récupération des fuites par l'aspiration au compresseur ; les soupapes silencieuses avec *dash-pots* amortisseurs des chocs ; les réfrigérants à tubes en U avec grandes surfaces rayonnantes. Les tubes des condenseurs peuvent être en fer ou en cuivre ; on emploie de préférence le cuivre, plus conducteur et plus sûr. Les machines Pictet fonctionnent avec succès et en grand nombre, principalement en France et dans les pays chauds. On peut compter sur un rendement d'environ 2500<sup>cal</sup> négatives par cheval-heure indiqué.

M. Pictet construit, outre ses grandes machines, de petits appareils destinés à produire de 5 kilog. à 20 kilogrammes de glace à l'heure. Ces appareils, bien groupés et pourvus d'un récupérateur de fuites ingénieux, ont, comme presque tous les dispositifs analogues, l'inconvénient de coûter relativement très cher (2).

Quant à l'acide sulfureux, M. Pictet le prépare par la méthode de *Melsens* en faisant agir à 400° environ de l'acide sulfurique sur de la vapeur de soufre. Il faut employer 5 kilogrammes d'acide sulfurique à 66° et 1 kilogramme de soufre pour produire 6 kilogrammes d'acide sulfureux (3).

Les machines Pictet qui figuraient à l'Exposition de 1889, se distinguaient des types précédents principalement par quelques modifications aux soupapes et par une nouvelle disposition du réfrigérant : nous en empruntons la description à un article publié par M. Pictet dans le *Génie Civil*, du 31 août 1889.

« La compagnie Pictet a cherché, dans le nouveau réfrigérant E (fig. 94 à 96),

1. Brevets anglais 2727 de 1875, 16558 de 1884, 12631 de 1887. Zeitschrift der Vereines deutscher Ingenieure B. XXXIII, 1889. *Schwartz*, Eismaschinen, p. 554. Ledoux, « Théorie de Machines à froid » (*Annales des Mines*, juillet 1874). Nous citerons parmi les machines à acide sulfureux autres que celle de Pictet, la machine de *Reece* (Brevet anglais 2483 de 1865) et celle de *Mackay* (brevet 4645 de 1888) remarquable par son stuffing-box à circulation d'huile, mais dont nous ne connaissons pas d'application.

2. Brevets anglais 1420 de 1882. 16556 de 1884. *Revue Industrielle*, 4 oct. 1884

3. Brevet anglais 2727 de 1875.

qu'elle vient de faire breveter en France et à l'étranger, à réunir une surface émissive du calorique maxima à une quantité minima de liquide volatil, et elle a obtenu complètement ce résultat en employant des tubes recourbés en U, assujettis dans une position verticale au corps principal de l'appareil, qui se compose de deux gros tubes horizontaux en cuivre; ces tubes en U font ainsi l'office de tubes communiquant entre les deux corps principaux de l'appareil et dans lesquels le liquide volatil se tient au même niveau.

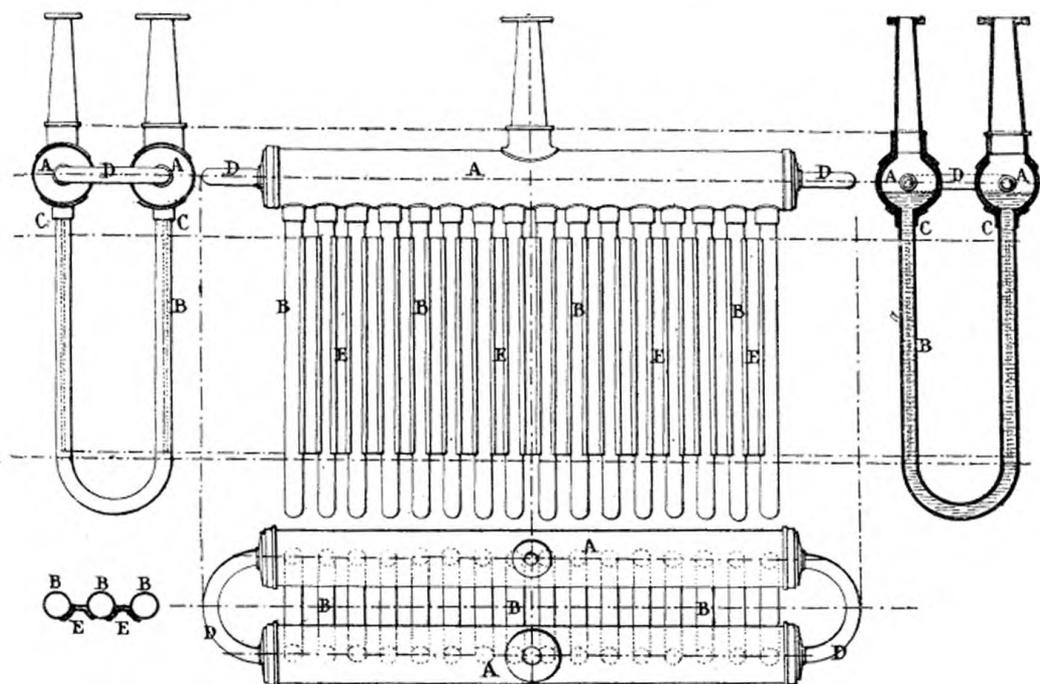


Fig. 94 à 97. — Réfrigérant Pictet (1887).

AA maîtres-tubes en cuivre reliés l'un à refoulement-détente P (fig. 94) du compresseur, l'autre à l'aspiration, réunis aux extrémités par les tubes D et latéralement par les tubes en U, BB. Ces tubes, soudés aux collerettes C, brasées sur AA, sont flanqués de lames de cuivre EE, qui augmentent leur surface de rayonnement.

« L'appareil, tout en cuivre, se compose de deux tubes de 15 centimètres environ de diamètre, et d'une longueur variable avec la puissance de l'appareil, qui servent de collecteurs et de dômes de vapeur.

« Pour agrandir la surface d'émission des vapeurs, et pour établir en même temps l'équilibre des pressions au-dessus des deux branches des tubes communiquants, ces collecteurs sont reliés aux deux bouts par des tubes cintrés. Les tubes communiquants partent du bas des collecteurs; ils sont tenus par une soudure à l'étain dans des manchettes brasées sur ces collecteurs.

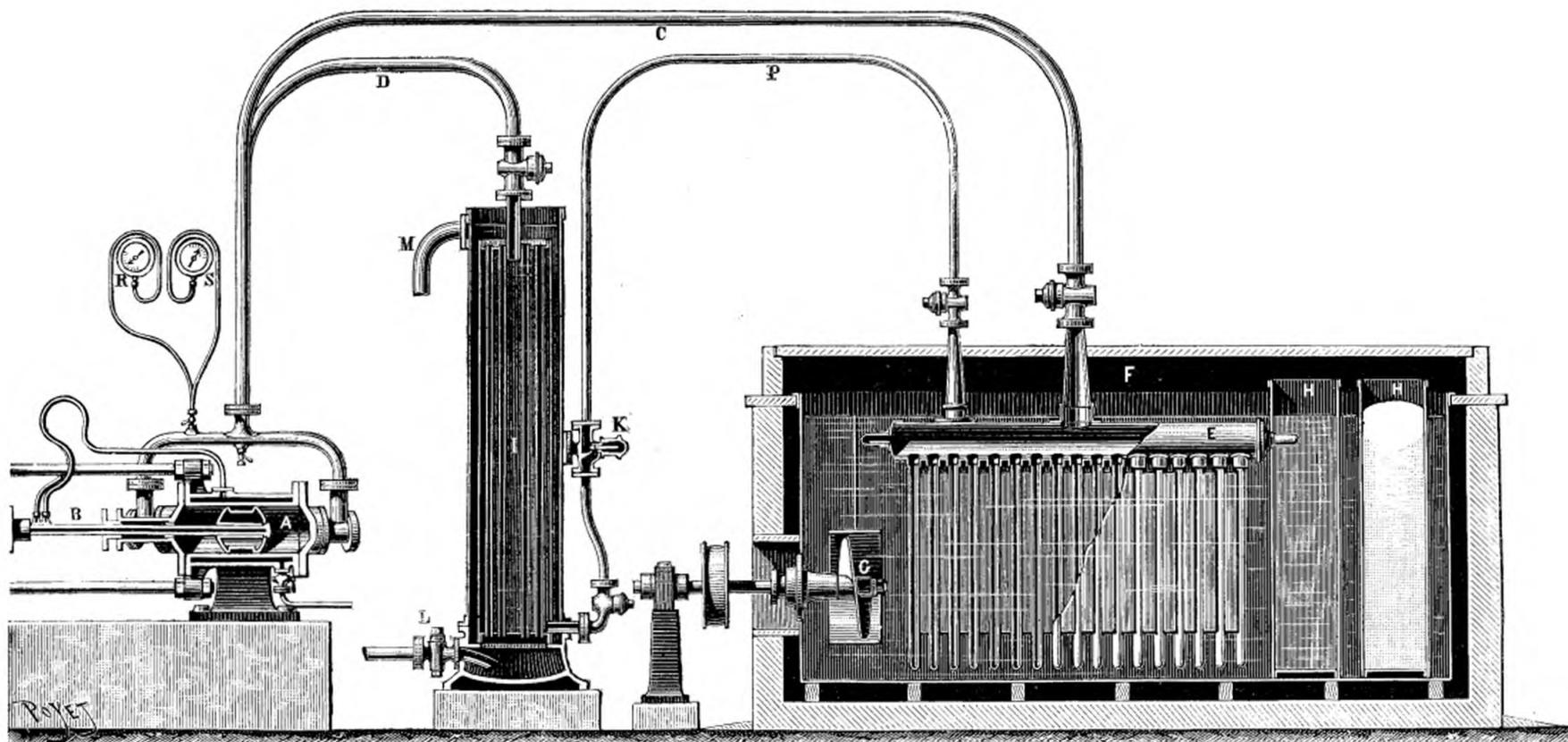


Fig. 98. — Vue en coupe de la machine Pictet.

A pompe de compression.

B piston compresseur.

C Tuyaux d'aspiration de l'anhydride gazeux.

D Tuyaux de refoulement de l'anhydride gazeux.

E Réfrigérant *incongélable nouveau système*.

F cuve de congélation.

G Hélice pour agiter le bain incongélable.

H moule à glace.

I Condenseur vertical *nouveau système*.

K robinet de réglage.

L robinet d'arrivée de l'eau de condensation.

M sortie de l'eau de condensation.

P tuyau de retour d'anhydride liquide.

R manomètre d'aspiration.

S manomètre de compression.

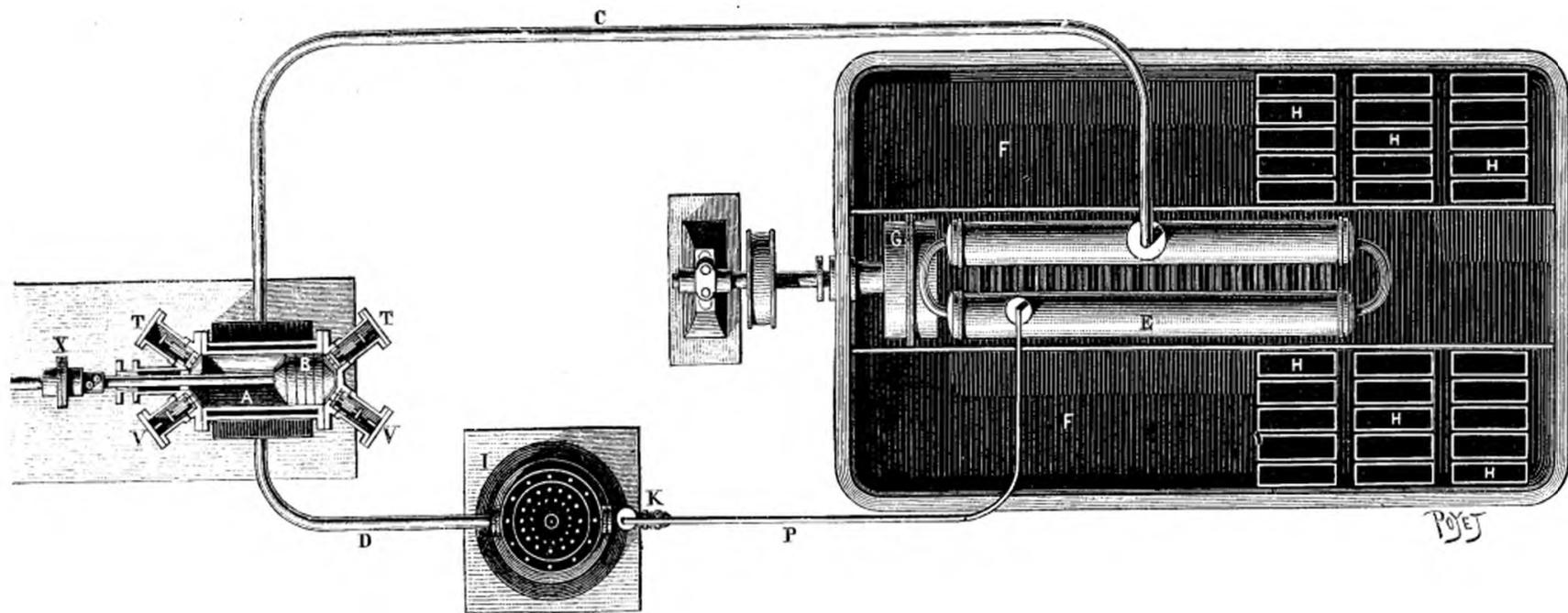


Fig. 99. — Plan de la machine Pictet.

T, soupape d'aspiration, V, soupape de compression, X, jonction du piston du moteur avec le piston compresseur.

« Cette disposition établit pour les manchettes une étanchéité parfaite et une solidité à toute épreuve. Les tubes en U peuvent se mettre facilement en place et s'enlever sans que les soudures voisines en souffrent.

« Pour agrandir la surface émissive sans augmenter le volume intérieur de l'appareil, on a joint les tubes communiquants entre eux, dans leurs parties droites, par des bandes en cuivre qui, soigneusement soudées, font corps avec eux et permettent la transmission du calorique au même degré que les tubes eux-mêmes.

« Ce mode de construction et cette disposition ont l'avantage considérable d'éviter la rupture des tubes du réfrigérant par la congélation, dans le cas où l'agitation du liquide incongelable viendrait à s'arrêter pour une cause quelconque. En outre, l'émission des vapeurs du liquide volatil se produisant plus facilement, il y a une certaine diminution dans la force motrice employée pour l'aspiration. Enfin, le niveau du liquide volatil peut s'abaisser dans le réfrigérant d'une quantité assez considérable, sans que le rendement de l'appareil soit diminué d'une manière sensible.

« Afin d'utiliser le froid produit par l'évaporation de l'acide sulfureux, on a disposé le réfrigérant au milieu d'une grande cuve rectangulaire. Une circulation très active d'eau, contenant une dissolution du chlorure de magnésium, est entretenue, d'une manière continue, par le jeu d'une hélice située à une des extrémités du réfrigérant.

« Deux parois verticales et étanches obligent le courant d'eau salée produit par la rotation de l'hélice à passer dans l'intérieur des tubes et autour de la surface du réfrigérant. Des ouvertures ménagées à chaque extrémité de ces parois permettent à l'eau de passer dans l'intérieur du réfrigérant et de sortir derrière l'hélice, pour circuler autour des mouleaux placés régulièrement dans l'intérieur de la cuve.

« On a prêté aussi une attention toute particulière à la pompe, dont le jeu consiste à comprimer les vapeurs soustraites au réfrigérant, et à les liquéfier dans le condenseur. C'est à la permanence de son bon perfectionnement qu'est due la permanence de la production constante de la glace.

« Le corps de la pompe est un cylindre à double enveloppe, dont les dimensions sont proportionnelles au type. Le piston en fonte est ajusté soigneusement et rodé dans l'intérieur de ce cylindre. Ce piston présente une grande surface de contact avec les parois intérieures du cylindre, et, afin d'assurer une herméticité aussi parfaite que possible, il porte une série de rainures parallèles, en forme de canelures; il est muni en outre de deux segments d'acier ou de fonte. Les canelures servent surtout à augmenter l'effet produit par la détente successive des gaz qui s'écoulent d'une canelure à l'autre par des orifices annulaires très petits.

« Les clapets ont été longuement étudiés, et leur construction spéciale est le

résultat d'une expérience de plusieurs années. Ces organes délicats, dont le fonctionnement constant est une condition indispensable de bon rendement, seraient susceptibles de mille accidents si on les construisait d'après les types

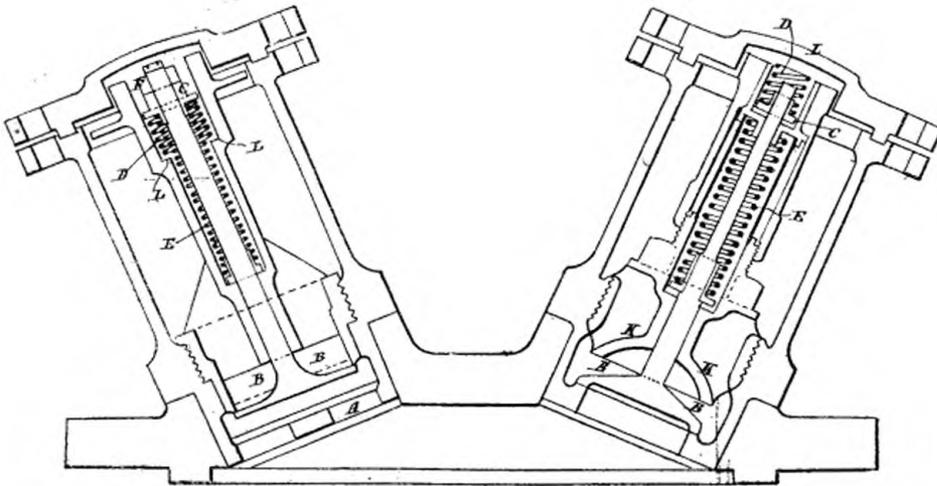


Fig. 100. — Pictet (1884). Soupapes de refoulement et d'aspiration.

B, soupape d'aspiration, E ressort ordinaire sur lequel appuie l'écrou C, D ressort dur qui vient, en appuyant sur L, dès que la soupape s'est ouverte de 7 à 8 m/m, amortir les chocs et accélérer le rappel. A barrette de sûreté empêchant la soupape de tomber dans le compresseur en cas de rupture de la tige ou de desserrage des écrous FC, B' soupape de refoulement avec garde de sûreté R, ressort ordinaire E et ressort de rappel dur C, amortissant les chocs par sa butée sur L. En marche normale, les soupapes ne doivent pas toucher les gardes A et K.

usités ordinairement dans l'industrie. Leurs caractères distinctifs sont les suivants (fig. 99) :

« Le corps du clapet est en acier. La tige est assez épaisse et le disque résistant.

« Le guidage est aussi long que le comporte la chapelle extérieure du cylindre, espèce de boîte en bronze qui protège tout le mécanisme des clapets.

« Le ressort qui agit sur la tige du clapet est très long ; il est au moins vingt fois plus long que sa course.

« Le ressort de l'aspiration est faible ; la pression qu'il exerce au repos est au plus de  $\frac{1}{20}$  d'atmosphère sur la surface du disque obturateur.

« Le siège du clapet d'aspiration fait corps avec le guide et entre à vis dans sa boîte.

« Le siège est d'abord tourné, puis rodé au moyen du clapet lui-même.

« La fermeture est ainsi garantie. Aucun gauchissement n'est à redouter.

« Le clapet est arrêté dans sa course par un croisillon, qui sert aussi à l'em-

pêcher de tomber dans l'intérieur du cylindre, si par hasard il venait à se briser.

« Le ressort à boudin est logé dans l'intérieur d'une gaine, qui en retient les fragments en cas de rupture.

« La douceur du ressort du clapet d'aspiration, c'est-à-dire la faible puissance avec laquelle il agit, est une condition de bon rendement ; car les gaz aspirés par la pompe entrent dans le cylindre d'autant plus facilement qu'ils rencontrent moins d'obstacle ; chaque coup de piston absorbe ainsi un poids de vapeur plus fort proportionnellement à la densité de cette vapeur.

« On règle la tension du ressort d'aspiration au moyen de l'écrou fixé sur la tige du clapet. Il faut opérer le serrage de telle sorte, qu'en tenant le clapet verticalement, le disque dirigé en bas, le ressort supporte justement le poids du clapet, de manière à le maintenir contre son siège.

« Il faut que la moindre pression exercée sur le haut de la tige, avec le doigt, par exemple, fasse immédiatement fléchir le ressort, et que le ressort ramène le clapet au contact aussitôt que cette pression cesse.

« Il est essentiel que le contre-écrou qui tient le ressort du clapet tendu soit solidement fixé et ne puisse s'échapper de la tige ; sans cette précaution, l'écrou pourrait se dévisser et le clapet ne plus fonctionner.

« Les clapets de refoulement sont construits sur le même principe que ceux d'aspiration et se caractérisent par les mêmes dispositions. Le ressort cependant, quoique très long par rapport à la course du clapet, est beaucoup plus puissant qu'à l'aspiration. Il doit agir avec une force correspondant à  $\frac{1}{10}$  d'atmosphère, au minimum, sur la section de sortie des gaz.

« On règle la tension du ressort de refoulement au moyen de la gaine en bronze qui se visse sur son guide. Il faut opérer le serrage de telle sorte qu'ayant posé le clapet verticalement sur la table, le disque en bas, le ressort supporte justement le poids du guide, de manière à le maintenir soulevé et séparé du disque du clapet. Il faut que la moindre pression exercée, avec le doigt, par exemple, sur le guide, fasse fléchir le ressort, et que le guide soit soulevé de nouveau aussitôt que cette pression cesse.

« Le *presse-étoupes* affecte dans les machines une disposition spéciale destinée à le rendre parfaitement étanche. Il est partagé en deux parties : une première garniture métallique, composée de segments à ressort, établit un premier joint entre la tige du piston et l'intérieur du cylindre ; devant cette garniture métallique, se trouve un anneau évidé en fonte. Après l'anneau métallique, vient une cavité que l'on remplit de cordes talquées, à la façon d'un presse-étoupes d'une machine à vapeur ordinaire.

« La bague en fonte qui ferme l'entrée du presse-étoupes, en appuyant sur la tresse talquée, porte une cannelure sur laquelle est un anneau de caoutchouc.

Lorsque le serrage est opéré, cet anneau se comprime contre la paroi de la boîte du presse-étoupes et empêche les fuites de ce côté.

« Pendant le refoulement, les gaz qui ont passé du cylindre dans la cavité fermée par l'anneau métallique, trouvent une capacité formée par la bague évidée, dans laquelle ils se détendent, et ils retournent au cylindre pendant l'aspiration.

« Il résulte de ce dispositif que la seconde garniture est absolument étanche, pour peu qu'elle soit faite avec soin, car la pression extérieure est, à peu de chose près, semblable à la pression des gaz dans l'anneau métallique. On arrive ainsi à supprimer entièrement les fuites du seul joint mobile de la machine, le joint de la tige du piston.

Des essais exécutés en octobre 1888, par M. le professeur S. Gutermuth, à Aix-la-Chapelle, sur une machine Pictet de 1000 kilogrammes de glace à l'heure, pourvu de deux compresseurs de  $320 \times 900^{\text{mm}}$  marchant à 56 tours, avec un mélange de 97 % d'acide sulfureux et de 3 % d'acide carbonique, ont donné en moyenne les résultats suivants :

Glace brute par cheval-heure.

| Glace brute par cheval-heure indiqué | au compresseur | au moteur. |
|--------------------------------------|----------------|------------|
| 1 <sup>er</sup> essai.....           | 19 kil.        | 9.48       |
| 2 <sup>e</sup> essai.....            | 27             | 12.95      |
| 3 <sup>e</sup> essai.....            | 42             | 21         |
| 4 <sup>e</sup> essai.....            | 23             | 11.96      |

Soit, pour l'ensemble du compresseur et de la machine à vapeur, un rendement organique moyen de 50 % environ, assez faible, et du principalement au serrage exagéré de la garniture du stuffing-box.

La production maxima : 42 kilogrammes par cheval indiqué au compresseur, a été obtenue avec un bain de  $-3^{\circ} \frac{1}{2}$  et une dépense d'eau de condensation de  $36^{\text{m}^3}$  à l'heure, prise à  $9^{\circ}3$  et sortant à  $13^{\circ}$ . Le refroidissement du compresseur exigeait, en moyenne, 450 litres d'eau par heure.

## Machines de M. Vincent

Les machines de M. Vincent fonctionnent, comme nous l'avons vu au chlorure de méthyle. -- La figure 101 et sa légende suffisent pour en faire comprendre la marche générale. Le bas des compresseurs, verticaux et à simple effet, communiquent entre eux par un espace libre sans cesse en rapport avec l'aspiration,

qui est d'une atmosphère environ, de sorte que les fuites aux stuffing-box sont facilement évitées.

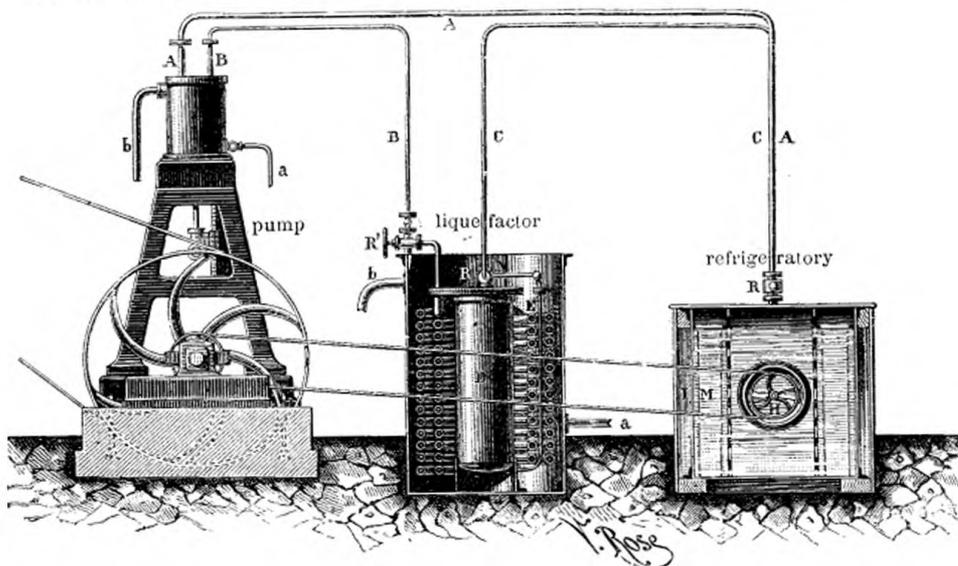


Fig. 101. — Machine Vincent.

A, tuyau d'aspiration du chlorure du méthyle gazeux. B, refoulement au liquéfacteur D, à serpentin E. C, tuyau amenant le chlorure liquéfié au robinet de détente R, du bac à glace I, a' mouleaux M. H, turbines agitatrices du bain I. R' R', robinets d'isolement ab. circulation d'eau du condenseur liquéfacteur D.

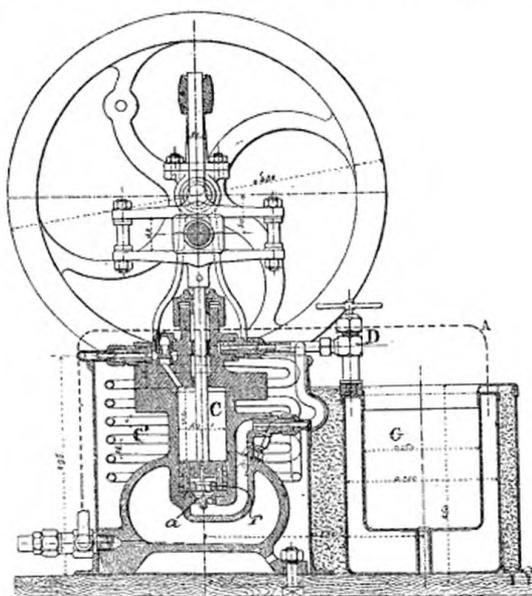


Fig. 102. — Vincent. Appareil domestique.

C, compresseur.  
C', condenseur.  
G, bac à glace.

1. *Revue industrielle*, 26 août 1886.

Le petit appareil représenté par la fig. 102, où le compresseur baigne dans l'enveloppe même du condenseur, est destiné à produire à la main 2 à 3 kilogrammes de glace à l'heure.

Le chlorure de méthyle s'expédie tout liquéfié dans des bonbonnes en tôle d'acier dont le robinet est parfaitement protégé par un couvercle.

On peut citer parmi les installations de machines Vincent, celle de la raffinerie parisienne — 100,000 calories négatives fournies par quatre machines de 25,000 calories — pour le refroidissement du jus de sucrate de strontiane (1).

## MACHINES A AMMONIAC

## Machines Linde

La machine de Linde est l'une des machines à ammoniac les plus anciennes et les plus répandues principalement en Allemagne, son pays d'origine.

Les figures 103 et 104 représentant un type normal d'installation Linde pour fabrication de la glace opaque. Contrairement à la pratique usuelle, le compresseur, à double effet et horizontal, n'est pas dans le prolongement de la tige du piston de la machine motrice, mais attaqué par une manivelle à 90°. On évite ainsi de

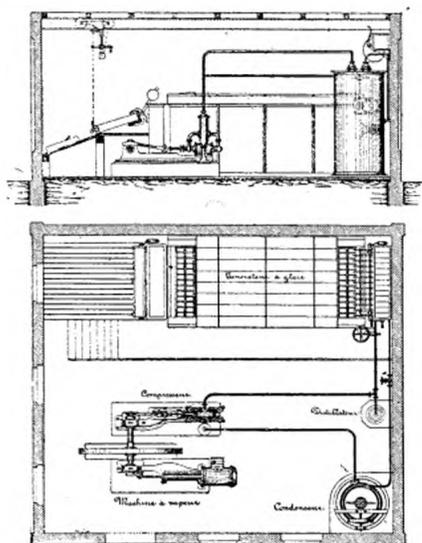


Fig. 103 et 104. — Ensemble d'une installation *Linde* pour fabrication de la glace.

faire coïncider les plus hautes pressions de la vapeur sur le piston de la machine motrice avec les plus basses pressions du compresseur. Le stuffing-box est pourvu d'une garniture d'huile analogue à celle des machines de Tellier et par-

1. Brevet anglais 1458 de 1876. — Schwarz. Eismaschinen, p. 330.

faitement étanché—; l'huile entraînée passe dans un séparateur rectificateur interposé entre le condenseur et le refoulement du compresseur.

Les machines de M. Linde ont été soumises à de nombreux essais, presque toujours sous la direction de leur inventeur (1).

Un essai fait à Munich, en 1886, sur une machine à glace Linde de 1000 kilogrammes à l'heure, a donné les résultats suivants :

|                                                                                                                   |               |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|
| Production de glace à l'heure. . . . .                                                                            | 1750          | kilog.   |
| Chaleur utilisée à faire la glace, par heure (c) . . . . .                                                        | 183000        | cal.     |
| Puissance indiquée, non compris le travail de la pompe de circulation et la manutention des mouleaux (a). . . . . | 53            | chevaux. |
| Puissance indiquée au compresseur d'ammoniac (b) . . . . .                                                        | 30            | »        |
| Rapports . . . . .                                                                                                | $\frac{a}{b}$ | 1,53     |
|                                                                                                                   | $\frac{c}{b}$ | 7,5      |
| Glace par kilogramme de charbon, avec une vaporisation de 8 kilog. par kilogramme de houille . . . . .            | 26            | kg,3     |

Le compresseur à double effet était actionné directement par une machine Sulzer, dépensant 9 kil. 90 de vapeur par cheval indiqué. La machine Linde produisait donc, comme la plupart des bonnes machines à ammoniac, 31 kilogrammes de glace environ par cheval indiqué au moteur, et 43 kil. 5 par cheval indiqué au compresseur : c'est ce dernier chiffre qui donne le véritable rendement (\*).

La machine Linde exposée dans la section Suisse par la maison Sulzer, se distinguait par la disposition générale de son ensemble établi en vue d'une utilisation à bords des navires, et par un procédé spécial de distillation de l'eau pour la fabrication de la glace transparente, que nous décrirons dans la partie de notre travail consacrée à cette question. — Quant à l'installation même pour bateaux, nous ne pouvons mieux faire que de reproduire textuellement la description qui nous en a été communiquée par M. Diesel, agent de M. Linde à Paris.

« La machine exposée se distingue complètement de la machine Linde ordinaire en ce sens qu'elle est construite spécialement pour être montée sur des navires.

« On sait que les navires se sont refusés jusqu'ici à adopter les machines à gaz liquéfiés; ils ont toujours préféré les machines à air, malgré une consommation de charbon 5 à 6 fois plus forte et un encombrement proportionné. —

1. Schroter. Untersuchungen an Kältemaschinen, p. 60.

2. Lightfoot. On Refrigerating Machinery (*Inst of Mechanical Engineers*, mai 1886, p. 218.

*Cette préférence, on doit le dire, était justifiée, parce que le type marin manquait absolument pour les autres systèmes.* — On ne pouvait pas, sur un bateau, monter séparément machine à vapeur, compresseur, condenseur réfrigérant et diverses pompes, et réunir entre eux ces appareils par des tuyaux; une installation de ce genre aurait certainement donné des résultats, déplorables, et on préférerait, pour cette raison, la machine à air. Mais, *aujourd'hui, le type marin est créé pour la machine à compression*, c'est précisément celui qui nous occupe, et nous considérons qu'il y a là une manifestation nouvelle, de haute importance dans ce sujet de la production du froid.

« Cette machine porte sur un seul socle le moteur à vapeur et un compresseur compound, sur lequel nous reviendrons; le socle contient à l'intérieur le condenseur, très accessible, malgré cela, au moyen de grandes portes d'accès. Il porte en outre d'un côté la pompe à eau, puisant directement à la mer, de l'autre, le condenseur à vapeur. Voilà donc une installation complète, en une seule pièce, pouvant se placer n'importe où sur un navire. — Il est intéressant de citer que cette installation est arrivée toute montée des ateliers, et qu'on l'a déchargée, telle qu'elle est du wagon pour la mettre où elle était; on n'a pas eu besoin de montage sur place, sauf un tuyau pour le relier à la chambre froide. — Il est évident qu'on peut agir de même sur les navires, ce qui a son importance, au point de vue du temps à perdre pour l'aménagement d'une telle installation à leur bord. — Il faut dire aussi que cette machine a inspiré le plus grand intérêt aux capitaines de navire et aux exportateurs de viande qui ont eu l'occasion de la voir et que, dès son apparition, quatre machines de ce type ont été commandées; ce qui prouve bien, ce que nous avançons tout-à-l'heure, que la machine à air va voir son domaine diminuer de plus en plus.

« Nous parlions tout-à-l'heure du compresseur compound adopté pour cet appareil. — Nous croyons que l'application du système compound est également une innovation remarquable dans la production du froid. — Peut-être ce système a-t-il déjà été proposé précédemment, mais il est certain que c'est la première fois qu'il apparaît réalisé pratiquement et couramment en grand. Nous ajoutons immédiatement que les constructeurs sont loin de vouloir remplacer d'une façon générale la compression simple par la compression en deux temps; cette dernière reste exclusivement réservée aux pays tropicaux et aux passages de l'équateur, lorsqu'on a affaire à des pressions de 15 ou 16 kilogrammes; dans ce cas, mais dans ce cas seulement, la diminution du rendement mécanique, qui est le résultat nécessaire de l'emploi de 2 cylindres, est compensée, et au-delà, par les avantages de la compression en 2 temps, savoir: diminution des effets nuisibles des fuites par clapets et pistons, et surtout diminution de l'effet des espaces nuisibles, diminution aussi des effets nuisibles dus à la conductibilité des parois. En dehors de ces avantages, le

système compound possède celui de diminuer la pression du côté du presse-étoupes, parce que les parties avant des cylindres compriment dans un réservoir intermédiaire et la partie arrière est d'un seul cylindre, donc la partie sans presse-étoupes, donne la compression définitive au condenseur. La partie arrière du second cylindre comprime seulement dans le réservoir intermédiaire. Le fonctionnement est donc celui-ci : « sur les 2 cylindres, les 2 parties avant et une partie arrière compriment au réservoir, et la partie arrière seule du second cylindre aspire à ce réservoir et refoule au condenseur. L'adoption de ce système à bord des bateaux offre en outre l'avantage d'avoir toujours 2 compresseurs, c'est-à-dire double installation, dont une seule au besoin pourrait suffire ; on peut accoupler les presseurs au moment du chargement de la viande sur les bateaux, et congeler cette viande à bord, au lieu de la congeler dans des installations spéciales sur terre ferme ; une fois la congélation faite, on ne marche plus qu'à un compresseur pour l'entretien de la température ; pour le passage des tropiques on peut de nouveau accoupler, et ainsi de suite. On voit que la machine ainsi combinée est un outil d'une extrême élasticité : cette élasticité augmente encore par la variation possible de la vitesse ; les clapets de Linde permettant une vitesse jusqu'à 120 tours par minute.

« Si nous avons un peu insisté sur cette machine marine à compression, c'est parce que la question des transports de viande congelées, de la conservation des aliments à bord, du refroidissement des salons de passagers etc., bref, la production du froid en mer, est une question d'une extrême importance et toute d'actualité ; c'est aussi parce que nous croyons devoir appeler l'attention des intéressés sur *l'énorme économie de charbon qu'ils peuvent faire en remplaçant l'encombrante machine à air par un bon système à compression d'ammoniac.* »

## Machines de Kilbourn

Les machines de M. J.-K. Kilbourn datent de 1879 (1). — Elles sont presque toujours verticales à simple effet, avec deux compresseurs accouplés par manivelle à 180°

Les figures de la planche 3-4 représentent l'installation d'une batterie de trois machines Kilbourn dans la brasserie de MM. Meux and C<sup>o</sup> à Londres.

Les compresseurs communiquent par le bas, qui renferme un bain d'huile,

1. Brevets anglais, 2356 de 1879, 5070 de 1882, *Engineering*, 20 octobre 1882, 28 mai 1886.



L'ammoniac refoulé par B passe, par le tuyau F, au condenseur M, d'où il va, par H, au robinet détenteur W, qui l'admet au réfrigérant E, pour revenir par N à l'aspiration du compresseur. — Les serpentins du condenseur et du réfrigérant, divisés en deux groupes de quatre, sont essayés à 70 atmosphères: l'eau de circulation, amenée au condenseur par le tuyau principal P et le branchement QQ, en est évacuée par R; l'eau à refroidir, amenée au réfrigérant par le même tuyau principal P et le branchement S, en sort par O'O pour être distribuée à la circulation des caves de la brasserie. Dans le condenseur et dans le réfrigérant, l'eau est agitée autour des serpentins par un agitateur M, constitué par un cylindre vertical tournant et garni d'ailettes hélicoïdales.

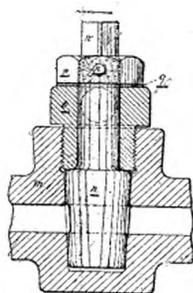


Fig. 106. — Kilbourn.  
Robinet à coulisse.

Nous signalerons comme détails de construction particulières aux machines de M. Kilbourn les joints des tuyaux et les robinets. Les joints sont constitués fig. 105 par le serrage d'une bague L, recouvrant la virole de jonction A, et comprimant sur elle, par le serrage de l'écrou K, une rondelle d'amiante ou de caoutchouc L. La fig. 106 représente le détail d'un robinet. Les différentes pièces qui le composent étant dans les positions indiquées, c'est-à-dire, l'écrou P, immobilisé par la goupille R, étant appuyé sur la rondelle *g* et la douille filetée O pressant déjà sur le haut du boisseau *n*, on donne à la douille O un coup de clef, qui serre le boisseau *n* au point d'en empêcher absolument la rotation sans avoir relâché auparavant la douille O. Ces robinets sont parfaitement étanches.

## Machines de Lavergne

La machine de MM. Lavergne et Mixer, bien que de date récente (1) est l'une des plus répandues aux Etats-Unis. On évaluait en juin 1888 (2) à 7,500 tonnes de glace la puissance frigorifique journalière de l'ensemble des machines de ce système fonctionnant aux Etats-Unis.

Ainsi qu'on le voit par la fig. 107 les compresseurs des machines Lavergne, verticaux et à simple effet, sont actionnés l'un par la manivelle même de la machine motrice, et l'autre par une manivelle à 180° degrés de la première.

La circulation générale de l'ammoniac, dans la machine Lavergne, est la suivante. L'ammoniac, très chargé d'huile, passe d'abord dans un premier

1. Brevets anglais 4352 de 1880. 1114. 14095. 14440 de 1887 American Machinist 11 oct. 1884. Revue industrielle 28 juillet 1888.

2. *Engineering* 15 juin 1888.

séparateur, où elle abandonne la majorité de son huile, puis au condenseur, à surfaces extérieures non immergées, disposé comme un Beaudelot, d'où l'ammoniac liquéfié tombe dans un réservoir d'ammoniac ou liquéfacteur, et, de là, dans un second séparateur d'huile, qui l'amène liquide et purifié, au robinet détenteur du réfrigérant. L'ammoniac revient du réfrigérant au compresseur au travers d'un serpentin placé au-dessus du condenseur, et destiné à refroidir l'eau de condensation, qui déroule de ce serpentin sur le condenseur.

Nous allons maintenant décrire avec quelques détails les principaux organes de la machine Lavergne.

L'ammoniac détendu revient fig. 107 et 91, du réfrigérant ou bac à glace au compresseur par le clapet d'aspiration A, au travers d'un bain d'huile très épais et sans cesse renouvelé. A la descente du piston, l'ammoniac passe en haut du compresseur au travers de la soupape de retenue J., logée dans le piston même; en outre, lorsque le piston arrive au fond de course inférieur, une partie notable de l'huile du bain passe, par cette même soupape, au-dessus du piston. A la montée du piston, pendant la période de refoulement, une partie de cette huile passe entre les parois du cylindre et les segments un peu lâches du piston; le reste passe avec l'ammoniac au travers de la soupape de refoulement dont il supprime les espaces nuisibles. La soupape de refoulement R, unique occupe tout le fond du cylindre, et n'est chargée que par la pression de l'ammoniac en B; entièrement baignée d'huile, elle est pourvue de rebords *m*, qui viennent agir, à la levée, comme un amortisseur des chocs, en laminant l'huile sur le fond de la chapelle B.

L'huile qui sort avec l'ammoniac par le tuyau de refoulement passe du premier séparateur S. (fig. 107) au refroidisseur d'huile *h*., où elle abandonne sa chaleur de compression, et d'où elle tombe, avec l'huile du second séparateur S' au réservoir *h'* d'aspiration de la pompe de concentration d'huile. Cette pompe d'injection ou de circulation d'huile est représentée en détail par les figures 108 à 111. Le cylindre mobile B, dans lequel se meut le piston A, sert de distributeur à l'intérieur d'un second cylindre fixe C, pourvu de deux lumières d'admission *aa* et de deux lumières d'échappement *bb*, par lesquelles l'huile est refoulée aux deux compresseurs.— Dans la position indiquée sur la figure 108, le piston A refoule l'huile par les lumières (*acb*) du haut de la pompe dans l'un des compresseurs, tandis que le bas de la pompe est rempli d'huile par le clapet A', la lumière inférieure *a*, et l'orifice correspondant *c*. Au retour du piston, l'orifice de inférieur *a* se ferme, par l'entraînement de B, et l'huile est refoulée de B au deuxième compresseur, par *c'b'* — Le conduit E maintient constamment les fonds D.D en équilibre de pression, et le robinet à trois voies *f* permet de purger les compresseurs en les mettant alternativement en rapport avec l'aspiration de la pompe.

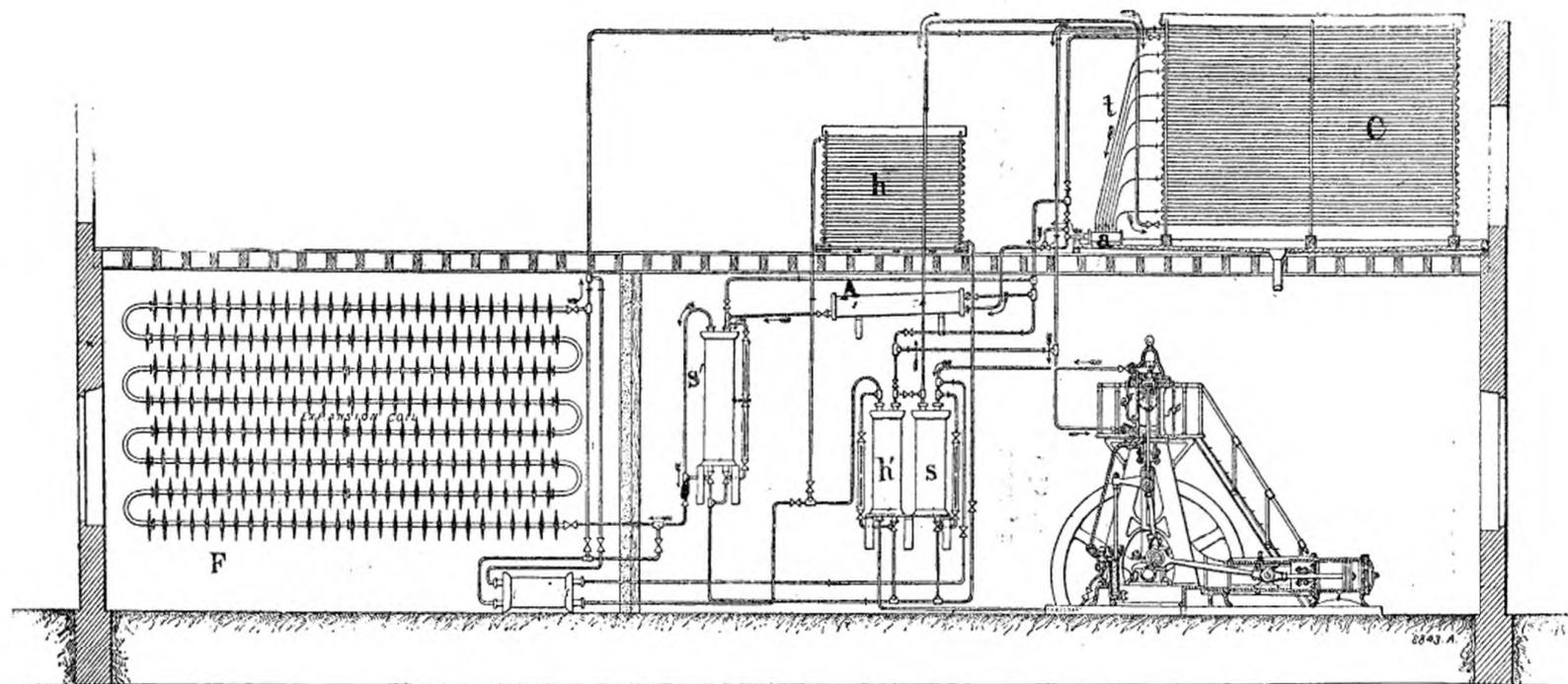


Fig. 107. — Lavergne. Ensemble d'une installation.

C, condenseur Beudelot sectionné d'où l'ammoniac liquéfié tombe, par les tuyaux *t*, dans les liquéfacteurs *a*, A. S' où elle se sépare en même temps de ses dernières traces d'huile ramenée du réservoir *h*" à la circulation de la pompe à huile, fig. 108-111, S, séparateur d'huile, *h*, refroidisseur d'huile, *s*' séparateur d'huile, *h*' réservoir d'huile froide.

L'huile est injectée au compresseur par le tuyau *h* (fig. 91, p. 182) pendant la descente du piston, de sorte qu'elle ne diminue pas le volume de la cylindrée

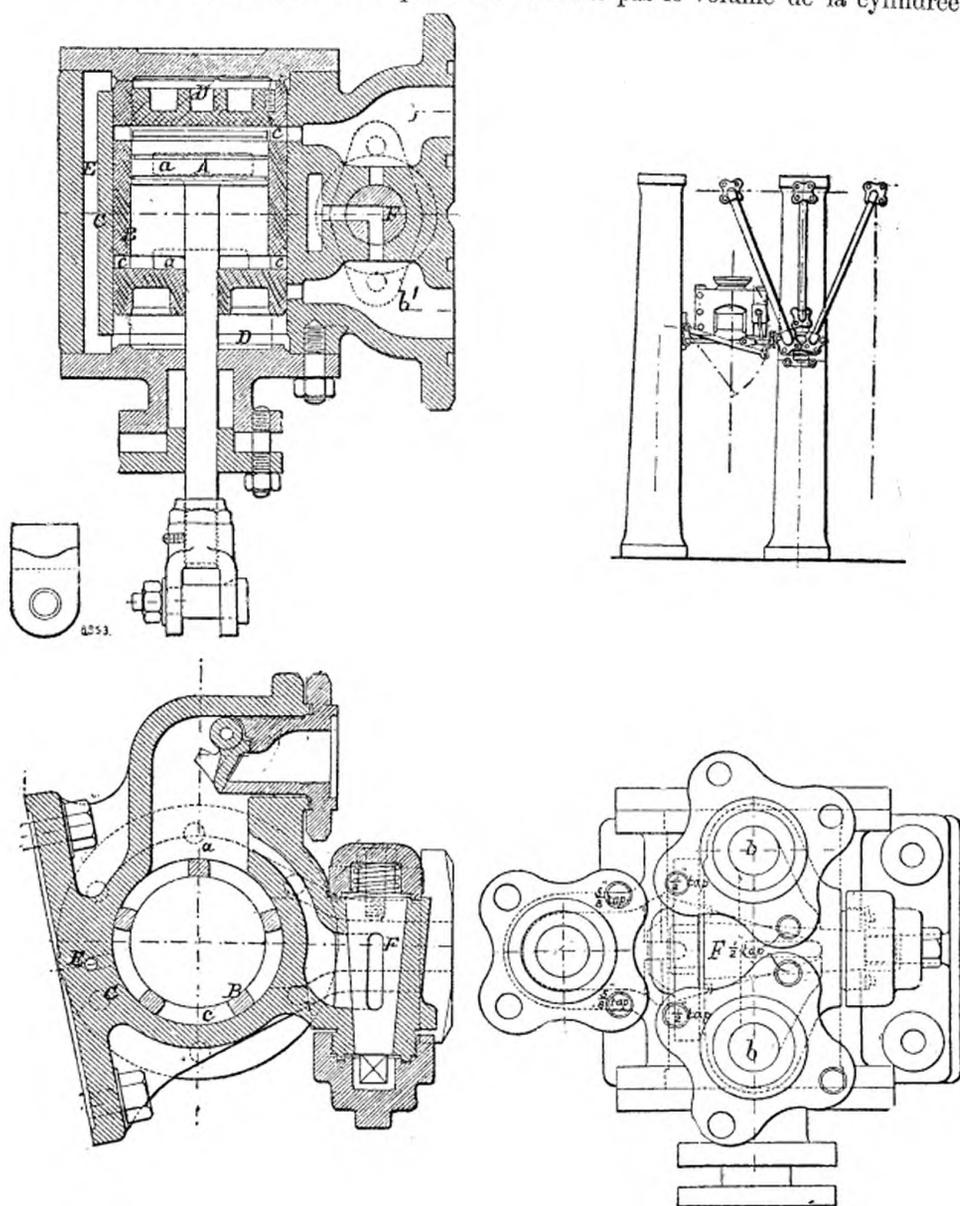


Fig. 108 à 111. — Lavergne. Pompe de circulation d'huile. — Montage et détail de la pompe.

B, cylindre distributeur mobile dans le cylindre fixe C, *aa*, orifices d'admission du cylindre fixe C, *cc*, orifices de refoulement du cylindre mobile B, A, piston. E communication mettant en équilibre de pression les fonds DD du cylindre mobile C, A' aspirateur de l'huile à la pompe, *bb'* refoulement aux compresseurs. F, robinet de purge des compresseurs.

d'aspiration. En raison de sa grande masse et de son renouvellement continu, cette huile absorbe peu d'ammoniac, ne mousse pas, et refroidit le compresseur en même temps qu'elle le lubrifie les organes.

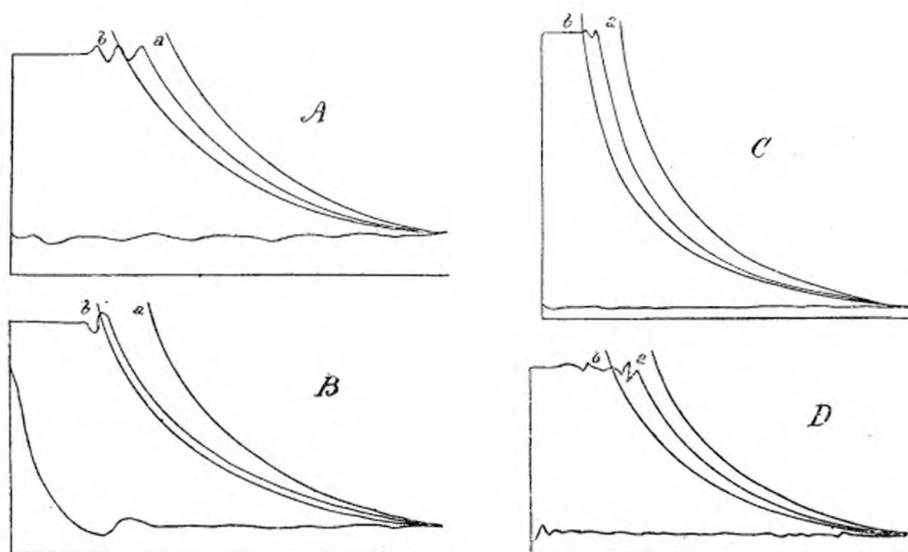


Fig. 112. — Lavergne. Diagrammes.

A. compresseur de  $360 \times 244$  mill., compression 10 atm. 5, aspiration 1 atm. 9, 36 tours, travail indiqué 48 chev. *a*, adiabatique (travail, 53 chev. 6), *b*, isothermique : travail économisé par le graissage et le refroidissement du cylindre, 5 chev. 6. B, compresseur de  $360 \times 255$  mill. non lubrifié, compression 11 atm., aspiration 1 atm.  $1/3$ , travail indiqué 44 chev. La courbe de compression, trop rapprochée de l'isothermique *b*, indique une fuite de 15,2 0/0 pendant la compression; on subit, en outre, à l'aspiration, une perte de 7  $1/2$  0/0 par la réexpansion du gaz échappé pendant la compression, soit une perte totale de 22,6 0/0 par l'absence d'huile. C, compresseur de  $305 \times 610$  mill. : refoulement 14 atm., aspiration 0,8; travail indiqué 30 chevaux; travail adiabatique 36 chev. 5 : bénéfice du lubrifiant 6 chev. 5. D, compresseur de  $305 \times 610$  mill. : compression, 9 atm., aspiration 1 atm.; travail indiqué 27 chev., travail adiabatique, 31 chev. 7.

Les diagrammes, fig. 112 donnent quelques indications précises sur le fonctionnement d'un compresseur de  $360 \times 255$  millimètres de diamètre, marchant à 36 tours par minute, avec 10 atmosphères  $1/2$  au refoulement et 1 atmosphère  $9/10$  à l'aspiration : puissance indiquée, 48 chevaux. La courbe réelle de compression se trouve, comme pour les machines à air, intermédiaire entre les courbes adiabatique *a* et isothermique *b*. Le travail correspondant à l'adiabatique *a* est de 53 chevaux 6, de sorte que l'on économise par le refroidissement du compresseur un travail de 5 chevaux 6. — Le travail indiqué du moteur à vapeur était de 63 chevaux, ce qui donne, pour l'ensemble de la machine, un rendement organique de 0,76.

Le condenseur est, comme nous l'avons dit, à l'air libre, et composé, comme

un Beudelot, de plusieurs séries de tuyaux arrosés par une circulation d'eau refroidie au moyen de son passage préalable sur des serpentins parcourus par le retour de l'ammoniac du bac à glace au compresseur. L'ammoniac liquide tombe des sections du condenseur, par les tubes *t* (fig. 107), au petit collecteur *a*, qui l'amène au récipient d'ammoniac A. Ce genre de condenseur, plus accessible que les condenseurs immergés, exige un peu moins d'eau de refroidissement. — Les tuyaux du condenseur ont 50 millimètres de diamètre et sont assemblés à leur extrémité comme l'indique la figure 113.

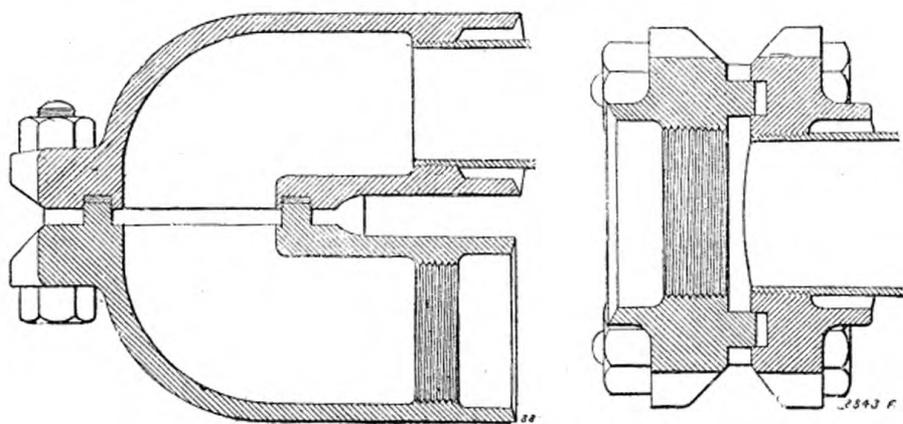


Fig. 113 et 114. — Lavergne. Joints au plomb.

Le robinet de détente est représenté en détail par les figures 115. Afin de permettre une graduation plus exacte de la détente, on a donné au trou de la clef une forme allongée. Les raccords avec les tuyaux sont (fig. 113 et 114) à joints métalliques avec garnitures en rondelles de plomb écrasées.

Les dimensions des compresseurs des principaux types des machines Lavergne à deux corps de pompes et marchant à la faible vitesse de 36 tours par minute, sont les suivantes :

| Dimensions<br>des<br>compresseurs | Force<br>du moteur à<br>vapeur | Production<br>de glace en<br>24 heures |
|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|
| 150 × 300 millimètres             | 6 chevaux                      | 2 tonnes.                              |
| 200 × 400                         | 12                             | 5                                      |
| 230 × 400                         | 15                             | 6,5                                    |
| 250 × 510                         | 25                             | 10                                     |
| 300 × 610                         | 42                             | 18                                     |
| 355 × 710                         | 66                             | 30                                     |
| 400 × 810                         | 100                            | 45                                     |
| 460 × 915                         | 140                            | 65                                     |

L'une des machines de Lavergne des plus impuissantes, construite pour un navire, n'a que 1<sup>m</sup>80 de haut, et produit, avec un seul compresseur de 150 × 300 <sup>m</sup>/<sub>m</sub> 3 tonnes de glace par jour.

Une machine Lavergne à cylindres de  $915 \times 460$  millimètres de course, marchant à 32 tours, a donné aux essais de MM. Anderson et Page, une puissance frigorifique totale 220000 calories négatives par heure, avec un travail de 91 che-

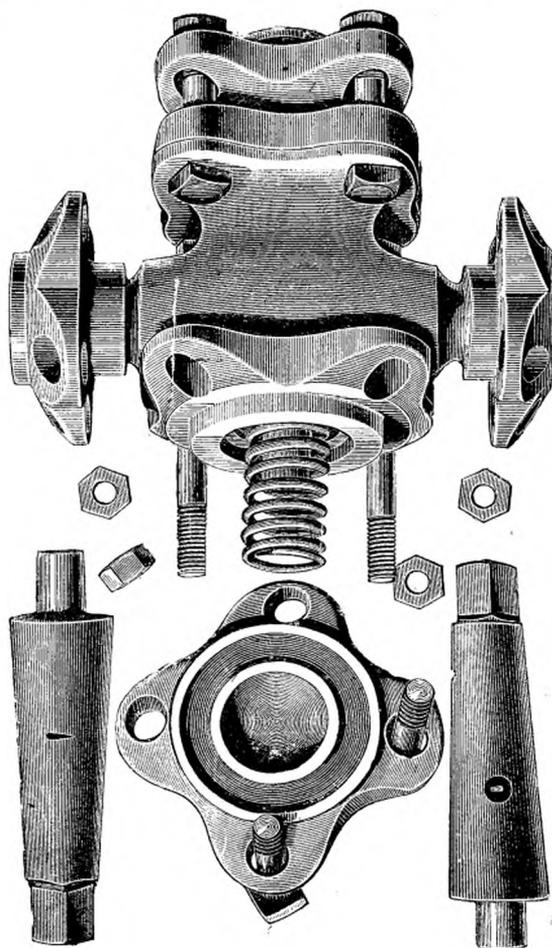


Fig. 115. — *Lavergne*. Robinet détenteur.

vaux indiqués au moteur et de 76 chevaux au compresseur, (rendement du mécanisme 0.755), soit 2900 calories par cheval-heure indiqués au compresseur : circulation d'huile  $4^{\text{m}3},30$  par heure (1).

1. Wolson Wood, *Thermodynamics*, p. 351.

### Machines Wood et Richmond (1)

L'ensemble de la machine de MM. Wood et Richmond, construite à New-York par MM. Wood et Shipley, est analogue à celui de la machine Lavergne; les cylindres des pompes sont aussi montés sur un bâti vertical et commandés directement par bielles et manivelles au moyen d'un moteur horizontal. Le piston, à garniture d'huile, n'a pas d'espaces nuisibles; les soupapes d'aspiration et de refoulement, disposées au haut des compresseurs et facilement accessibles, sont pourvues de *dash-pots* amortisseurs de chocs. La principale caractéristique des compresseurs est leur refroidissement par une injection de gaz ammoniac liquide pulvérisé en quantité suffisante pour y maintenir constamment le régime de saturation. Le condenseur a la forme d'un Baudclot sectionné en plusieurs compartiments de manière à parer à tout accident. Les robinets sont, comme les stuffing-box, rendus imperméables par des garnitures d'huile (fig. 92, p. 187). Quelques-unes de ces machines sont pourvues d'un détenteur automatique à pression constante. Les appareils de MM. Wood et Richmond fonctionnent d'une façon satisfaisante dans plusieurs installations importantes aux Etats-Unis. La vitesse ordinaire des pompes est de 100 tours par minute. Une machine à deux cylindres, de  $200^{\text{mm}} \times 380^{\text{mm}}$ , fournit, à cette vitesse et avec une puissance de 20 chevaux, 500 kilogrammes de glace à l'heure, dans les conditions ordinaires des climats tempérés. Nous avons déjà indiqué aux pages 185 et 178 quelques-uns des détails de construction les plus intéressants de ces machines, tels que la disposition particulière des séparateurs d'huile et des condenseurs à injection d'air, adoptés dans plusieurs installations.

### Machines Puplett (2)

Les machines de M. Samuel Puplett sont du type horizontal. Leur compresseur à double effet est refroidi, comme celui de MM. Wood et Richmond, par une injection d'ammoniac liquéfié. Le condenseur est, comme nous l'avons vu, page 184, d'une forme spéciale, l'ammoniac passant tantôt à l'extérieur, tantôt à l'intérieur des tubes. Une partie de l'ammoniac achève de se liquéfier dans un serpentin plongé dans le bac à glace, de manière à diminuer la pression de liquéfaction. La machine Puplett est construite en Angleterre par la Pulsometer Engineering Company. Dans une de ces machines, installée à Birmingham, le compresseur, actionné par un train d'engrenages, marche deux

1. Brevets anglais 5798 de 1882, 7824 de 1885, 9547 de 1886. *American Machinist* 28 juin 1884. *The Engineer*, 4 février 1889.

2. Brevets anglais 12541, 12543 de 1884, 14378 de 1887. *The Engineer*, 25 janvier 1889. *Engineering*, 28 mai 1886.

fois moins vite que le moteur à vapeur; la pression n'y dépasse pas 12 atmosphères avec de l'eau de condensation à 33°. La machine produit 25 tonnes de glace par jour, avec une dépense moyenne de 1 fr. 25 de charbon par tonne de glace. Nous décrivons plus bas le principe du frigorigère ou appareil à air froid de M. Puplett, ainsi que son procédé de fabrication de glace transparente par agitation.

### Machines Fixary (1)

Les machines *Fixary*, construites en France par la *Société des Constructions mécaniques spéciales*, sont de deux sortes : horizontales et verticales.

Les machines verticales, dont un type de 50.000 calories à l'heure figurait à l'Exposition de 1889, sont à un cylindre depuis une production de 5 kilogrammes à l'heure jusqu'à 25 kilogrammes; à partir de cette force, elles sont à deux cylindres. Ces cylindres, à simple effet (fig. 89, p. 180), sont conjugués au bas, sur les stuffing-box, par un bain d'huile dans lequel les pistons plongent au fond de leur course. Les soupapes d'aspiration et de refoulement sont placées au haut du cylindre et entourées d'eau. Une couche d'huile sur les pistons supprime tout espace nuisible. Les fuites de gaz ammoniac qui peuvent se produire dans les garnitures des pistons s'accumulent dans une chambre dite *chambre d'équilibre*, logée entre les deux cylindres, pour s'en échapper à l'aspiration des pompes, et rentrer dans la circulation générale, dès que la pression atteint, dans la chambre d'équilibre, celle de l'aspiration (1 kilogramme à 1<sup>kg</sup>.5 absolus). Les fuites intérieures des cylindres ne sont donc pas perdues.

Quant aux fuites extérieures par le stuffing-box, elles sont évitées au moyen d'une garniture ingénieuse consistant essentiellement en une longue gaine d'huile minérale refroidie tout autour de la tige du piston par une dérivation de l'ammoniac détendu. Cette huile se gèle en partie, et forme ainsi une sorte de garniture demi-fluide, ou *joint pâteux*, absolument imperméable et presque sans frottement.

Ce joint pâteux se retrouve employé avec autant d'efficacité et plus d'utilité, sur les machines horizontales à double effet, dont le stuffing-box est soumis directement à la pression de l'ammoniac refoulé.

1. Brevets anglais 3545, de 1883. 2387, de 1885. 3363 et 3793 de 1887. *Revue Industrielle*, 1<sup>er</sup> janvier 1886, 16 novembre 1889. *Annales Industrielles*, 20 janvier 1889. *Génie Civil*, 28 août 1885. 8 mai 1890 *Revue Universelle de la Brasserie*, 22 juillet 1888. *Moniteur de la Brasserie*, 15 janvier 1889. *Annales d'Hygiène publique et médico-légales*, juillet 1886. *Journal de la Chambre syndicale des bouchers de Paris*, 17 et 24 novembre. 1<sup>er</sup> décembre 1889. *La Nature*, 23 janvier 1890. Fixary. Nouveaux appareils frigorifiques (Paris Soussens 1880). Haton de la Goupillière. *Cours de machines*, tome I, p. 886. Lezè. *Machines à glace*, p. 76. A. Schwarz. *Eismaschinen*, p. 368.

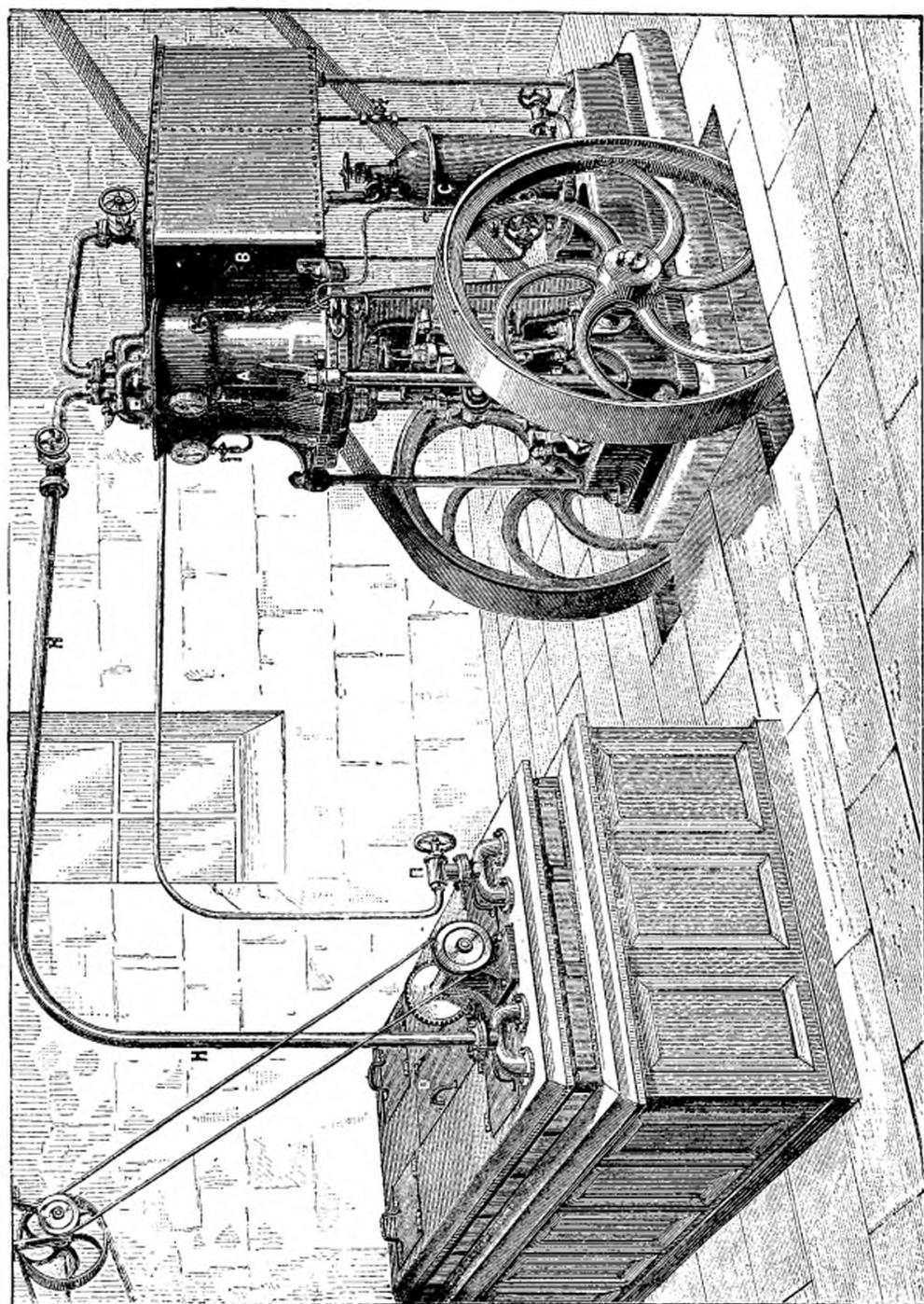


Fig. 116. — Machine *Fixary* de 300 kilogs de glace à l'heure.

Légende. — Moteur indépendant. La pompe de compression A refoule le gaz ammoniac dans les serpentins du condenseur, où il se liquéfie sous la pression de la pompe et sous l'action de l'eau en circulation. Le gaz liquéfié, recueilli dans le liquéfacteur C, est amené au robinet détenteur R, d'où il passe à l'état gazeux dans les serpentins du congélateur D, en produisant un froid intense.

Du congélateur, le gaz détendu revient par les tuyaux d'aspiration H à la pompe de compression A, pour être de nouveau liquéfié et refoulé dans une circulation continue.

Dans les deux types de machines, l'ammoniac traverse, avant d'arriver au condenseur, un séparateur d'huile. L'huile, ainsi séparée de l'ammoniac presque dès sa sortie du compresseur, passe en partie au joint pâteux, en partie à l'aspiration du compresseur, dont elle graisse les soupapes et le piston.

Quant à l'eau qui sert à faire la glace, elle passe, après sa filtration, dans un condenseur à surfaces alimenté, en tout ou en partie, par la vapeur d'échappement, et soumis au vide de la pompe à air du moteur. Cette eau se débarrasse ainsi de son air, en bouillant à une température de 70° à 80° ; de là, elle est refoulée au distributeur des mouleaux, sous la pression d'un accumulateur, au travers de serpentins refroidis par l'eau de circulation.

Nous reviendrons plus bas, en traitant des principales applications du froid, sur cette fabrication spéciale de la glace transparente, nous bornant, pour le moment, à décrire les machines seules du système Fixary.

La figure 116 et les planches 5-6 représentent l'ensemble d'une installation Fixary de moyenne importance, pour fabrication de la glace opaque depuis 50 jusqu'à 300 kilogrammes par heure. Ainsi qu'on le voit, jusqu'à cette force, le condenseur est porté par des colonnes fixées au bâtis même de la machine, dont l'ensemble forme ainsi un tout à la fois compacte et très accessible.

Nous ne saurions mieux décrire le fonctionnement et les principaux détails de cette machine qu'en reproduisant ici l'instruction rédigée par la *Société des Constructions mécaniques spéciales* pour le montage, le chargement, la mise en marche et la conduite des machines Fixary.

Les *organes principaux* de la machine proprement dite sont (pl. 5-6) les suivants :

- A Compresseur,
- B Condenseur,
- C Récipient à gaz ammoniac liquéfié,
- D Récipient à huile,
- E Réfrigérant ou congélateur contenant les mouleaux à glace,
- F Robinet isolant le compresseur du congélateur, et portant la prise de chargement O qui sert à l'introduction de l'ammoniac dans l'appareil.
- G Robinet isolant le condenseur de la pompe à ammoniac,
- H Robinet de réglage de la détente ou distributeur du gaz, au bac à glace,
- I Appareil séparant le gaz de l'huile entraînée à sa sortie de la pompe A.

A ces organes principaux, s'en rattachent d'autres, d'un ordre secondaire, dont nous indiquerons l'emploi et l'utilité dans le cours de la description.

*Principe de la machine.* — Le principe de la machine est fondé sur la compression, la liquéfaction et l'évaporation successives du gaz ammoniac anhydre. On sait que, lorsqu'on liquéfie un gaz par la compression et qu'on le fait se détendre brusquement, le passage de l'état liquide à l'état gazeux produit un

froid considérable. Les changements d'état successifs et continus de cette masse de gaz ammoniac toujours la même sont obtenus de la manière suivante :

Supposons le récipient C chargé d'ammoniac liquéfié. En ouvrant le robinet L, le gaz, passant par le tuyau 1, arrivera à l'état liquide jusqu'au robinet de réglage H ; si l'on ouvre très légèrement ce robinet, le liquide s'élancera dans les serpentins du congélateur E, où, n'étant plus soumis à la pression qui le maintenait liquéfié, il se vaporisera rapidement sous l'action de la pompe, en produisant un froid considérable. Le gaz ammoniac, au fur et à mesure de sa formation, est aspiré au travers de la conduite 2, par les pistons de la pompe A, et refoulé, à travers le tuyau 3 et le séparateur I, dans le condenseur B, lequel doit, en marche normale, être constamment immergé dans un courant d'eau froide.

A chaque coup de piston, une nouvelle quantité de gaz ammoniac est refoulée dans le condenseur, où la pression monte rapidement.

Dès que cette pression atteint le maximum de tension du gaz ammoniac à la température de l'eau courante, ce gaz se liquéfie en abandonnant à l'eau qui entoure les serpentins du condenseur sa chaleur de compression et de liquéfaction.

Le gaz liquéfié s'accumule dans le récipient C, en passant par le tuyau 4. Le niveau indique la hauteur qu'atteint le liquide dans le récipient. De là, le gaz liquéfié va se détendre dans le congélateur E, ainsi que nous venons de le décrire, et ainsi de suite indéfiniment.

De cette façon, si la construction est assez soignée pour empêcher toute fuite de gaz, la même provision d'ammoniac anhydre peut servir indéfiniment.

*Organes secondaires.* — Les organes d'une importance secondaire sont les suivants :

K, Robinet isolant le condenseur B du récipient liquéfacteur C,

L, Robinet isolant le récipient C de la conduite qui amène l'ammoniac liquéfié au robinet de réglage H.

M, Robinet isolant le récipient D de l'appareil séparateur d'huile I.

Ces trois robinets n'ont d'autre but que de pouvoir, en cas de réparation ou de démontage d'un serpentín ou d'un tuyau, isoler le récipient C sans perdre l'ammoniac qu'il contient. En marche, ils doivent constamment rester ouverts, et ce n'est qu'en cas d'un *long arrêt* de la machine qu'ils doivent être fermés.

N, Robinet faisant communiquer le récipient d'ammoniac C avec le récipient, à l'huile D,

O, Petit robinet vissé sur le robinet F, et servant à l'introduction de l'ammoniac dans l'appareil,

P, Bouchon de purge d'air,

Q, Robinet servant à distribuer l'huile sous les pistons de la pompe A,

R, Robinet de réglage de la détente du gaz pour le joint congelé des presse-étoupes,

S, Soupape d'équilibre,

T, Bouchon de nettoyage,

U, Niveau.

#### *Montage de la machine.*

Le compresseur ou pompe à ammoniac est emballé tout monté. On n'a donc à faire sur place que les joints des quelques tuyaux qui relient les différents organes entre eux.

Les joints de ces tuyaux, ainsi que ceux de la conduite 2, qui relie le réfrigérant ou congélateur à la pompe à ammoniac, et ceux de la petite conduite 1, qui réunit le robinet d'isolement L au robinet de réglage H, devront être faits avec les plus grands soins. On emploie deux types de joints ; l'un à double encastrement pour les parties soumises à une haute pression, l'autre à un seul encastrement pour les pressions moindres. Les joints à double encastrement sont formés d'une rondelle en caoutchouc qui se monte sur le grand diamètre du joint, et d'une rondelle en plomb qui se met sur le petit. La rondelle en caoutchouc doit toujours être plus épaisse d'un millimètre que celle en plomb, pour être certain de bien serrer sur le caoutchouc.

Les joints à un seul encastrement sont formés d'une seule rondelle en caoutchouc de 2 millimètres d'épaisseur. Comme caoutchouc, employer de préférence des feuilles toilées ou contenant intérieurement un morceau de toile.

*Soins spéciaux.* — Avant de monter chaque tuyau, s'assurer qu'il n'a pas été bouché dans l'emballage ou le transport.

En faisant les soudures des brides en fer vissées sur les tuyaux, éviter de laisser pénétrer à l'intérieur des gouttes d'étain.

Enfin, avant de monter un tuyau qui a été coudé ou réparé, le dessécher complètement, en le chauffant sur toute sa longueur. S'il a été rempli de résine il faut le brûler et le laver avec soin.

*Essai de la machine à la pression d'air avant son chargement.* — Une fois la machine montée et serrée sur ses pierres d'assise, le congélateur et le condenseur bien de niveau, on procède à la vérification du montage et de l'étanchéité de tout l'appareil par l'essai à la pression d'air. A cet effet, on défait le raccord et on ouvre la clef du robinet d'introduction O, après avoir fermé soigneusement le robinet d'isolement F. Tous les autres robinets d'isolement (G, K, L), ainsi que le robinet de réglage H doivent rester ouverts.

Si l'on fait alors tourner doucement la pompe, l'air aspiré par le robinet O se répandra dans tout l'appareil, depuis le compresseur jusqu'au robinet d'isolement F (fermé), en passant à travers les serpentins du condenseur B et du congélateur E. On continue à faire marcher la pompe jusqu'à ce que le mano-

mètre de refoulement indique 20 atmosphères de pression ; après quoi, on arrête la pompe et on ferme le robinet O, qui permettait à l'air d'entrer. On laisse les choses dans cet état pendant plusieurs heures ; si les joints ont été bien faits, si tout l'ensemble est bien étanche, la pression doit, au bout de quelques instants, se maintenir sans déperdition.

Avoir soin, pendant cette opération, de laisser les bâches du condenseur et du congélateur pleines d'eau, car, s'il y avait la moindre fuite, on s'en rendrait compte par les bulles d'air qui se dégageraient et apparaîtraient à la surface de l'eau. Pour trouver les fuites qui pourraient se présenter par défaut de montage, on badigeonnera avec de l'eau de savon tous les joints et tous les tuyaux. Bien vérifier les robinets, les joints du compresseur, les presse-étoupes, les soudures des tuyaux, les raccords, etc., et, tout spécialement, les serpentins du condenseur et du congélateur.

*Introduction de l'huile.* — Une fois la machine éprouvée à l'air, on procède à son chargement d'huile. A cet effet, on enlève le chapeau et le clapet de la soupape d'équilibre S, et, par l'ouverture, on verse de l'huile spéciale lourde, de pétrole, en ayant soin de laisser ouvert le robinet de prise d'huile Q, afin de permettre à l'excès d'huile de descendre par le tuyau 5 dans le récipient D.

Quand le récipient D est plein aux  $\frac{2}{3}$ , ce dont on peut s'assurer en démontant le robinet M, on remet en place la soupape d'équilibre, on refait soigneusement le joint du chapeau et celui du robinet M, après quoi on est prêt à procéder au chargement définitif du gaz dans la machine.

*Circulation d'eau froide au condenseur.* — Auparavant, on doit s'assurer que la circulation d'eau froide du condenseur est bien établie. L'eau doit arriver par le fond de la bâche, et s'écouler par le haut ; c'est-à-dire circuler en sens inverse du gaz.

*Préparation du bain incongelable.* — Les mouleaux étant préalablement remplis d'eau douce et mis à leur place, on sort du tonneau de chlorure de calcium une certaine quantité de sel que l'on dépose dans un baquet. On verse de l'eau dessus, on agite jusqu'à ce que le sel soit entièrement dissous. Le mélange une fois intime, le pèse-sel doit marquer  $22^{\circ}$  ; s'il marque moins, on ajoute du sel ; s'il marque plus, on ajoute de l'eau. Cette solution est parfaitement incongelable dans les conditions ordinaires. On la verse alors dans la cuve, en ayant soin d'éviter d'en introduire dans les mouleaux, et on continue l'opération jusqu'à ce que le niveau du bain dans la cuve vienne à 5 ou 6 centimètres au-dessous du haut des mouleaux.

S'assurer que la turbine agitatrice fonctionne bien, et que les courroies qui la commandent ne sont pas trop lâches.

Remplir les mouleaux d'eau douce jusqu'à 10 centimètres du bord.

*Introduction du gaz dans la machine.* — On livre à cet effet des bonnes métalliques chargées de gaz liquéfié parfaitement anhydre ; ces bonbonnes sont munies d'un robinet à raccord *a*, recouvert d'un chapeau de sûreté *b*, vissé à bloc. On dévisse le chapeau *b*, on place ensuite la bonbonne sur une balance puis, *sans ouvrir le robinet*, on fixe sur le raccord *a* un tuyau de plomb d'une longueur suffisante, qui vient aboutir par son autre extrémité au raccord *c* du petit robinet de remplissage *o*, fixé sur le robinet d'isolement F. Une fois le tuyau de plomb en place, les joints des raccords soigneusement faits, et le robinet *a* de la bonbonne toujours fermé, on procède à la *purge d'air de tout l'appareil*.

On démonte d'abord le bouchon de purge d'air P, puis on ouvre tous les robinets de la machine, sauf le robinet G, qui se trouve au-dessus du condenseur, et qu'on tient fermé. Si on met alors doucement la pompe en route, elle aspirera tout l'air contenu dans l'appareil et dans les conduites, et l'expulsera par le bouchon de purge P. Le robinet G, fermé, empêche l'air aspiré de rentrer dans la machine.

Pour les grosses machines, on laisse en commençant le robinet G légèrement ouvert, et on le ferme peu à peu, au fur et à mesure de l'écoulement de l'air.

Une fois l'air complètement expulsé, ce qui n'a lieu que lorsque le manomètre d'aspiration indique le vide, on arrête la pompe, on remet soigneusement en place le bouchon de purge d'air P, on ouvre le robinet G, et il ne reste plus qu'à introduire le gaz dans l'appareil.

Pour cela, on commence par fermer les robinets M, N et R, afin d'empêcher le gaz de pénétrer dans le récipient à l'huile D'; puis, tous les autres robinets restant ouverts, la circulation d'eau froide dans le condenseur étant établie, on ouvre le robinet *a* de la bonbonne d'abord légèrement, jusqu'à ce que le manomètre d'aspiration marque une atmosphère, puis en grand, pour permettre au gaz de s'échapper librement. Le gaz s'écoulera immédiatement par le tuyau de plomb *b*, et se répandra par toute la machine, où il se mettra en équilibre de pression avec la bonbonne, ce dont on se rendra compte quand les aiguilles des deux manomètres resteront stationnaires, en indiquant une pression à peu près semblable. A ce moment, tout l'appareil est plein de gaz ammoniac à une pression variant suivant la température ambiante, et la moindre fuite est indiquée par la présence de l'odeur d'ammoniac ou d'une fumée blanche lorsqu'on présente un tampon imbibé d'acide chlorydrique.

Si l'on constate une fuite, il faut fermer immédiatement le robinet de la bonbonne, la réparer, et recommencer l'opération jusqu'à ce que l'on ne constate plus aucune fuite.

Pour faire une réparation, il faut toujours vider la machine de gaz, en l'expulsant par le robinet de purge P.

Quand l'étanchéité est absolue et que la machine est pleine de gaz à une

pression égale à celle de la bonbonne, celui-ci ne peut plus s'écouler à cause de l'équilibre de pression. On ferme alors les robinets de réglage H et d'isolement L, et l'on met la pompe en mouvement. Elle aspire aussitôt les vapeurs contenues dans le congélateur ; un vide relatif s'établit, le gaz ammoniac s'échappe de la bonbonne et vient se détendre dans le congélateur.

La balance signale d'une façon permanente le poids du gaz absorbé, et l'on continue l'aspiration jusqu'à ce que le poids indiqué au tableau ci-dessous soit entré dans l'appareil. Le gaz, au fur et à mesure qu'il est aspiré par la pompe, est refoulé dans le condenseur et dans le récipient C, où il se liquéfie. Le manomètre de compression monte, et marque la pression du condenseur.

TABLEAU DES CHARGES DE GAZ AMMONIAC ET DE CHLORURE  
POUR LES MACHINES A GLACE FIXARY

| PRODUCTION<br>des machines en glace<br>à l'heure | GAZ AMMONIAC<br>dans<br>la machine | CHLORURE<br>de<br>calcium |
|--------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| 25 kilogrammes                                   | 10 kilogrammes                     | 350 kilogrammes           |
| 50 —                                             | 18 —                               | 800 —                     |
| 100 —                                            | 30 —                               | 1400 —                    |
| 200 —                                            | 60 —                               | 2500 —                    |
| 300 —                                            | 90 —                               | 3500 —                    |
| 500 —                                            | 150 —                              | 7000 —                    |
| 1000 —                                           | 300 —                              | 12000 —                   |
| 1500 —                                           | 420 —                              | 15000 —                   |

*Niveau.* — A partir du type produisant 100 kilogrammes de glace à l'heure, les machines ont un niveau U. Le haut du niveau correspond avec le récipient à gaz liquéfié C ; le bas avec le récipient à huile D. Dès que le gaz liquéfié vient se déposer dans le récipient C, on le voit monter dans le tube du niveau. Quand il atteint le haut du tube, la charge est suffisante. Bien avoir soin de tenir les robinets du niveau *constamment fermés*. On ne doit les ouvrir que pour s'assurer de la hauteur qu'atteint le liquide dans le tube, après quoi on les referme.

*Démontage de la bonbonne.* — Dès que la quantité de gaz ammoniac introduite est suffisante, on ferme le robinet *a* de la bonbonne et l'on continue à faire marcher la pompe jusqu'à ce que le manomètre d'aspiration marque le vide ; on ferme alors le robinet de chargement O, ainsi que le robinet d'isolement F ; on démonte le tuyau de plomb, et on remet en place les raccords.

Tout le gaz aspiré est alors accumulé dans le condenseur et dans le récipient E, et l'appareil est prêt à fonctionner en marche régulière.

*Purge d'air.* — Pendant l'opération du chargement, et le premier jour de la mise en marche régulière, on voit souvent le manomètre de compression indiquer une pression de 12 atmosphères et plus. Cela tient uniquement à ce qu'une certaine quantité d'air n'a pu être expulsée ou s'est introduite dans la machine pendant le chargement. La présence de cet air gêne la condensation du gaz, produit des élévations de température à la compression, et augmente considérablement la pression dans le condenseur. Il est indispensable de s'en débarrasser dès la mise en marche régulière. Pour cela, le robinet d'isolement étant fermé, on laisse la machine en repos pendant quelques heures, pour permettre à l'air qui s'est accumulé dans le condenseur et mélangé avec le gaz ammoniac de se séparer et de s'accumuler au-dessus du gaz liquéfié. Pour expulser cet air, on desserrera un peu le bouchon de purge P, après quoi, on ouvrira très légèrement le robinet d'isolement G, sans *quitter de la main*. Aussitôt, on entendra l'air siffler par le bouchon P. Dès qu'il sera entièrement expulsé, on verra paraître les fumées blanches du gaz accusé par son odeur pénétrante. On referme alors immédiatement le robinet G, puis le bouchon de purge P. Une fois l'air expulsé, les rentrées d'air étant impossibles, la purge ne devra plus se faire qu'en cas d'un nouveau chargement d'huile ou d'ammoniac.

*Mise en marche régulière.* — Tous ces préparatifs terminés, les circulations d'eau bien établies, on peut commencer la mise en marche régulière.

On ouvre tous les robinets de la machine, sauf le robinet de réglage H et les deux petits robinets Q et R; et l'on met la pompe en route à sa vitesse normale. On ouvre alors très légèrement le robinet de réglage H. L'ammoniac liquide se précipitera immédiatement dans les serpentins du congélateur E, où il absorbera, par sa vaporisation et sa détente, la chaleur du bain, et, par suite, celle de l'eau contenue dans les mouleaux. Le froid se produit immédiatement, et l'on voit presque instantanément le givre se former à partir du robinet H. Il faut régler l'ouverture de ce robinet de façon à maintenir au manomètre d'aspiration une pression d'environ 1 atm., 5. S'il marque plus, on ferme progressivement le robinet de réglage, jusqu'à ce que la pression s'abaisse de la quantité voulue. Lorsque le manomètre d'aspiration restera à peu près stationnaire, à la pression de 1 atm., 5, le robinet de réglage sera à son point normal d'ouverture.

*Congélation de l'huile qui entoure les presse-étoupes.* — On sait que les pertes de gaz produites par les fuites inévitables des presse-étoupes sont considérées comme le plus grave défaut des machines à gaz liquéfiés en général. M. Fixary est arrivé à les supprimer totalement au moyen de joint spécial breveté, dont le principe consiste à congeler progressivement l'huile qui entoure les tiges des pistons au-dessus du presse-étoupes par la détente d'une dérivation du gaz ammoniac. Sous l'action du froid intense, cette huile se transforme en pâte lubrifiante, serrée et compacte, qui forme autour des tiges un joint absolument imperméable.

Sitôt la machine en marche, il suffira, pour procéder à la congélation de l'huile, d'ouvrir très légèrement le petit robinet R, placé sur le plateau supérieur du bâti. Avoir soin de ne donner que la petite quantité de froid nécessaire pour voir le givre se maintenir sur le petit tuyau 7, d'échappement du gaz ayant servi à la congélation. Toujours refermer le robinet R quelques minutes avant l'arrêt.

*Graissage en marche.* — Pour graisser en marche, on ouvrira toutes les cinq ou six heures, légèrement et pendant quelques secondes seulement, le robinet Q, placé sur le récipient à l'huile D. La pression de ce récipient fera immédiatement monter l'huile dans le tuyau 5, et l'amènera en quantité suffisante sous les pistons du compresseur, dans les cavités qui entourent les tiges du piston.

*Pression normale à la compression.* — La pression indiquée au manomètre de compression varie entre 8 et 9 atmosphères, suivant la température de l'eau de condensation. Cette pression peut atteindre 11 et 12 atmosphères dans les pays chauds. Elle est, comme on le voit, supérieure aux pressions maxima données par Regnault à égale température d'eau de condensation. Cette différence provient de l'état d'activité du gaz dans le condenseur. C'est pourquoi l'on voit, sitôt qu'on arrête la machine pendant quelques heures, le manomètre baisser et indiquer une pression inférieure à celle de la marche régulière.

*Production de la glace.* — Sitôt la mise en marche régulière, le froid commence à se produire dans les serpentins du congélateur E. Il est transmis aux mouleaux qui contiennent l'eau à congeler par le bain de chlorure de calcium qui les entoure. La température de ce bain s'abaisse graduellement, et atteint, au bout de quelques heures, 10 à 12 degrés.

Dans la plupart des cas, c'est la température normale que l'on doit maintenir stationnaire.

Le bain est constamment agité par une petite turbine qui en égalise la température, et qui accélère la congélation en renouvelant les surfaces de contact.

Le meilleur rendement est obtenu en retirant de la cuve, chaque demi-heure ou chaque heure, les mouleaux entièrement congelés, et en les remplaçant de suite par d'autres mouleaux pleins d'eau, afin de maintenir le bain incongelable au même niveau et ne pas perdre le temps de congélation.

Il faut avoir soin de sortir doucement les mouleaux et de les laisser égoutter pendant quelques instants dans la cuve, afin de diminuer le plus possible les pertes du bain incongelable. Pour détacher les blocs de glace, on plonge les mouleaux dans une petite bêche qui se trouve à l'extrémité du bac, et dans laquelle on entretient le l'eau à 25° environ.

A la longue, la salure du bain diminue à cause de l'eau douce que les mouleaux amènent dans la cuve par suite du démoulage. Le pèse-sel indique constamment le degré de salure et le moment où il faut rajouter du sel.

TABLEAU DE LA TEMPÉRATURE DE CONGÉLATION  
POUR DIVERS DEGRÉS DE SALURE DU BAIN INCONGELABLE

| EAU         | CHLORURE<br>de<br>calcium | DEGRÉS<br>marqués par<br>le pèse-sel | TEMPÉRATURE<br>de la<br>congélation du bain |           |
|-------------|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------|-----------|
| 100 parties | 0 parties                 | 0°                                   | 0° centigr.                                 | 0° réamur |
| 90 »        | 10 »                      | 7°,5                                 | 3°,5 »                                      | 2°,8 »    |
| 80 »        | 20 »                      | 12°,5                                | 7°,5 »                                      | 6° »      |
| 70 »        | 30 »                      | 16°,5                                | 14° »                                       | 11°,5 »   |
| 60 »        | 40 »                      | 20°                                  | 21° »                                       | 16°,8 »   |
| 50 »        | 50 »                      | 25°                                  | 32° »                                       | 25°,6 »   |

On voit, d'après ce tableau, que, pour éviter la congélation du bain salé, l'on ne doit jamais laisser la solution saline descendre au-dessous de 15° au pèse-sel. On devra donc, tous les 4 à 5 jours, vérifier au pèse-sel la densité du bain.

*Arrêt de la machine.* — Lorsque, pour une cause quelconque, on aura besoin d'arrêter la machine, on commencera par fermer, *quelques instants avant l'arrêt*, le petit robinet R, qui sert à la congélation de l'huile du presse-étoupes, et le robinet H, pour que la pompe ait le temps d'aspirer et de refouler dans le condenseur la quantité d'ammoniac que peuvent contenir les serpentins de vaporisation du congélateur E.

Sitôt après l'arrêt de la pompe, on fermera le robinet d'isolement G, ainsi que les robinets de circulation d'eau; puis, si on le juge nécessaire d'après le temps écoulé depuis le graissage précédent, on fera remonter un peu d'huile sous les pistons, en ouvrant légèrement, pendant 2 ou 3 secondes, le robinet Q.

Si l'arrêt doit être prolongé, on doit s'assurer de la bonne fermeture des robinets; et, si les presse-étoupes perdent un peu d'huile, on resserre les écrous immédiatement après l'arrêt.

#### *Résumé des manœuvres pour la conduite régulière.*

- 1° Ne jamais mettre en route sans ouvrir préalablement le robinet G.  
Le refermer sitôt après l'arrêt.
- 2° Ouvrir le robinet de réglage H et le petit robinet R, qui sert à la congélation des presse-étoupes, quelques secondes seulement après la mise en marche.  
Les fermer quelques secondes après avant l'arrêt.
- 3° Pour graisser, ouvrir légèrement, et pendant 2 ou 3 secondes le robinet de graissage Q.
- 4° Pour les arrêts d'une certaine durée, fermer le robinet d'isolement F du congélateur.  
L'ouvrir à la mise en marche.

5° S'assurer, en marche, de la circulation régulière de l'eau dans le condenseur. La suspendre pendant les arrêts.

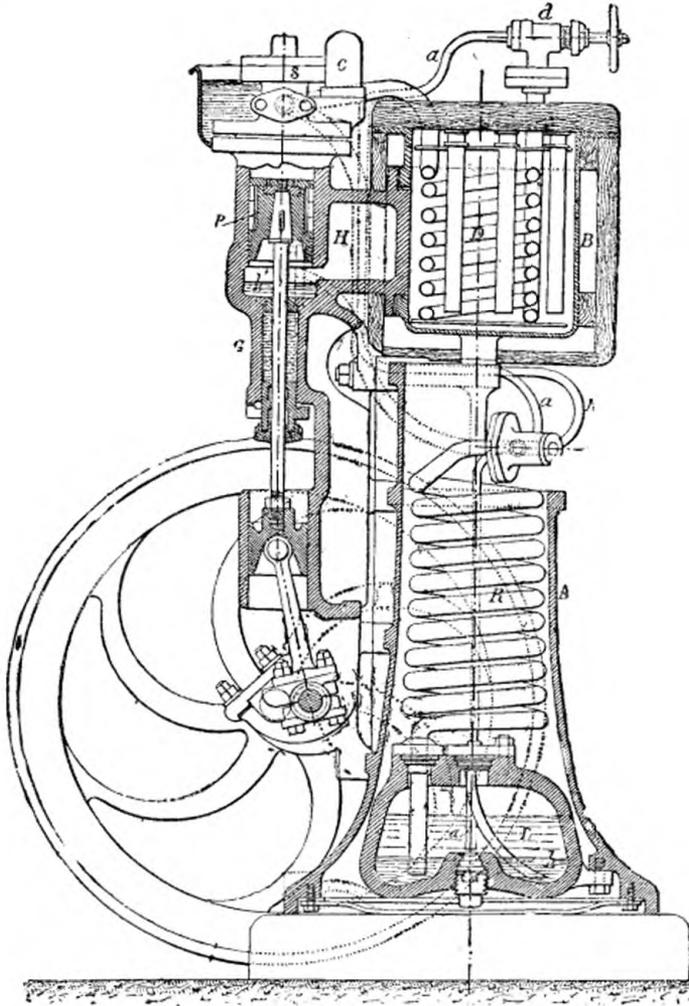


Fig. 117. — Machine Fixary de 10 kilogrammes de glace à l'heure.

*p*, piston de la pompe, *h*, bain d'huile. *H*, chambre de refroidissement, *c*, soupape d'équilibre. *s*, soupape refoulant le gaz aspiré en *D* dans le serpentin *R* du condenseur *A*. *L*, liquéfacteur d'où l'ammoniac liquéfié passe, par *a a*, au robinet de détente *d*. *B*, congélateur.

*Moyen de découvrir les fuites de gaz.* — Les fuites de gaz ammoniac se reconnaissent facilement par l'odeur lorsqu'elles ont une certaine importance. Elles peuvent être découvertes, lorsqu'elles sont faibles, au moyen d'un papier tournesol qui, présenté aux abords des joints, devient bleuâtre en présence des fuites les plus insignifiantes.

*Observation.* — Pour vider *entièrement* une bonbonne du gaz qu'elle renferme, il faut la renverser sans dessus dessous, de façon à avoir la prise du gaz du robinet *a* en bas ou en haut. Quand elle est à peu près vide, jeter dessus un peu d'eau chaude pour expulser tout le gaz.

Pour les très petites productions : une dizaine de kilogrammes de glace à l'heure, on donne aux machines Fixary la forme représentée par la figure 117 très simple, dans laquelle le condenseur et le liquéfacteur sont renfermés à l'intérieur d'une colonne qui supporte le bac à glace.

Ces machines tiennent peu de place, elles n'entraînent pas de frais d'installation. On les pose sur une pierre d'assise sans fondation, et elles peuvent produire de la glace presque aussitôt après leur arrivée.

La première venue apprend en quelques heures à les conduire et à les tenir en parfait état. Elles nécessitent peu de force motrice : 1 cheval pour le modèle de 5 kilogrammes, 1 cheval 1/2 à 2 chevaux pour le modèle de 10 kilogrammes. Elles peuvent être actionnées par un moteur spécial à gaz, à pétrole ou à vapeur, par une transmission quelconque, ou par un petit manège.

L'appareil se compose d'un bâti en fonte qui contient, dans le bas, le serpentin de refoulement ou condenseur A et le récipient à ammoniac liquide E ; il supporte à sa partie supérieure le congélateur B, avec son serpentin de détente D, ainsi que la pompe d'aspiration et de refoulement G, qui porte avec elle sa chambre de refroidissement H, et sa soupape d'équilibre régulatrice C.

La pompe est à simple effet, le gaz ammoniac n'y est admis qu'au-dessus du piston P. La soupape régulatrice ou d'équilibre C, en communication avec la soupape d'aspiration et la chambre de graissage H, permet d'y maintenir une certaine pression du gaz ammoniac provenant des fuites du piston P, qui s'accumulent au-dessus de l'huile formant joint hydraulique autour de la tige de piston. On empêche ainsi à la fois l'entrée de l'air à l'intérieur de l'appareil et les fuites de gaz à l'extérieur.

Les pertes d'ammoniac sont donc entièrement nulles, et la machine, une fois remplie d'ammoniac, peut fonctionner sans qu'il soit nécessaire d'en renouveler la charge.

L'huile contenue dans la chambre de refroidissement H, et formant joint hydraulique autour de la tige du piston, lubrifie le gaz provenant des fuites intérieures en même temps qu'il se refroidit. Enfin, lorsque, par suite de ces fuites intérieures, la pression augmente dans la chambre H, la soupape C, se soulève ; le gaz lubrifié s'échappe, puis est aspiré dans le corps de pompe, où il assure un graissage automatique et constant, tout en remplissant les espaces nuisibles.

Dans les machines Fixary horizontales (fig. 118), le compresseur est à double effet, avec joint pâteux et soupapes à dash-pot. Une machine Fixary de ce type, faisant 1000 à 1200 kilogrammes de glace à l'heure, exige environ 35 chevaux et 20 mètres cubes d'eau de condensation à 10°.

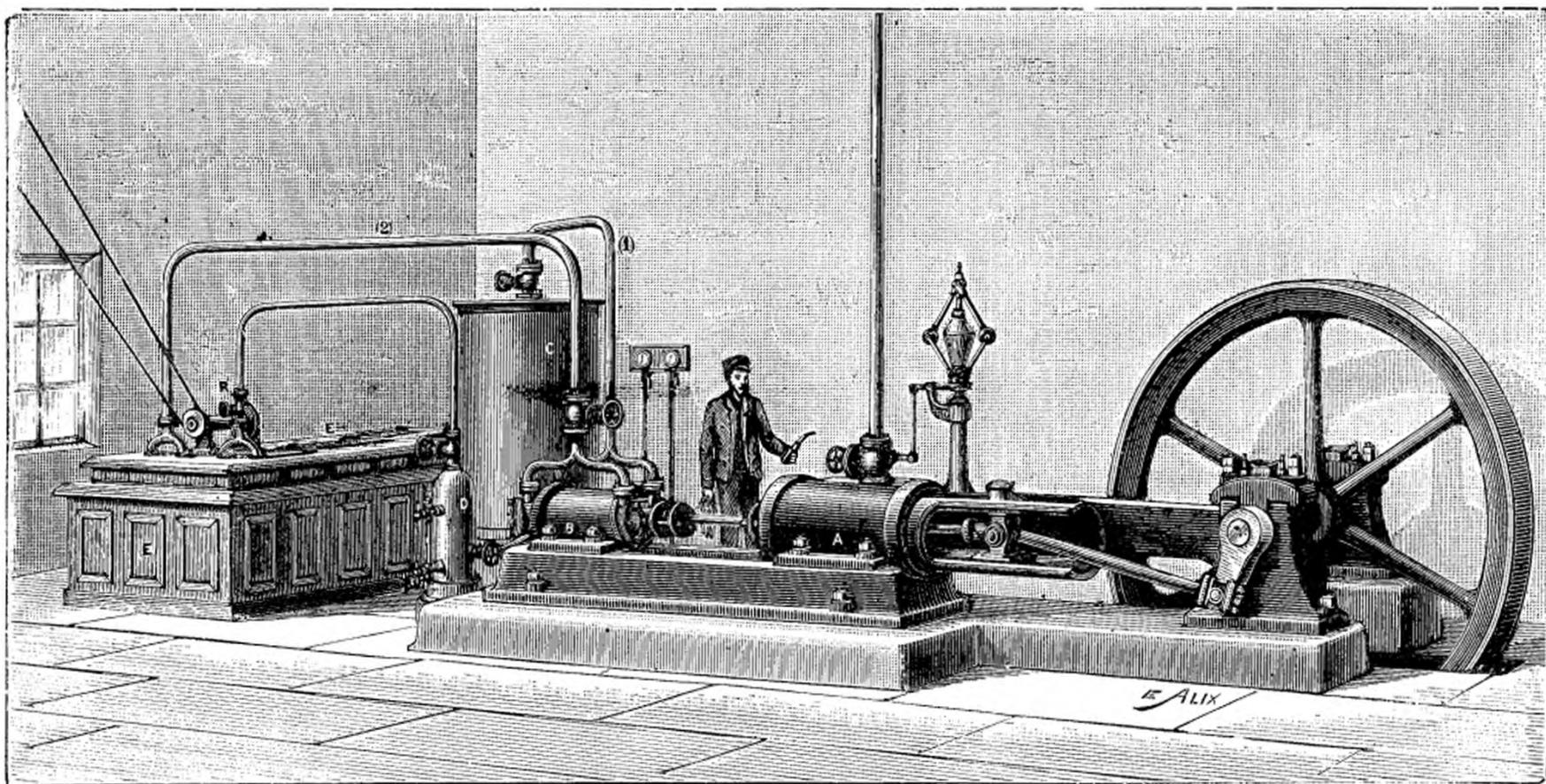


Fig. 118. — *Machine Fixary*, type horizontal.

Le cylindre à vapeur A actionne directement le compresseur à double effet B, lequel refoule le gaz ammoniac à travers la conduite I dans les serpentins du condenseur C, où il se liquéfie sous la pression du compresseur et sous l'action de l'eau en circulation. Le gaz liquéfié est recueilli dans le récipient D, et amené au robinet détenteur R, d'où il passe à l'état gazeux dans les serpentins du congélateur E, en produisant un froid intense. Du congélateur E, le gaz détendu revient, par la conduite d'aspiration 2, au compresseur B, pour être de nouveau refoulé dans le condenseur C, et reliquéfié dans une circulation continue.

## Machines à acide carbonique

Les premières machines à acide carbonique à peu près industrielles sont dues à deux ingénieurs allemands : MM. *Raydt* et *Windhausen*. La machine de Raydt ne figurait pas à l'Exposition ; celles de Windhausen, construites en Belgique par Halot, en Suisse par Escher Wyss et en Angleterre par Hall, y figuraient sous deux formes différentes ; un type vertical et un type horizontal très remarquables.

### Machine de Raydt (1)

Le compresseur de la machine Raydt est horizontal à simple effet : son piston-plongeur, très long relativement à son diamètre, est creux et rafraîchi intérieurement par une circulation de liquide incongelable, qui le traverse suivant le trajet *xy* (fig. 120). Au fond de course, il vient toucher la soupape de refoulement avec un espace nuisible réduit au minimum.

Le joint du stuffing-box est constitué par une double garniture : une garniture solide *s* et une garniture liquide *oo*, d'eau glycinée. Cette eau, que l'on renouvelle par *br*, communique par le tuyau *h* avec un gazomètre E (fig. 119) où se recueillent les fuites d'acide carbonique, échappées à la garniture intérieure.

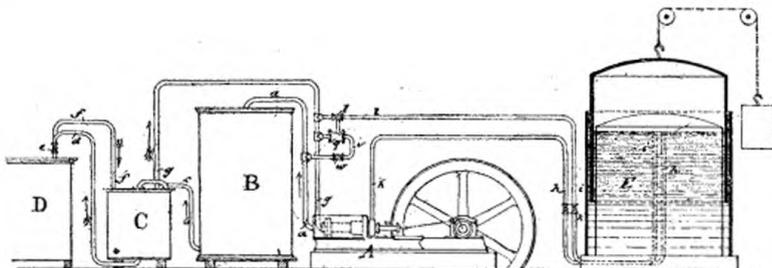


Fig. 119. — Ensemble de la machine Raydt.

Légende. — A compresseur refoulant l'acide carbonique par *a*, au condenseur B, d'où il va par *c* au liquéfacteur C, puis, par *d*, au robinet de détente *e* du bac à glace D. De là, l'acide carbonique revient, par *f*, autour du liquéfacteur, puis, par *g*, à l'aspiration du compresseur. E, gazomètre recevant par *hh* les fuites de la garniture du compresseur et les restituant au condenseur par (*k*, *v*, *w*, *a*) sous l'impulsion de l'injecteur *q*, alimenté, par *l*, d'acide carbonique liquéfié.

On restitue de temps en temps l'acide carbonique du gazomètre E à la circulation au moyen d'un injecteur *q*, qui aspire par le tube *i* et le refoule par *v w* dans le condenseur B, à l'aide d'un jet d'acide carbonique liquide à 60 atmosphères, pris au réfrigérant liquéfacteur C.

(1) Brevet anglais 15475 de 1884.

Ce liquéfacteur, placé entre le condenseur B et le bac à glace D, se compose (fig. 121) d'une bonbonne F, en acier coulé, plongée dans le liquide de la bache C, incongelable et refroidi par un serpentín *fg*, parcouru par l'acide carbonique encore très froid, qui revient du bac à glace à l'aspiration du compresseur.

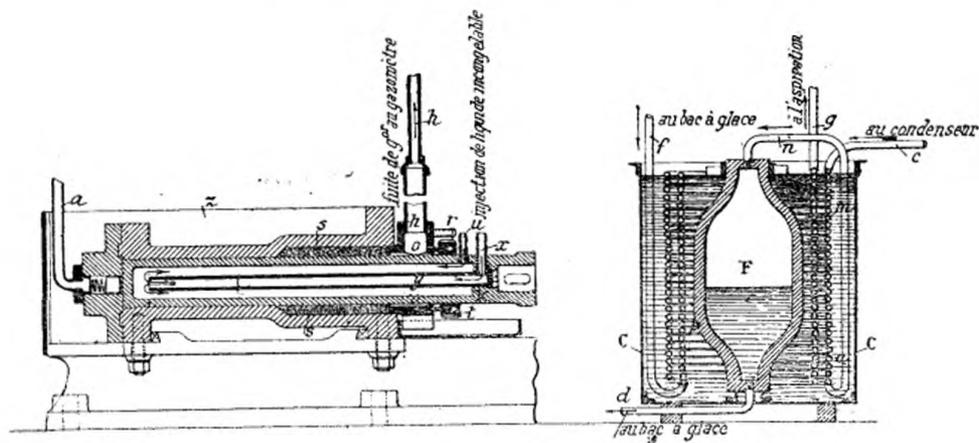


Fig. 120. — Compresseur Raydt.

Légende. — Le long piston creux K est rafraîchi intérieurement par une circulation d'eau *xyu*, et le compresseur baigne dans l'eau d'une bache *s*. Le stuffing-box intérieur *s* est précédé d'une garniture extérieure *o*, alimentée de glycérine par le tuyau *r* et mis en rapport, par *oh*, avec un gazomètre dans lequel s'accumulent les fuites d'acide carbonique échappées de *s*.

Fig. 121.  
Liquéfacteur Raydt.

Légende. — Le liquéfacteur A, qui reçoit par *cn* l'acide carbonique refoulé au condenseur et l'évacue à l'état liquide en *d*, plonge dans un bac plein d'un liquide incongelable que refroidit le serpentín *fgp*, parcouru par l'acide carbonique détendu, revenant du bac à glace à l'aspiration du compresseur.

L'acide carbonique refoulé par le compresseur passe du tuyau *a* (fig. 119) au serpentín du condenseur ou premier refroidisseur B, puis, par (*cmprn*), au liquéfacteur F, d'où il va, par *d*, au robinet détenteur *e* du bac à glace. Le refroidissement du liquéfacteur par le retour de l'acide carbonique du bac à glace au compresseur permet de diminuer considérablement la pression de liquéfaction du gaz qui ne dépasserait pas, d'après M. Raydt, environ 60 atmosphères.

La machine de Raydt est donc caractérisée par trois particularités principales :

Un piston de compresseur long et creux, rafraîchi par une circulation de liquide incongelable.

Une garniture double à récupération des fuites dans un gazomètre, de sorte que la garniture extérieure ne doit plus supporter que la pression de ce gazomètre au lieu de la pression d'aspiration, qui s'élève à 20 ou 25 atmosphères.

Un liquéfacteur, ou récipient d'acide carbonique liquide, refroidi par le retour

de l'acide carbonique détendu et très froid, qui revient du bac à glace à l'aspiration du compresseur : ce refroidissement complémentaire ayant pour effet d'abaisser la pression de liquéfaction.

## Machines de Windhausen

Le compresseur de la machine verticale exposée par M. Windhausen <sup>(1)</sup> est représenté dans ses principaux détails par les figures 122 et 123.

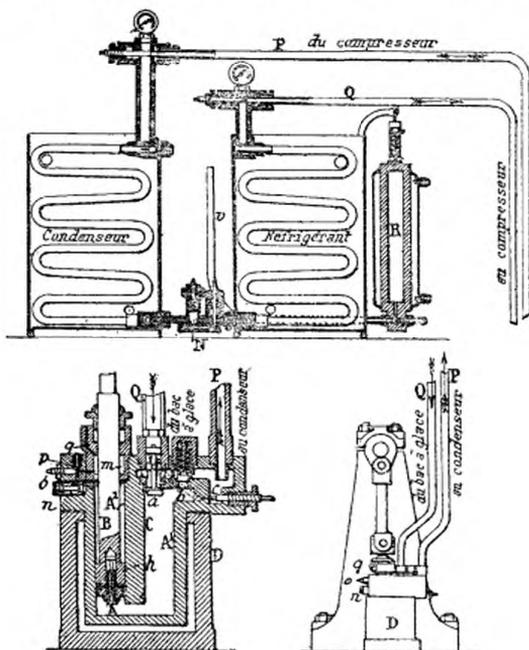


Fig. 122 et 123. — Windhausen. Machine à acide carbonique verticale.

Ensemble de la machine et détail de la pompe.

B, piston refoulant en AA' une masse invariable de liquide glyceriné, *a*, soupape d'aspiration de l'acide carbonique revenant du bac à glace par le tuyau Q, *b*, soupape de refoulement, *c*, robinet de récupération. *m*, garniture liquide dont les fuites sont envoyées en A<sub>2</sub> par le robinet à pointe *p* et la soupape *n*. *h*, soupape renvoyant en A les fuites accumulées en A<sup>2</sup>. P tuyau de refoulement de l'acide carbonique au condenseur. N, soupape de détente du condenseur au réfrigérant. R, bonbonne d'acide carbonique en chargement.

Le piston B refoule et aspire l'acide carbonique non pas directement mais par l'intermédiaire d'une masse liquide analogue à celle des compresseurs Sommeiller. Lorsque le piston est au fond de course inférieur, comme sur la figure 122

(1) Brevet anglais 2864 de 1886.

cette masse, qui occupe dans le corps de pompe tout l'espace  $A_1$ , a refoulé l'acide carbonique au compresseur au travers de la soupape  $l$ , qu'elle déborde un peu de manière à supprimer tout espace nuisible. Au retour du piston, la masse liquide le suit en aspirant par  $a$  l'acide carbonique détendu qui revient du bac à glace. L'excédent de liquide refoulé au dessus de la soupape  $l$ , afin d'éviter tout espace nuisible, revient, par le robinet  $c$ , au-dessus de la soupape d'aspiration, qui le restitue ainsi au corps de pompe. Les fuites du liquide qui pourraient se produire autour de la garniture du piston  $B$ , dans son espace annulaire, reviennent, à la montée, par la soupape  $h$ . Le liquide qui fuit, pendant la montée du piston, au travers de sa garniture supérieure  $i$ , se recueille dans la chambre  $m$ , d'où il est aspiré dans l'espace annulaire, à chaque descente, par le conduit  $p$ , ouvert par la vis à pointe  $o$ , et au travers du clapet de retenue  $n$ . La chambre  $m$  peut être ouverte à l'atmosphère ou isolée par le robinet  $q$ . Le piston liquide doit être constitué par un corps qui n'absorbe pas l'acide carbonique, de l'eau glycinée, par exemple, et son extrémité inférieure par un liquide lubrifiant en quantité suffisante pour déborder de la cloison  $C$  quand le piston

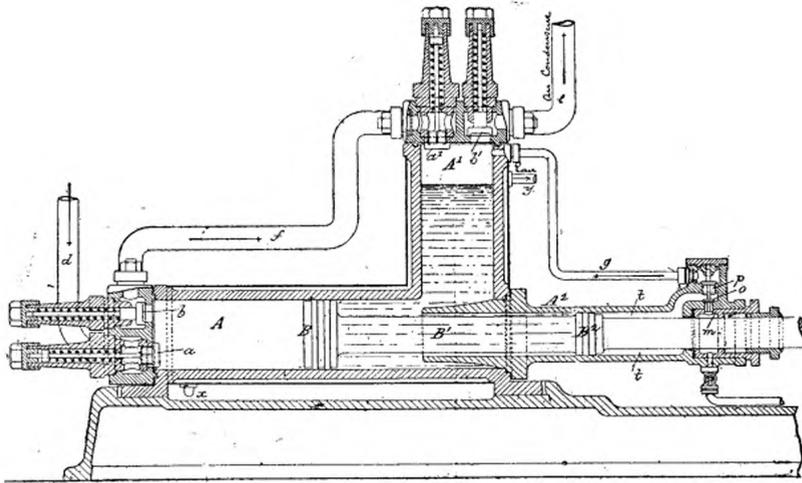


Fig. 124. — Windhausen. Compresseur compound.

$d$ , tuyau amenant l'acide carbonique du bac à glace à l'aspiration  $a$  du cylindre  $A$ , dont le piston  $B$  le refoule, par  $b f a$ , au cylindre  $A_1$ , au-dessus de la masse d'eau glycinée  $BB'A'$ . ( $m p o q$ ) appareil récupérateur des fuites de gaz et de liquide s'accumulant en  $i$  au travers du piston  $B_2$ .  $b' l$ , refoulement de l'acide carbonique au liquéfacteur.  $xy$ , circulation d'eau autour des compresseurs.

est au bas de sa course. Enfin l'espace annulaire  $A_2$  doit être d'un volume tel que l'air qui pourrait s'introduire avec le liquide de  $m$  n'y atteigne jamais, à la montée du piston, une pression égale à celle de l'acide carbonique à l'aspiration :

on évite ainsi toute rentrée d'air dans l'acide carbonique. Le corps de pompe, en acier coulé, est entouré d'une enveloppe D, à circulation d'eau.

L'acide carbonique refoulé par le compresseur en P passe du condenseur liquéfacteur au réfrigérant par une soupape N, dont la charge, réglable à volonté, détermine son degré de détente. On peut aussi dériver directement l'acide carbonique liquide dans une bonbonne R, mise en communication à volonté, par un robinet à trois voies, avec le condenseur ou avec d'autres bonbonnes, de sorte que la machine peut servir à fabriquer momentanément de l'acide carbonique liquide. Le gaz, amené par U au serpentín du réfrigérant, puis aspiré par Q au compresseur, est, dans ce cas, liquéfié en R, comme nous venons de le voir.

La machine verticale de ce type, exposée par la Société Cail-Halot, marchait très régulièrement ; il fallait seulement renouveler de temps en temps l'eau glycéinée. Les pressions oscillaient entre 25 atmosphères à l'aspiration et 80 atmosphères au refoulement. Nous ne possédons aucune donnée sur le rendement de cette intéressante machine.

La deuxième machine exposée par M. Windhausen, sous les auspices de la Société Cail-Halot, était du type horizontal Compound (1).

La figure 124 représente une coupe longitudinale du compresseur de cette machine. La compression s'y opère en deux temps : l'acide carbonique, aspiré ou plutôt admis du bac à glace en A par la soupape  $a$ , est refoulé par ( $b f a_1$ ) en A, au dessus d'une masse d'eau glycéinée qui remplit en partie le corps de pompe A<sub>1</sub>. Au retour du piston B, ce liquide achève la compression du gaz en remplissant complètement A<sub>1</sub> et en refoulant, par  $b'$ , sans aucun espace nuisible, l'acide carbonique au condenseur liquéfacteur. Les fuites échappées le long de la grosse tige B' et autour de B<sub>2</sub> sont refoulées par ce piston de l'espace annulaire  $t$  au haut de A, par  $g$ , au travers du clapet de retenue  $p$  ; enfin, le peu de liquide qui s'échapperait en  $m$  serait, à la course de droite à gauche de B<sub>2</sub>, aspiré en  $t$  puis refoulé en A, comme nous venons de le dire. Le compresseur est rafraîchi par une circulation d'eau  $x y$ .

Dans la variante verticale représentée par la figure 125 les deux cylindres A A<sub>1</sub> sont concentriques et communiquent par les ouvertures  $n$ . Les organes analogues à ceux de la figure 124 y sont affectés des mêmes lettres, de sorte qu'il est facile d'en suivre la marche.

Le fonctionnement de la machine représentée par la figure 126, qui n'était pas représentée à l'exposition, est un peu différent.

L'acide carbonique aspiré par  $d$  et  $d'$  en  $a_2$ , au-dessus des soupapes d'admission  $a a'$ , est refoulé en  $c$  au travers des soupapes  $b b'$ . Dans le compresseur A, c'est la face supérieure du piston B qui aspire et refoule l'acide carbonique :

(1) Brevets anglais 2548 2549 de 1888. G. Behrend, *Eismaschinen*, p. 264.

dans le compresseur A', c'est l'eau glycinée remplissant en partie les corps de pompes AA' qui accomplit ces fonctions. Il suffirait évidemment de fermer la

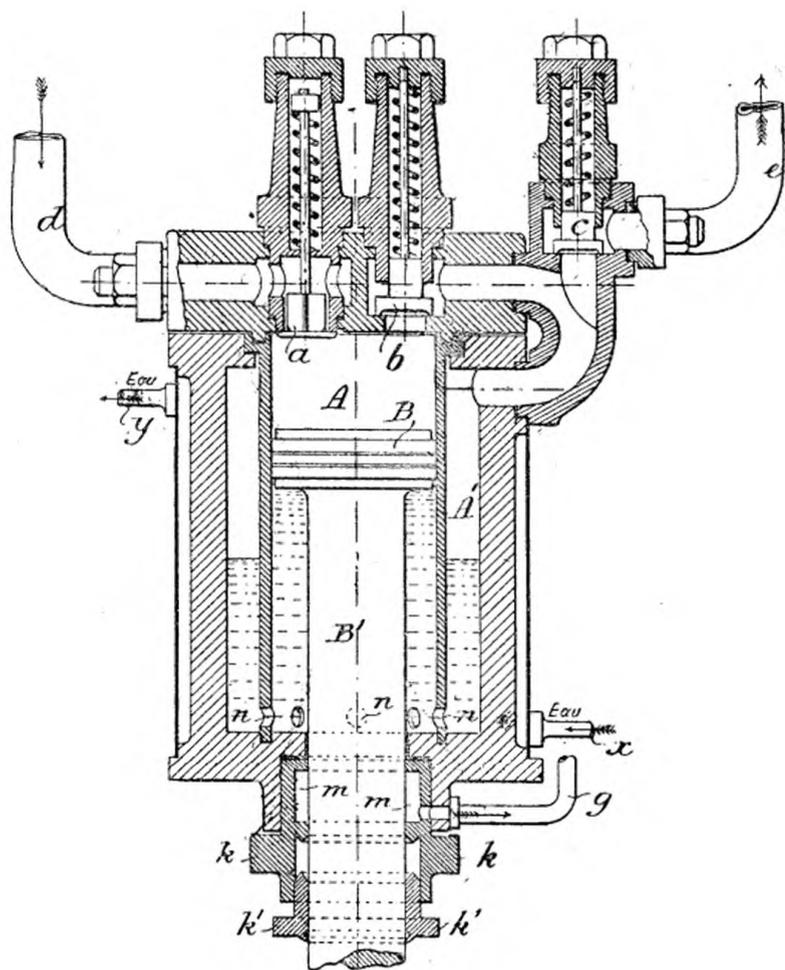


Fig. 125. — Windhausen. Compresseur vertical compound.

*d a*, aspiration en A. *b*, refoulement dans l'espace annulaire A', C, refoulement en *e*, au condenseur, par le liquide B'A, au travers des trous *nn*.

*k k m*, double garniture avec récupération des fuites au détendeur par *g*.

communication de *b* avec *e*, et de dériver le refoulement de *b* sur *a*<sup>2</sup>, séparé de *d*, pour effectuer la compression en deux temps.

L'acide carbonique refoulé de *e* au liquéfacteur arrive, par *c*, au cylindre détendeur D, au travers d'une soupape de détente *h*. Cette soupape, traversée par

une tige  $h'$  chargée en  $h_3$  par un ressort  $h_2$ , se soulève quand la poussée du piston  $c$  sur la tige  $h'$  comprime le ressort d'une quantité supérieure à la pres-

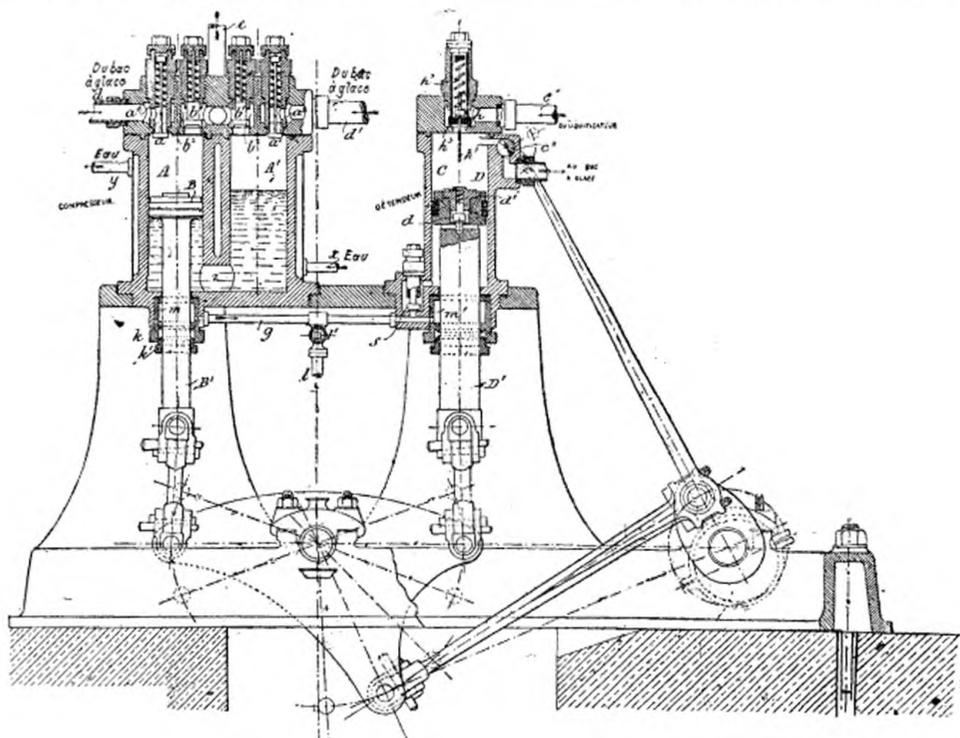


Fig. 126. — Machine Windhausen à détenteur.

Les deux compresseurs AA' communiquent au bas par une ouverture  $z$ . Les soupapes d'aspiration  $a_1 a_5$  communiquent entre elles par  $a_2$ , et les soupapes de refoulement  $b b_1$  par la chambre  $a_2$ . En A, c'est la face sèche du piston B, et en A', la masse liquide même qui aspire l'acide carbonique par  $d d'$  et le refoule au condenseur par  $e$ . Les compresseurs sont refroidis par une circulation d'eau  $xy$ . Le haut du détenteur D, dont la tige du piston D' est conjuguée par un balancier à la tige B' du piston compresseur, porte une soupape d'admission  $h$ , qui communique par  $c'$  avec l'acide carbonique du liquéfacteur : cette soupape est chargée en  $h_3$  par un ressort  $h_2$ . Le piston D vient, dans sa montée, heurter la tige  $h'$  de ce ressort, et le comprime jusqu'à ce que sa résistance soit égale à la pression exercée sur  $h$  par l'acide carbonique liquide : la soupape  $p$  se soulève alors et laisse l'acide carbonique liquide pénétrer en  $c$  jusqu'à ce que, au retour de D, la butée  $p_2$  vienne refermer  $p$  : à partir de ce point jusqu'à la fin de la course descendante de D, l'acide carbonique développe en C un travail de détente qui s'ajoute à celui du moteur sur B. A la montée de D, et jusqu'à ce qu'il vienne soulever de nouveau  $p$ , le robinet  $c_2$  s'ouvre de manière que l'acide carbonique détendu en C passe au serpentin du bac à glace. C'est donc la longueur de la tige  $h'$  qui règle la détente de l'acide carbonique. Les fuites d'acide carbonique autour de D s'accumulent au bas du détenteur, et repassent en C par la soupape  $d$  et le conduit  $d'$ , en même temps que celles du stuffing-box  $k k'$ , amenées de la garniture liquide intérieure  $m$  au bas du détenteur par le tuyau  $g$  et la soupape  $s$ .

sion que l'acide carbonique exerce sur la soupape. Une fois levée, pendant la descente du piston C, la soupape reste ouverte tant que la tige  $h'$  touche ce pis-



## Machines à absorption ou à affinité

Le principe général des machines à absorption ou à affinité est le suivant :

On évapore sous pression une dissolution ammoniacale concentrée du commerce : le gaz ammoniac dégagé, refroidi par une circulation d'eau, se liquéfie dans un *condenseur*, d'où il se détend en produisant du froid dans un réfrigérant. Au sortir du réfrigérant, le gaz ammoniac se rend dans un vase plein d'eau ou *absorbeur*, et se dissout dans cette eau, que l'on renvoie dans la chaudière ou *vaporisateur*, et ainsi de suite indéfiniment.

La pompe qui ramène la dissolution ammoniacale de l'absorbeur au vaporisateur est le seul organe mécanique de l'appareil, et son travail est très faible (1). Les principaux travaux du cycle : la *liquéfaction* et l'*aspiration*, sont effectuées respectivement par le *vaporisateur* et par l'*absorbeur*, dont la combinaison remplace le compresseur des machines précédentes. Il y a donc, théoriquement, une identité parfaite entre les machines à affinité et les machines à compression marchant sans surchauffe : le cycle est le même, l'affinité de l'eau de l'absorbeur pour l'ammoniac remplace l'aspiration mécanique, et l'échauffement direct de la dissolution ammoniacale la compression ; avec ces différences, toutefois, que l'affinité accomplit son travail d'aspiration avec un dégagement de chaleur, tandis que le travail de liquéfaction en absorbe, en apparence inversement à ce qui se passe dans les machines à compression.

D'autres phénomènes accessoires, mais néanmoins importants, achèvent de troubler cette identité théorique. La dissolution ammoniacale n'a pas, dans le vaporisateur, une richesse uniforme ; les parties basses sont très faibles, on les envoie dans l'absorbeur, d'où elles reviennent après s'être enrichies. Mais ces liquides pauvres, très chauds au sortir du vaporisateur, doivent arriver à l'absorbeur aussi froids que possible : on y parvient en les refroidissant, au travers d'un *échangeur de températures*, par la dissolution riche qui retourne de l'absorbeur au vaporisateur ; on utilise ainsi théoriquement toute la chaleur de l'eau du vaporisateur.

Théoriquement, le rendement de l'appareil à absorption doit dépasser celui des machines à compression de la quantité correspondant aux résistances passives de la machine à vapeur et de la pompe de compression ; il devrait aussi diminuer avec la température du réfrigérant, parce qu'il faut chauffer le vaporisateur à une température d'autant plus élevée que sa dissolution est plus pauvre, et que cette richesse s'abaisse avec la pression du réfrigérant à l'entrée de l'absorbeur.

En théorie, la chaleur — en calories négatives — cédée au réfrigérant doit

1. Ces pompes, assez délicates, ont été récemment perfectionnées par M. Neild (brevet anglais 17931 de 1888).

être égale à la différence des chaleurs cédées au condenseur et fournies au vaporisateur ; mais il faut, en pratique, tenir compte de nombreuses causes de déchet, dont les principales sont l'influence de l'eau entraînée avec le gaz ammoniac distillé du vaporisateur et la perte de la chaleur enlevée par le refroidissement du récipient absorbeur, nécessaire pour que la dissolution y soit suffisamment concentrée.

L'eau entraînée nuit au rendement de deux manières : en augmentant inutilement la chaleur fournie à la chaudière de toute la quantité nécessaire pour sa vaporisation, et en diminuant la puissance frigorifique de l'ammoniac, dont elle empêche en partie la volatilisation au réfrigérant. On ne peut guère, avec les meilleures machines, évaluer à moins de 3 pour % la proportion d'eau entraînée, — elle atteint parfois 15 pour %, — et cette faible proportion suffit pour abaisser très notablement le rendement théorique.

La quantité de chaleur qu'il faut enlever à l'absorbeur augmente d'autant celle qu'il faut fournir au vaporisateur ; cette quantité de chaleur est égale à la chaleur d'absorption du gaz ammoniac (515 cal.) diminuée des calories négatives apportées par ce gaz du réfrigérant, ou de la chaleur nécessaire pour l'élever de la température du réfrigérant à la température normale de l'absorbeur.

L'influence de ces deux causes de pertes seules — 3 % d'eau entraînée et le maintien de l'absorbeur à la température du condenseur — suffirait, avec une température de 15° au réfrigérant, à presque décupler la chaleur théorique à fournir à la chaudière (1).

Si l'on ajoute à ces causes de pertes principales celles qui proviennent du rayonnement des appareils, de l'imperfection de l'échangeur de températures et de l'engorgement des serpentins du réfrigérant, plus à craindre avec ce système(2), on ne s'étonne plus de voir le rendement des machines à absorption tomber parfois, malgré leur supériorité théorique, au même niveau, sinon plus bas que celui des machines à compression. D'après une analyse raisonnée de M. Kilbourn (3), les dépenses de vapeur dans les machines à absorption et dans les machines à compression conduites par un bon moteur à condensation seraient dans le rapport de 38 à 23. Les essais de Munich, exécutés, il est vrai, sous l'inspiration de M. Linde, semblent confirmer ces prévisions, car ils indiquent, pour les machines à compression, une dépense de vapeur trois fois moindre que pour les machines à affinité. Nous ne pouvons, tout en faisant nos réserves sur ces chiffres, nous empêcher d'y attacher une certaine importance, confirmée, il semble, par la prépondérance que prennent de plus en plus les machines à absorption, malgré leur caractère mécanique en apparence plus compliqué (4).

1. Ledoux, *Machines à froid*, p. 85.

2. Kilbourn, *Engineering*, 21 octobre 1881, p. 403.

3. *Engineering*, 28 octobre 1881. 427.

4. Gotlieb Behrend, *Eis und Kälteerzeugungs Maschinen*, p. 200 et 301.

En outre, dans la machine à absorption, la circulation d'eau doit emporter non seulement la chaleur de la vapeur d'eau entraînée par l'ammoniac, mais deux fois la chaleur de liquéfaction de ce gaz : une fois au condenseur et une seconde fois à l'absorbeur. Il en résulte qu'il faut dépenser, dans la machine à affinité, environ deux fois plus d'eau qu'avec la machine à compression.

### Principaux organes des machines à affinité

Nous allons maintenant passer rapidement en revue les principaux organes des machines à affinité.

*Vaporisateur.* — La chaudière ou vaporisateur est le plus souvent chauffée au bain-marie, par une circulation de vapeur qui donne un chauffage plus régulier et à l'abri des explosions qui pourraient se produire à la suite des coups de feu provoqués principalement par des incrustations. En France, on préfère, pour le vaporisateur, la position verticale, justifiée, il semble, parce que les parties riches et moins denses de la dissolution ammoniacale se localisent et se concentrent naturellement au haut de la chaudière. En Angleterre et en Allemagne, on préfère la chaudière horizontale surmontée d'un *analyseur* qui permet de donner à l'ensemble de l'appareil un aspect plus compact (*Kropff*, *Pontifex* et *Wood*). Dans tous les cas, le haut de la chaudière, son plan de vaporisation, doit être mis en communication avec le condenseur au travers d'un *rectificateur*, et le bas avec l'*absorbeur* au travers du *régénérateur* ou *échangeur de températures*.

L'*analyseur*, interposé entre la chaudière et le rectificateur, consiste le plus souvent en une série de plateaux perforés sur lesquels descendent, sans se mêler au courant ascendant des vapeurs ammoniacales tout en en subissant l'échauffement, l'eau ammoniacale condensée et séparée dans le rectificateur ainsi que la dissolution riche provenant de l'absorbeur. On peut citer parmi les meilleurs appareils de ce genre, ceux de *Reece* (1), *Stanley* (2), *Pontifex* (3), *Beck* (4), *Imbert*.

Le *rectificateur*, qui fait suite à l'analyseur, est composé le plus souvent d'un serpentin pourvu de poches dans lesquelles la vapeur ammoniacale entraînée se recueille à mesure qu'elle se condense en parcourant le serpentin refroidi. L'un des types des rectificateurs de ce genre des mieux étudiés et celui de MM. *Pontifex* et *Wood*, qui prétendent réduire ainsi presque à rien la proportion d'eau entraînée au condenseur (5).

1. Brevet anglais 2891 de 1870.

2. *Ibid.* 3.907 de 1875.

3. *Ibid.* 15064 de 1887.

4. *Ibid.* 11896 de 1886.

5. *Ibid.* 15064 de 1887.

Le *condenseur*, intermédiaire entre le rectificateur et le réfrigérant, ne diffère des appareils analogues des machines à compression que par ses dimensions souvent plus considérables en raison de l'eau entraînée.

Il en est de même du *réfrigérant* placé entre le condenseur et l'absorbeur.

L'*absorbeur*, placé entre le réfrigérant et la pompe de refoulement au vaporisateur ou à l'analyseur, est, au contraire, comme nous l'avons vu, un appareil particulier aux machines à affinité. Il est, en général, constitué par une sorte de condenseur à surfaces, à tubes ou à serpentins parcourus par une circulation d'eau froide, recevant par le haut le liquide pauvre du vaporisateur refroidi par l'échangeur de températures, et, en un point intermédiaire, l'ammoniac du réfrigérant (1). L'absorbeur de *Beck* (2) est en deux parties, avec circulation de l'ammoniac en sens inverse de la dissolution faible. Dans l'absorbeur de *Reece*, l'ammoniac arrive, par de petits tuyaux percés en jets multiples, au milieu de la liqueur faible circulant dans de gros tubes en U rafraîchis à l'extérieur par un courant d'eau (3).

C'est, presque toujours, le trop plein de la circulation du condenseur qui sert ensuite à refroidir l'absorbeur.

L'*échangeur de températures*, qui transmet à la dissolution riche venant de l'absorbeur la chaleur de la dissolution pauvre qui s'y rend, est aussi construit presque toujours sur le principe des condenseurs à surfaces, et ne présente rien de bien particulier.

Nous citerons comme variétés des appareils à affinité que nous venons de décrire, ceux de *M. Tellier*, remplaçant l'ammoniac par la méthylamine, avec absorbeur rafraîchi par un courant d'air (4), ou faisant agir l'ammoniac comme force motrice au sortir du condenseur, avant d'arriver au réfrigérant (5). Dans les machines de *Rossi-Beckwith* (6) et d'*Osenbruck* (7) on espère réduire les entraînements d'eau en employant comme liquide absorbeur de la *glycérine concentrée* à 38° Baumé, absorbant de 250 à 300 fois son volume de gaz ammoniac et bouillant à 140° environ. Aucune de ces modifications n'ayant encore subi l'épreuve de la pratique, nous ne pouvons que les signaler sans commentaires.

Nous nous contenterons aussi de rappeler seulement la facilité avec laquelle le principe de l'absorption se prête à la fabrication de petits *appareils intermittents*. Le prototype de ces appareils est celui de Carré, auxquels divers in-

1. Pontifex et Wood.

2. Brevet anglais 11896 de 1886.

3. *Ibid.* 2891 de 1870.

4. *Ibid.* 1730 de 1877.

5. *Ibid.* 6212 de 1888.

6. *Ibid.* 220 de 1881.

7. *Ibid.* 719 de 1886.

venteurs, notamment MM. *Kropff* (1), *Dubern* (2) et *Schmid* (3), ont apporté quelques perfectionnements de détail destinés soit à en faciliter le maniement ou à en assurer la sécurité, soit, à tort, croyons-nous, à en étendre l'application à de grandes proportions. Il paraît en être de même du nouvel appareil de M. A. *Perkins*, au sujet duquel on a mené tout récemment une certaine publicité (4).

### Principales machines à affinité

Les machines à affinité sont d'invention française. C'est, en effet, à M. *Ferdinand Carré*, l'un des créateurs de l'industrie du froid, que l'on doit la première machine industrielle de ce genre (5) et l'on n'a fait qu'ajouter depuis des perfectionnements de détail à sa remarquable invention, qui fut d'ailleurs récompensée par un brillant succès. On retrouve dans les premières machines de Carré tous les organes essentiels des machines à affinité, dont les formes générales et les fonctions sont très clairement spécifiées par ses brevets. Les machines Carré sont construites en France par MM. *Rouart frères*, et tiennent encore un rang très honorable, sinon le premier rang, parmi les machines à affinité (6).

MM. *Imbert frères*, de Saint-Chamond, construisent aussi des appareils analogues.

Dans ces appareils, le gaz ammoniac volatilisé par une circulation de vapeur à 150° environ, se liquéfie sous une pression de 10 à 12 atmosphères : la dissolution amoniacale de la chaudière renferme environ 1 d'ammoniac pour 4 d'eau. On peut compter, avec un appareil bien conduit, sur un rendement d'environ 20 kilogrammes de glace par kilogramme de charbon (7). MM. *Rouart frères* auraient même obtenu jusqu'à 28 kilogrammes de glace par kilogramme de charbon.

En 1870 et 1875, MM. *Reece et Frank Stanley* (8) introduisirent dans les machines à affinité quelques perfectionnements de détail importants, notamment la déshydratation de l'ammoniac poussé aussi loin que possible par un analyseur analogue aux rectificateurs des appareils à distiller.

1. Brevet anglais 2740 de 1879.
2. *Ibid.* 3153 de 1877.
3. *Ibid.* 16074 de 1885 et 16293 de 1888.
4. *Engineering* 8 mars 1887 et *The Engineer*, 8 mars 1887. Brevet anglais 2471 de 1887.
5. Brevets anglais 2503 de 1860, 3422 de 1872.
6. *Génie civil*, 21 septembre 1889, p. 492.
7. *Engineering*, 26 juillet 1889, p. 100. — *Wolson-Wood*, "Thermodynamics" p. 356. (Essais de Denton.)
8. Brevet anglais 2891 de 1870, et 3907 de 1875.

MM. *Pontifex et Wood* de Londres ont, après avoir longtemps fabriqué les machines de *Reece*, considérablement perfectionné pour leur part les appareils à absorption par d'ingénieuses modifications de détail (1). Il en est de même, en Allemagne, pour les appareils de *Koch-Habermann* (2) et de *Kropf*, où tous les serpentins sont remplacés par des tubes droits (3).

### Appareils Carré, Mignon et Rouart

Ces appareils figuraient à l'Exposition : nous en empruntons la description générale à un mémoire publié par M. Rouart dans les comptes rendus de la Société des Ingénieurs civils, en 1867.

« L'appareil *intermittent* se compose de deux réservoirs solidement construits, d'inégale capacité : le plus gros s'appelle *chaudière*, le plus petit *congélateur*. Dans la *chaudière*, jusqu'aux  $\frac{3}{4}$  de sa hauteur, se trouve une solution de gaz ammoniac dans l'eau, marquant de 28 à 29° degrés à l'aréomètre de Cartier. Un tube de communication réunit la *chaudière* au *congélateur* ; il porte un renflement qui renferme deux soupapes ouvertes ouvrant en sens inverse : l'une destinée au dégagement du gaz, l'autre à son retour. La *chaudière* est mise sur le feu, et le *congélateur* dans l'eau la plus froide qu'on ait à sa disposition ; le gaz ammoniac abandonne l'eau qui le tenait en dissolution, pour se rendre dans le *congélateur*. Au bout d'un certain temps de chauffage, vers 130 à 140° centigrades, la presque totalité du gaz ammoniac a passé dans le *congélateur*, où il s'est liquéfié sous l'influence de la pression et du refroidissement ; de sorte qu'à ce moment, on a, d'une part, une *chaudière* contenant de l'eau presque pure à une température assez élevée, et, d'autre part, un *congélateur* contenant une quantité notable de gaz liquéfié qui, comme on le sait, bout à une température de 40° au-dessous de zéro sous la pression ordinaire. Il suffira de provoquer convenablement son évaporation pour obtenir, dans le *congélateur*, cette température et un très grand nombre de calories négatives qu'on utilisera suivant ses besoins. Pour arriver à ce but, on refroidit la *chaudière* par un courant d'eau froide ; la tension, qui y était de 8 à 10 atmosphères, s'abaisse immédiatement et, sous l'influence de ce vide relatif, commence la distillation du gaz ammoniac. Elle s'arrêterait bientôt si on ne détruisait à chaque instant les vapeurs qui se dégagent ; elles sont, à cet effet, amenées par un tuyau plongeur au fond de la *chaudière*, où elles sont absorbées par le liquide qui y est contenu, de manière que quand l'ébullition du gaz liquéfié a cessé, l'appareil se trouve ramené à ses conditions originaires, c'est-à-dire à une *chaudière* contenant de la solution ammoniacale concentrée et froide et un *congélateur* prêt à recevoir une nouvelle condensation.

1. *Engineering*, 1<sup>er</sup> avril 1887. Brevet anglais 15064 de 1887.

2. Schwartz, *Eismaschinen*, p. 235.

3. Brevet anglais 2740 de 1879.

« Ces appareils, extrêmement simples, peuvent s'utiliser dans un très grand nombre de cas. Rien ne limite leurs dimensions ; néanmoins il y a dans l'intermittence de leur travail des conditions qui ne se prêtent pas facilement à de grandes fabrications industrielles.

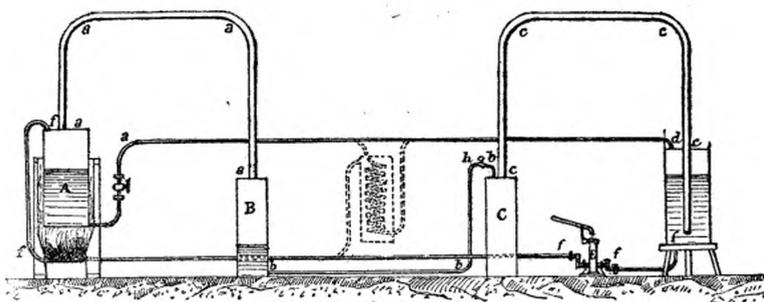


Fig. 128. — Appareil Carré.

A, chaudière. B, liquéfacteur. C, congélateur. D, absorbeur. E, échangeur de température. F, pompe de circulation.

« C'est ce qui a amené M. Carré à inventer les *appareils continus*, qui ne sont que le développement logique de ceux que je viens de décrire.

« Qu'on veuille bien remarquer que le travail des appareils intermittents s'accomplit en deux phases successives : le chauffage et la congélation, — et que, pendant ces deux périodes de but inverse, chacun des organes de l'appareil accomplit deux fonctions totalement inverses. Ainsi, dans la première période, la chaudière distille du gaz ammoniac, le congélateur le condense ; — dans la seconde période, la chaudière condense le gaz ammoniac distillé par le congélateur.

« Pour créer un appareil dont le travail soit continu, il faudra lui donner quatre organes où s'accompliront simultanément les opérations qui s'exécutent successivement dans les deux organes de l'appareil intermittent. Ainsi, cet appareil devra posséder une chaudière A (fig. 128) qui distillera du gaz ammoniac, un liquéfacteur B qui le condensera, un congélateur ou volatilisateur C qui le distillera et enfin un absorbeur D qui le recueillera. — Ces différents organes seront mis en communication par : 1° un tuyau *aa...* allant de la partie supérieure de la chaudière au sommet du liquéfacteur ; 2° un tuyau *bb...* partant du bas du liquéfacteur pour se rendre au haut du congélateur ; 3° un tuyau *cc...* partant du sommet du congélateur pour se rendre au vase à absorption ; 4° un tuyau *dd...* partant du fond de la chaudière pour se rendre au vase à absorption et 5° un tuyau *ff...* allant du fond du vase à absorption au sommet de la chau-

dière. Cet appareil se complétera par une pompe F. placée sur le parcours du tuyau *ff*... qui va du vase à absorption à la chaudière ; un robinet *g*, placé sur le trajet du tuyau *dd*... et enfin un robinet *h*... placé sur le parcours du tuyau *bb*...

« Pour se rendre compte des différentes évolutions que vont effectuer, à travers ces organes, le gaz ammoniac et l'eau successivement combinés et séparés, il faut remarquer :

« Premièrement.— Que la distillation du gaz ammoniac dans la chaudière A et sa condensation dans le liquéfacteur B s'effectueront sous une pression entretenue constante d'environ 10 atmosphères.

« Secondement. — Que sa volatilisation et son absorption s'effectueront sous une pression entretenue constante d'environ 1 atm. 1/2, suffisante pour obtenir, dans le congélateur, une température déterminée et, dans le vase à absorption, une concentration convenable de la solution ammoniacale.

« Troisièmement.— Que, la distillation de la solution ammoniacale dans la chaudière A s'effectuant doucement en vase clos, il se produira dans cette distillation une décantation qui, pour ne pas être très sensible, fera néanmoins que la solution ammoniacale la plus appauvrie se trouvera à la partie inférieure de la chaudière.

« De ces données, on conclut : 1° que le gaz ammoniac circule sans obstacle de la chaudière au liquéfacteur ; 2° qu'il se rendrait immédiatement du liquéfacteur au congélateur, si on n'avait soin d'interposer sur son parcours le robinet *h* pour régler son écoulement ; 3° que le gaz volatilisé tend à se répandre du congélateur où il se produit au vase à absorption où il se détruit ; 4° que le liquide pauvre voyagerait immédiatement de la chaudière dans le vase à absorption sans l'interposition du robinet *g* ; 5° que l'enceinte du vase à absorption étant à une pression inférieure de 8 atm. 1/2 à celle de la chaudière, la solution ammoniacale riche qui s'y formera, ne pourra rentrer dans la chaudière pour y subir une nouvelle distillation, que par l'intermédiaire d'une pompe de tout autre organe de restitution.

« Pour conduire ces appareils, il faudra donc : chauffer la chaudière afin d'effectuer la distillation du gaz ammoniac et sa liquéfaction ; régler le robinet d'écoulement du gaz liquéfié dans le congélateur, ainsi que le robinet d'écoulement du liquide pauvre dans le vase à absorption ; enfin, faire marcher la pompe de manière à établir un parfait équilibre entre la quantité de solution ammoniacale reconstituée dans le vase à absorption et la quantité de solution décomposée dans la chaudière.

« Le réglage respectif des deux robinets de gaz liquéfié et de liquide pauvre est toute la marche de l'appareil, car c'est lui qui détermine la pression du vase à absorption, d'où résulte celle du congélateur, et, par suite, l'ébullition du gaz ammoniac à une température déterminée.

« L'appareil se complète par différents organes secondaires ayant pour but d'en rendre le fonctionnement plus commode et plus économique. Ainsi, le gaz liquéfié, avant de s'écouler dans le congélateur, s'accumule dans un récipient garni d'un tube indicateur de niveau, qui permet de juger continuellement la quantité de gaz dont on dispose, et, par suite, aide au réglage. Le liquide pauvre qui doit arriver refroidi dans le vase à absorption obtient ce refroidissement dans un échangeur de température analogue à ceux que je vous ai antérieurement décrits, et au moyen duquel il réchauffe le liquide riche qu'on prend froid au vase à absorption, et qu'on a intérêt à renvoyer chaud dans la chaudière ; cet appareil E, figuré en ponctué sur le dessin, se trouve placé sur le trajet du tuyau *dd*...

« J'ai insisté plus haut sur l'importance du réglage respectif des robinets d'écoulement. On comprendra aisément combien ces organes sont dignes de fixer l'attention, quand on voudra bien se reporter au très simple calcul que voici :

« L'expérience démontre que pour produire 2,500 calories négatives ou à peu près 25 kilogrammes de glace à l'heure, il faut liquéfier environ 10 litres de gaz, qui s'écoulent du liquéfacteur sous une pression différentielle d'environ 8 atmosphères  $1/2$ , c'est-à-dire comme s'ils sortaient par un orifice en mince paroi placé au fond d'un vase dont la hauteur serait de 88 mètres. Dans ces conditions, la vitesse d'écoulement serait, d'après la formule de Toricelli, d'environ 40 mètres à la seconde ; il en résulte pour l'orifice des dimensions pratiquement insaisissables. Bien que l'organe d'écoulement dont nous nous servons n'ait pas encore atteint une perfection idéale, je vous donnerai néanmoins sa description, parce qu'il donne de bons résultats pratiques. Il se compose d'un tube de fer, fendu suivant deux génératrices opposées et entrant très exactement à frottement dur dans une douille placée au fond d'une boîte hermétique où s'accumule le gaz liquéfié. Ce tube est relié à une tige de fer dont la partie inférieure porte une embase qui vient écraser une rondelle d'étain sur l'orifice de la douille, de manière à assurer l'étanchéité de la fermeture.

« Le gaz liquéfié s'écoule quand le tube sort de la douille, et son écoulement est réglé par la grandeur de la lumière découverte. Le mouvement du tube est produit par celui de la tige à laquelle il est lié, et dont l'extrémité, terminée en vis micrométrique, est mise en mouvement par une manivelle formant écrou ; un tube de caoutchouc, lié d'une part à la tige mobile, et, d'autre part, au couvercle supérieur du robinet, permettra le jeu de l'appareil sans donner issue au gaz ammoniac.

« Je n'entreprendrai pas de vous donner tous les détails de construction de ces appareils ; ils sont fort nombreux et ont généralement donné lieu à d'assez notables difficultés tenant, d'une part, aux grandes pressions auxquelles sont soumis les organes, et, d'autre part, à la subtilité du gaz ammoniac et à ses propriétés.

« Avant de terminer cette rapide exposition, je dois vous faire remarquer que

le principe sur lequel s'appuient les appareils de M. Carré est général, c'est-à-dire qu'il ne s'applique pas seulement à la dissolution du gaz ammoniac dans l'eau, mais qu'il permet de construire tous les appareils mettant en usage tous les corps susceptibles d'affinité à de basses températures, et de dissociation à des températures plus élevées. »

### Machine de MM. Imbert frères

Les machines à affinité de MM. Imbert frères, de St-Chamond, figuraient aussi à l'Exposition. La figure ci-jointe et sa légende suffisent pour faire comprendre la marche générale de cet appareil.

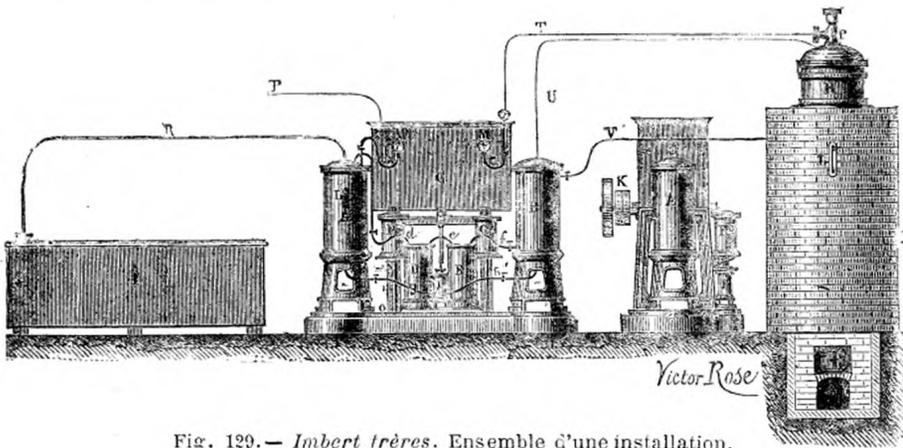


Fig. 129. — *Imbert frères*. Ensemble d'une installation.

H, vaporisateur. B, condenseur. L, liquéfacteur. I, bac à glace. C, absorbent.  
K, J, pompe d'ammoniaque.

### Machines de MM. Pontifex et Wood (1)

La figure 130 représente l'ensemble d'une machine de MM. Pontifex et Wood.

La dissolution ammoniacale est chauffée dans une chaudière horizontale par la condensation d'un courant de vapeur qui traverse une série de tubes plongés dans la chaudière. Les vapeurs ammoniacales passent de la chaudière dans un analyseur à plateau A, puis dans un condenseur C, dont les tubes sont entourés par une circulation d'eau, et du bas duquel l'ammoniac liquéfié tombe dans le récipient L, qui l'amène au robinet de détente *d* du réfrigérant R. Dans ce réfrigé-

1. *Engineering*, 1<sup>er</sup> avril 1887, p. 293. Brevet anglais 15064 de 1887.

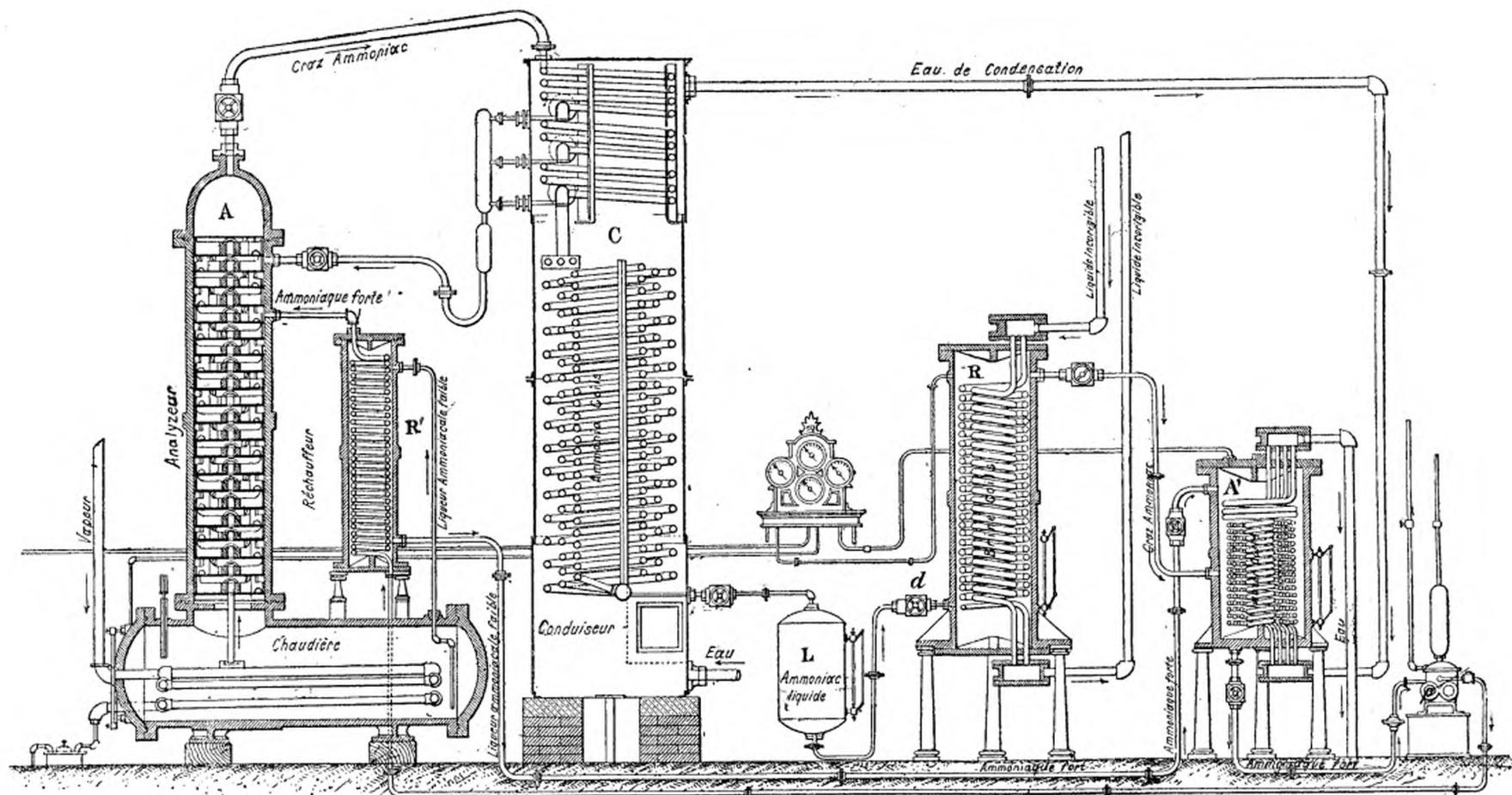


Fig. 130. — Pontifex et Wood. ensemble d'une installation

A, analyseur à plateaux. (Fig. 131). C, condenseur rectificateur. (Fig. 132). L, liquéfacteur. R, réfrigérant. A, absorbeur. (Fig. 135). R, réchauffeur  
 d, robinet de détente (Fig. 133). p, pompe de circulation.

rant, l'ammoniac se détend autour d'un serpentín parcouru par un courant de liquide incongelable qui sert de véhicule au froid produit par la vaporisation de l'ammoniac. Au sortir du réfrigérant, l'ammoniac gazeux et froid arrive, dans l'absorbeur A', au contact d'un arrosage d'eau constamment rafraîchie par des serpentins que traverse l'eau même du condenseur C. L'ammoniac se dissout dans l'eau de l'absorbeur en formant une dissolution ammoniacale concentrée et

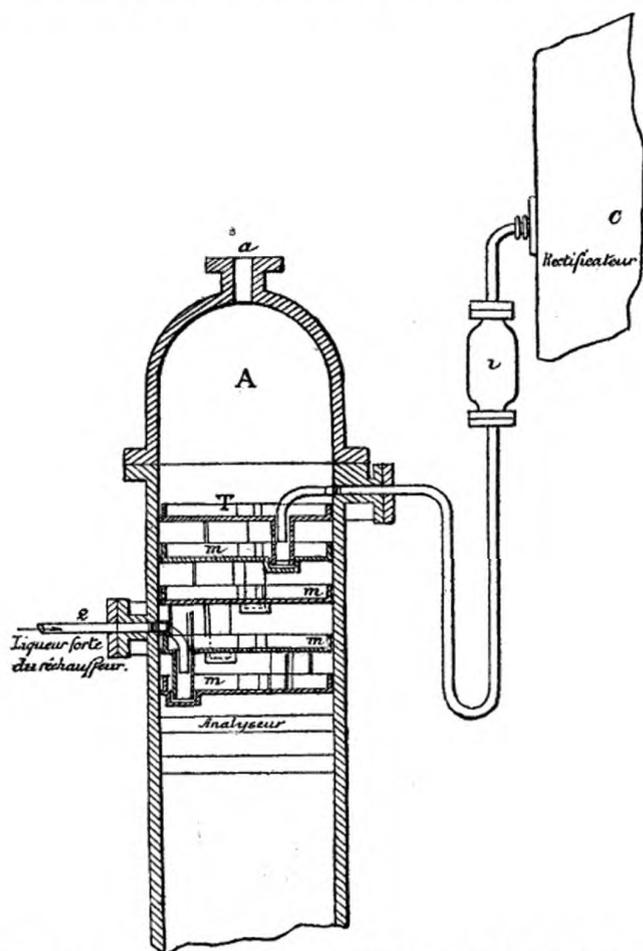


Fig. 131. — Pontifex et Wood. Analyseur A (fig. 130),

*m m ...*, plateaux recevant la purge ammoniacale du rectificateur C en *i* (fig. 131) et, en *r*, la liqueur ammoniacale concentrée venant du réchauffeur R' (fig. 130). Ces liquides tombent en cascade des plateaux *m m* dans la chaudière de vaporisation.

froide, que la pompe *p* refoule à l'analyseur A, autour du serpentín du réchauffeur R', parcouru en sens contraire par la dissolution ammoniacale faible, qui va du bas de la chaudière à l'absorbeur.

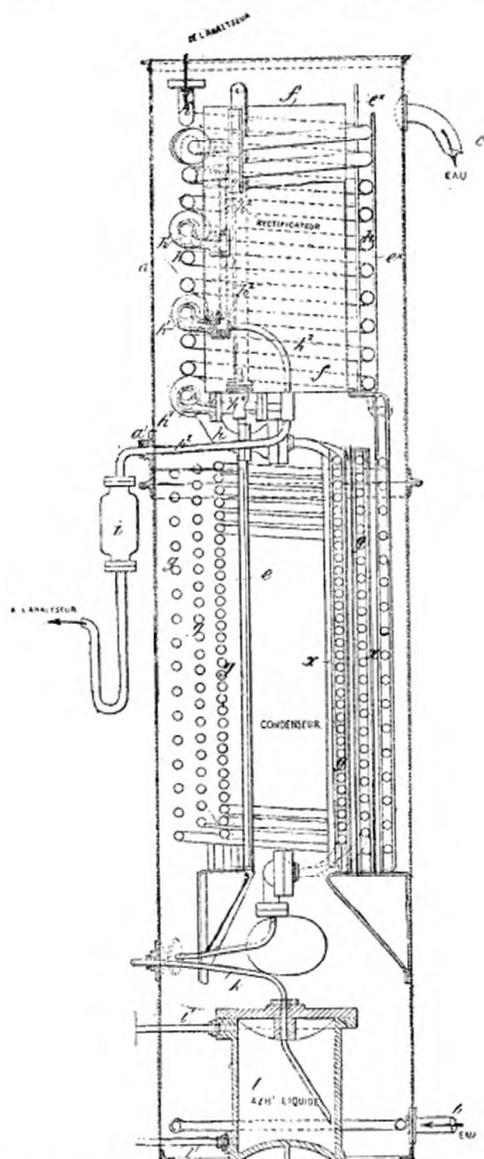


Fig. 132. — Rectificateur de Pontifex et Wood.

L'ammoniac venant de l'analyseur arrive en *h* dans le serpentin du rectificateur pourvu de poches *h'*, conjuguées par des tubes *h<sub>2</sub>* qui en dirigent l'eau chargée d'ammoniac en *i*, d'où elle repasse dans l'analyseur : un robinet *h'* permet d'isoler *i* de la dernière poche *h'*.

Du rectificateur, l'ammoniac anhydre pénètre dans le triple serpentin *g* du condenseur, d'où il tombe, par *k*, liquéfié dans le récipient *l*, à tubes de niveau *l'*.

L'ensemble du condenseur, du rectificateur et du liquéfacteur est renfermé dans une bache *a*, pourvue des supports *x**c**f*, nécessaires aux serpentins, et refroidie par une circulation d'eau ascendante suivant *bc*.

Nous allons maintenant décrire avec quelques détails les principaux organes de la machine de MM. Pontifex et Wood :

L'analyseur *A* est représenté par la figure 131. On voit comment la purge d'ammoniac du condenseur rectificateur *i* et la liqueur ammoniacale forte amenée du réchauffeur *R'* par le tuyau *r* tombent d'un plateau *m* à l'autre, en sens contraire des vapeurs ammoniacales qui montent de la chaudière vers le condenseur en *Aa*, et s'enrichissent par l'évaporation des plateaux *m*.

Les vapeurs ammoniacales parcourent, avant d'entrer au condenseur proprement dit *C* (fig. 130 et 132), un rectificateur placé au-dessus du condenseur, et dont le serpentin *h* porte un certain nombre de poches *h', h'...*, où les vapeurs ammoniacales déposent une grande partie de leur eau entraînée. Un tuyau collecteur *h<sub>2</sub>* conduit ces eaux dans le collecteur *i*, qui les ramène à l'analyseur. A la suite du rectificateur, vient le condenseur proprement dit, à trois serpentins *g*, aboutissant, par le tuyau *k*, au récipient d'ammoniac liquide, ou liquéfacteur *l*, pourvu de tubes de niveau *l'*. Les serpentins du rectificateur et du condenseur sont maintenus et consolidés par des membrures *f.e.x*. La circulation de l'eau autour de ces serpentins s'effectue de bas en haut, suivant *bc*.

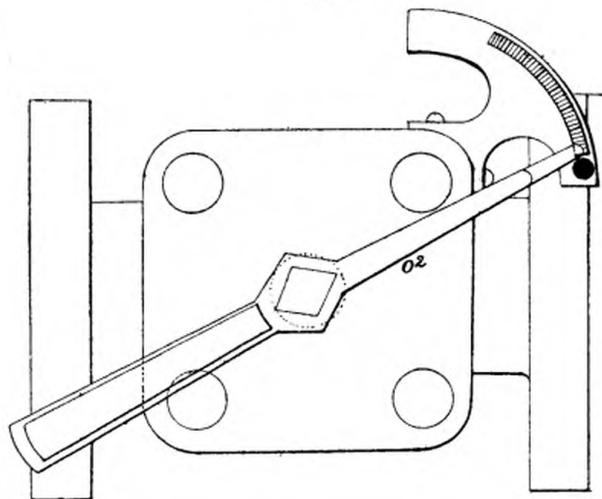
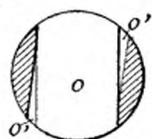
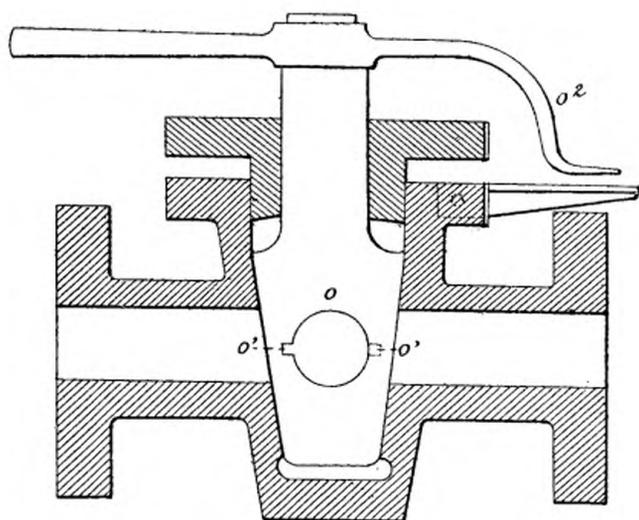


Fig. 133 et 131.—*Pontifex et Wood.*

Robinet du détendeur interposé en *d* (fig. 130) entre le liquéfacteur et le réfrigérant. *o'o'* saignées obliques du trou *o* permettant de graduer très exactement la détente. *o<sub>2</sub>* index gradué.

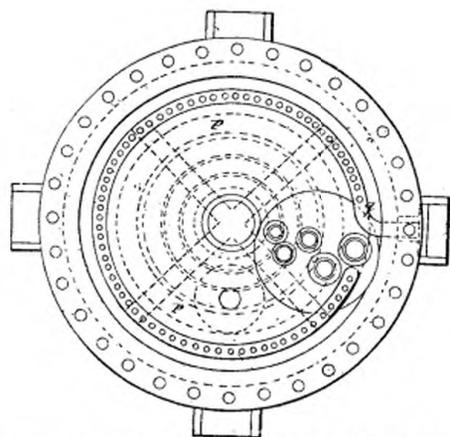
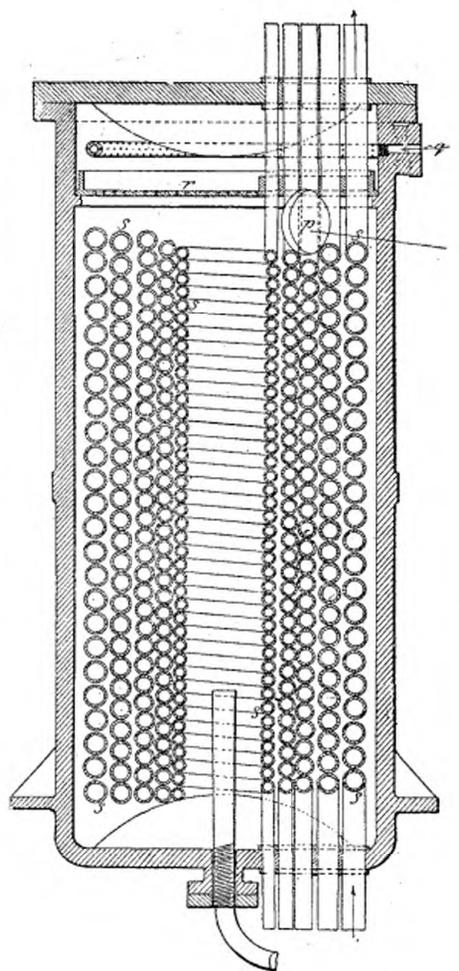


Fig. 135 et 136. — *Pontifex et Wood.*  
Absorbeur *A'* (fig. 130).

*S*, serpentins parcourus de bas en haut par une circulation d'eau froide. *q*, tuyau perforé amenant l'ammoniaque faible et froide du réchauffeur *R* (fig. 130) au-dessus de la plaque perforée *r*. *p*, arrivée du gaz ammoniac venant du réfrigérant *R*.

Le robinet détenteur  $d$  (fig. 133 et 134) est percé de trous obliques  $o'o'$ , disposés de manière à permettre d'en mieux graduer l'ouverture, et pourvu d'un index gradué  $o''$ .

L'absorbeur  $A'$  est représenté en détail par les figures 135 et 136. L'ammoniac détendu du réfrigérant  $R$  pénètre par  $p$  autour des serpentins  $s$ , à quatre sections de diamètres décroissant vers le centre, et parcourus de bas en haut par une circulation d'eau froide. La dissolution ammoniacale faible et froide, qui vient du réchauffeur  $R'$ , pénètre au haut de l'absorbeur par le tuyau perforé  $q$ , sur la tôle perforée  $r$ , qui la distribue en pluie fine au droit de l'arrivée de l'ammoniac en  $p$ .

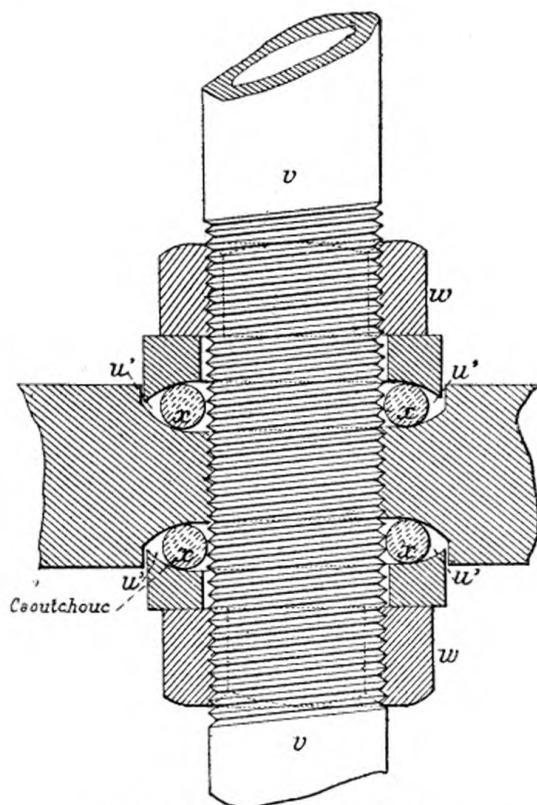


Fig. 137. — Pontifex et Wood.

Détail des joints d'un serpentin  $v$  avec sa tôle  $w$  écrou serrant les rondelles  $u'$  sur les caoutchoucs  $x$ .

La figure 137 indique le détail du joint d'un bout de serpentin  $v$  avec la tôle  $u$  par le serrage des rondelles  $u'$  sur les caoutchoucs  $x$ , au moyen des écrous  $w$ . — Ces joints tiennent parfaitement l'ammoniac aux hautes pressions.

## Machines de Perkins (1)

La machine de Perkins figurait à l'Exposition dans la section anglaise : c'est en réalité une modification des appareils intermittents de Carré.

La figure 138 représente un des éléments de la machine de Perkins. L'ammoniac, volatilisé en A par un bec Bunsen, passe, par le tube à enveloppe d'eau E, dans le liquéfacteur F, qui contient de l'eau jusqu'au niveau du tube G. D'après M. Perkins, l'ammoniac liquéfié, plus léger que l'eau, flotte à sa surface et l'ex-

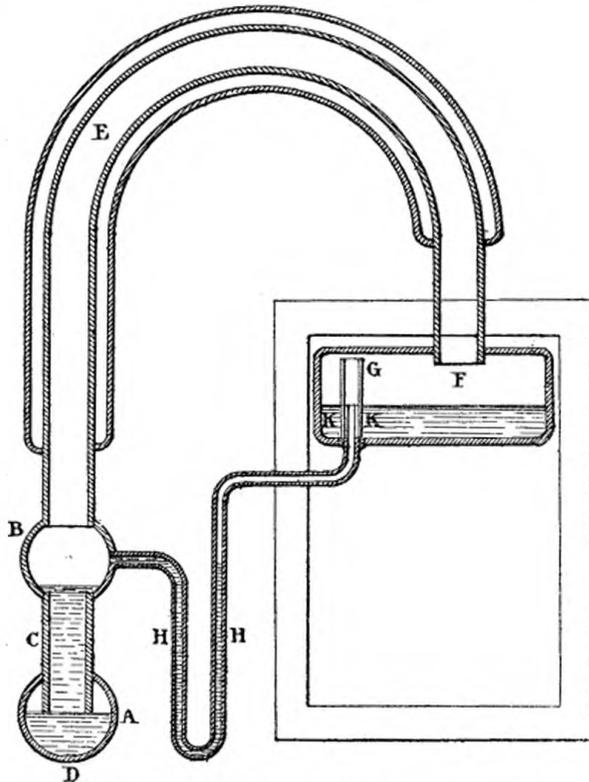


Fig. 138. — Perkins. Appareil élémentaire.

A B C, vaporisateur chauffé en D, E tuyau distillant en F l'ammoniac vaporisé en B. G K H syphon de retour de l'ammoniac de F en B.

pulse progressivement, par les trous K et le syphon H H, au vaporisateur (B C A) où l'ammoniac entraîné avec l'eau se volatilise de nouveau. Dès que toute l'eau de F a ainsi repassé par (A B E F), on cesse de chauffer en D : l'appareil se refroidit rapidement par la circulation d'eau E et par un arrosage de B : l'am-

1. *Engineering* et *The Engineer*, 8 mars 1887. Brevet anglais 2471 de 1888.

moniac liquide se vaporise et distille dans le vide de F en A, en produisant un froid qui peut descendre, d'après M. Perkins, jusqu'à  $-40^{\circ}$ .

La figure 139 représente la disposition générale des grands appareils de M. Perkins. — Le récipient F de l'appareil élémentaire précédent est remplacé par une série de tubes C, placés au haut de la chambre A, et reliés chacun à un bout, par un tuyau D, avec un tube horizontal E aboutissant, par un petit tuyau F, au vaporisateur correspondant G. — Les autres extrémités des tubes C sont reliés aux tubes E par des tubes en U, K, qui les traversent à moitié, et sont entourés de gaines J, ouvertes par le bas. — Ces tubes jouent le rôle du syphon H C de l'appareil précédent. — La dissolution ammoniacale est chauffée en G par une circulation d'eau chaude H; Ces tubes H traversent les tubes G et se rattachent au serpentin H' chauffé par le foyer J. L'ammoniac volatilisé en G se condense en C, puis s'en revolatilise en y produisant du froid lorsqu'on cesse de chauffer en H et qu'il revient en G. La vapeur entraînée retourne en G par les tubes-siphons K. — Les tubes de circulation d'eau H sont pourvus de robinets permettant de chauffer à volonté l'un ou l'autre des vaporisateurs G.

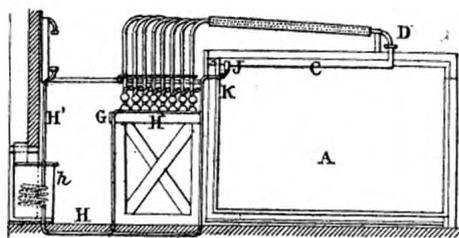


Fig. 139. — Perkins. Ensemble d'un grand appareil.

A, réfrigérant. C, tubes liquéfacteurs reliés aux vaporisateurs G d'une part, par les tubes F et E, et d'autre part par le syphon J K. H' H, circulation, autour de G, d'eau chauffée en h.

Nous ne possédons aucun renseignement sur le rendement de cet appareil, connu en Angleterre sous le nom d'*Arctos*.

## Applications des machines frigorifiques

Les applications du froid aux industries les plus diverses sont déjà très nombreuses et se multiplient de jour en jour.

L'emploi du froid est tout indiqué pour les industries qui utilisent les fermentations dont il faut, en certains moments, arrêter ou modérer le développement : tel est le cas des fromageries (1) des magnaneries, des sucreries, pour la conservation des jus, des fabriques de colles et de gélatine et des brasseries à fermentation basse (pl. 7-8). Dans cette dernière application, des plus importantes, on utilise le froid de deux manières : par l'application directe de la glace et par le refroidissement des caves et des cuves au moyen de circulations de liquide incongelable et d'eau, sortes de volants de froid qui atteignent parfois des proportions gigantesques (25 à 30 kilomètres) (2).

On peut citer, comme industries similaires, la conservation des vins et la fabrication des eaux gazeuses (3).

Parmi les *industries chimiques* qui utilisent le froid, il faut citer la fabrication des bougies, les margarines (4), du chocolat (5), de la paraffine (6), la concentration des eaux mères et la cristallisation des dissolutions salines (7).

On a bien essayé, mais sans succès, financier du moins, l'application des machines à froid à la création de petits lacs de patinage artificiels (8).

Une application plus récente et plus importante est celle de M. Poetsh, pour le *fonçage des puits* en terrains aquifères inconsistants, que l'on transforme par la congélation en une masse facile à traverser (9). Le capitaine Lendmark a appliqué avec succès, en 1886, une méthode analogue au percement d'un tunnel à Stockholm (10). Le froid, bien que très intense, n'exerce aucune influence notable sur la solidité des cuvelages en bois, en fonte, et même en maçonnerie.

1. *Fixary*. Nouveaux appareils frigorifiques (Paris, Joussens, 1880).

2. Schwartz. G. Behrend « Eismaschinen ». P. Boulin « Fabrication de la bière ».

3. Michotte et Guillaume. *Traité de la Fabrication des eaux gazeuses*. Hetzel. 1889.

4. Fonderie central de Paris (Fixary).

5. Usine de Noisiel (Giffard).

6. Kirk, *inst. of Civil Eng.*, 20 mars 1884. *Revue industrielle*, 19 mars 1889.

7. Merle et C<sup>o</sup> à Solindres pour les marais salants.

8. West et du Vallon. Brevet anglais 2239 de 1875. Mackay et Rae. Brevets anglais 1073 de 1875, 789 de 1876. Gamgel. Brevets anglais 411, 4176 de 1876.

9. *The Engineer*, 30 novembre 1883, p. 417. *Génie civil*, 17 mai, 12 sept. 1884. *Annales des Mines*, juillet 1885, janvier 1887. (Mémoires de MM. Lebreton et Alby).

10. *Inst. of Mechanical Engineers*, mai 1886, p. 237.

Nous ne pouvons guère qu'indiquer ces diverses applications du froid, et ne donner quelques détails que sur les trois applications suivantes :

La *fabrication de la glace*;

La *fabrication de l'air froid*;

La *conservation des viandes* et denrées alimentaires.

Ces trois applications, les plus importantes, comprennent d'ailleurs, comme dérivées, presque toutes celles que nous venons de signaler.

## Fabrication de la glace

L'application la plus importante des machines frigorifiques est la fabrication de la glace.

La glace se fabrique en congelant l'eau renfermée dans des bacs cloisonnés fixes, à l'intérieur des parois desquels circule un liquide incongelable, ou dans des mouleaux mobiles, plongés dans un liquide traversé par des serpentins que parcourt le gaz réfrigérant. Les mouleaux mobiles, plus économiques et d'un maniement plus commode, sont de beaucoup les plus employés. On les fait indifféremment, en tôle étamée ou galvanisée.

On distingue dans le commerce deux sortes de glace : la *glace transparente* et la *glace opaque*. Cette dernière, préférable pour l'alimentation puisqu'elle doit son opacité à la présence d'un excès d'air, n'est pourtant admise que dans les usages industriels, où son air est parfois nuisible, et pour lesquels elle présente, en raison de sa plus grande légèreté, l'inconvénient de fondre plus vite et de moins refroidir, à volume égal, que la glace transparente. Ajoutons qu'il importe, pour la consommation et pour les usages médicaux, de n'employer comme eaux servant à la fabrication de la glace que des eaux filtrées et débarrassées, autant que possible, par la chaleur ou autrement, de leurs impuretés organiques (microbes, etc.), qui ne sont pas rendus inoffensifs par la congélation (1).

Les principaux procédés employés pour produire de la glace transparente sont au nombre de cinq :

La congélation lente ;

La congélation dans le vide ;

L'agitation de l'eau pendant la congélation ;

L'ébullition ou la distillation de l'eau privée d'air ;

La congélation de l'eau provenant de la condensation de la vapeur d'échappement.

1. *Revue scientifique*, 3 septembre 1887, les « bactéries de la glace » par M. de Varigny.

*La congélation lente*, dans un bain à 3° environ, imite le procédé de la nature et donne des résultats excellents. D'une simplicité parfaite, elle présente l'inconvénient d'exiger des bacs énormes, coûteux et multipliant les chances de fuites.

*Le vide*, combiné parfois avec l'ébullition (1) ou l'agitation (2), donne aussi une glace très belle; mais il exige des appareils coûteux, compliqués et d'un maniement difficile; aussi est-il presque abandonné.

*L'agitation* exige aussi des mécanismes souvent encombrants, coûteux et compliqués. On peut le produire, soit dans les mouleaux [à l'intérieur (3) ou à la surface (4) de l'eau à congeler, par des vannes (5), des ailettes (6) ou des pompes de circulation (7)], soit dans des compartiments fixes, autour de leurs cloisons, par des moyens analogues, principalement par des pompes de circulation (8), soit, enfin, par l'agitation même des mouleaux au sein du liquide incongelable (9). Les inconvénients de ces solutions mécaniques, qui ne procurent pas toujours une glace très belle, sont tels qu'elles ne sont guère répandues, malgré leur grand nombre et le caractère ingénieux de quelques-unes d'entre elles.

Il n'en est pas de même de la *distillation* et de *l'ébullition* de l'eau à congeler, coûteuses si on les opère isolément, mais économiques en combustible si on les obtient par une chaudière auxiliaire à surpression, ou en utilisant la vapeur d'échappement du moteur.

La première solution est celle de *Linde* (10); il chauffe la chaudière du moteur, à grandes surfaces évidemment, par la condensation de la vapeur d'une chaudière de distillation portée à une pression plus élevée; cette eau, condensée sous pression, passe, par un réducteur, dans un récipient ouvert à la pression atmosphérique, où elle entre en ébullition en perdant son air, puis elle est refoulée aux mouleaux au travers d'un réchauffeur d'alimentation dans lequel elle se refroidit en cédant sa chaleur à l'eau d'alimentation des deux chaudières. Cette solution, très rationnelle, exige l'installation d'appareils encombrants et coûteux, mais elle donne de l'eau distillée pure, sans graisse, et privée d'air.

1. Edwards, Brevet anglais 3123 de 1881. — Raydt, Brevet anglais 3347 de 1885.

2. Gamgee, Brevet anglais 4064 de 1877.

3. Young, Brevets anglais 826 de 1879, 887 de 1880, 1460 de 1882. — Linde Brevet anglais 9612 de 1885.

4. Nightingale, Brevet anglais 13923 de 1884.

5. Osenbruck, Brevet anglais 954 de 1882. Schwarz (*Eismaschinen*, p. 404).

6. Mutter, Brevet anglais 736 de 1883.

7. Gorman, Brevet anglais 2353 de 1879. — Puplett, Brevet anglais 12542 de 1884.

8. Skene, Mackay, Gorman et Willcox, Brevets anglais 1515 et 2343 de 1879, 3038 de 1880, 553 de 1881.

9. Dowrie, Ingram, Rankin, Brevets anglais 4817 de 1881, 14989 et 15437 de 1885.

10. Brevet anglais 16270 de 1886. — Voir aussi le brevet français n° 118846 de MM. Mignon et Rouart, en date du 1<sup>er</sup> mai 1879.

Lorsqu'on emploie pour faire la glace la vapeur d'échappement de la machine motrice, qui suffit généralement à 15 ou 20 % près, il faut au contraire employer pour la débarrasser de sa graisse, des dispositions spéciales. Dans l'appareil de M. de Stoppani (1) (fig. 141), la vapeur d'échappement, déjà condensée en partie par une injection complémentaire d'eau épurée, traverse, avant d'aller se condenser définitivement autour des tubes d'un condenseur à surfaces, un séparateur constitué par une série de tôles perforées disposées en chicanes de manière à contraindre son cours, et le long desquelles la vapeur abandonne l'huile entraînée. L'air est enlevé par une pompe à air, qui maintient constamment le vide au-dessus du niveau de la vapeur précipitée dans le condenseur à surface : cette eau privée d'air est ensuite pompée dans un réservoir ou accumulateur aboutissant au remplissage des mouleaux. On peut employer pour le condenseur à surfaces la même eau que pour le refroidissement du condenseur d'ammoniac, et l'utiliser ensuite pour l'alimentation de la chaudière et le démoulage.

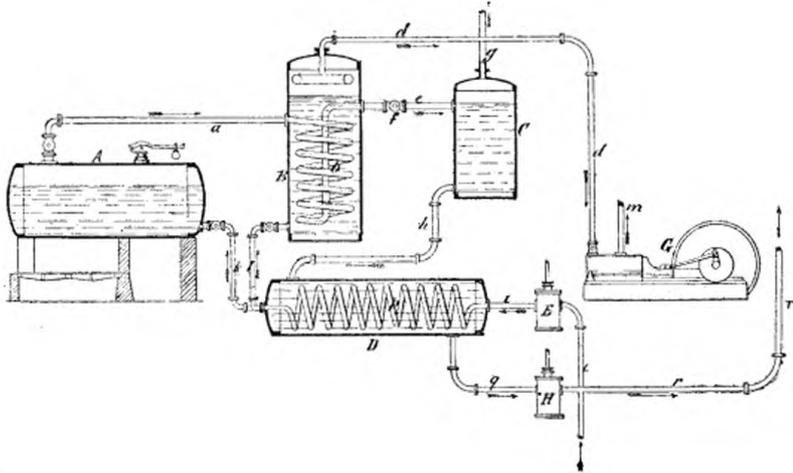


Fig. 140. — Fabrication de la glace transparente par le procédé Linde.

La chaudière de distillation à haute pression A envoie sa vapeur se condenser dans le serpentin *b* de la chaudière à basse pression B, dont la vapeur alimente, par *d*, la machine motrice G, d'où elle s'échappe par *m* dans un condenseur. L'eau chaude provenant de la vapeur condensée en *b* passe, par le réducteur de pression *f* et le tuyau *e*, dans le récipient C à la pression atmosphérique, où elle se met à bouillir en expulsant, par *o*, son air avec un peu de vapeur. De C, l'eau distillée et privée d'air, surtout au bas de C, passe, par *h*, au refroidisseur D, puis, par *g*, la pompe H et le tuyau *r*, au service des mouleaux. L'alimentation de la chaudière de distillation A s'opère au moyen de la pompe E, qui aspire son eau par *i* et la refoule dans la chaudière par *k*, au travers du serpentin *p*, où elle s'échauffe en refroidissant l'eau distillée de D.

On achèvera d'ailleurs de comprendre le fonctionnement de ce procédé par la lecture de l'extrait suivant d'un article publié, dans la *Revue industrielle* du 16 novembre 1889, par M. Triana, ingénieur de la Société des glaces pures.

1. Brevet anglais 3363 de 1887.



truit sur le même principe que le séparateur d'huile S, et va se condenser dans le condenseur à surfaces V', où elle se débarrasse en même temps en partie de son air, sous l'aspiration A' de la pompe à air A. L'eau condensée et privée de la moyenne partie de son air, mais chaude, va se refroidir et abandonne le reste de son air dans un second condenseur à surfaces R, également en rapport avec la pompe à air. L'eau distillée, refroidie et privée d'air est prise au bas du refroidisseur R par une pompe B qui la refoule, par r', sous un accumulateur c, qui la renvoie au réservoir de chargement des mouleaux M. Pour charger les mouleaux, on les amène, en x, sous une série de crépines de chargement à soupape s'ouvrant seulement lorsqu'elles viennent toucher le fond des mouleaux, de manière que le remplissage se fait sous l'eau, à l'abri de l'air. Le supplément d'eau nécessaire pour suffire au service de la glace, est fourni par le tuyau r du réservoir de circulation à un filtre F d'où elle passe, par f à l'injection i, au haut du condenseur V', où elle se mêle à l'arrivée de vapeur qu'elle condense en partie.

L'eau de circulation passe, en charge, de la cuve de réserve au refroidisseur R, puis, par c, au bas du condenseur d'ammoniac C, d'où elle est refoulée, par la pompe de circulation p et le tuyau c''', dans les tubes du condenseur de vapeur V', dont elle s'échappe par c''.

de la société des constructions mécaniques spéciales, en vue de mettre à profit pour la fabrication de la glace la vapeur d'échappement des moteurs, après l'avoir préalablement dépouillée de l'huile provenant du graissage.

« Les appareils de cette seconde partie de l'installation sont destinés à la production d'une glace transparente. Après avoir condensé la vapeur d'échappement des moteurs, ils filtrent l'eau condensée et la privent d'air, de façon à ne donner à la consommation qu'une glace absolument pure et dénuée de tous principes ou germes morbides.

« A ce propos, il n'est pas inutile d'ouvrir une parenthèse et de rappeler que les glaces naturelles, provenant, pour la plupart, d'eaux stagnantes, contiennent des gerbes morbides en abondance. La fabrication de la glace pure est donc d'une grande importance en ce qui concerne la santé des consommateurs. De nombreuses expériences faites en Autriche, en Allemagne et aux Etats-Unis ont montré surabondamment que les microbes en général, et notamment les bacilles de la fièvre typhoïde, qu'on rencontre le plus souvent dans les eaux souillées par les détritiques des villes, résistent aux plus grands froids et peuvent parfaitement vivre dans l'eau congelée (1).

1. Dans un article paru dans la *Revue scientifique*, du 3 septembre 1887, intitulé : « Les bactéries de la glace », M. de Varigny a cité les faits suivants : « Les conclusions auxquelles M. Prudden (1) arrive n'ont pas seulement un intérêt local; elles sont susceptibles d'être généralisées de la façon la plus légitime. Ce qui est vrai de l'Hudson, l'est de la Seine, de la Tamise et de tous les fleuves qui, aujourd'hui, sont plus ou moins infectés par les impuretés que leur confient les villes et les villages, et les mêmes résultats s'appliquent, à de légères différences près, à tous les lieux d'origine de l'eau et de la glace absorbées. Ces résultats montrent que la bacille de la fièvre typhoïde, par exemple, pour ne citer qu'un seul des nombreux microbes pa-

1 L'excellent travail de M. Prudden est publié dans le « New-York medical Record », (26 mars et 9 octobre 1887.)

« Nous ne croyons pas inutile de nous être attardé à faire ressortir les qualités hygiéniques de la glace pure. L'usine dont nous allons parler n'est pas la seule application en grand du procédé Fixary ; elle résume les perfectionnements réalisés dans son emploi, tant en France qu'à l'étranger, et notamment à Bruxelles (Société anglo-belge et Société frigorifique, de Bruxelles), à Cologne (Cristal Eisfabrik), à Lisbonne (Société frigorifique portugaise).

« A Paris même, la Société française de glace pure avait commencé l'application de ce procédé sur une petite échelle ; mais l'usine qui réalisait cette première application est bientôt devenue insuffisante au point de vue de la production, bien qu'elle produisit 24.000 kilogrammes de glace en 24 heures. Elle avait permis toutefois d'apprécier la parfaite qualité de la glace fabriquée par les machines Fixary. On en vint à décider la création d'une usine importante dans laquelle tous les perfectionnements pratiques, indiquée par une expérience de plus d'une année, ont été appliqués. Toutes les parties de cette installation réellement importante ont été étudiées avec soin sous notre direction ; elles portent la production totale de l'usine à 80.000 kilogrammes de glace en 24 heures.

La planche 11-12 donne deux vues d'ensemble de la nouvelle usine, et les dessins de la planche 13-14 en représentent divers appareils spéciaux, entre autres, ceux qui se rattachent spécialement à la fabrication de la glace transparente.

« De même que tous les moyens connus par la production du froid, la fabrication de la glace par les procédés Fixary est basée sur le changement d'état d'un corps. Dans le cas actuel, le froid est obtenu par la détente du gaz ammoniac préalablement liquéfié, puis ramené à l'état liquide par compression, et cela indéfiniment, sans qu'on puisse apprécier une déperdition de gaz ammoniac.

« En outre des moteurs et des générateurs à vapeur du système Farcot, la nouvelle usine se compose essentiellement : 1° de deux compresseurs à ammoniac B, correspondant chacun à la production de 1000 à 1200 kilogrammes de glace à l'heure ; 2° de deux paires de condenseurs C, ou liquéfacteurs d'ammoniac, pourvus de serpentins en fer d'une seule pièce ; 3° de deux bacs réfrigérants F ou congélateurs, pour effectuer l'évaporation de l'ammoniac au

thogènes susceptibles de prospérer dans l'eau, résiste à une congélation prolongée, et que la glace des eaux contaminées ne vaut pas mieux pour la santé publique que ces eaux elles-mêmes, et il est présumable qu'un certain nombre d'autres microbes pathogènes résistent avec le même succès. La glace présente donc les mêmes dangers que l'eau dont elle dérive, et pour être sans inconvénient, il faut que l'eau dont elle dérive soit parfaitement pure et inoffensive. C'est dire que la glace récoltée dans le voisinage des villes sera toujours suspecte et que seule la glace des glaciers montagneux, isolés, élevés, ou celle que l'on produit artificiellement, en employant de l'eau distillée ou de l'eau de source reconnue pure, sera exempte d'inconvénients, en ce qui concerne la propagation des maladies infectieuses. »

moyen de serpentins en fer d'une grande longueur, de telle sorte que la très basse température à laquelle ils sont toujours maintenus se communique rapidement au bain incongelable de chlorure de calcium qui les entoure. Il suffit de plonger dans ce bain, pendant un certain temps, des moules remplis d'eau pour obtenir des blocs de glace de dimensions voulues. Parmi les appareils accessoires, on distingue les égoutteurs séparateurs d'huile D et les récipients à ammoniac.

« En second lieu, les appareils à glace pure et transparente comprennent un épurateur de vapeur L, un condenseur de vapeur M, un refroidisseur N, un filtre O, deux pompes à air P, deux pompes alimentaires Q et deux accumulateurs R.

« Les pompes de compression aspirent dans les bacs congélateurs et par les tuyaux *c d*, l'ammoniac dont la détente a déjà produit son effet. Comme cet ammoniac conserve encore à peu de chose près la basse température à laquelle il se trouvait dans les serpentins du bac, nous avons demandé que le tuyau d'aspiration traversât, avant de se rendre à la pompe de compression, l'eau approvisionnée dans le réservoir I pour le remplissage des mouleaux. De cette manière, on utilise une partie du froid de l'ammoniac pour opérer en I un premier refroidissement de l'eau à congeler.

« Après avoir aspiré l'ammoniac détendu, les compresseurs le refoulent par les conduites *e* dans les condenseurs à serpentins C, dits liquéfacteurs, en le faisant passer au préalable dans l'égoutteur à chicanes ou séparateur d'huile D, où il se débarrasse de l'huile entraînée (fig. 3). En raison de sa densité, celle-ci tombe au fond de l'égoutteur, tandis que le gaz ammoniac purifié en sort à la partie supérieure pour pénétrer dans les serpentins des condenseurs. Là, sous l'action combinée de la compression et d'un courant continu d'eau froide, il se liquéfie et se rend, par la conduite *g*, dans le plus haut des deux compartiments du récipient E.

« Du fond de l'égoutteur, l'huile est conduite par un tuyau vertical dans l'autre compartiment de ce récipient; où, grâce à la pression du refoulement, elle peut être renvoyée sous les pistons du compresseur pour assurer le graissage des tiges et l'étanchéité du joint hydraulique des garnitures.

« Le compartiment supérieur du récipient constitue une réserve d'ammoniac liquéfié, qui assure la régularité de la détente. C'est de là que part la conduite *a*, aboutissant au robinet de détente *b*, dont l'ouverture est réglée pour admettre dans le congélateur la quantité d'ammoniac voulue.

« Sous l'aspiration produite par la pompe de compression dans les conduites *c et d*, l'ammoniac se détend et passe à l'état gazeux [en produisant un froid intense qui se communique au bain incongelable de chlorure de calcium entourant les serpentins du réfrigérant. Ce bain est agité d'une façon continue

au moyen d'une paire d'hélices commandées par l'arbre de transmission X, et il refroidit à son tour les mouleaux pleins d'eau qui y sont plongés.

« Dans le congélateur, la pression du gaz détendu n'est à ce moment que de deux atmosphères absolues ; ce fluide revient ensuite, par la conduite *c* au bac I, puis, par le tuyau D, dans la pompe de compression où il est de nouveau comprimé et refoulé dans les condenseurs.

« *Circulation d'eau froide dans les condenseurs.* — L'eau froide, circulant autour des serpentins de chaque condenseur pour produire la liquéfaction de l'ammoniacque est prise dans un puits situé entre les deux compresseurs. Deux excentriques calés sur l'arbre de couche de ces derniers actionnent à cet effet deux pompes Y, pouvant débiter  $80 m^3$  à l'heure. L'eau refoulée est conduite par le tuyau Z dans des réservoirs d'alimentation, placés en dehors de l'usine, plus hauts que les condenseurs. Elle en sort par un tuyau *r* (fig. 4 et 5), qui la conduit au refroidisseur N, d'où elle se rend à la partie supérieure des condenseurs à ammoniac par le tuyau *r'*. Dans le faisceau tubulaire du refroidisseur, chemine, en sens inverse de cette eau de puits, l'eau venant du condenseur de vapeur M ; on abaisse ainsi la température de cette dernière, sans pour cela échauffer, d'une manière sensible (1 degré au plus) l'eau destinée à la condensation de l'ammoniac.

« Dans les condenseurs à ammoniacque, l'échange des températures entre l'eau de puits et les serpentins est facilitée par des agitateurs à palettes, actionnés au moyen d'un arbre de transmission spécial et de renvois convenables. Une fois échauffée, l'eau s'échappe par des trop-pleins placés en haut des condenseurs et se rend, par la conduite *s* à une pompe centrifuge S, qui l'envoie au condenseur à surface M, et, de là, à l'extérieur par le tuyau U. Avant d'être abandonnée, l'eau de puits a donc été utilisée trois fois pour le refroidissement par circulation.

« C'est ici qu'interviennent les appareils de M. de Stoppani pour la fabrication de la glace pure et transparente.

« On a vu plus haut que, dans son troisième et dernier emploi, l'eau de circulation condense la vapeur d'échappement du moteur amenée par le tuyau *h* à l'épurateur L qui la dépouille des traces d'huile entraînée. A la sortie de ce dernier, cette vapeur rencontre en *n'* un jet d'eau froide et pure venant d'un épurateur d'eau de source dont nous expliquons plus loin le fonctionnement. Il résulte de ce mélange que l'eau épurée est portée à la température d'ébullition par la vapeur qui lui abandonne une partie de sa chaleur. La condensation se termine dans le condenseur à surface M, et le mélange passe finalement dans le refroidisseur N, où s'achève le refroidissement. En même temps, les pompes à air P déterminent dans cet appareil, par les tuyaux *p*, un vide d'environ  $0,700 m$  de mercure afin de priver l'eau de l'air qu'elle contient.

Le même degré de vide se maintient naturellement dans le condenseur à surface : c'est ainsi que les machines à vapeur employées sont transformées en moteurs à condensation.

« Deux petites pompes alimentaires Q, accouplées aux pompes à air, aspirent la vapeur condensée par le tuyau K, et la refoulent en l à travers le filtre O. La pression exercée ainsi sur l'eau à filtrer l'oblige non-seulement à traverser le filtre, mais aussi à se rendre dans l'accumulateur R par la conduite m.

« Le filtre est pourvu à sa partie supérieure d'une soupape de sûreté, pour empêcher les chocs qui pourraient se produire, si, pour une cause ou une autre, la circulation de l'eau n'était pas assez rapide.

« Nous avons parlé plus haut d'un épurateur alimentant la conduite n' du condenseur M. Il convient de faire remarquer, à ce sujet, que l'eau fournie par la condensation de la vapeur des moteurs, est insuffisante pour l'alimentation des mouleaux à congeler ; il faut ajouter un complément d'eau de source (dans le cas actuel, elle vient de la Dhuis) préalablement purifiée.

« L'épurateur de cette usine est du système Howatson ; son fonctionnement est basé sur l'emploi d'un réactif préparé dans une capacité déterminée et composé d'un mélange d'eau, de chaux éteinte et de soude caustique, en proportions variables suivant la nature de l'eau à épurer. Ce réactif est envoyé par un orifice réglable dans un récipient où arrive également l'eau à épurer. Le mélange, dont les éléments sont en proportions convenables, rencontre alors une série de plans inclinés destinés à favoriser la décantation des précipités calcaires qui se sont formés, et un filtre formé d'éponges retient les parties solides en suspension dans l'eau.

« A la sortie du filtre, l'eau épurée est recueillie dans un réservoir d'où elle se rend, comme on l'a vu plus haut, par le tuyau n', au condenseur de vapeur. Un flotteur assure la fermeture automatique du réservoir lorsqu'il est vide et empêche ainsi les rentrées d'air dans le condenseur de vapeur.

« Les cylindres communicants de l'accumulateur R contiennent chacun un piston, dont la tige est reliée par une chaîne à un robinet qui ferme automatiquement les pompes alimentaires en cas de trop plein. A chaque ouverture de l'un des robinets o ; le poids de ce piston et la position élevée de l'accumulateur déterminent l'envoi d'eau sous pression, dans le récipient I (fig. 2), par le tuyau n. Cette eau, toute préparée pour la fabrication de la glace pure et transparente, se rend ensuite par les appareils o dans les mouleaux.

« Grâce au faisceau tubulaire traversé par le retour d'ammoniac, l'eau contenue dans le récipient I subit un premier abaissement de température, qui favorise beaucoup la transparence de la glace. L'expérience a prouvé, en effet, qu'un trop grand écart entre la température de l'eau, au moment où elle est plongée dans le bain incongelable et le bain lui-même, amène, par suite de la trop grande rapidité du refroidissement, une sorte de cristallisation, qui trouble

l'équilibre des molécules. Il en résulte des cassures infinitésimales, qui donnent à la glace un aspect opaque, peu agréable à l'œil.

« Au contraire, si la congélation se fait, comme dans le cas actuel, sans transition brusque de température, on obtient un produit dont la transparence ne le cède en rien à la glace naturelle.

« Dans certains cas, on a recherché simplement cette transparence par une lente congélation de l'eau non épurée et non distillée, en maintenant la température des bacs de congélation à 1 ou 2° au-dessous de zéro ; non seulement la transparence obtenue par ce moyen était défectueuse, mais encore cette congélation lente nécessite des bacs d'une capacité impraticable et d'un prix trop élevé ; de plus, l'eau ordinaire n'avait aucune des garanties de pureté offertes par celle qui a subi les opérations précédemment décrites.

« Dans l'usine de la Société française de glace pure, on a pris les dispositions les plus judicieuses pour la manœuvre rapide et sûre des mouleaux. Le mécanisme au moyen duquel on procède facilement au démoulage des châssis, une fois la congélation obtenue, consiste en un treuil roulant actionné par un jeu de poulies et de transmissions à corde. On voit dans les figures 1 et 2 l'ensemble de l'appareil de levage qui est, d'autre part, représenté en détail dans les figures 8 et 10.

« La commande motrice vient de la transmission V, placée au-dessus du bac refroidisseur I ; cette installation est double, et le mouvement est communiqué à chacun des treuils roulants G par l'intermédiaire d'un câble sans fin allant passer, à l'arrière du bassin de congélation, autour d'une seconde transmission de commande X ; celle-ci reçoit son mouvement de la précédente à l'aide d'un câble, et sert aussi à actionner les agitateurs à hélice. Ses deux poulies réceptrices ont un support spécial, qui peut se déplacer sous l'action d'un contrepoids ou tendeur, afin de compenser l'allongement du câble.

« Dans chaque treuil roulant, la poulie de commande peut être rendue à volonté, fixe ou folle sur son arbre V au moyen d'un embrayage à volant, et le câble passe en boucle sur deux poulies, qui actionnent les mécanismes de propulsion et de déplacement de la charge. Ces mécanismes, sensiblement analogues, consistent en une paire d'engrenages coniques tournant continuellement en sens inverse sous l'action d'un pignon commun.

« L'ouvrier fait, à l'aide du levier *a* d'un embrayage à friction, circuler le chariot roulant sur les files de rails placés au-dessus du bac. Un autre levier *b* commande au moyen d'un embrayage denté deux chaînes qui permettent de suspendre, d'élever ou d'abaisser un châssis de vingt mouleaux de glace, pesant chacun 25 kilogrammes.

« Le démoulage se fait en vingt minutes de la manière suivante : on élève au-dessus du bac le premier châssis de l'avant, dont les mouleaux sont à l'état de congélation complète, on avance ce châssis au-dessus de la cuve à eau chaude H,

où on le plonge ensuite pour arriver à décoller la glace des moules. Après quoi on sort puis on renverse ce châssis, à l'aide d'un support mobile autour d'un axe horizontal. Les blocs de glace quittent alors leurs mouleaux et tombent d'eux-mêmes sur le plan incliné J, d'où ils sont enlevés pour les livrer à la consommation (Fig. 1 et 2).

« L'opération se termine par le remplissage des mouleaux au moyen d'eau pure amenée à l'abri de l'air par les tuyaux en caoutchouc adaptés aux robinets *o*. Il reste finalement à transporter le premier châssis en arrière du bac, jusqu'à la place laissée libre par l'avancement mécanique sur des galets de tous les châssis suivants. Une crémaillère mue par une manivelle *k* permet, pendant le retour du châssis nouvellement rempli d'eau, de faire avancer tout l'ensemble des mouleaux de façon à ménager à ce châssis une place qu'il cédera à son tour au suivant, et qui progresse ainsi pour arriver de nouveau au premier rang où la congélation est complète.

« La glace retirée de chaque châssis présente la transparence et la limpidité du cristal de roche, en même temps qu'une grande capacité.

« Telle est, dans son ensemble et dans ses détails, la nouvelle usine dont les travaux, comprenaient, en outre de l'agencement, des appareils décrits plus haut : 1° l'exécution de nouveaux bâtiments pour une glacière capable d'emmagasiner 6 à 700,000 kilogrammes de glace; 2° l'installation de deux générateurs Farcot, à chaudière semi-tubulaire, ayant chacun 60<sup>m</sup>,2 de surface de chauffe, et le montage de deux machines à vapeur Farcot, à 4 tiroirs, de 50 chevaux chacune; 3° le forage d'un puits d'alimentation de 100 mètres de profondeur, et la pose des pompes de circulation d'eau. Tous ces travaux ont été exécutés dans une période de huit mois. »

Dans le système de *Lavergne* (<sup>1</sup>), figure 142, la vapeur, traverse, avant d'arriver au condenseur, de l'eau dans laquelle elle barbotte en abandonnant presque toute sa graisse, puis un filtre de noir animal ou de charbon. L'eau condensée descend, au travers d'un vase à niveau constant et ouvert à l'air libre, dans un refroidisseur Beaudelot. De là, elle passe dans un réservoir collecteur, où elle dépose ses dernières impuretés, et du haut duquel elle se rend dans un accumulateur en bois fermé par un flotteur et communiquant avec le remplissage des mouleaux.

On peut, d'ailleurs, lorsqu'on craint de ne pas arriver à se débarrasser entièrement des graisses, utiliser la vapeur d'échappement d'une façon indirecte, en lui faisant chauffer de l'eau préalablement filtrée. Cette eau passe autour des tubes d'un condenseur à surfaces traversés par la vapeur d'échappement, où elle bout à 70° environ, sous le vide déterminé par une pompe à air; on refroidit ensuite

1. Brevet anglais 14440 de 1887.

cette eau, filtrée et privée d'air, avant de l'envoyer aux mouleaux. Il est rare que

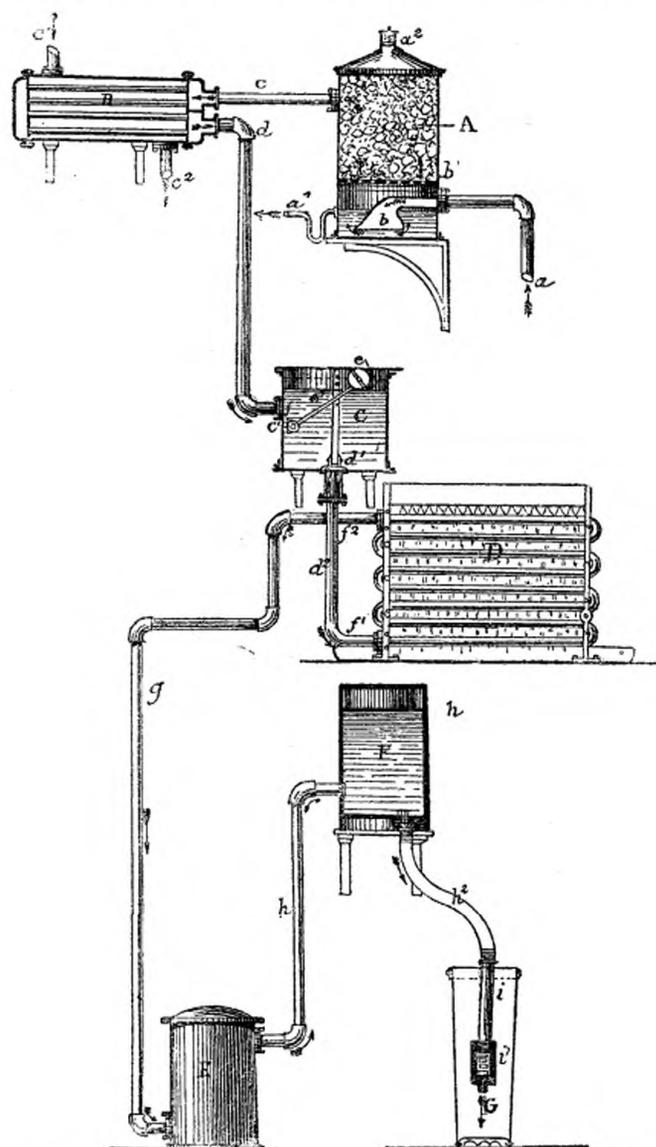


Fig. 142. — *Lavergne* (1887). Fabrication de la glace transparente par la vapeur d'échappement.

*a*, arrivée de la vapeur par un joint hydraulique *b a'* dans le filtre A de noir animal chargé sur la tôle perforée *b'*, et pourvu d'un renflard *a''*. B, condenseur à surfaces avec circulation d'eau *c' e'*, amenant par *c' d f* la vapeur de A condensée au réservoir C, à soupape de vidange *d'*, commandée par le flotteur (*c' e c'*), D, refroidisseur Beaudelot amenant en *d' f'* l'eau chaude de C et la conduisant par *f' g* au collecteur E, d'où elle passe, refroidie et purifiée, par *h*, à l'accumulateur en bois F, à piston *h'*. Cet accumulateur renvoie l'eau, par *h' i*, au bec à clapet *c'* immergé au fond du moulet G, de manière à le remplir sans entrée d'air.

la vapeur d'échappement suffise seule pour chauffer l'eau à une température convenable ; mais il est facile d'y suppléer par une prise de vapeur sur la chaudière.

Parmi les autres procédés moins importants proposés pour la fabrication de la glace transparente, je citerai la formation des blocs par couches successivement congelées <sup>(1)</sup> ou *per descensum*, c'est-à-dire en laissant la glace se former lentement en se propageant du fond d'un récipient à liquide incongelable flotté sur l'eau à congeler <sup>(2)</sup>.

La fabrication de la glace comporte en outre l'emploi d'un certain nombre de mécanismes accessoires pour l'avancement, le remplissage et le démoulage : nous n'insisterons pas sur ces appareils d'ordre purement mécanique, et que chaque constructeur établit à sa convenance.

Quant au prix de revient de la glace au sortir des mouleaux, il oscille, suivant l'importance de l'installation, entre 6 francs et 10 francs la tonne avec les bonnes machines à compression.

### Fabrication de l'air froid

L'une des applications les plus intéressantes des machines à froid est le refroidissement de l'air : la fabrication d'air froid, que l'on applique ensuite à diverses opérations telles, par exemple, que la conservation des viandes, le refroidissement des salles de réunion.

Les machines à air ont incontestablement le grand avantage de produire l'air froid directement : elles rachètent en partie par leur simplicité la faiblesse de leur rendement, et cette qualité paraît devoir leur conserver quelque temps encore le monopole des navires <sup>(3)</sup>.

A terre, où l'on se procure facilement l'agent chimique nécessaire au fonctionnement des machines à liquéfaction, où l'espace ne manque pas et où l'on tient plus à l'économie du combustible, on a cherché depuis longtemps à produire l'air froid indirectement, en bénéficiant de l'économie des machines à gaz liquéfiés.

Dans les systèmes proposés par MM. Rouart, Osenbrück et Linde <sup>(4)</sup>, c'est par son passage sur des mèches, des toiles métalliques ou des disques en rotation imbibés ou arrosés de liquide incongelable refroidi, ou même à travers une mince couche de ce liquide <sup>(5)</sup> que l'on refroidit l'air ; mais ce procédé a l'incon-

1. Linde. *The Engineer*, 17 sept. 1880, p. 211.

2. Gorrie Gamgee. Brevets anglais 13234, 4519 de 1850 et 1875. On peut, dans certains cas, utiliser directement le froid produit par la détente de l'air des moteurs à air comprimé : procédé *Popp* et distribution de Birmingham. — Brevet anglais 5274 de 1888. Marcet et Ellis.

3. Kirk. Brevet anglais 2235 de 1864. — Gamgee, Brevet anglais 3682 de 1875.

4. G. Behrend, *Eismaschinen*, p. 280 et brevet anglais Linde, 11849 de 1889.

5. Mignon et Rouart. *Comptes rendus*, 18 octobre 1875. Brevet anglais 5219 de 1882.

venient d'obliger à l'entretien du liquide. On préfère, en général, se contenter de la circulation d'une grande masse de liquide incongelable toujours le même, et faisant comme un volant de froid, dans une série de tuyaux fixés au plafond de la salle à refroidir, et qu'il faut dégivrer de temps en temps.

Je citerai, dans cet ordre d'idées, les tuyaux des machines de Lavergne, à ailettes (fig. 143), comme ceux de certains calorifères, dans lesquels ce n'est pas le liquide incongelable mais, ainsi que dans les appareils de M. Schmitz (1884), le gaz ammoniac détendu lui-même qui circule indéfiniment. Leurs joints à brides vissées et soudées résistent à 70 atmosphères.

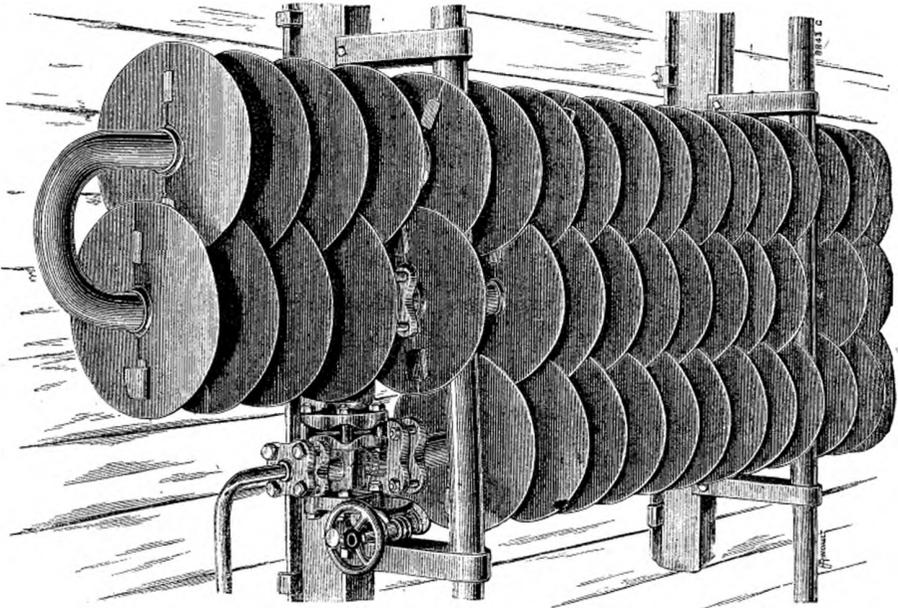


Fig. 143. — *Lavergne*. Tuyaux à ailette pour circulation du gaz ammoniac détendu.

Une autre solution consiste à refroidir l'air dans un appareil *frigorigère*, par son passage autour ou à l'intérieur de tubes parcourus par un liquide incongelable refroidi. Dans l'appareil de *Chambers* (1), figure 144, l'air traverse successivement une série de réfrigérants à tubes en U, autour desquels circule le liquide incongelable : il dépose son eau et sa glace dans le premier réfrigérant et

1. Brevet anglais 1984 de 1882.

achève de se refroidir dans les autres, qu'il givre peu à peu. On opère le dégivrement en faisant passer de temps en temps, en sens inverse du courant normal, une chasse d'air chaud ou de vapeur dans les tubes givrés, qui reprennent ainsi leur activité première.

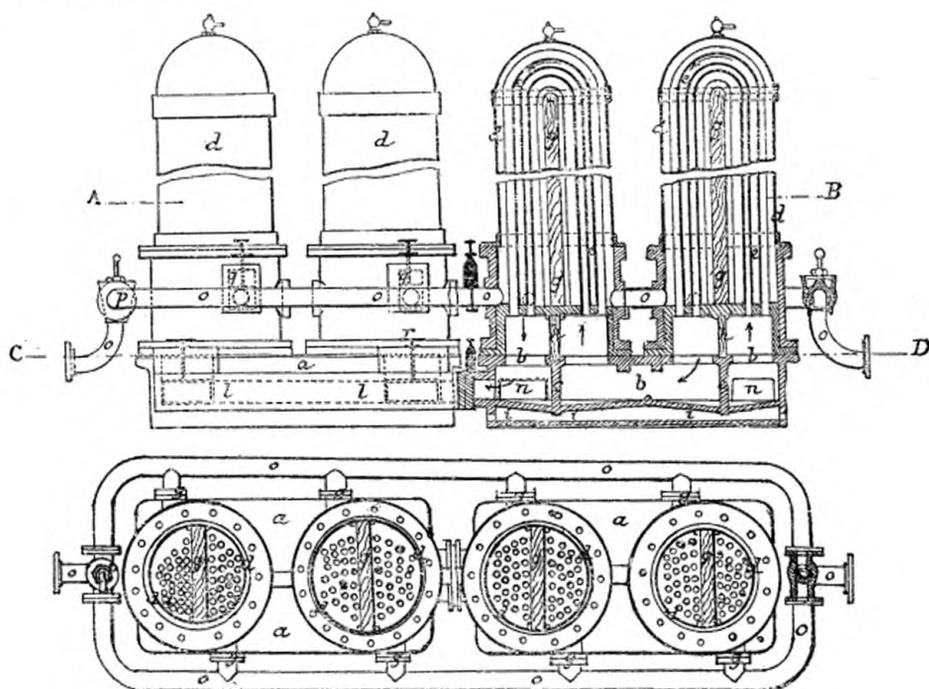


Fig. 144. — Chambers. Frigorifère.

*o o*, tuyau à robinets *p* faisant circuler du liquide incongelable froid autour des tubes *e e* dans les frigorifères *d*. *g h c* cloisons séparant en deux compartiments *b b* les faisceaux tubulaires *e e*. *l l* conduits amenant l'air à refroidir, par les bouches *n*, à vannes *r*, aux tubes *b*, dans lesquels il circule suivant les flèches. *i k*, évacuation de l'eau précipitée dans les tubes *cc*. Le jeu des vannes *q* et *r* permet de régler et de diriger à volonté les courants d'air et de liquide incongelable.

M. Fixary<sup>(1)</sup> opère au contraire ce dégivrement méthodiquement au moyen de l'air même à refroidir, utilisant ainsi le givre, autrefois une cause de perte. La théorie de son appareil est fort simple. Imaginons deux compartiments à serpentins séparés ; désignons-les par A et B. A l'origine, l'air à refroidir passe de A sur B, puis dans la chambre froide, et le gaz ammoniac détendu dans A seulement. Dès que A se givre, on renverse à la fois le courant d'air et la circulation d'ammoniac, de sorte que l'air fond d'abord le givre de A, qui s'écoule

1. Brevet anglais 3793 de 1887. — Dans ses premiers appareils (1876), M. Fixary obtenait le dégivrement mécaniquement au moyen de brosses ou des raches tournantes, nettoyant sans cesse les serpentins de forme cylindrique. Ce mode de dégivrement vient d'être appliqué sous une forme analogue par MM. Rouart frères (Société d'encouragement, séance du 24 janvier 1890). Voir aussi les brevets anglais Linde 10918, et 15124 de 1889. 1875 de 1890.

hors de l'appareil. L'air achève ensuite de se refroidir sur B, seul parcouru par la circulation d'ammoniac. L'action de l'appareil est d'autant plus vive, et le dégivrement d'autant plus rapide, qu'il faut moins abaisser la température de

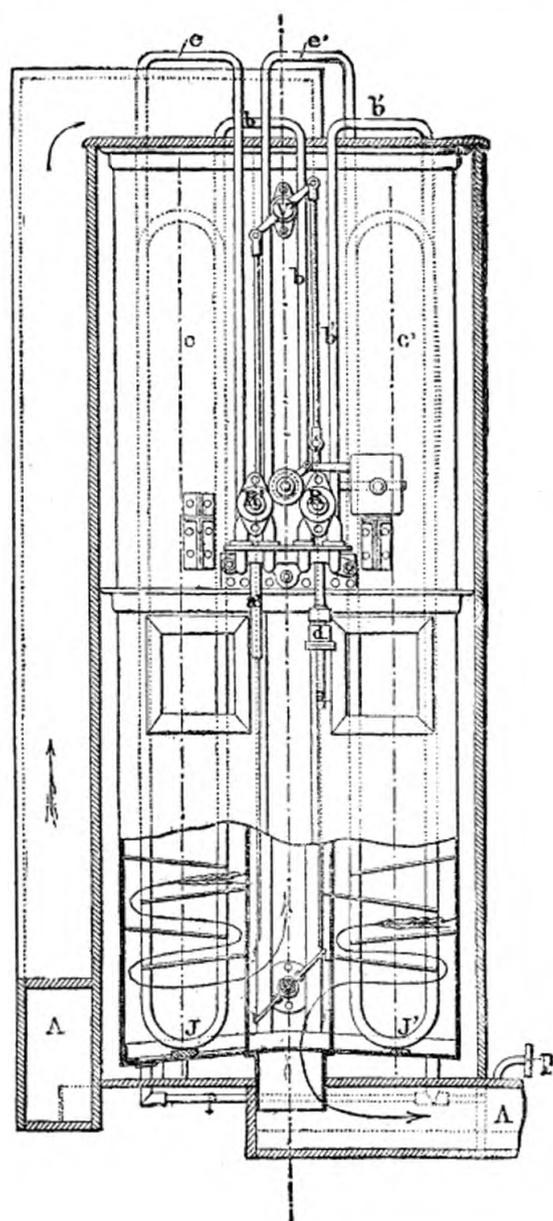


Fig. 145. — Frigorifère Fixary.

Lorsque le second serpentín s'est à son tour couvert de givre, on rétablit les choses dans la position figurée, et ainsi de suite, de sorte que l'air à refroidir, amené d'abord sur le serpentín inactif couvert de givre, commence à se refroidir en fondant ce givre, puis continue à se refroidir sur le serpentín actif, dont la surface n'a pas de givre.

#### Légende.

Cet appareil se compose essentiellement de trois serpentins, dont deux, J et J', sont indiqués sur la figure ci-jointe, enfermés dans les compartiments C et C' d'une caisse en bois recouverte d'une enveloppe non conductrice.

Le gaz ammoniac liquéfié, dont la détente est destinée à produire le froid nécessaire pour refroidir l'air, est amené de la pompe à ammoniac au tuyau a, qui le fait communiquer, à travers le détendeur d, avec des robinets R et R', disposés de façon à pouvoir faire passer l'ammoniac détendu alternativement dans l'un ou l'autre des serpentins.

Dans l'état représenté sur la figure, c'est le serpentín J' qui est traversé par l'ammoniac réfrigérant, lequel retourne à l'aspiration de la pompe par les tuyaux C' et A'. L'air, aspiré dans la salle à refroidir par un ventilateur qui le refoule dans l'échangeur en A, traverse le compartiment C du haut en bas autour du serpentín inactif J, puis le compartiment C', sur lequel il est dévié par le jeu de vannes V V', et revient dans la salle par A', après s'être refroidi autour du serpentín actif J'.

Lorsque le serpentín actif J' est recouvert de givre, on renverse simultanément les positions des robinets R R' et des vannes V V', de manière à faire passer la circulation d'ammoniac seulement dans le serpentín J, qui n'a pas de givre, en même temps que l'on change le sens du courant d'air, en le faisant passer de A en C', puis du bas de C' en C, qu'il traverse de haut en bas, pour revenir par A' dans la chambre à refroidir.

Derrière ces deux serpentins, qui ont pour but de débarrasser l'air de son humidité et de fondre le givre accumulé par cette humidité sur les surfaces refroidissantes, se trouve un troisième serpentín, de plus grande surface, toujours actif, dans lequel la détente du gaz agit continuellement. L'air, après avoir léché la surface des deux premiers serpentins, arrive, complètement sec et à la température de 3 à 4 degrés au-dessous de zéro, sur la surface de ce troisième serpentín, où il achève de se refroidir à une température très basse, sans formation de givre sensible, les deux premiers serpentins ayant absorbé toute l'humidité contenue dans l'air en circulation.

En un mot, dans l'appareil Fixary, le liquide réfrigérant circule toujours dans des serpentins à surfaces parfaitement conductrices, en contact immédiat avec l'air à refroidir, et le givre qui reste sur le serpentín inactif, loin d'être un obstacle, concourt au refroidissement. L'eau distillée qui provient de la fusion de ce givre, et qui peut être utilisée, est évacuée par un purgeur *p*.

Au bout d'un certain temps, l'air de la chambre à refroidir aura abandonné à l'échangeur presque toute son humidité; on peut alors faire traverser les trois serpentins à la fois par l'ammoniac détendu, et augmenter ainsi l'étendue des surfaces réfrigérantes en activité.

l'air ; aussi cet appareil donne-t-il d'excellents résultats quand il faut refroidir de grandes masses d'air aux environs de zéro. D'ailleurs, pour atteindre les basses températures, M. Fixary obtient un dégivrement très rapide en faisant circuler dans l'intérieur des serpentins de l'ammoniac pris au refoulement du compresseur. En outre, l'expérience a démontré l'utilité d'un troisième serpentín, parcouru constamment par l'ammoniac détendu, jamais givré, et sur lequel l'air refroidi et séché par les deux premiers serpentins achève de se refroidir. Des expériences exécutées en grand en France et en Allemagne donnent lieu de croire que cet appareil répondra aux espérances de son inventeur et permettra de réaliser avec économie la production industrielle et la distribution de l'air froid sec : d'importantes applications ne tarderont pas à fixer l'opinion sur sa valeur pratique.

Comme exemple d'installation de frigorifère Fixary nous empruntons aux *Annales Industrielles* du 20 janvier 1889, la description suivante: (pl. 19-20).

« Une installation du système Fixary, pour produire le froid et la glace, en renouvelant l'air de la chambre à froid, a été récemment construite par les *Ateliers Humboldt*, à Kalk, près Cologne. Nous la publions ci-après, d'après la *Zeitschrift des Vereines deutschen Ingenieure*.

« *Principe de l'appareil.* — La partie essentielle de l'innovation dont il s'agit consiste à placer un appareil frigorifique à plusieurs compartiments *en dehors* de la chambre qu'il s'agit de maintenir à une température basse, et contenant des matières pouvant se détériorer par la chaleur. Dans chaque compartiment de cet appareil, on dispose un serpentín en fer, dans lequel se vaporise un liquide (ammoniac, acide carbonique, acide sulfureux, etc.) venant de la machine qui produit le froid. On obtient par cette vaporisation l'abaissement voulu de la température ambiante. L'air qui circule autour du

serpentin ne se refroidit pas seulement au-dessous de zéro, mais il dépose toute son humidité, en forme de givre, sur le pourtour du tuyau, et sort complètement sec de l'appareil frigorifique.

« Après quelque temps de fonctionnement, cet appareil frigorifique se recouvre d'une telle couche de givre qu'il devient impropre pour un travail utile; il s'agit alors de faire fondre ce givre et de faire circuler l'air chaud autour d'un serpentin non encore recouvert de givre. Pour cela, on est obligé de faire passer le liquide qui se vaporise, et qui produit le froid, du tuyau entouré de givre dans celui qui ne l'est pas. De même, la marche de l'air doit être réglée de telle sorte qu'il arrive d'abord en contact avec le premier serpentin, en séparant le givre qui est reçu sous forme d'eau dans le premier réservoir, et passe ensuite autour du deuxième serpentin qui, finalement, se recouvre aussi de givre. On effectue après cela l'opération inverse, etc.

« *Détails de l'appareil.* — L'appareil frigorifique est constitué par une caisse oblongue en tôle mince, séparée en quatre compartiments dont les cloisons, ainsi que les parois extérieures, sont entourées d'un corps mauvais conducteur de la chaleur. Dans chaque compartiment, on a placé un serpentin en fer d'une seule pièce.

« En dehors de la caisse, les quatre serpentins sont reliés à un tuyau horizontal au moyen de brides et de robinet, de sorte que chaque serpentin puisse être rempli ou vidé à volonté. Des cloisons mobiles vers l'extérieur permettent le réglage du courant d'air qui circule dans la caisse avec une certaine vitesse obtenue à l'aide d'un ventilateur. Comme il n'existe aucune soudure dans les tuyaux en serpentin, l'air refroidi ne peut pas être vicié par les vapeurs sortant du tuyau. La caisse contenant les tuyaux en serpentin est disposée obliquement afin de rendre possible l'écoulement de l'eau provenant de la fusion du givre.

« L'action de l'appareil réfrigérant peut être expliquée aisément en considérant le moment qui suit le changement de marche du courant d'air dont il a été question plus haut.

« Appelons les compartiments successifs qui contiennent chacun un serpentin, les compartiments I, II, III, IV (fig. 4, 5 et 6, pl. 19 et 20); les deux premiers étant placés en haut de la caisse, les deux derniers au-dessous. L'air chaud et humide, qui est aspiré par le ventilateur de la chambre à refroidir, est refoulé par le même ventilateur dans les compartiments I, II et III, d'où il passe, refroidi et desséché, dans la conduite de refoulement du réfrigérant. Le serpentin I est entièrement recouvert de givre, par suite de l'opération ayant précédé celle que nous considérons. Mais il ne contient plus de vapeurs ammoniacales, puisqu'il est séparé du réservoir renfermant l'ammoniaque. Par contre, le serpentin II est entièrement libre de givre, et là s'évaporent les vapeurs ammoniacales produisant le froid. Il en est de même du serpentin III

(placé au-dessus du serpentín II). Le compartiment et le serpentín IV n'entrent en action que plus tard. L'air chaud fait fondre graduellement le givre qui entoure le serpentín I. L'eau de fusion s'écoule au bas du compartiment I. Dès que l'air pénètre en II, où l'ammoniaque absorbe sa chaleur, cet air ne se refroidit pas seulement avec rapidité, mais il dépose aussi toute sa vapeur d'eau sur le serpentín en forme de givre. Le compartiment et le serpentín III complètent le refroidissement et le desséchement de l'air. La fusion du givre entourant le serpentín I se fait rapidement; le recouvrement de givre des serpentíns II et III dure, selon les circonstances locales, 4, 8 et 12<sup>e</sup> heures, et même plus longtemps.

« Cette durée est, du reste, facile à déterminer pour chaque cas particulier. Mais, comme les serpentíns II et III deviennent inutilisables pendant ce temps, on est obligé d'effectuer le changement de marche du courant d'air en fermant l'accès de l'ammoniaque dans les serpentíns II et III, et en le laissant circuler dans les serpentíns I et IV (celui-ci est placé au-dessous de celui-là); l'air passe de II, I, puis en IV, et ainsi de suite.

« Pour faire fondre le givre qui entoure le serpentín III, on peut se servir avantageusement d'un jet de vapeur; après quoi ce serpentín est prêt à remplacer le serpentín IV devenu à son tour impropre à produire le froid.

« Dans certaines applications où l'air ne doit pas être refroidi au-dessous de zéro, comme dans certaines opérations de brasseries, l'appareil peut être muni de trois compartiments seulement.

« D'après les expériences effectuées par le constructeur, la durée entre deux changements de marche du courant d'air est assez longue pour qu'on puisse opérer ce changement à la main.

« On a trouvé que l'ammoniaque doit pouvoir se détendre dans les serpentíns jusqu'à une tension de 2,3 atmosphères. La température correspondante est de  $-15^{\circ}$ . La température de l'air sortant de l'appareil réfrigérant varie naturellement avec son volume; elle est de  $-1^{\circ}$  à  $-4^{\circ}$ . L'échauffement de l'air traversant les conduites qui mènent à la chambre réfrigérante n'est pas sensible. La température et la quantité de l'air ont pu être aisément réglées, de manière que la température de la chambre froide, de 650 mètres cubes de capacité, ait pu être maintenue à  $+1^{\circ}$  et  $+5^{\circ}$  au maximum, ce qui est suffisant pour le but qu'on se proposait.

« De plus, on a pu constater que l'appareil réfrigérant utilisait 90 % du froid produit par la volatilisation de l'ammoniaque; c'est un rendement qui n'a pas encore été atteint jusqu'ici dans les appareils similaires.

« L'installation représentée, pl. 19 et 20, est prévue pour un travail de 10,000 calories à l'heure, obtenu à l'aide d'un compresseur d'ammoniaque, mû par transmission de courroies, qui aspire les vapeurs ammoniacales des serpentíns, les comprime et les refoule vers le condenseur (voir la légende des planches

dans lequel les vapeurs comprimées sont refroidies au moyen d'eau froide venant du dehors. Avant que ces vapeurs n'arrivent dans le condenseur, elles passent dans un récipient destiné à recueillir l'huile de graissage que les vapeurs emportent en traversant le cylindre du compresseur.

« Cette huile est reçue dans un réservoir commun d'huile et d'ammoniac liquide. Ces deux liquides, ne pouvant pas se mélanger, on conduit l'huile dans le presse-étoupes et à la conduite aspirante du condenseur, tandis que l'ammoniaque est répartie entre les serpentins de l'appareil réfrigérant. L'installation est complétée par un appareil de distillation avec pompe alimentaire, destiné à la production de l'ammoniaque anhydre, au moyen de sel ammoniac que l'on trouve dans le commerce.

« L'eau fraîche, nécessaire pour le condenseur d'ammoniaque, est pompée au moyen d'une pompe centrifuge (fig. 3). Au-dessus, on a placé le ventilateur qui refoule l'air dans l'appareil réfrigérant. »

## Conservation des viandes

L'application des machines frigorifiques à la conservation des viandes prend chaque jour une plus grande importance. Presque abandonnée en France à la suite d'essais malheureux, cette industrie prospère aujourd'hui et se développe rapidement en Allemagne, en Angleterre et en Belgique, principalement pour l'importation des viandes fraîches d'Amérique et d'Australie. En Angleterre, l'importation des viandes gelées s'est élevée, pour 1887, à plus de 69,000 tonnes de bœuf et de mouton (1).

La putréfaction de la viande n'étant qu'un cas particulier de fermentation organique, nous avons cru intéressant de formuler avec quelques détails les principales observations faites en 1884-1885, par MM. *Coleman et Mac Kendrick* sur l'action du froid sur les microphytes (2).

On employa pour ces expériences une machine Bell-Coleman de 50<sup>m</sup> à l'heure, qui envoyant son air froid dans une conduite maîtresse en bois pourvue de trappes débouchant sur une douzaine de compartiments de 90 litres environ, dont on pouvait régler la température à volonté.

1. En 1888, on a importé en Angleterre 940,000 moutons de la Nouvelle-Zélande, 108,000 d'Australie, 908,000 de la République Argentine. (Bellet, *Revue scientifique*, 29 juillet 1889, p. 114). *Bulletin de la Société d'Encouragement*, mars 1877.) On compte actuellement en Allemagne, 12 villes pourvues d'établissement de conservation frigorifique, dont le plus important est celui de Crefeld, page 271.

2. The Mechanical Production of Cold and the Effets of Cold upon Microphytes. — Royal Institution, 29 Mai 1886.

Les expériences consistaient à exposer aux basses températures des substances putrescibles renfermées hermétiquement dans des tubes, dans des boîtes d'étain scellées, ou dans des flacons bouchés par des tampons d'ouate ; on les laissait ensuite se dégeler, puis on les maintenait dans une chambre à 27° environ. On ouvrait ensuite ces récipients et on en examinait les substances avec des microscopes d'un grossissement variant de 250 à 1000 diamètres.

Les résultats généraux de ces expériences ont été les suivants :

1° La viande enfermée dans des boîtes en étain de 115 millimètres de diamètre et de 25 millimètres d'épaisseur, exposée à un froid de — 63° pendant six heures se putréfie avec dégagement de gaz. La viande exposée au froid se putréfie néanmoins plus lentement dans la chambre chaude que la viande non gelée.

On expérimenta, le 24 décembre 1884, 30 échantillons de viandes fraîches enfermés dans des flacons en verre blanc de deux onces (60 grammes) bouchés avec soin au vernis et à la cire chaude fondue : ces flacons, divisés en cinq groupes de six, A B C D E, subirent les opérations suivantes :

|   |                             |       |
|---|-----------------------------|-------|
| A | exposée pendant 65 heures à | — 17° |
| B | —                           | — 29° |
| C | —                           | — 34° |
| D | —                           | — 40° |
| E | —                           | — 62° |

Après avoir retiré ces flacons on en exposa de nouveau un de chaque série au froid intense de — 53° pendant 12 heures. Les viandes gelées avaient une couleur noir, mais elles reprenaient bientôt leur aspect naturel dans la chambre chaude. Tous les échantillons commençaient à s'y putréfier après une douzaine d'heures.

Lorsqu'on gèle un muscle d'animal fraîchement tué, la gelée empêche la coagulation du plasma musculaire que l'on peut extraire du muscle en le pressant après l'avoir dégelé : MM. Coleman et Mac Kendrick en concluent qu'il serait intéressant d'étudier l'action d'un froid très vif sur un animal fraîchement tué, n'ayant pas encore atteint la rigidité cadavérique. Des chairs d'un lapin soumis dans ces conditions à une température de — 63°, en partie dégelées, puis regelées ensuite pendant 12 heures, se putréfiaient facilement dans la chambre chaude plus rapidement que les viandes ordinaires.

Une température de — 63° prolongée pendant plusieurs jours sur des flacons bouchés au coton est impuissante à stériliser les matières organiques urine, lait, etc., elle ne peut que retarder la fermentation. On essaya également en vain de tuer les microbes par des altercations répétées de dégel et de regel aux très basses températures, qui transforment la matière organique en une masse compacte, dure comme du bois et souvent friable. En conséquence, MM. Coleman

et Mac Kendrick considèrent comme impraticable la stérilisation des matières organiques même par les froids les plus intenses.

Voici d'ailleurs comment s'exprime à ce sujet M. *Deligny*, président de la commission municipale de ravitaillement de Paris (1).

« Les viandes fraîches contiennent en elles-mêmes les germes qui doivent, après la vie de l'animal, amener la désorganisation rapide de leurs éléments, à laquelle le langage courant donne le nom de putréfaction, et que la science appelle fermentation putride.

« Comme pour la fermentation alcoolique des matières sucrées, les germes ou ferments de la fermentation putride n'agissent qu'après un certain nombre d'heures après la mort, et avec le concours de la chaleur. Si la température de la matière organique est suffisamment abaissée, l'action des germes ferments est diminuée, ralentie, ou complètement suspendue. Lorsque cette action a commencé, il est beaucoup plus difficile de l'arrêter et de la suspendre totalement et définitivement par le froid et pendant le froid.

« Le germe n'est pas détruit par le froid ; il entre en action aussitôt que le froid cesse et que la chaleur revient. Ceci est un point essentiel.

« L'abaissement de la température entre 0 et + 3° lorsque cet abaissement a été obtenu pour toute la pièce de viande avant l'entrée en action des germes de putréfaction, assure la conservation et empêche l'action des germes. Lorsque cette action a commencé sans dépasser la période de simple ramollissement que la cuisinière désigne en disant que sa viande est attendrie, l'action des germes peut encore être suspendue pendant quelques jours par un froid très modéré.

« Quand une viande a été portée dans l'entrepôt frigorifique quatre à cinq heures après l'abatage et le dépeçage de l'animal, et qu'elle a été rapidement et totalement ramenée à la température de 0 à + 3 degrés, elle peut être conservée, indéfiniment pour ainsi dire, sans entrer en putréfaction, dans l'entrepôt frigorifique. Avec le temps, le renouvellement incessant de l'air sec desséchera peu à peu cette viande, elle se boucanera, se réduira, prendra un goût de vieux. Elle sera dépréciée, mais restera comestible, sans danger pour la santé.

« Pour que ce résultat soit obtenu dans la température de 0 à + 3 degrés, il faut que les pièces de viande restent isolées les unes des autres et constamment baignées d'air. »

On peut empêcher, en fait, presque indéfiniment la putréfaction des viandes en les maintenant congelées à une très basse température (— 10 à — 15°) bien que cette température ne fasse selon toute apparence qu'engourdir les ferments, mais ce moyen de préservation n'est pas à l'abri de toute critique parce que la viande, une fois dégelée sans précautions spé-

1. *Bulletin municipal officiel*, 6 février et 13 mars 1890.

ciales (1), se corrompt très vite, perd en tout cas la majeure partie de son arôme, et même un peu de ses qualités nutritives. Ces inconvénients ne se présentent pas, au même degré du moins, pour les viandes conservées dans une atmosphère d'air sec à zéro environ, et constamment renouvelée. Les viandes importées des Etats-Unis supportent dans ces conditions le voyage mieux que celles de l'Australie ou de l'Amérique du Sud, dont la préservation exige un refroidissement plus énergique.

Le système qui consiste à entasser dans le navire les viandes gelées d'avance à  $-15^{\circ}$  environ présente incontestablement l'avantage d'un tonnage plus élevé conservé avec une dépense de froid moins grande; mais les viandes ainsi traitées, reconnaissables à leur fadeur, n'ont jamais pu se faire admettre, en France du moins, sur un pied comparable à celui des viandes fraîches.

C'est à MM. Bell et Coleman que l'on doit non pas les premiers appareils — MM. Mort (2), Windhausen-Huch (3) et Tellier (4), les ont précédés dans cette voie — mais les premiers succès, les premières applications véritablement industrielles des machines frigorifiques au transport de la viande par navires. La viande est conservée par une circulation d'air froid sec produit par les machines décrites à la page 135 dans des chambres en bois parfaitement isolées par des parois en sciure et charbon de  $0^m,30$  environ d'épaisseur. L'air est distribué dans ces chambres au moyen de canaux de circulation en bois, pourvus de trappes de répartition et de *snow-box* destinées à recueillir le givre produit par la condensation des vapeurs émises par les viandes. Il faut, pour ne pas augmenter démesurément la dimension des machines, refroidir cette masse d'air par la diffusion de faibles volumes portés à une très basse température, dont la densité facilite d'ailleurs la répartition et la circulation. Les installations maritimes de Bell-Coleman sont très répandues et fort appréciées en Angleterre. Une machine de grande dimension, pouvant refroidir pour le transport une coque à viandes de 1000 tonneaux, revient à 40 francs environ par mètre cube. En quatre années, de 1879 à 1884, les machines Bell-Coleman ont importé d'Amérique en Angleterre 564,000 quartiers de bœuf et 114,000 moutons conservés. Lorsqu'on expose ces viandes brusquement à l'air libre, la vapeur de l'atmosphère s'y condense en une sorte de rosée; on évite cette humidité en laissant les viandes reprendre peu à peu la température ordinaire dans la cale fermée du navire.

Le type de machines à air adopté par MM. Bell et Coleman pour la conservation des viandes à bord des navires en 1879, aussitôt après le type décrit à la page 135 est représenté par les figures 146 et 147. Les deux compresseurs P. P. de  $400 \times 400$  millimètres sont disposés à la suite de leurs détenteurs E E, de

1. Lafabrigue, brevet anglais 16750 de 1888.

2. Brevet anglais 3223 de 1869.

3. id. 935 de 1869.

4. Pécelet, *La Chaleur*, vol. III

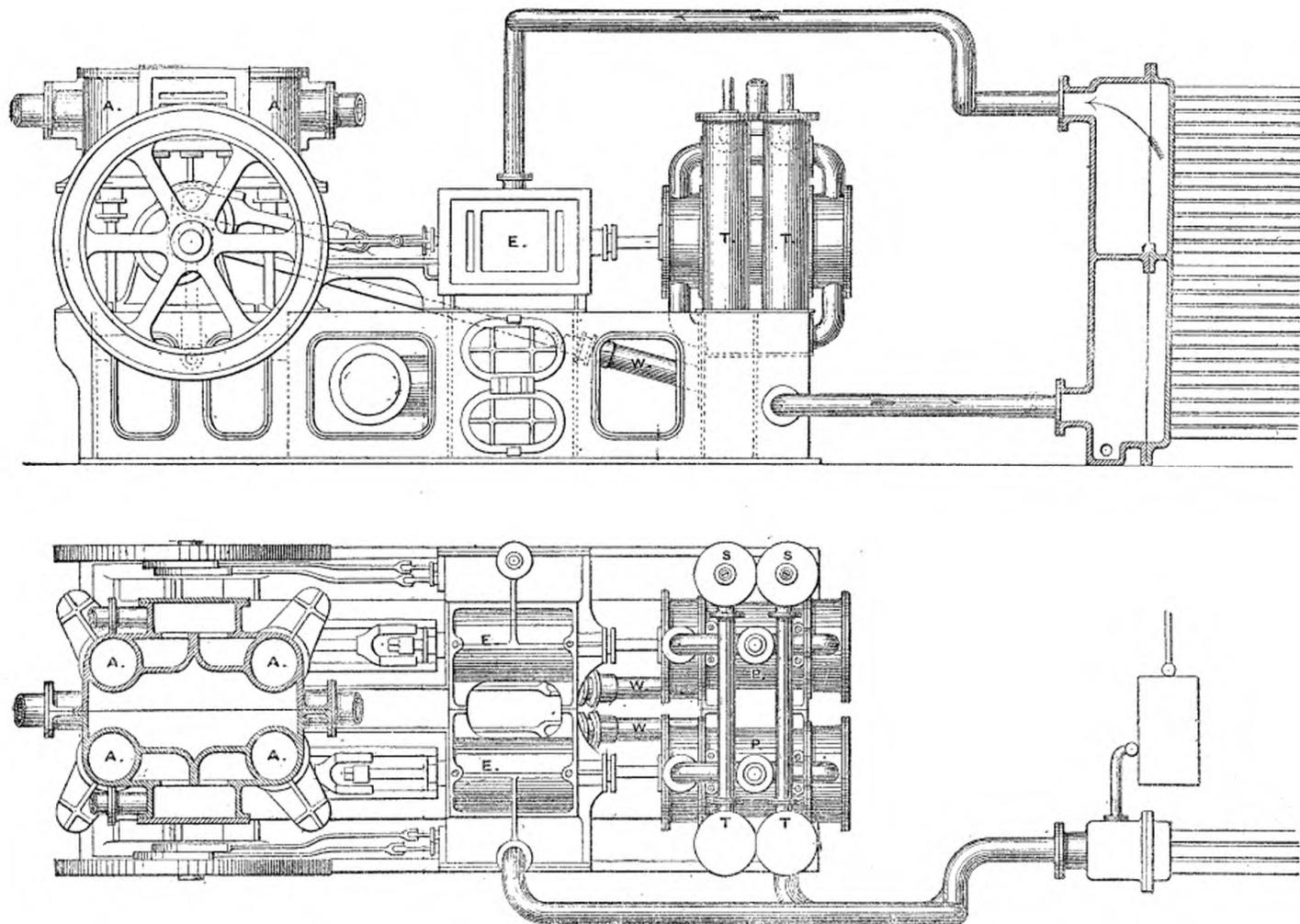


Fig. 146 et 147. — Bell-Coleman, Machine de 1879, type marin.  
 AA cylindres à vapeur jumelés. EE détendeurs. PP compresseurs. (TT ss) tourelles de refroidissement et de séchage de air comprimé.

400  $\times$  400 millimètres de diamètre, actionnés par bielles en retour au moyen de quatre cylindres à vapeur verticaux A A, de 250 millimètres de diamètre et de 400 millimètres de course. L'ensemble, d'une hauteur assez faible pour tenir dans l'entrepont, se compose en réalité de deux machines distinctes, jumelles, et que l'on peut faire fonctionner indépendamment en cas d'avarie, à l'une d'elles. On reconnaît en SSTT les tourelles de saturation et de séchage de l'air comprimé. Une de ces machines fut installée, en 1879, à bord de la *Circacia*, dans une chambre mesurant 540 mètres cubes, et dont les parois étaient soigneusement isolées. Les tubes refroidisseurs-sécheurs enfermés dans cette chambre, étaient disposés exactement dans le sens de la longueur du navire, de manière que leur inclinaison fut aussi peu affectée que possible par la mer. Cette machine pouvait ramener régulièrement de New-York en Angleterre une cargaison de 400 bœufs et d'un grand nombre de moutons, évaluée à 200.000 francs, primitivement gelée à  $-40^{\circ}$  et emmagasinée dans le navire à cette température. Au mois de juillet, quand la température de la mer était, à New-York, de  $30^{\circ}$ , et celle de l'atmosphère de  $38^{\circ}$ , il fallait faire tourner la machine à la vitesse de 100 tours par minute au lieu de 60.

A la suite de cet essai, la compagnie de l'*Anchor Line* prit la résolution de munir de machines frigorifiques à air 30 de ses navires, mais en adoptant, au lieu du type jumelé que nous venons de décrire, le type simple représenté par les figures 148 et 149.

La première machine de ce type fut montée sur le « *Strathleven* » pour un voyage d'essai en Australie. Les compresseurs PP avaient 400 millimètres de diamètre sur 610 millimètres de course, les cylindres à vapeur, A,  $250 \times 610$  millimètres, et le cylindre détenteur unique, E,  $400 \times 610$  millimètres. On voit en W la pompe d'injection d'eau dans les tourelles S et T. Les tubes refroidisseurs-sécheurs, en fer galvanisé sertis dans leurs plaques tubulaires en fonte, occupaient, le long de la muraille du navire, un volume de 9 mètres cubes, dans une chambre froide de 600 mètres cubes, et couvraient une surface de plancher égale à 2 % environ de celle de la chambre. La salle des machines tenait environ  $7 \frac{1}{2}$  % du volume à refroidir. A New-York, avec une température atmosphérique de  $40^{\circ}$  environ, ces machines abaissaient rapidement au-dessous de zéro des chambres de  $18 \times 12 \times 1^m,80$ . Leur vitesse moyenne était de 60 tours par minute, avec une compression de  $2^k,8$  par centimètre carré. — Elles ont fait, de 1880 à 1882, deux cents traversées, et transporté 27000 tonnes de viandes, d'une valeur de 50.000.000, sans aucun accident, marchant jour et nuit sans arrêts.

La machine du « *Strathleven* » importa d'Australie, en février 1879, 34 tonnes de bœuf et de moutons gelés, en ne marchant qu'une partie de la journée, sur une chambre de 120 mètres cubes. — L'expérience a démontré que l'on pouvait doubler le volume de cette chambre en ayant soin d'augmenter le

parois isolantes d'un remplissage de charbon de 250 millimètres d'épaisseur. Ce fut la première importation pratique des viandes gelées d'Australie. D'après MM. Matthew Taylor Brown, qui fit l'essai de ces machines dans leur voyage d'Australie, la température de l'air au sortir du détendeur, à la pression atmosphérique, avec une compression de 4 atmosphères absolues et de l'eau de refroidissement à 10°, était de — 75°. La température d'un quartier de bœuf pris à 20° degrés et mis dans une chambre froide à — 10° tombait, au bout de 5 heures, à 4° à la surface, à 13° à l'intérieur de la viande, et à 10° à 150 millimètres de la surface. En quatre jours, le centre même de la viande tombait à — 1° environ. La traversée d'Australie est d'ailleurs plutôt favorable à cause de la température modérée de la mer depuis Melbourne jusqu'à l'équateur.

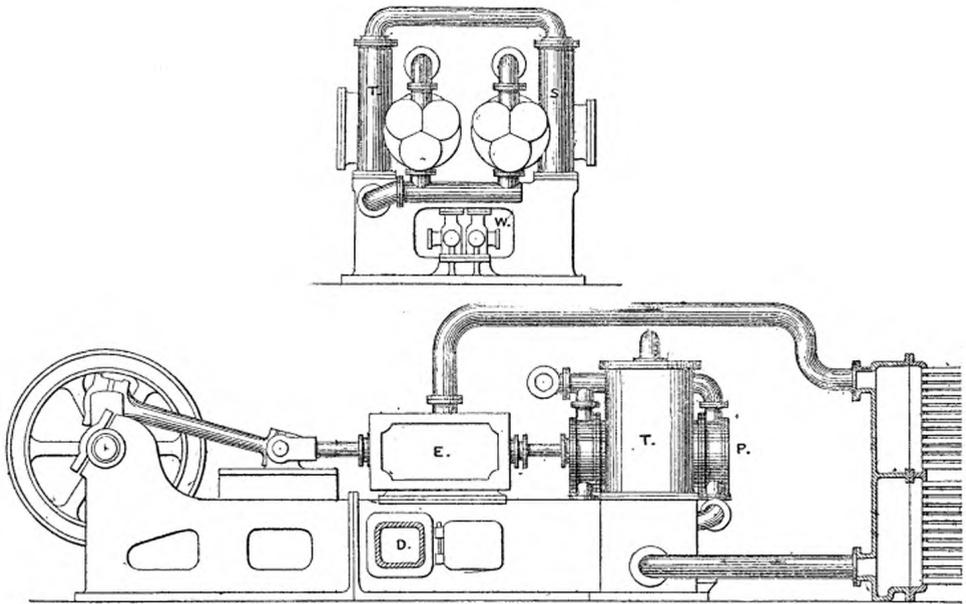


Fig. 148 et 149. — Bell-Coleman, Machine de l'« Anchor Line ». PP compresseurs. EE détendeurs. WW pompes d'injection des tourelles S et T. D snow box.

Parmi les machines les plus importantes installées par MM. Bell et Coleman pour le transport des viandes d'Australie, on peut citer celles du « Poitou » et du « Dunédin », pourvues chacune de deux compresseurs à double effet de 610 × 530 millimètres, débitant 600 litres par tour, ou 2700 mètres cubes par heure à 80 tours par minute. Elles peuvent maintenir à — 30°, sous les tropiques, une cale de 1000 mètres cubes, dont la machine et les tubes sécheurs

occupent environ 75 mètres cubes, et les parois isolantes 225 mètres cubes, ce qui laisse une chambre utilisable de 700 mètres cubes, pouvant emmagasiner, avec un aménagement soigné, 250 à 300 tonnes de viandes.

Les figures 150 représentent le type de machines proposé par MM. Bell et Coleman pour maintenir au froid les provisions d'office des navires. Le compresseur P, de 350 sur 300 millimètres de course et le détendeur E, de  $280 \times 300$  millimètres, sont horizontaux : les cylindres à vapeur A sont verticaux : Ces machines maintiennent à  $-30^\circ$  leur chambre froide, de 60 mètres cubes, et fournissent la glace nécessaire aux passagers.

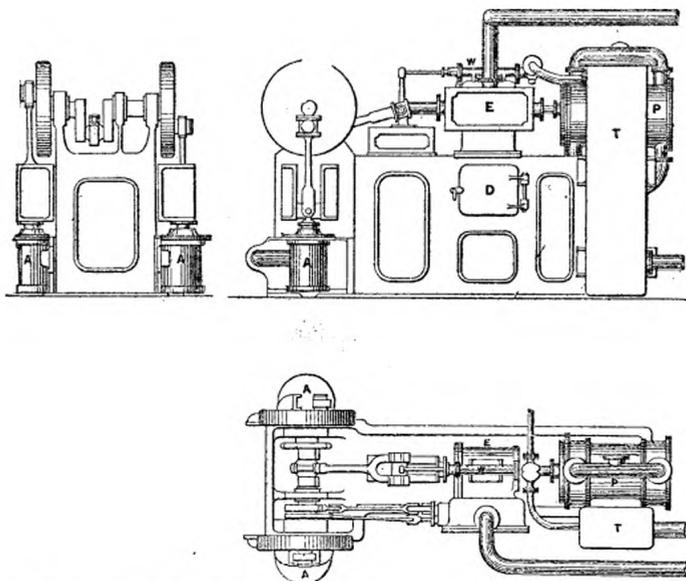


Fig. 150. — Bell-Coleman. Machine de  $60^{\text{m}^3}$  pour office des navires.

AA cylindres à vapeur. P compresseur. E détendeur. W pompe d'injection d'eau à la tourelle T. D snow box.

Dans la machine du même genre représentée par les figures 151, 152, 153, le cylindre à vapeur et le compresseur sont horizontaux, en prolongement, et le détendeur est vertical. On obtient ainsi une meilleure distribution des efforts autour de l'arbre moteur, en même temps que l'on peut loger les tubes sécheurs refroidisseurs dans le socle de la machine.

La machine représentée par les figures 155 et 156, également destinée aux approvisionnements des navires, est plus importante que les précédentes. Le compresseur P a  $355 \times 460$  millimètres de course, et le cylindre moteur A

300 × 460 millimètres ; on peut le faire fonctionner avec ou sans condenseur à surfaces C. Il suffit de la faire marcher quelques heures par jour.

Les abattoirs de Sydney sont pourvus d'une machine Bell-Coleman à deux compresseurs, de 610 × 910 millimètres de course, abaissant, à 80 tours par minute, 3600 mètres cubes d'air de 80°, soit une puissance frigorifique de 80.000 calories négatives par heure. Elles refroidissent de 27° à 4° 100 tonnes de viandes par jour.

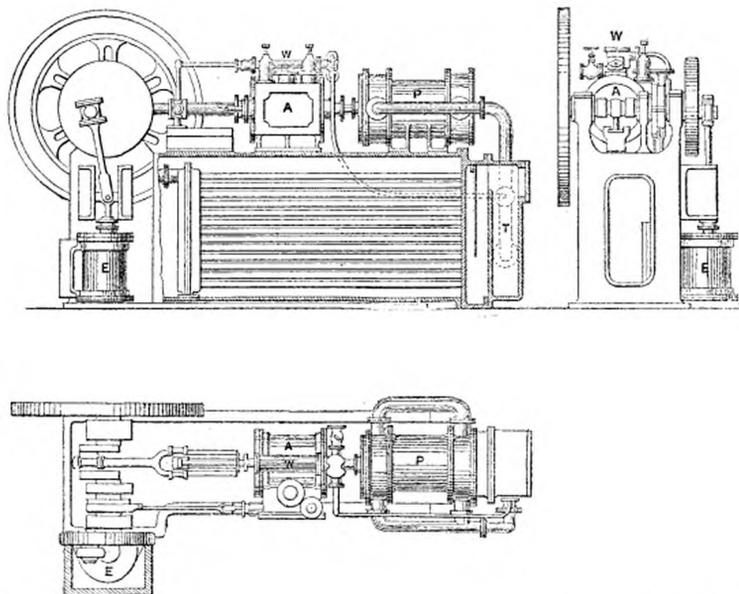


Fig. 151, 152, 153. — Bell-Coleman. Machine pour office des navires. A cylindres à vapeur. P compresseur. E détenteur. W pompe d'injection d'eau à la tourelle T.

La figure 156 représente la disposition générale de la chambre froide établie en 1881 par MM. Bell et Coleman pour le chemin de fer de Furness, à Barrow in Furness ; les parois sont en briques, avec bourrage de charbon de bois entre cloisons en planche ; la lumière vient du nord, au travers de verres bleus. Le plancher surélevé repose sur un sol en cendres battues peu conducteur, et que les rats ne peuvent pas traverser. La chambre mesure à l'intérieur 34<sup>m</sup> × 7<sup>m</sup>,50 × 3<sup>m</sup>,20 de haut. La machine, du type représenté par la figure 148, maintient facilement à zéro, en été, la chambre pleine de bétail arrivé d'Amérique, et fraîchement abattu aux docks en vertu des polices d'importation.

Parmi les appareils anglais qui ont été, à la suite de ceux de MM. Bell-Coleman, appliqués avec le plus de succès à la conservation des viandes à bord

des navires, je citerai ceux de MM. *Hall* (1), *Hick-Hargreaves* (2) et *Light-foot* (3). Ce dernier constructeur a récemment installé à bord du navire *Fifeshire* deux machines pouvant refroidir 2300<sup>m</sup>c d'air par heure à — 50° ou — 60°, suivant la température de l'eau de condensation : ce navire doit rapporter de la Nouvelle-Zélande environ 30000 carcasses ou 900 tonnes de moutons gelés à chaque traversée (4). On estime que la viande reviendra, vendue à Londres, à 0<sup>r</sup>,50 ou 0<sup>r</sup>,40 le kilogramme.

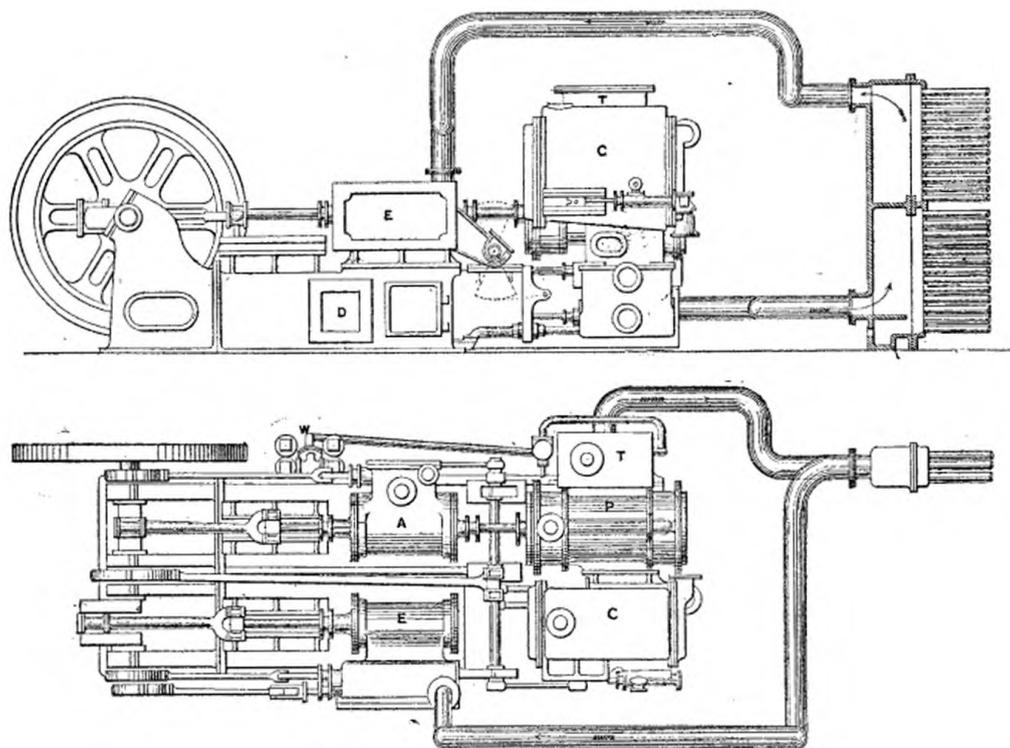


Fig. 154 et 155. — *Bell-Coleman, Machine type marin force moyenne*  
 A cylindre à vapeur. P compresseur. W pompe d'injection d'eau à la tourelle T. E détenteur. C condenseur à surfaces.

Les *docks de Sainte-Catherine*, à Londres, possèdent un dépôt frigorifique des plus importants pour l'entreposition des viandes importées de l'Australie. Le début de l'installation fut des plus modestes. On installe en 1881, dans un sous-sol voûté de 150 mètres de long, une machine de Hall, pouvant refroidir

1. *Engineering*, 31 mars 1882, p. 305.
2. id. 4 août 1882, p. 113.
3. *Ass. of foremen Engineers*, London, 2 juin, 1888.
4. *The Engineer*, 14 octobre 1887, p. 305.

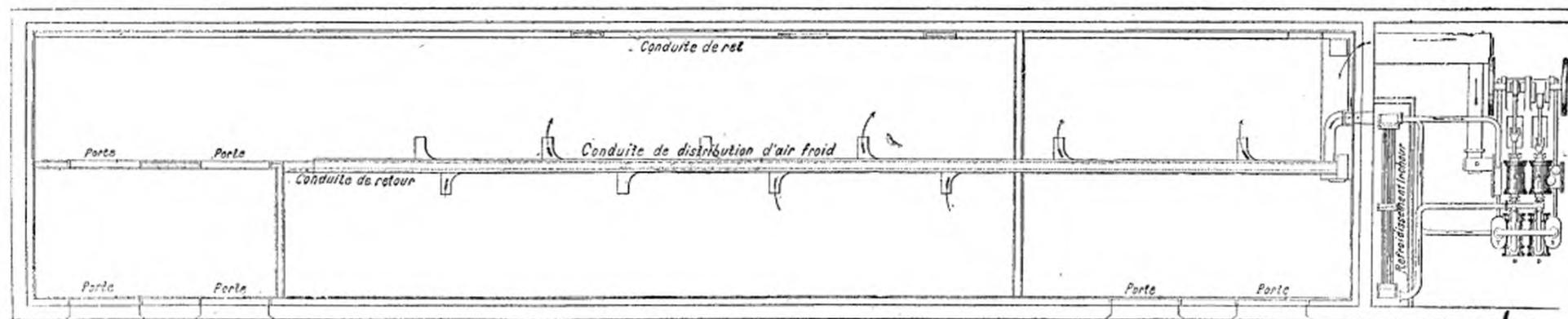


Fig. 156. — *Bell-Coleman*, abattoirs de Furness.

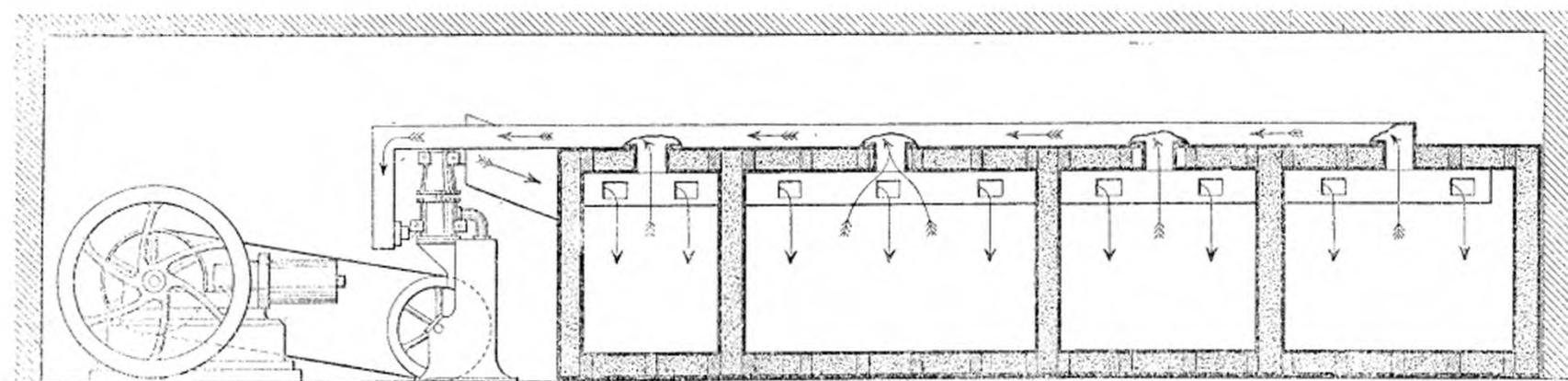


Fig. 157. — *Lightfoot*. Installation de Leadon Hail.

300 mètres cubes d'air par heure, et qui fonctionna jusqu'en 1884 : en 1886, on avait installé 56 chambres froides de 70 à 270 mètres cubes, d'un volume total de plus de 5,550 mètres cubes, pouvant contenir au maximum 56,000 à 59,000 moutons pesant de 30 à 35 kilogrammes : en pratique, en raison des vides indispensables pour le service, la séparation des lots, etc., elles ne renferment, en moyenne, que 44,000 moutons. Les dernières chambres, établies d'après les données de M. Haslam, sont pourvues d'un plancher formé de deux cours de planches l'une, de 30 millimètres d'épaisseur, posée brute sur le béton du sol, l'autre, de 60 millimètres d'épaisseur, soigneusement assemblé et séparée de la première par des madriers de  $75 \times 110$  d'épaisseur, espacés de 300 millimètres. — Les parois et le plafond sont construits en madriers de  $140 \times 76$  millimètres, fermés à l'extérieur par un placage en planches de 50 millimètres d'épaisseur, et à l'intérieur par un double placage de 30 millimètres, garni entre les planches d'un papier goudronné spécial. L'intervalle de 140 millimètres compris entre les placages intérieurs et extérieurs est rempli de charbon de bois en poudre soigneusement pilé et séché — il en est de même pour l'intervalle de 110 millimètres qui sépare les deux planchers. L'air amené des machines par des conduites en bois, entre par le plafond à l'une des extrémités de la chambre, et en sort, à l'extrémité opposée, par un tuyau d'aspiration débouchant aussi au plafond. Il faut enlever la neige de ces conduites toutes les vingt-quatre heures, et celle des *snow-boxes* des machines toutes les quatre heures. — On a eu soin d'éviter les coudes des conduites, et les chambres sont assez bien isolées pour ne s'élever, en cas d'arrêt de la machine, que de 3°,5 en 24 heures, après avoir été remplies de viandes gelées. — La neige retiré des *snow-boxes* et des conduites sert à refroidir l'eau de condensation des machines.

L'installation comprenant, en mai 1886, quatre machines Haslam de 1,800 mètres cubes à l'heure et trois machines Hall de 900 mètres cubes.

Aux magasins de l'une des jetées : la jetée A, l'une des machines Haslam, de 1,800 mètres cubes, travaille sur 15 chambres, d'une capacité totale de 1,450 mètres cubes, pouvant tenir 11,000 moutons de 35 kilogrammes, mais n'en prenant en moyenne que 8,000 à 9,000. La machine marche 20 heures sur 24, pour permettre le nettoyage des conduites, *snow-boxes*, clapets etc. La vitesse moyenne est de 80 tours par minute, avec une compression de 3 atmosphères, La température de l'air aux *snow-boxes* est de  $-45^\circ$ , et l'on maintient celle de salle à  $-8^\circ$  environ. — On obtient ainsi, à égalité de charbon brûlé, plus de froid qu'en marchant à une compression de 3 atm.,50 et avec une température de  $-50^\circ$  aux *snow-boxes*. — Sur la même jetée, deux machines Hall de 900 mètres cubes refroidissent de même quinze autres chambres. Les trois machines dépensent 4,500 kilogrammes de charbon par 20 heures, soit environ 0°08 de charbon par mètre cube et par heure.

La jetée B est desservie par deux des machines Haslam de 1,800 mètres cubes, qui travaillent sur 24 chambres d'une capacité totale de 2,700 mètres cubes; elles marchent à 70 tours avec une compression de 4<sup>h</sup>800, une température de — 45° aux snow-boxes, une consommation de 4,500 kilogrammes de houille par 20 heures, et les mêmes résultats pratiques que les machines de la jetée A.

L'air s'échauffe très vite dans les conduites. On pouvait maintenir les premières chambres auprès des machines froides en ne leur donnant que très peu d'air, presque par le rayonnement seul des conduites, mais il fallait augmenter considérablement les ouvertures de débit et d'aspiration de l'air à mesure que l'on s'éloignait de la machine, jusqu'à la distance extrême de 55 mètres. La température dans les conduites de refoulement d'air froid s'élevait d'environ 0°,10 par mètre.

En pratique, il faut dépenser par heure environ 1<sup>m</sup>3,1/2 d'air à — 45° au sortir des machines pour maintenir à — 8° un mètre cube de viandes à 30 mètres en moyenne des machines, en tenant compte des pertes par les manutentions: dans une chambre constamment fermé, il suffirait d'un mètre cube d'air par mètre cube de viandes.

La figure 157 représente une petite installation frigorifique de M. *Light-foot*, établi à *Leaden Hall Market* pour conserver, en parties gelées et en partie non gelées, environ 20 tonnes de viandes. — La machine frigorifique verticale du type représenté par les figures 59, page 150, est mue par un moteur à gaz Otto, qui ne dépense que 1 fr. 75 de gaz par heure, et ne fonctionne que 3 à 6 heures par jour. La température monte un peu la nuit, et du samedi au lundi, mais jamais assez pour obliger à travailler le dimanche.

Comme nous venons de le voir, à bord des navires, l'air nécessaire à la réfrigération des viandes est produit presque toujours directement par une machine frigorifique à air. On n'a que rarement essayé de produire cet air indirectement par son passage au travers d'un frigorigère actionné par une machine à gaz liquéfié, à ammoniac par exemple: les raisons en sont l'encombrement de ces appareils et leur dépendance d'une provision limitée d'un produit chimique.

Il n'en est pas de même à terre, où ces raisons n'ont, dans les climats tempérés et dans les pays industriels, aucune portée, de sorte que rien n'empêche de profiter autant que possible de l'économie des machines à gaz liquéfiées, aussi bien pour la fabrication de l'air froid que pour celle de la glace. Nous citerons, comme exemple, l'application faite en 1885, à l'entrepôt des *Victoria Docks* de Londres, d'un frigorigère *Chambers* (voir p. 262) capable de refroidir par heure 7200<sup>m</sup> à — 18° avec une puissance de 32 chevaux, tandis qu'il aurait fallu environ 90 chevaux pour produire le même résultat avec une machine à air.

Les compresseurs verticaux D.D.DD, (pl. 16) des deux machines à ammo-

niac qui alimentent le frigorifique Chambers aux Victoria-Docks sont à simple effet, à joints d'huile; ils ont 230 millimètres de diamètre, et sont actionnés

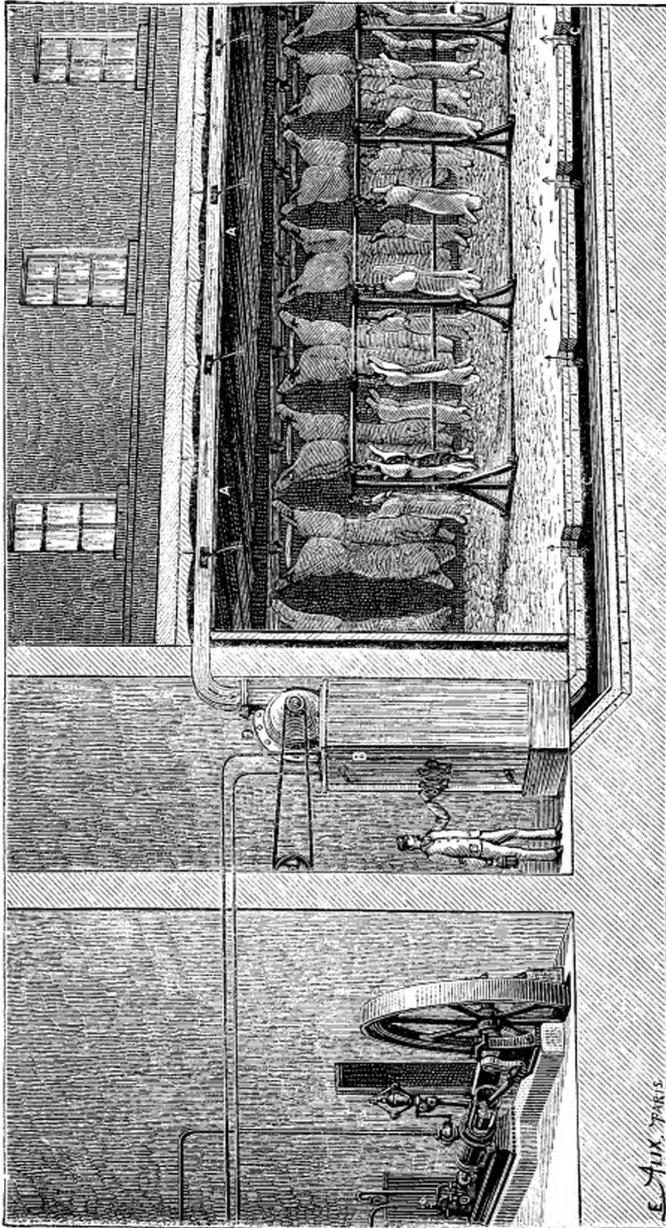


Fig. 158. — *Frigorifère Fixary*

B, frigorifique. A, tuyau d'aspiration. C, refoulement. D, ventilateur.

directement à 100 tours par minute par les manivelles des deux compound verticales E B, à cylindres de 230 et 355 millimètres de diamètre. La puis-

sance de ces machines est, en marche normale, de 32 chevaux. Le condenseur et le réfrigérant sont cylindriques et de mêmes surfaces de serpentins. Le réfrigérant refroidit une dissolution de chlorure de magnésium que l'on fait circuler autour des tubes du frigorigère.

Ce frigorigère est divisé en quatre compartiments renfermant en tout 900 tubes en U, en cuivre, de 25 millimètres de diamètre intérieur et de 3 mètres de long en moyenne (217 mètres carrés de surface) traversés par l'air de la chambre à refroidir, et entourés par une circulation du liquide incongelable du réfrigérant, comme nous l'avons expliqué, p. 262. On débite ainsi par heure en marche normale 7,200 mètres cubes d'air à  $-18^{\circ}$  au sortir du frigorigère; l'air de la chambre froide toujours le même étant maintenu à  $6^{\circ}$ , on peut compter sur une dépense de 23,000 calories négatifs par heure: ou de 720 calories par cheval-heure indiqué.

Les appareils *Fixary*, qui produisent aussi (p. 263), mais d'une manière différente, l'air froid sec et renouvelable à volonté par le jeu d'un frigorigère à gaz liquéfiés, sont actuellement l'objet d'applications importantes aux maisons de préservation de Lisbonne, de Crefeld, et aux halles de Bruxelles.

Un conduit d'aspiration A (fig. 158), placé dans le haut de la salle, aspire l'air à refroidir. Cet air, à son passage dans le frigorigère B, s'y sèche, s'y purifie, et est refoulé dans la salle, refroidi à plusieurs degrés au-dessous de zéro, par le conduit C. En raison de sa densité, l'air froid ne monte qu'au fur et à mesure que l'aspiration supérieure produit un vide partiel, et détermine par conséquent un tirage naturel, lequel finit par établir dans toute la salle l'équilibre de température. Une déviation spéciale de la conduite d'aspiration permet au ventilateur D d'aspirer de l'air en dehors de la salle, pour renouveler au besoin l'air du local.

La *Société des Constructions mécaniques spéciales* avait exposé dans l'emplacement réservé au Ministère de la Guerre, sur l'Esplanade des Invalides, un pavillon frigorigère pourvu d'un frigorigère *Fixary* de 5000 calories à l'heure dont l'ensemble est représenté par les figures 158-160 et par la planche 15. La machine frigorigère, à deux cylindre à simple effet  $130 \times 300$  millimètres, du type décrit à la page 210, marchant à 85 tours par minute. Le frigorigère, à trois serpentins de tubes de  $27 \times 34$  millimètres, présentait une surface réfrigérante totale de  $25^{\text{m}^2}$ . La salle de conservation avait une capacité de  $50^{\text{m}^3}$ .

La Chambre Syndicale de la Boucherie de Paris exécuta avec ce frigorigère, pendant trois mois des expériences de conservation des viandes dont nous empruntons les principaux détails au rapport du président de la Chambre Syndicale, M. Lioré.

Le point capital, sur lequel nous avons concentré nos expériences, a été, nous le répétons, pour dissiper toute équivoque, la conservation de la viande, à l'état frais, sans aucune congélation.

Sur ma proposition, la Chambre syndicale de la Boucherie de Paris et du département de la Seine, décida de faire des expériences pour rechercher le meilleur procédé de conservation des viandes par le froid, sans les geler. Une commission fut nommée pour déterminer les meilleures conditions dans lesquelles devaient être faites ces expériences, et contrôler les résultats. MM. Lioré, Yvon, Bezançon, Petit et Bary furent chargés de cette mission.

Voici le compte-rendu des travaux de cette commission et les résultats de ces opérations, consignés jour par jour.

*Mercredi 24 juillet 1889.* — On achète la viande nécessaire pour les expériences, qui ont été faites dans la chambre froide, système Fixary, installée à l'Esplanade des Invalides pendant la durée de l'Exposition universelle, par la Société des constructions mécaniques spéciales, rue Lecourbe, 242. Il y avait un quartier de derrière de bœuf, 4 moutons et une fressure. Le poids de ces quatre moutons était de 104 kilos. Le quartier du derrière de bœuf pesait 84 kilos. Cette viande provenait d'animaux abattus le même jour à neuf heures du matin. Chargée sur une voiture à deux heures de l'après-midi, cette viande quittait l'abattoir de la Villette et arrivait à trois heures à l'Esplanade des Invalides.

Une demi-heure après, elle était installée dans la chambre froide. L'expérience commençait.

Pour bien déterminer les conditions les plus favorables à la conservation des viandes, chaque mouton fut placé dans des conditions spéciales.

Un mouton fut disposé dans cette chambre sans avoir été dégraissé ni écasillé. Il pesait 26 kil. 250; c'était le plus lourd.

Le second mouton, qui pesait 25 kilos, fut dégraissé: il était d'ailleurs un peu gras.

Le troisième mouton, également gras, moins lourd, fut également dégraissé. Son poids était de 23 kil. 250.

On écasilla le quatrième mouton qui, d'aussi bonne qualité que les précédents, leur était inférieur comme état de graisse. Il ne pesait que 21 kilos.

Pour éviter toute confusion, chacun de ces moutons fut pourvu d'une marque spéciale, soit au gigot, soit à l'épaule.

Quant au quartier de derrière de bœuf, qui pesait 84 kil. 200, il fut également dégraissé, et la bavette détachée.

*Lundi 19 août.* — Le thermomètre remonte à + 25°, la température devient très orageuse et exerce une influence des plus défavorables pour la conservation de la viande dans les étaux. Cette influence ne se fait nullement sentir dans l'intérieur de l'entrepôt et les viandes ne s'en ressentent pas.

*Vendredi 23 août.* — Température bonne, fraîche, favorable à la conservation de la viande. A midi, le thermomètre ne marque plus que + 18°.

Le quartier de bœuf, dont la couverture a conservé toute sa blancheur, est dans un parfait état de sécheresse.

La graisse elle-même commence à se dessécher et ne dégage aucune mauvaise odeur. Sur les deux autres moutons qui n'ont pas été dégraissés et que la Commission a décidé de couper en morceaux pour constater leur état de conservation, nous remarquons, qu'à part le dessous des hampes qui, fatalement, ne pouvait pas se conserver longtemps, toutes les autres parties s'étaient convenablement ressuyées et desséchées.

Le mouton qui n'était pas écasillé était dans un parfait état de conservation. Quant à l'autre, le quasi des gigots avait noirci.

Sur le gros mouton, nous relevons une perte de poids de 2 kil. 550 gr. A l'entrée dans la chambre frigorifique, il pesait 26 kil. 230 et ce jour son poids n'atteignait plus que 23 kil. 700, soit une perte de 9.70 p. 100.

Le petit mouton, au contraire, avait éprouvé une perte de 2 kil. 600. De 21 kilos, poids initial de l'expérience, nous descendons à 18 kil. 400, soit une perte de 12.48 p. 100.

Ce petit mouton a donc proportionnellement perdu beaucoup plus de poids que le gros, puisque plus petit, il perd 50 grammes en plus, et qu'il pesait 6 kilos de moins au début de l'expérience. Cet écart appréciable provient de ce qu'il a été écasillé, et a ainsi fourni une plus grande surface d'évaporation. Il a séché davantage. Aussi pouvons nous dès maintenant établir, en thèse gé-

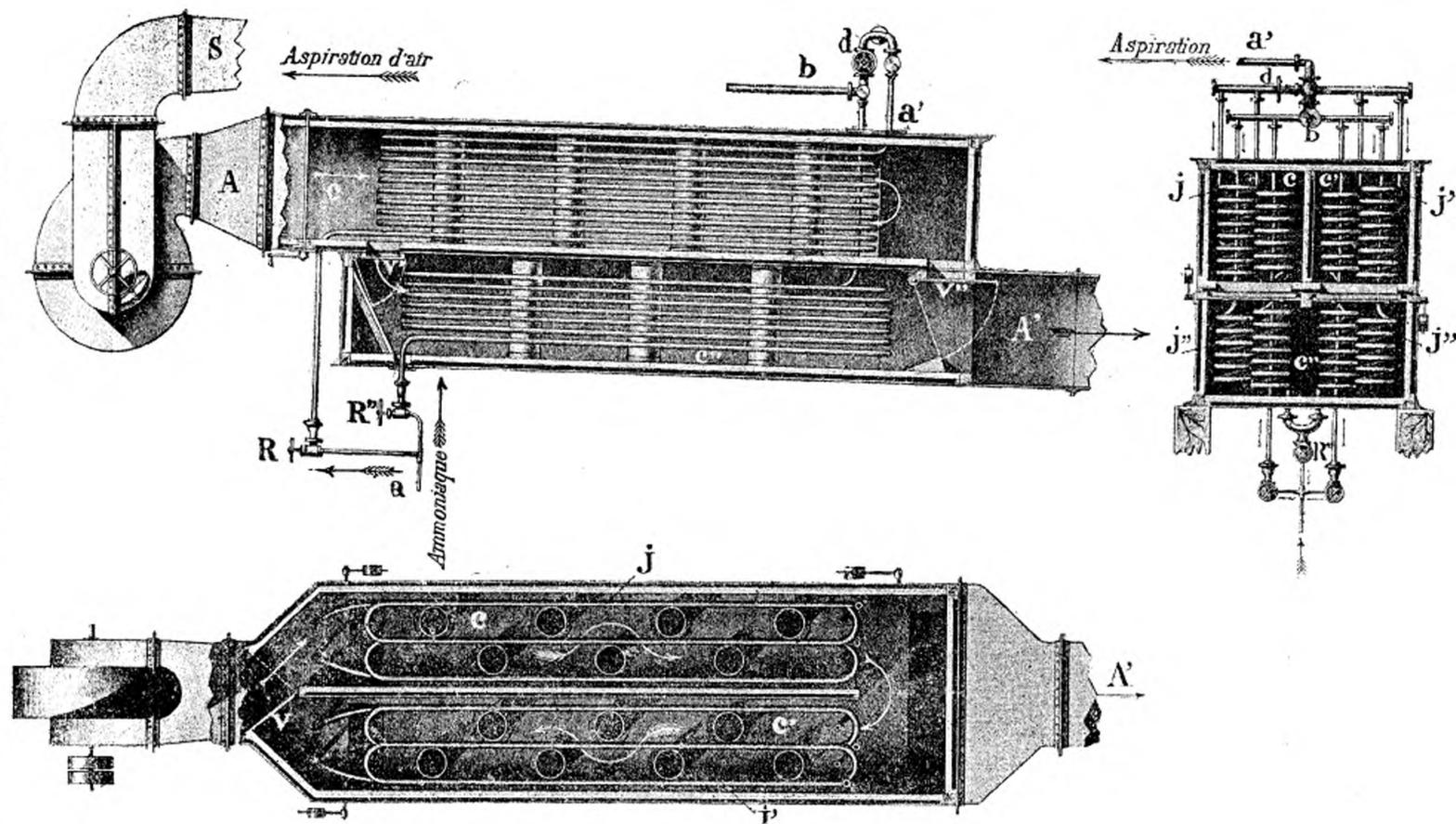


Fig. 159. — *Frigorifère Fixary à trois compartiments*. Coupe longitudinale. Plan et coupe transversale.

S, aspiration de l'air de la chambre froide, AA', refoulement de l'air dans la chambre froide au travers du frigorifère suivant les compartiments *c* et *c''* ou suivant *c'* et *c''* selon la position de la vanne directrice *V*. JJ'J'', serpentins des compartiments *cc'c''*. *V'*, vanne de séparation du compartiment *c''*. *V''*, vanne régulatrice du débit d'air froid.

*a*, tuyau amenant l'ammoniac liquide aux robinets détenteurs RR'R'' des serpentins, JJ'J'' d'où il revient à l'aspiration du compresseur par le tuyau *a'*.

*b*, tuyau de dégivrement auxiliaire, permettant de refouler directement et sans détente l'ammoniac chaud du compresseur aux serpentins du frigorifère, en ouvrant le robinet *d*.

nérale, que les gros moutons perdront toujours moins de poids que les petits, et que cette perte s'effectuera en raison directe de la surface d'évaporation. On aura donc tout intérêt à maintenir les animaux entiers, sans les écasiller.

Ce même jour, on a donc fendu ces deux moutons et on les a coupés en morceaux.

Le gros mouton avait très belle apparence. Ces gigots, qui n'avaient pas été écasillés, présentaient à la coupe un aspect remarquable de fraîcheur. Toutes les parties étaient belles, en parfait état de conservation, à part, toutefois, le dessous de la hampe, qui, comme nous l'avons déjà dit, avait pris une teinte jaunâtre.

Les rognons retirés de leur enveloppe de graisse avaient conservé leur état de fraîcheur; on pouvait facilement les admettre comme provenant d'un mouton ayant au plus deux jours de tuerie.

Nous constatons également sous la graisse des rognons la présence d'une fraîcheur du meilleur aloi, qui avait maintenu les filets dans un état parfait de conservation. Le seul défaut que nous ayons enregistré consiste dans la teinte noirâtre qu'avaient prise la peau du filet et la poitrine du mouton: et encore ce défaut n'était pas très sérieux, puisqu'il n'avait pas enlevé aux parties indiquées leur valeur commerciale.

En résumé, les morceaux de ce mouton débité conformément aux usages de la boucherie ne différaient en rien de ceux des moutons qu'en hiver, avec une température de + 4 à + 8 degrés, nous débitons après cinq à six jours de tuerie. Le boucher le plus expérimenté n'eut pu assigner à ce mouton une telle durée de conservation, et nous ne pensons pas qu'il eût attribué plus de huit jours de tuerie à ce mouton, qui avait été cependant conservé depuis un mois.

Le petit mouton, qui avait été écasillé, ne se présentait pas sous un aspect tout à fait aussi favorable. Tout le pourtour des gigots et du quasi était desséché et avait revêtu une teinte foncée, noirâtre. On eût dit un mouton ayant huit jours environ de tuerie pendant la saison d'hiver, abstraction faite des gigots et du quasi. Le reste du mouton s'était comporté dans les mêmes conditions que les précédents.

Lorsque les carrés furent parés, on eut pu les comparer avec des carrés frais. C'était à s'y méprendre.

Les épaules avaient pris une teinte foncée et la graisse apparaissait avec une couleur bise.

Un gigot fut désossé, l'intérieur était en parfait état de conservation.

J'ai détaillé des côtelettes et une épaule, et personne n'a soupçonné que cette viande avait été conservée aussi longtemps.

Pour accentuer l'expérience, j'ai tenu accrochés dans l'étal, pendant vingt-quatre heures, un quartier du gros mouton, un carré et une épaule. Rien ne fut abîmé; quelques parties s'étaient desséchées un peu, avaient revêtu une teinte plus foncée, mais il n'y a là rien d'anormal, puisque, par la température chaude, la viande fraîche, coupée la veille, noircit toujours un peu au bout de quelques heures.....

*Lundi 2 septembre.* — A huit heures et demie du matin, M. Lioré se rend à l'Esplanade des Invalides pour retirer le morceau d'ailoyau qui doit composer le rôti du dîner de la Commission. *Il constate que les deux coupes qui avaient été pratiquées, au lieu d'être foncées, avaient pris une teinte rosée de viande fraîche.*

Le quartier de bœuf et les moutons étaient toujours dans le même état, mais avec une apparence moins belle.

M. Lioré, ayant apporté chez lui le morceau d'ailoyau, l'examina minutieusement. De la partie supérieure de la couverture, se dégageait une légère odeur qui aurait passé inaperçue auprès d'une personne non initiée aux habitudes, aux connaissances de la profession. L'échine, au contraire, exhalait une odeur comparable à celle d'une viande qui aurait longtemps séjourné dans un endroit clos. Ce n'était pas une odeur de moisi, mais bien une odeur de renfermé: ce terme qualifie mieux ma pensée, l'impression que j'ai ressentie: en un mot, l'odeur d'une pièce qui n'a pas été ventilée depuis longtemps.

Dans la bavette. L'humidité avait gagné la viande sur une étendue de deux à trois centimètres. Pour rendre cette partie commerciale, il a donc fallu rafraîchir la première coupe de l'aloïau sur une étendue de 3 à 4 centimètres.

M. Lioré coupa donc un morceau de 3 kilos environ qui fut réservé pour le rôti, et un morceau de bavette de 1 kil. 970 pour le pot-au-feu. Le bifteck pesait environ 650 grammes.

Le restant de l'aloïau fut désossé, débité à mon étal et vendu comme des faux-filets à des clients qui ne me présentèrent jamais aucune observation sur la qualité de la viande qui leur avait été livrée. D'ailleurs, *un boucher même aurait pu s'y méprendre, et considérer cette viande comme n'ayant que quelques jours de tuerie seulement.*

Pour être bien édifié sur la situation de cette viande, je me rendis chez M. Labour, un confrère des plus compétents, et lui demandai de vouloir bien me donner son appréciation sur la qualité de la viande et sur le nombre de jours de tuerie qu'elle pouvait avoir. Je lui présentai un morceau de faux-filet de 2 kil. 500 environ, qu'il examina dans tous les sens.

Voilà quelle fut sa réponse :

« C'est de la bonne viande que l'on peut donner à tout le monde, sans crainte de reproches. Elle a environ de deux à trois jours de tuerie. Cependant, si elle a été conservée dans un timbre-glacière quelconque, elle peut avoir deux à trois jours de tuerie de plus. Elle est ferme et belle. »

On comprendra la surprise de M. Labour, lorsque je lui fis connaître que *cette viande avait 43 jours de conserve.*

Le soir assistèrent au banquet de dégustation :

MM. Bary, Bezançon et moi, tous trois représentant le commerce de la boucherie.

MM. de Stoppany et Mille, ingénieurs, de la Société des constructions mécaniques.

MM. Biard et Lioré, cuisiniers.

Le morceau de bavette de 1 kil. 970 avait été mis dans le pot-au-feu à une heure et demie de l'après-midi. La cuisson fut continuée jusqu'à 7 heures du soir. Nous pouvons déclarer hautement que le bouillon était parfait, exquis, sans aucun mauvais goût. Personnellement, je n'aurais pas pensé obtenir un pareil bouillon avec cette viande, et, si le pot-au-feu n'avait pas été préparé chez moi, je n'aurais pas cru au succès de cette expérience.

Le bœuf bouilli était très comestible. Deux des convives attribuèrent un léger mauvais goût au gras : je ne m'étonnais pas du fait, car le gras incriminé était à proximité de la coupe que j'avais dû rafraîchir. Les autres convives se déclarèrent satisfaits de la qualité et du goût de la viande qui leur avait été servie. Elle ne provenait pas, en effet, du même endroit. Les deux convives qui s'étaient plaints du gras de la coupe, furent invités à goûter du gras pris sur un autre point de la bavette. Après dégustation, ils le reconnurent bon, parfait, d'une saveur agréable. L'expérience était concluante.

Je fis servir en même temps sur la table deux biftecks de provenance différente. L'un avait été coupé sur le quartier de derrière conservé depuis 43 jours, tandis que l'autre avait été pris sur un des bœufs exposés dans mon étal. Tous deux furent cuits côte à côte dans la même poêle.

On les apporta ensemble sur la table, et là je les coupai séparément. La coupe resta la même, c'est-à-dire bien rosée pour chacun d'eux ; *il eut été à ce moment impossible de les différencier.* Le boucher le plus expérimenté, le plus habile cuisinier, le plus fin gourmet n'auraient pu se prononcer hardiment et sûrement sur la provenance de chacun, tellement la ressemblance était frappante.

Seule, *la mache* a pu permettre à mes convives de se prononcer en connaissance de cause, et encore cette distinction reposait non pas sur les conséquences de la conservation, mais bien sur la différence de qualité de la viande : en effet, le bifteck provenant de mon étal, était de qualité supérieure.

Le bifteck de conserve parut de sa nature plus sec, et surtout moins moelleux ; il ne pouvait donc supporter la comparaison avec le bifteck frais qui était plus gras, plus mûr et surtout plus fin.

L'aloïau avait un défaut, celui d'être trop cuit, et cependant tous mes con-

vives le déclarèrent excellent. *Il présenta la teinte rosée, particulière aux viandes fraîches.* On dégusta successivement le faux-filet, puis le filet: le tout fut reconnu très bon. Mais le gras du faux-filet qui se trouve à la jonction de la bavette présentait un léger goût; qu'il en soit, l'ensemble de l'ailoyau était bon, et personne n'eut pu attester, sans être prévenu, que cet ailoyau avait été conservé si longtemps.

C'est donc pour nous un fait bien acquis, et nous pouvons l'affirmer hautement, *qu'il est possible de conserver la viande à l'état frais dans des entrepôts dont la température sera maintenue entre + 1° et + 4°, à la condition toutefois de la préserver contre toute humidité.*

*Pendant une période de 30 à 40 jours, la viande conserve non seulement ses propriétés comestibles, mais aussi sa qualité commerciale.* Lorsqu'elle est rafraîchie, puis coupée en morceaux, personne ne peut évaluer la durée de la conservation de cette viande, *puisque'elle présente tous les signes de la viande fraîche.*

Le lundi, cette viande a été retirée de l'entrepôt par un temps lourd, orageux. Le thermomètre marquait de + 26 à + 20°. L'ailoyau est resté en contact avec l'air ambiant de 8 heures du matin à 6 heures du soir, sans éprouver aucun changement de couleur....

Le mouton fut fendu, puis découpé selon les habitudes de la boucherie.

L'intérieur était très noir, mais les nouvelles coupes présentèrent une apparence de fraîcheur en tout semblable à celle constatée sur les moutons frais. Les poitrines trop desséchées ne purent être livrées à la consommation; mais il n'en fut pas de même des épaules, des côtelettes et des gigots qui, ayant conservé leurs qualités comestibles, furent, avec avantage, utilisés pour la consommation. J'ai mangé une côtelette et je déclare qu'elle me parut juteuse, aussi bonne que n'importe quelle autre côtelette provenant d'un mouton frais: à plus forte raison, sans être prévenu, on n'eut pu en faire la différence. Le mouton qui pesait au début 21 kil. ne pesait plus en sortant de l'entrepôt que 18 kil. 40: soit une perte de 2 kil. 60 ou de 12,38 0/0 après 52 jours de conservation.

M. de Stoppani, ingénieur de la Société des constructions mécaniques, exprime le désir de connaître comment pourrait se comporter en voyage un mouton retiré de la chambre frigorifique. Après une journée passée en chemin de fer: ce mouton, pourra-t-il se maintenir dans son état de conservation? Il y avait là une inconnue à dégager. C'était une grave question. Le succès ou l'insuccès de cette expérience devait faire triompher ou anéantir nos expériences basées sur le maintien de la conservation de la viande à l'état frais. Je m'engageai donc à faire l'expérience et pour donner plus de poids, plus d'autorité au résultat de cette expérience, il fut décidé que j'effectuerais le parcours entier du chemin de fer de grande ceinture après avoir fait enregistrer ce mouton aux bagages.

*Lundi 16 septembre.* — Le mouton est enveloppé de linge, entouré de paille fraîche, puis placé dans un panier dont la partie supérieure est fermée par une toile d'emballage, comme cela se pratique dans les envois de viandes aux Halles centrales.

A six heures et demie du matin, accompagné de ce colis, je me fais conduire à la gare de l'Est. Je prends un billet pour Noisy-le-Sec; mon mouton est placé aux bagages. Arrivé à huit heures à Noisy, je reprends le train de grande ceinture qui doit me conduire à Juvisy en passant par Saint-Denis, Saint-Germain et Versailles. A midi, j'arrive à Juvisy, où je déjeune après avoir laissé mon colis à la consigne. A trois heures et quart, je quitte Juvisy, à destination de Paris, je retire mon mouton des bagages, et je le fais transporter chez moi, 91, rue de la Boétie, où j'arrive à 5 heures et demie.

Le mouton a donc voyagé, étant emballé, pendant douze heures.

Nous avons été favorisé par la température qui, ce jour-là, s'est maintenue favorable à la conservation de la viande, pendant toute la durée de l'expérience. Le thermomètre qui ne marquait que + 5° à sept heures du matin n'a pas dépassé + 15° dans le cours de la journée.

A six heures du soir, je fis fendre ce mouton. Une moitié fut conservée intacte, l'autre moitié fut partagée en deux morceaux. La moitié intacte resta

suspendue à l'étal, tandis que les deux autres morceaux furent déposés dans le timbre glacière, système Goodell.

La température de la nuit fut favorable, et la viande se maintint en parfait état, aussi bien dans l'étal que dans le timbre.

*Mardi 17 septembre.* — Dès le matin, je découpe en morceaux ce mouton fendu la veille. Les coupes avaient très belle apparence, preuve indéniable de la parfaite conservation, tandis que toute la surface de la viande était desséchée, raccornie même, en un mot, avait perdu son aspect commercial. Je coupais la selle des gigots et la préparais en côtelettes. Elles furent vendues et acceptées comme telles par mes clients. Personne ne le remarqua, et je ne reçus aucun reproche.

Les gigots furent envoyées chez un gérant des grands Bouillons de Paris et consommés dans ces Bouillons. Il m'aurait été difficile de les vendre entiers à mes clients, en raison précisément de l'état de sécheresse et de la couleur foncée de la couche superficielle de ces gigots. En les adressant à ce gérant, je m'assurais ainsi que cette viande n'avait pas perdu son goût, et qu'elle était acceptée sans répugnance par le consommateur non prévenu.

Je débitais à ma clientèle les côtelettes. Les trois premières découvertes durent être épluchées avec soin : j'enlevais l'os de l'échine sur presque toute sa longueur. Un commencement de détérioration s'était manifesté sur la partie de la viande qui couvre l'échine des côtes découvertes dans l'intérieur du mouton.

Le collet débarrassé de la saignée était bien vendable.

Mais je ne pus tirer aucun parti des poitrines et de la peau du filet de mouton, en raison de leur état de sécheresse.

Pour constater la déperdition résultant de la longue durée de conservation, je l'avais pesé avant de le découper. Au lieu de 23 k. 250, poids constaté à son entrée dans la chambre froide, il ne pesait plus que 19 k. 650, soit une perte de 3 k. 600. Ce mouton a donc perdu 15,05 0/0 de son poids total pendant les cinquante-six jours de conservation.

En présence de ces expériences, nous pouvons donc affirmer que l'on peut conserver un mouton pendant une durée de 30 à 40 jours à la température de +1 à +4°. Pour assurer le succès de cette conservation, il faudra remplir les conditions suivantes :

- 1° Ne pas l'écasiller.
- 2° Ne pas le dégraisser,
- 3° Eviter qu'il soit mouillé,
- 4° Enlever la hampe et l'onglet.

Du lundi 16 au vendredi 31 septembre, la température se maintient fraîche, presque froide, le thermomètre variant à sept heures du matin entre +4 et +6° et dans l'après-midi entre +13 et +18°.

*Jeudi 20 septembre.* — On coupe sur la cuisse un morceau de rumsteck de 5 kilos environ.

M. Richard, ingénieur directeur de la Société des constructions mécaniques spéciales, accompagné de M. Hirsch, ingénieur, membre de la Commission d'études des procédés de conservation des viandes par le froid, au ministère de la Guerre, ont fait couper sur la cuisse un morceau de rumsteck d'environ 5 kilogrammes qu'ils ont fait cuire. Nous renvoyons nos lecteurs à la lettre ci-contre, qui résume leurs impressions.

« Monsieur Liore,  
Président de la Chambre syndicale de la Boucherie de Paris,

« En réponse à votre lettre honorée datée du 26 courant, je m'empresse de vous confirmer les résultats de l'expérience de dégustation que nous avons faite, de concert avec M. Richard, le 20 septembre dernier.

« Un morceau de viande a été, sous nos yeux, détaché d'une cuisse de bœuf pendu dans la chambre frigorifique installée à l'Esplanade des Invalides, ce morceau a été immédiatement cuit, mangé par nous, et le goût en a été trouvé parfait ; la viande était succulente, et ne présentait au goût aucune différence avec la viande fraîche ; en un point seulement, d'étendue très restreinte, dans

la partie adhérente à l'enveloppe grasseuse du muscle, on a trouvé un goût très léger de faisandé.

» Je vous prie d'agréer, mon cher collègue, l'expression de mes sentiments les plus distingués.

J. Hirsch. »

Au fur et à mesure que nous avons [prélevé des coupes sur ce quartier, nous avons remarqué que la section était très belle, d'un rose normal, puis que, peu à peu, cette couleur fonçait, noircissait, mais à la superficie seulement, *sans jamais pénétrer à l'intérieur de la viande*. . . . .

*Lundi 7 octobre.* — A six heures et demie du matin, je fis transporter la cuisse chez un de nos confrères, rue Saint-Dominique. Je la fis séparer, mais ce travail s'effectua avec une certaine difficulté, à cause de la contraction, du dessèchement des fibres de la viande.

La déjointure de la jambe avait une couleur belle, franche, normale.

Le tendon de tranche, la tranche grasse et la semelle ne laissaient rien à désirer sous le rapport de la couleur, de l'aspect. *Il eût été impossible de se prononcer sur la durée de conservation de cette viande qui ne différait en rien comme aspect de celle qui, pendant l'hiver, reste plusieurs jours exposée dans nos étaux.*

Le dessous, c'est-à-dire la graisse qui recouvre la cuisse paraissait un peu rance, et les fibres qui s'y trouvent disséminées étaient recouvertes de moisissures sèches, mais ne laissant échapper aucune odeur.

Une particularité remarquable, c'est que la graisse seule présentait cette altération, tandis que la viande avait conservé une très belle couleur.

La gîte à la noix a été divisé en deux parties, dont une a été vendue dans mon étal, et personne ne m'a adressé la moindre observation. D'ailleurs, la coupe était si belle que le client le plus difficile eut été satisfait et l'eut acceptée sans hésitation. Le seul défaut qu'on peut lui reprocher, c'était la teinte un peu grisâtre de la couverture.

La tranche de tranche a été également séparée en deux parties. Sur l'une d'elles je prélevai un morceau d'une livre et demie. Lorsque la graisse fut enlevée, il parut en tout semblable à tel ou tel morceau que nous conservons une huitaine pendant l'hiver.

Cette tranche a été présentée à l'examen d'une Commission municipale chargée d'inspecter les divers systèmes de conservation des viandes par le froid. Les membres de cette Commission ont dégusté cette tranche préparée à la manière d'un rumsteck et ont déclaré qu'elle n'avait aucun goût, mais qu'elle n'était pas suffisamment tendre. Nous avons prévu cette objection, en leur déclarant, avant la dégustation, que le morceau qui leur était soumis rôti n'était généralement employé que pour la confection du pot-au-feu. D'ailleurs, M. Deligny, conseiller municipal, président de la Commission de ravitaillement, s'exprimait ainsi, dans un interview publié par le journal *l'Eclair* : « Lors de sa visite à ces différents appareils, exposés tant aux Invalides qu'au Champ de Mars, la Commission a fait couper sur un des morceaux exposés, une large tranche de bœuf qui, après la préparation culinaire indispensable, a été trouvée *dans un état parfait de conservation.* »

Le même jour, trois commissions sont venues visiter cette viande et en ont constaté la belle apparence.

La crosse, cassée en morceau, était un peu bleuâtre à l'intérieur, mais s'était convenablement desséchée et n'exhalait aucune odeur.

La tranche a été conservée coupée en morceaux jusqu'au jeudi suivant, 10 octobre. . . . .

#### *Résumé des expériences.*

Le bœuf est donc conservé pendant un mois sans subir d'autres pertes que celles de poids résultant de la dessiccation. On peut l'évaluer à 5 ou 6 0/0 au plus. Après une période de six semaines, il a subi un nouveau déchet par suite du rafraîchissement des coupes et des parties superficielles. La perte

provenant de ce chef, ajoutée à celle signalée ci-dessus, représenterait une perte de poids de 12 0/0 environ.

Enfin, après un séjour de deux mois à deux mois et demi dans l'appareil frigorifique, la viande subirait une plus grande dépréciation ; car, outre la perte de substance déterminée par le rafraîchissement des parties superficielles, il faudrait ajouter l'inutilisation des parties minces qui, comme la bavette, perdaient toutes leurs propriétés comestibles par suite de l'accentuation de l'état de sécheresse. Dans les parties épaisses, comme la cuisse, par exemple, la conservation s'établit parfaitement, la perte de poids devient insignifiante, car la dessiccation n'atteint que les parties superficielles. En effet, après avoir enlevé la graisse qui tapissait la cuisse, nous avons constaté que la couche de dessiccation était superficielle, et n'avait guère qu'une épaisseur d'un millimètre environ.

Le mouton entier s'est admirablement comporté pendant une durée de 30 à 40 jours. Passé ce laps de temps, le mouton écaillé s'est trop desséché, et il aurait été imprudent de le conserver davantage. D'ailleurs, le mouton étant moins épais que le bœuf, se détériore plus vite par sa sécheresse, et la perte de poids est deux fois plus sensible que celle du bœuf.

Il résulte donc de ces expériences, qu'il ne faudra pas espérer conserver la viande à l'état frais pendant une période de plus de six semaines à deux mois, sans quoi, on s'exposerait à de trop grandes pertes provenant de la dessiccation et du déchet résultant du rafraîchissement de la viande. Une surveillance très fréquente et très active sera toujours nécessaire pour visiter cette viande et enlever au fur et à mesure les pièces qui commenceraient à se détériorer. Pour la conserver au delà de deux mois, il sera indispensable de la congeler à basse température, et de la maintenir ensuite dans un entrepôt frigorifique à une température de 3 ou 4° au-dessous de zéro. Dans cet état, elle pourra être conservée pendant plusieurs mois. ....

L'importance des résultats constatée par la chambre syndicale des bouchers de Paris est d'autre part confirmée par l'extrait suivant, présenté en février 1890 au Conseil municipal par M. Deligny, président de la Commission municipale d'approvisionnement de Paris (1).

« La nécessité de conserver aux viandes placées dans les entrepôts frigorifiques leur valeur commerciale, s'impose dans les conditions ordinaires de l'alimentation. Si cette valeur était sacrifiée ou simplement atténuée par le séjour des viandes dans les entrepôts, leur débit serait compromis et il ne pourrait plus s'effectuer sans perte d'argent plus ou moins considérable....

« J'ai déjà dit que, dans tous les cas, soit pour la conservation à court terme, soit pour un long séjour dans les entrepôts, il était indispensable, qu'aussitôt après l'abattage la viande fût amenée à une température de 0 à + 3 degrés pour le premier cas, et fût congelée pour le second cas, et cela, dans un délai ne laissant pas aux germes de l'altération organique le temps d'entrer en action. Nous insistons absolument sur cette condition, et c'est souvent parce que l'on ne l'avait pas observée rigoureusement que des échecs ont été constatés.

« Pour le service ordinaire, un abaissement rapide à zéro degré sans congélation est suffisant. Il faut seulement le continuer jusqu'à ce que toute l'épaisseur des pièces de viande accrochées séparément les unes des autres ait été abaissée à la

1. Bulletin municipal officiel, 6 février 1890.

température voulue de 0 à + 3 degrés. Il n'y a plus ensuite qu'à entretenir dans cet état tout l'entrepôt, en faisant un apport d'air froid qui compense les pertes de froid dues aux parois du local et aux entrées et sorties nécessaires du service....

« Il résulte de nos propres observations et des nombreux témoignages que nous avons recueillis, que *l'air doit être le seul véhicule du froid dans l'entrepôt lui-même, que cet air doit arriver « très-sec »* et que, sortant réchauffé et imprégné de l'humidité des viandes, il doit être, s'il rentre dans l'entrepôt, refroidi et desséché hors de l'entrepôt.

« *Le refroidissement de l'entrepôt frigorifique par des surfaces réfrigérantes doit être abandonné*; il l'est par les meilleurs praticiens.

« On doit donc tout d'abord observer cette prescription dans l'établissement de tous les entrepôts sans exception.

« Dans les entrepôts de service ordinaire, l'apport de l'air froid et sec doit pouvoir être varié comme nous l'avons indiqué déjà en traitant du mode d'application.

« L'espace, autant que possible, ne doit pas être ménagé, afin de faciliter les opérations journalières des bouchers pour l'entrée et la sortie des marchandises. En ne logeant que 100 kilogrammes de viande par mètre cube de capacité des loges de l'entrepôt, on est dans les conditions d'un étal de boucher. Si l'on va à 200 kilogrammes, les mouvements deviennent difficiles, surtout pour les grosses viandes; à 150 kilogrammes, ils ne sont que gênés. Les couloirs de service augmentent d'un tiers la capacité totale. »

La planche 23-24 représente l'ensemble de l'installation des appareils *Fixary* dans le sous-sol des *Halles de Bruxelles*. Cette installation, qu'il a fallu disposer dans une salle encombrée de piliers, comprend, outre le frigorifère de 50,000 calories un bac à glace de 500 kilogrammes à l'heure; le tout desservi par un compresseur horizontal à double effet de 100,000 calories, ayant 280 millimètres de diamètre, 900 millimètres de course, et marchant à 55 tours. Le frigorifère est à trois serpentins (p. 285) en tubes de  $30 \times 37$  millimètres, présentant une surface réfrigérante totale de 226<sup>m<sup>c</sup></sup> pour un volume à refroidir de 1250<sup>m<sup>3</sup></sup>. Le ventilateur débite 10 000<sup>m<sup>3</sup></sup> à l'heure.

L'installation de la *Compagnie frigorifique portugaise, à Lisbonne*, comprend (pl. 21-22) une machine *Fixary* horizontale du type de 100 000 calories pouvant desservir un bac à glace de 750 kilogrammes à l'heure et un frigorifère *Fixary* de 25,000 calories à l'heure. Ce frigorifère refroidit actuellement une chambre de 800<sup>m<sup>3</sup></sup> qui sera bientôt porté à 1200<sup>m<sup>3</sup></sup>. En marche normale, le ventilateur du frigorifère débite à l'heure 4500<sup>m<sup>3</sup></sup> d'air à — 5°, répartis uniformément et sans courant d'air par un système de canaux en bois percés de nombreuses ouvertures. On maintient ainsi facilement la chambre entre + 2 et + 4°,

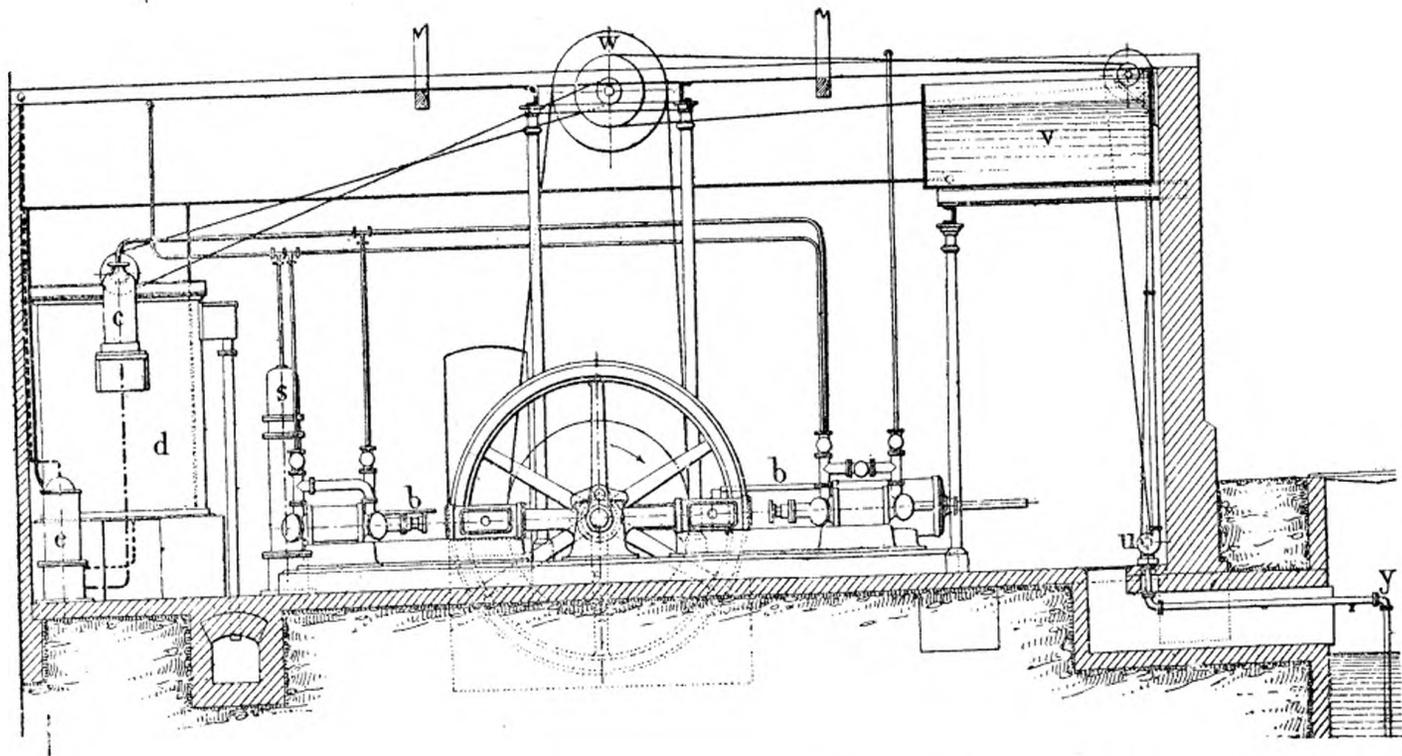


Fig. 160. — *Frigorifère Fixary de Crefeld.* — Coupe CD, planche 17-18. (Échelle 0<sup>m</sup>,01 par mètre)

température qui convient parfaitement à l'entreposition des viandes fraîches. On a pu d'ailleurs amenée sans peine la salle à  $-5^{\circ}$ , avec une température extérieure de  $30^{\circ}$ .

Le *frigorifère de Créfeld* a été installé par la Société Humboldt de Kalk, concessionnaire du brevet *Fixary* en Allemagne, sous la direction de M. *Schmidt*. La salle à refroidir (pl. 17 et 18, fig. 160 et 161) a  $2790\text{m}^3$ , avec une surface de planches de 930 mètres carrés; la salle est divisée en 161 compartiments à viandes, de  $2^{\text{m}},25 \times 3^{\text{m}},15 \times 4^{\text{m}},50$  séparés les uns des autres par des grillages en fer galvanisé. Les parois de la salle sont formées de trois murailles séparées par des tranches d'air, avec doubles fenêtres et portes à tambour; le plafond est en petites routes de briques creuses sur fers à T, revêtues d'une couche de tourbe de  $0^{\text{m}},500$ , et couvertes par un toit en pâte de bois.

Lors de la mise en marche, la température extérieure variait de  $16^{\circ}$  le jour, à  $7^{\circ}$  la nuit; il fallut deux jours pour abaisser la température de la salle de  $+15^{\circ}$  à  $0^{\circ}$ . Cette température fut ensuite amenée à  $-6^{\circ}$ .

Le frigorifère abaissait, par heure,  $21000\text{m}^3$  de 0 à  $-13^{\circ}$ , ce qui correspond à une puissance *effective* d'environ 70,000 calories négatives, avec une surface utile de serpentín de  $190\text{m}^2$ , soit environ 400 calories négatives par heure et par mètre carré de serpentín.

Chacun des deux compresseurs *Fixary*, dont un de rechange, du type de 100 000 calories, produit en outre 375 kilogrammes de glace à l'heure, correspondant à un débit utile de 37500 calories négatives. Sa puissance frigorifique utile totale est donc de 110,000 calories environ. Le travail indiqué de la machine à vapeur est de 65 chevaux. L'ensemble de l'installation, frigorifère et bac à glace, a donc un rendement de 1700 calories négatives environ par cheval-heure indiqué, tandis que l'on compte, en général, pour le refroidissement de l'air au-dessous de zéro par les circulations de liquides incongelables, sur un rendement de 1200 calories environ. Les résultats obtenus à Créfeld avec le frigorifère *Fixary* sont donc des plus satisfaisants.

On peut évidemment appliquer à la préservation temporaire de la viande dans les entrepôts les systèmes de refroidissement de l'air par le rayonnement de tuyaux ou de parois à liquide incongelable (*Pictet, Schröder, Linde, Pontifex et Wood*(<sup>1</sup>), ou à gaz détendu (*Lavergne, Popp*) (<sup>2</sup>) suspendus au plafond des caves, et plus coûteux que les frigorifères à canaux de bois. M. *Osenbrück* a aussi appliqué à l'entrepôt de Brême le refroidissement de l'air par son passage sur un

1. *Chronique industrielle*, 8 et 15 septembre 1889. *Annales industrielles*, 19 mai 1889. *The Engineer*, 27 septembre 1889.

2. Brevet anglais 18948 de 1888. *Revue scientifique*, 27 juillet 1889, p. 91.

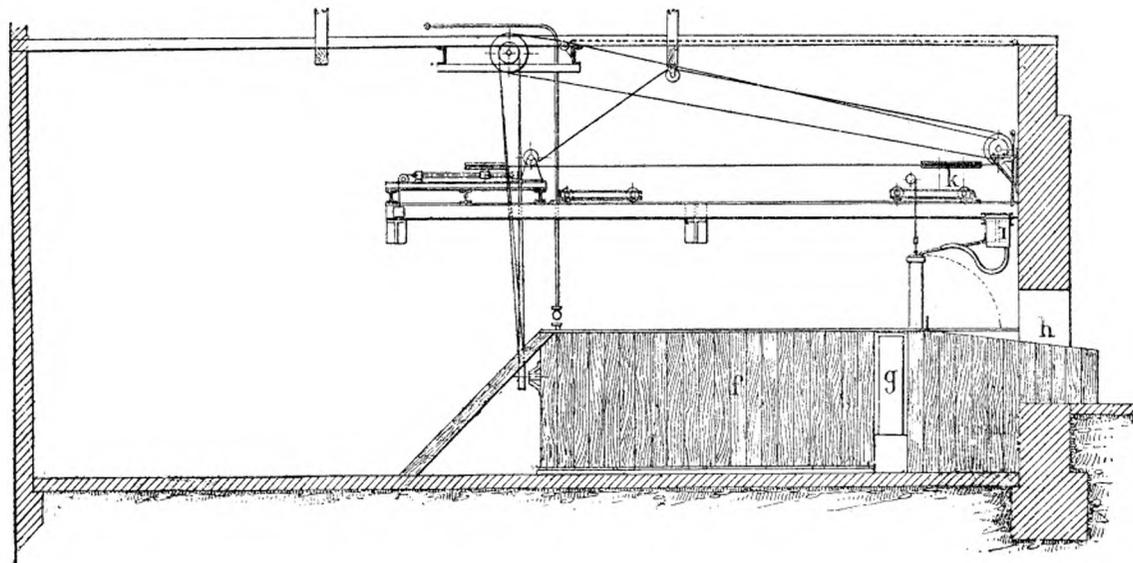


Fig. 161. — *Frigorifère Fixary de Créfeld.* — Coupe EF, pl. 17-18 .

*Installation du bac à glace.* (Échelle 0<sup>m</sup>,01 par mètre)

liquide incongelable (p. 260). MM. *Greathead* et *Sterne* ont proposé (1) d'emmagasiner les viandes dans des puits congelés et refroidis à l'abri des variations atmosphériques.

Les chambres de conservation sont rarement maintenues à une température inférieure à zéro ; il est prudent, lorsqu'on y débarque des viandes gelées à fond, de laisser ces viandes acquérir lentement une température de 4° environ, et d'employer pour leur transbordement, lorsque le mouillage l'exige, des allèges frigorifiques analogues à celles de M. *S. Puplett* (2).

MM. *Rouart frères* exposaient en 1889 des caisses à conserver les viandes gelées constituées essentiellement par des récipients métalliques à doubles parois entre lesquelles se trouve une couche d'eau salée gelée à — 5° environ. — Cette congélation s'opère au moyen d'un serpentín qui traverse cette muraille d'eau, et dans lequel on fait circuler un liquide incongelable à — 20°. L'extérieur de la caisse, à laquelle on donne la forme la plus convenable pour son transport, est enveloppé de matières non conducteur. Il suffit, après un voyage, de remettre le serpentín de la caisse en communication avec une machine frigorifique pour la recharger de froid.

Les *wagons pour le transport des viandes gelées* sur les voies ferrées n'existent pour ainsi dire pas en Europe, mais ils fonctionnent en très grand nombre aux États-Unis. le plus souvent entre deux magasins de conservation. Ce sont presque toujours des glaciers convenablement isolés par des parois de feutre et d'air inerte ou circulant à volonté. L'eau provenant de la fusion de la glace doit pouvoir être évacuée à mesure sans toucher la viande. Nous citerons, parmi les systèmes les plus répandus aux États-Unis, ceux de *Dalton Mann* (3), de *Tiffany* (4), de *Roberts* (5), de *Boult* (6) et de *Wickes* (7) : dans ces derniers comme dans ceux de *Knott* (8), l'air n'est jamais renouvelé ; un ventilateur le fait constamment passer et repasser sur la glace. Les wagons de *Tallerman Grunning* et *Dawnay* peuvent fonctionner avec un renouvellement d'air nul ou variable à volonté (9). M. *Binder*, ingénieur de la *Staats Bahn* (10), MM. *Dreher*, *Tourtel* et *Dietrich* (11) ont adopté des dispositifs analogues

1. Brevet anglais 13276 de 1887.

2. Brevet anglais 17756 de 1887.

3. Spon, *Dictionary of Engineering*, suppl. p. 1017.

4. Lavoinne et Pontzen. *Les Chemins de fer en Amérique*, vol. 2, p. 83.

Brevet anglais 1226 de 1877.

5. Brevet anglais 3398 de 1877.

6. id. 416 de 1889.

7. Lavoinne et Pontzen, vol. 11, p. 45.

8. Spon, *Dictionary of Engineering*, suppl. p. 1019.

9. id. suppl. p. 1020.

10. Couche, *Voie et matériel roulant*, vol. 2, p. 200.

11. *Revue générale des Chemins de fer*, mars 1888.

pour le transport des bières. Quelques inventeurs ont tenté de constituer de véritables trains réfrigérants entretenus par le fonctionnement d'une machine à air placée sur la locomotive (1) ou par la détente d'un provision de gaz liquéfié (2), mais la complication, le prix élevé et la spécialisation trop exclusive de ces appareils les ont fait, jusqu'à présent, rejeter comme inapplicables *à priori*.

*Poissons.* — Les procédés que nous venons d'indiquer pour la conservation des viandes s'appliquent aussi à celle des poissons, mais plus facilement. On peut porter les poissons à une très basse température, — 20°, puis les conserver très longtemps à cet état de glaçons sans en dénaturer sensiblement la saveur.

*Lait.* — La conservation du lait par le froid est aussi l'une des plus intéressantes : son principal concurrent est la pasteurisation, qui stérilise les ferments du lait par un chauffage à 80° environ, mais en lui donnant un goût de lait cuit peu en faveur (3). Le froid n'a pas cet inconvénient. On emploie pour conserver le lait par le froid deux méthodes : le refroidissement à 3° ou 4° sur des Baudelots ou dans des appareils à circulation fermés, comme ceux de M. Lezé (4) et la congélation véritable, brusque, à — 20° environ, dans des mouleaux fermés, que l'on dégèle pour la consommation [procédé Guérin (5)].— Ce dernier procédé donne un lait d'un goût parfait et d'un transport très avantageux. L'industrie de la conservation du lait est encore trop peu répandue pour que l'on puisse porter un jugement définitif sur ces différents procédés ; mais la congélation présente des avantages de manipulation tels qu'elle serait probablement préférée, pour les grandes expéditions, du moins.

- 
1. James Coleman. Brevet anglais 638 de 1882.
  2. Clay et Johnson. Brevet anglais 12917 de 1885.
  3. Duclaux, *Annales de l'institut Pasteur*, janvier 1889. De Saporita, *Revue des deux mondes*, 15 décembre 1889.
  4. *Machines à glace*, 1889, p. 175.
  5. *Moniteur industriel*, 6 décembre 1884, p. 391.

## Résumé et Conclusions

La théorie des machines frigorifiques, bien qu'encore incomplète, est néanmoins connue depuis longtemps avec une exactitude suffisante pour guider le praticien dans l'application rationnelle des principes essentiels à leur bon fonctionnement. Si la construction des machines frigorifiques ne s'est développée notablement que dans ces dix dernières années, ce n'est pas à l'insuffisance de données théoriques qu'il faut attribuer ce développement tardif, mais plutôt aux difficultés d'exécution que comporte l'établissement de ces machines, et à ce que les divers procédés industriels qui les emploient aujourd'hui ne sont parvenus qu'à une date relativement récente au développement ou à une perfection justifiant cet emploi. Il me suffira de citer les nouvelles méthodes qui ont transformé les procédés anciens de la brasserie, et l'accroissement que prend chaque jour l'industrie de la conservation des viandes et produits alimentaires.

Les progrès réalisés dans la construction peuvent se mesurer par ce fait que l'on construit aujourd'hui couramment des machines à gaz ammoniac liquéfié de 1000 à 1500 kilogrammes de glace à l'heure, alors que l'on considérait, il y a quinze ans, la fabrication d'une petite machine de ce type comme un tour de force, avec bien plus d'appréhension que l'on n'en met actuellement à entreprendre la construction de machines à acide carbonique. Ce n'est pas à dire que, dès maintenant, toutes les difficultés afférentes à la haute pression de ce dernier gaz soient vaincues au point qu'il faille, même pour les pays tempérés, le préférer à tout autre : c'est une question encore indécise, mais il n'en est pas moins vrai que la liquéfaction du gaz acide carbonique est passée de l'état d'expérience de laboratoire dangereuse à l'état d'opération industrielle encore délicate, mais courante et sans danger.

Pour le moment, dans nos climats du moins, le gaz préféré est l'ammoniac anhydre, que l'on se procure facilement par la distillation de l'ammoniac du commerce ; on l'emploie indifféremment dans les machines à compression et à affinité. La lutte reste ouverte entre ces deux systèmes, qui paraissent équivalents, du moins dans les essais de concours, avec des appareils neufs, conduits par des hommes exercés à leurs manœuvres. Nous nous sommes efforcé de présenter le plus équitablement possible le pour et le contre des deux systèmes, mais nous ne pouvons nous empêcher de signaler la préférence accordée par la pratique aux machines à compression, dont la complication apparente disparaît dans la plupart des applications, où la chaudière et le moteur à vapeur servent en même temps à d'autres emplois que l'actionnement du compresseur. Quoiqu'il en soit, l'on n'entrevoit, dans l'amélioration possible de ces deux types de ma-

chines, à compression et à affinité, aucun perfectionnement de principe : elles paraissent parvenues, comme la machine à vapeur, à ce point de leur développement où le progrès ne se manifeste plus que par des raffinements et des simplifications dans le détail des organes essentiels, ou par des hardiesses de plus en plus heureuses dans l'augmentation de la puissance des appareils.

Il en est sans doute de même pour les machines à air : la théorie semble avoir donné tout ce qu'elle renferme d'essentiel, et la principale difficulté, la congélation de l'humidité de l'air, paraît avoir été vaincue autant qu'on peut le désirer en pratique. Ainsi que nous l'avons dit, nous pensons que ces machines sont, malgré leur rendement frigorifique inférieur, nettement indiquées pour les applications où la question du rendement n'est plus que secondaire, où la sécurité absolue prime tout, et pour certains cas où il s'agit d'utiliser directement l'air à de très basses températures. Tel est le cas du refroidissement des cales de navires pour le transport des viandes ; application importante, et pour laquelle les machines à air ont conservé jusqu'à présent une sorte de monopole en apparence parfaitement justifié.

S'il semble qu'il y ait, dans le perfectionnement des machines frigorifiques, peu de progrès importants à réaliser, il n'en est pas de même dans leurs applications, dont la plupart naissent à peine, où presque tout est à faire, sauf dans l'application la plus importante : la fabrication de la glace.

C'est ainsi que les applications des machines frigorifiques au *refroidissement de l'air* sont très imparfaites, parfois même ignorées ; on n'a même pas abordé la question du rafraîchissement artificiel des édifices et salles de réunion, aussi importante, dans bien des cas, que celle de leur chauffage, aussi complexe et de même nature, au moins en ce qui concerne la distribution et le renouvellement de l'air froid, et d'autant plus intéressante que la civilisation gagne plus vers les pays chauds (1). Actuellement, deux méthodes générales sont en présence : la production directe de l'air froid par des machines à air, et sa production indirecte à l'aide de frigorifères activés par des machines à compression ou à affinité. On est à peu près fixé sur la première méthode, qui semble avoir donné presque tout ce que l'on peut en espérer : une atmosphère refroidie par la diffusion de petits volumes d'air très froids et secs obtenus au moyen de machines robustes, sûres, mais bruyantes, vite fatiguées et chères de combustible. L'autre méthode, qui procède par le refroidissement de grandes masses d'air à des températures modérées et d'une répartition plus facile, obtenu au moyen d'appareils économiques mais plus compliqués et plus coûteux d'établissement paraît théoriquement préférable, à terre du moins, mais n'a pas encore reçu en raison de sa nouveauté même, la sanction d'une pratique aussi étendue.

1. Consulter le mémoire de sir William Thomson. « *On the Economy of the Heating or Cooling of Buildings by Means of Currents of Air.* » *Philosophical Society of Glasgow, Proc.* Décembre 1852, vol. III, p. 270.

*La conservation des viandes*, qui n'est elle-même qu'une application intéressante de l'air froid, vient aussi à peine d'entrer dans sa période véritablement industrielle; mais son développement, qui dépend en grande partie des perfectionnements à apporter dans la production et la distribution de l'air froid, dépend aussi de circonstances particulières, telles, par exemple, que la possibilité d'aménager facilement, sur le navire frigorifique, des frets de retour. La question ne se présente pas non plus sous les mêmes aspects suivant qu'il s'agit de conserver à bord d'un navire, et dans un espace très resserré, des viandes gelées d'avance, ou de préserver des produits alimentaires dans un entrepôt de conservation, pour l'approvisionnement d'une ville ou d'une forteresse. Dans ce cas, la place ne manque pas; on peut y traiter les viandes, surveillées à loisir, avec plus de ménagements, par des procédés plus économiques que sur les navires, et sans les congeler. La lutte est actuellement ouverte, pour cette nouvelle application du froid, entre deux méthodes de refroidissement des salles. : l'une procède par le rayonnement des serpentins à circulation de liquide incongelable, comme c'est la règle dans les caves de brasserie, l'autre par l'injection et la dispersion d'air produit directement en petites masses très froides, au moyen des machines à air, ou indirectement, en grands volumes à température moins basse, au moyen de frigorifères actionnés par des machines à gaz liquéfiés.

L'industrie de la fabrication de la glace artificielle, que l'on se procure aujourd'hui presque partout à meilleur compte que la glace naturelle, se développe aussi chaque jour, et peut à peine suffire à la demande; mais il ne nous paraît pas que sa technologie soit susceptible de grands progrès. De toutes les méthodes proposées pour assurer à la glace la transparence exigée par la consommation, l'utilisation directe ou indirecte de la vapeur d'échappement du moteur des machines frigorifiques à air ou à compression paraît le plus économique et le plus rationnel.

Quant aux autres applications du froid, leur examen détaillé ne saurait faire l'objet de ce Mémoire: il fait partie de la technologie même des industries dans lesquelles ces applications jouent un rôle plus ou moins important, où l'on utilise le froid soit directement, soit au moyen d'appareils dont l'adaptation particulière ne dépend souvent en rien de la source même du froid. Ces applications sont, comme nous l'avons vu, très nombreuses; elles se développent et se multiplient chaque jour; le constructeur de machines frigorifiques a le plus grand intérêt à les connaître et à les provoquer, plus d'intérêt même, dans bien des circonstances, qu'à chercher à perfectionner encore sa machine.

## OBSERVATIONS SUR LA COMMUNICATION PRÉCÉDENTE DE M. G. RICHARD RELATIVE AUX MACHINES A FROID

---

### Observation de M. Diesel, Ingénieur civil

M. Richard vient de nous présenter avec une compétence tout à fait remarquable un exposé sur la production et l'utilisation du froid. Ceux qui s'occupent de ces questions ne sauraient être assez reconnaissants à M. Richard de cet important mémoire, qui représente une somme de travail énorme, et qui est basé sur des recherches approfondies dans les brevets de tous les pays, puisque M. Richard ne cite et n'explique pas moins de 246 brevets différents.

Il s'en dégage tout d'abord l'impression que la question du froid industriel doit avoir une importance tout à fait hors ligne, puisque des centaines de constructeurs s'en occupent et qu'autant de noms sont attachés à des innovations, des détails de construction, des propositions de liquides nouveaux, etc. Il y a quelques années encore, on pouvait parfaitement avoir une vue d'ensemble sur cette question, mais aujourd'hui cela me semble impossible, tellement sont nombreuses les inventions qui surgissent de tous côtés. Nous sommes en train de nous perdre dans les détails et les nouveautés ; le fil, la direction où nous allons ne s'aperçoivent plus clairement. Mais, puisque nous voilà réunis — pour la première fois, je crois — en un congrès spécial sur cette question, il me semble qu'il serait d'un réel intérêt et d'une utilité incontestable de chercher à grouper les divers efforts qui se sont produits, à en déduire ce qu'il est bon de poursuivre et ce qu'il y a lieu d'abandonner, à montrer une voie enfin nette et distincte.

Je vais faire un modeste essai de ce genre, heureux s'il peut être le point de départ d'une discussion plus approfondie, de laquelle on pourrait faire jaillir quelques axiomes immuables.

Il est assez difficile de trouver une voie pour comparer la légion de mécanismes divers qui existent, il faut plutôt poser certains principes, et voir ensuite si tel appareil s'y conforme. A ce point de vue, il existe un certain nombre de préjugés absolument enracinés chez quelques-uns de ceux-là même qui construisent les machines, et surtout chez le public qui ne va pas au fond de la question. Je vais discuter les principaux de ces préjugés, en restreignant mon sujet aux ma-

chines à compression parce qu'elles sont sans contredit de beaucoup les plus importantes et les plus répandues.

Tout d'abord, on répète partout, avec la plus grande conviction, que l'acide sulfureux est un corps lubrifiant et, qu'en l'employant, on peut supprimer tout graissage ; se basant sur ce précédent, tous les constructeurs qui emploient des liquides binaires contenant plus ou moins d'acide sulfureux, et même des constructeurs qui se servent de corps spéciaux (chlorure de méthyle, etc.), répètent, qu'avec leur machine, le graissage est inutile.

Examinons le bien fondé de cette thèse. Que se passe-t-il dans un cylindre compresseur ? On aspire des vapeurs saturées, sèches par conséquent, et on les refoule ensuite au condenseur ; pendant ce refoulement, la vapeur se surchauffe assez fort *dans toutes les machines* (sauf quelques rares exceptions qui ne tombent pas sous les considérations actuelles). Or, qui peut prétendre qu'une vapeur sèche, et, encore mieux, une vapeur surchauffée, soit capable d<sup>e</sup> lubrifier un piston, une tige et des clapets. Personne ne peut contester la surchauffe, puisque toutes ces machines emploient des circulations d'eau autour du cylindre dans la tige et dans le piston ; j'ai vu une machine Pictet nouveau système où l'eau introduite dans le piston ne sortait plus comme eau, mais comme vapeur, avec une certaine force et un certain bruit, ce qui indique que la surchauffe dépassait 100°. Il est donc certain que les cylindres compresseurs travaillent à sec, absolument à sec et qu'il n'y est pas question de graissage. D'ailleurs, en voyant ces machines en fonction, on entend des clapotements, des frottements, et on a l'impression d'une marche pénible, surtout lorsqu'on a l'occasion de comparer en même temps la marche d'un compresseur bien graissé ou même d'une machine à vapeur ordinaire. J'ajoute, qu'à ce point de vue, tous les liquides employés sont égaux ; sous forme liquide, ils ont tous des qualités plus ou moins lubrifiantes, à peu près comme de l'eau ; mais comme, dans les compresseurs, la forme liquide n'apparaît pas, je prétends qu'aucun corps intermédiaire ne lubrifie les compresseurs et que, si l'on supprime le graissage, c'est au détriment de la conservation de la machine et aux frais de la force motrice qui devient plus considérable, sans compter la diminution du rendement occasionnée par les fuites à travers des segments et des clapets tout à fait secs et toujours en mauvais état d'entretien.

Cette première condition permet immédiatement une conclusion qui est celle-ci : Tout compresseur non graissé, de quel système qu'il soit, absorbera plus de force motrice, donnera un moindre rendement et sera beaucoup plus mal entretenu, *durera moins* que le même compresseur graissé. L'idée qu'un corps volatil peut lubrifier un compresseur est une erreur qu'il faut déraciner.

C'est pénétrés de cette vérité : *Il faut que les compresseurs soient graissés*, que nous voyons un grand nombre de constructeurs employer des bains d'huile :

bains d'huile sur le stuffing-box, bain d'huile sur le piston, bain d'huile autour des clapets, etc.; ces bains d'huile, avec pompes de circulation, sont bien l'objet de la plupart des brevets, surtout pour les compresseurs à ammoniac. C'est surtout le désir de supprimer l'espace nuisible qui a donné lieu à la création des compresseurs verticaux avec couche d'huile sur le piston; il y a 5 ou 6 systèmes qui poursuivent avant tout ce but. Or, ici encore, il y a préjugé, erreur provenant de ce que l'on n'a jamais pu voir ce qui se passait dans l'intérieur d'un compresseur; mais, si on ne peut pas le voir, on peut essayer de le deviner en se basant sur des observations.

Toutes les huiles employées au graissage ont un certain pouvoir absorbant pour l'ammoniac; ce pouvoir absorbant, très faible sous la pression atmosphérique, devient très sensible sous les pressions de 9 ou 10 kilogrammes qui règnent dans les compresseurs. J'en ai fait souvent l'expérience et je la répéterai devant qui voudra la voir: en lâchant à l'atmosphère l'huile retenue dans les séparateurs des machines à compression d'ammoniac, on voit sortir par le robinet une mousse légère; on a vite fait de remplir un seau de 12 litres de cette mousse; lorsqu'on la laisse ensuite deux ou trois heures au repos, elle se condense lentement, en dégageant son ammoniac, et il reste  $\frac{1}{4}$  ou  $\frac{1}{5}$  de litre d'huile liquide. Le même fait se produit dans les compresseurs. Supposez une couche d'huile sur le piston sous la pression du refoulement, et entièrement saturée de gaz. Dès que le piston redescend, il y a diminution brusque de la pression qui tombe de 9 ou 10 à 1 ou 2 kilogrammes. Il en résulte une formation de mousse tumultueuse avec dégagement abondant de gaz ammoniacal, et cela jusqu'à la désaturation de l'huile; par conséquent, retard considérable dans l'ouverture du clapet d'aspiration et augmentation, en une très forte proportion, de l'espace nuisible qu'on se proposait de supprimer.

En dehors de cela, on voit que la couche d'huile sur le piston n'existe pas; en somme; après quelques coups de piston, elle est transformée en mousse, en bouillie, qui pénètre dans tous les tuyaux, les tapisse, empêche la transmission du calorique, et peut causer des obstructions.

CONCLUSION: *Le bain d'huile sur le piston ne supprime pas l'espace nuisible, mais l'augmente; la suppression presque complète de l'espace nuisible doit être produite mécaniquement, en faisant presque toucher le piston sur les deux fonds, et en construisant avec une rigoureuse exactitude; c'est ce qui est fait dans la machine Linde.*

Le bain d'huile a en outre l'inconvénient de produire des mousses qui remplissent toutes les tuyauteries et empêchent l'action des surfaces refroidissantes.

Il en résulte aussi que la *construction verticale*, faite exclusivement pour le maintien du bain d'huile, doit être abandonnée pour la construction horizontale, qui offre d'énormes avantages au point de vue mécanique. Il en résulte enfin

que la construction à simple effet, qui est également une conséquence du bain d'huile, est non seulement inutile mais nuisible, car elle entraîne 2 pistons, 2 tiges, 2 stuffing-box, 2 bielles ..... au lieu d'une, par conséquent plus d'entretien, plus de travail nuisible, de frottements ..... et surtout l'entretien de 2 presse-étoupes au lieu d'un ; il faut chercher à diminuer le nombre de garnitures et non pas à les augmenter, car, nous le savons tous, là est justement le point délicat.

Et puisque j'en suis là, je vais maintenant parler d'un troisième préjugé plus récent que les autres, mais qui tend à se répandre rapidement, grâce à son nom, qui a un attrait tout spécial : le *joint pâteux* ; ce mot produit un effet merveilleux, et pourtant un joint pâteux n'existe pas, ne peut pas exister.

Supposons une tige immobile dans le stuffing-box ; ce dernier muni d'une chambre remplie d'huile congelée par une circulation d'ammoniac. L'huile, la chambre, la tige ayant une même température basse, le tout sera gelé ensemble et par suite imperméable aux gaz. Mettons maintenant la tige en mouvement ; l'huile pâteuse qui y est attachée par congélation y restera adhérente ; le joint pâteux se déchirera au premier mouvement de la tige, et, mis en morceaux, n'existera plus.

En réalité, ce n'est pas cela qui se passe. La tige, sortant à l'air ambiant à chaque coup de piston et frottant dans ses garnitures, a toujours une température égale à peu près à la température extérieure, souvent même un peu plus élevée. Or, qu'arrive-t-il si on fait traverser une tige en fer, chaude de 20 à 30 degrés, dans une huile pâteuse ayant — 15 ou — 20 degrés. La tige fera dégeler l'huile tout autour d'elle sur une épaisseur plus ou moins forte ; en réalité, son entourage sera toujours liquide, même si, à une certaine distance, l'huile est effectivement congelée. Par conséquent, le joint est, comme tous les autres, en huile liquide, et toute la complication pour faire geler le joint est inutile et superflue ; du reste, à toutes les machines Fixary, on peut observer que la tige est recouverte d'une épaisse couche d'huile liquide, qui coule tout le long et vient se rassembler sur la bielle et l'arbre de couche.

Par contre, le joint pâteux suppose l'emploi d'une huile congelable ; or, comme cette huile, d'après les explications de M. Richard, est la même que celle qui est sur le piston ; et, comme nous avons vu tout à l'heure que cette huile forcément pénètre dans l'ensemble des tuyauteries, malgré les séparateurs d'huile qu'on peut employer, il en résulte que les serpentins du réfrigérant, aussi bien que tout le reste, contiendront de l'huile congelable ; l'huile, dans ce milieu, se gèlera véritablement, tapissera les tuyaux d'une façon autrement nuisible que la mousse dont nous parlions tout à l'heure ; des morceaux d'huile gelée obstrueront les tuyaux, les robinets, et l'application du joint congelé doit indubitablement entraîner à des chômages fréquents pour nettoyages, à des diminutions

considérables du rendement, à des obstructions complètes de la tuyauterie, qui peuvent, à l'occasion, caler la machine ou même la faire sauter ; sans compter que tous ces énormes inconvénients ne sont réellement pas compensés par un gain, puisque le *joint pâteux n'existe pas*.

Je ne puis donc, pour ma part, adhérer aux conclusions de M. Richard, qui insiste beaucoup sur ce joint, et dit qu'il présente la solution générale du problème.

La solution générale, à mon avis, et la plus simple, est le stuffing-box double avec chambre intermédiaire remplie d'huile, formant joint hydraulique, cette chambre étant réunie à l'aspiration par un petit tuyau et l'huile, étant, condition *sine qua non, incongelable*. Toutes les bulles de gaz traversent la première garniture retourment à l'aspiration. La seconde garniture ne supporte que la pression de l'aspiration, et n'a pas de gaz à retenir, mais simplement de l'huile liquide ; ces presse-étoupes, qui sont de M. Linde (et non pas à la glycérine et à une pression supérieure à celle de la compression, comme dit par erreur M. Richard) (1) ces presse-étoupes, dis-je, donnent des résultats parfaits, car il n'y a pas ombre de difficulté à retenir de l'huile sous une pression de 2 kilogrammes. Cette disposition a en outre l'avantage de supprimer tout autre graissage, car l'huile entraînée goutte à goutte par la tige dans le cylindre agit comme celle des graisseurs compte-gouttes des machines à vapeur. Cette huile est finement pulvérisée, elle fait corps pour ainsi dire avec le gaz et lubrifie on ne peut mieux les organes intérieurs ; comme elle est en quantité minime, les particules entraînées, malgré le séparateur d'huile, dans les serpentins n'y sont pas nuisibles ; comme elle est incongelable, elle n'obstrue jamais rien.

J'ajoute que, pour les pays tropicaux, où les pressions de refoulement peuvent atteindre 13 ou 14 kilogrammes, M. Linde a construit des *compresseurs compound* dont la partie avant, qui a les presse-étoupes, ne comprime que dans le réservoir intermédiaire, tandis que la partie arrière, qui n'a pas de presse-étoupes, comprime à la pression finale (2).

En dehors de cet avantage, le fonctionnement compound, lorsque les pressions sont élevées, offre les mêmes avantages que pour les machines à vapeur : diminution des effets des fuites et des espaces nuisibles, diminution des effets produits par la conductibilité des parois. Une telle machine est exposée par MM. Sulzer frères à la section Suisse ; c'est la première fois, je crois, que le fonctionnement compound est appliqué aux machines à froid et à ce point de vue seul cette exposition est remarquable.

1. D'après le brevet anglais de Linde n° 1458 de 1876 (GR).

2. Les figures ci-contre, extraites du brevet anglais *Lightfoot-Linde*, (n° 1875 du 4 février 1890) permettent de comprendre facilement le fonctionnement de ces machines compound.

Dans la disposition représentée par la figure 1, les deux compresseurs à double

Fig. 1.

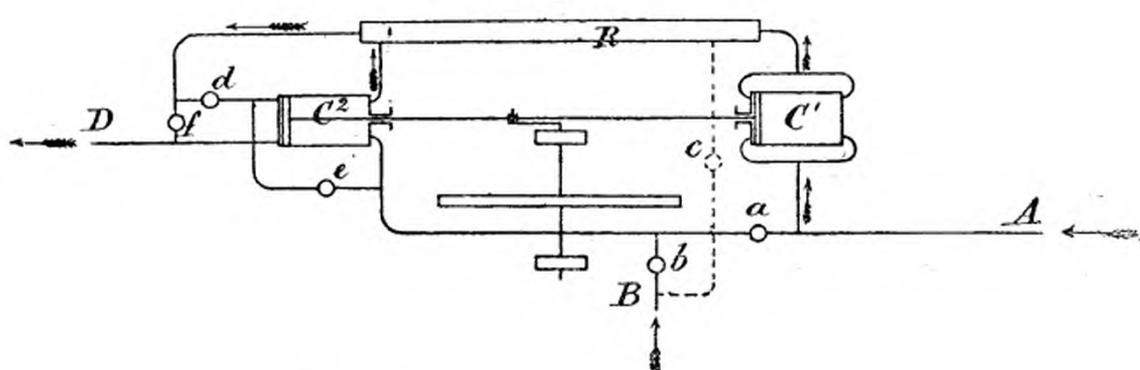


Fig. 2.

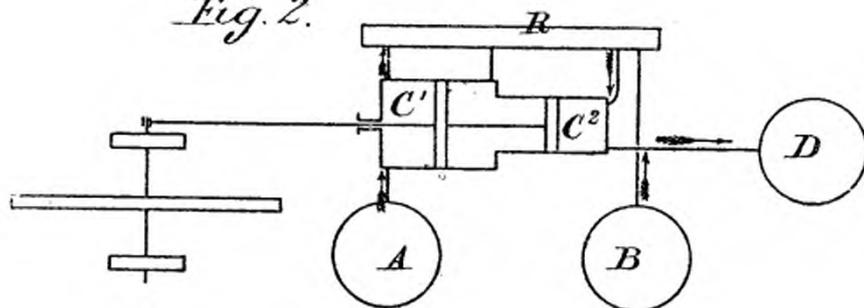


Fig. 3.

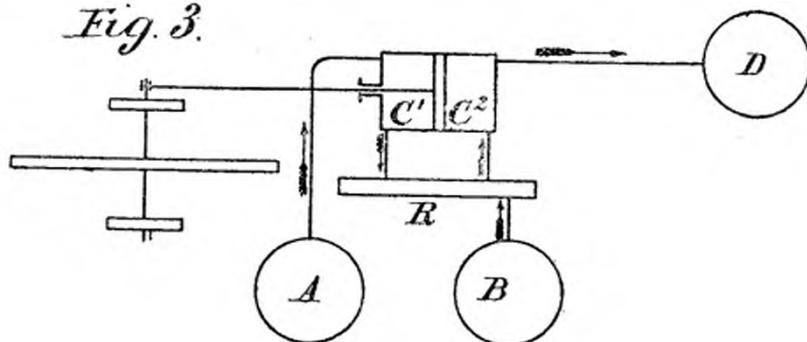
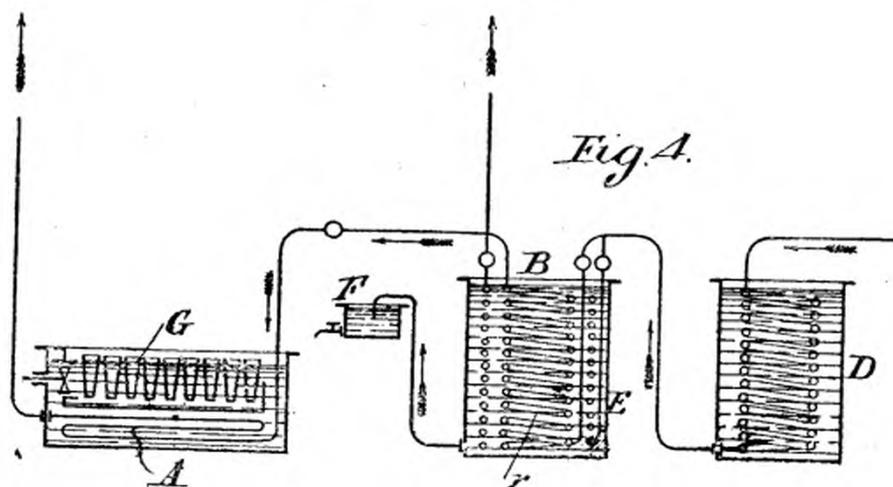


Fig. 4.



Passons maintenant à une autre série de propositions, et examinons le principe qu'elles représentent : je veux parler des machines à liquides binaires, dont le principal représentant est le *nouveau système Pictet*, qui emploie un mélange d'acide sulfureux et d'acide carbonique.

Les essais de M. Pictet, dont M. Richard nous a entretenus, paraissent avoir démontré que ce corps avait aux basses températures de pressions plus fortes que l'acide sulfureux pur, et, aux hautes températures, des pressions plus basses; conclusion : le travail utile de l'aspiration augmente, le travail résistant du refoulement diminue, et le rendement total augmente énormément. Cette thèse, venant de M. Pictet, a donné lieu à des polémiques prolongées auxquelles les plus grands savants ont pris part; quelques-uns de ces derniers, séduits au commencement, sont totalement revenus aux données connues de la physique, surtout depuis que des essais faits à Berlin et à Genève, dont le rapport est devant moi, ont démontré clairement que la relation des pressions et températures indiquées par M. Pictet reposait sur des erreurs d'observation, et que le liquide binaire Pictet se comportait comme les autres.

Nous en concluons que l'avantage cherché: de diminuer la force motrice nécessaire même au-dessous de la quantité théoriquement nécessaire dans un cycle de Carnot parfait, n'existe pas. M. Pictet laisse la question ouverte, je crois qu'en fait elle est jugée (1). En tous cas, cette catégorie de machines,

effet  $C_1$   $C_2$  sont disposés de manière que les deux extrémités de  $C_1$  et l'extrémité de droite, ou à stuffing-box de  $C_2$  aspirent les gaz du bac à glace A (fig. 4) et les refoulent dans le réservoir intermédiaire R, tandis que la partie gauche de  $C_2$ , qui n'a pas de stuffing-box, aspire le gaz déjà comprimé en R et le refoule au condenseur liquéfacteur D.

En cas d'accident à l'un des compresseurs, les robinets *a b c d e f* permettent de marcher avec un seul des deux compresseurs, mis en communication directe avec le bac à glace et le condenseur.

Dans la disposition représentée par la figure 2, les deux pistons des compresseurs à simple effet  $C_1$  et  $C_2$  sont enfilés sur une même tige. Le cylindre  $C_1$  aspire le gaz du bac à glace A et le refoule au réservoir intermédiaire R; le petit cylindre  $C_2$  reçoit le gaz de R, et le refoule au condenseur D. L'espace compris entre les pistons de  $C_1$  et de  $C_2$  communique constamment avec le réservoir intermédiaire R.

Dans la disposition représentée par la figure 3, un même compresseur agit à basse pression par son extrémité de gauche, et à haute pression par son extrémité de droite, qui n'a pas de stuffing-box.

La figure 4 représente la disposition du condenseur intermédiaire B, ou refroidisseur auxiliaire, que l'on voit, sur les figures 1, 2 et 3, en communication avec le réservoir intermédiaire R. Ce refroidisseur B renferme deux serpents, dont l'un *r*, amène l'ammoniac du condenseur D au bac à glace A, et dont l'autre, E, est traversé par une dérivation de l'ammoniac entre D et le réservoir intermédiaire R. La détente de cet ammoniac en E refroidit l'eau de B, employée ensuite à l'alimentation F des mouleaux A, en même temps que le gaz qui achève de se liquéfier en *r* sous une pression plus basse que s'il se liquéfiait en D seulement (G R).

(1) En effet, depuis, les expériences de Munich ont démontré une infériorité de rendement de 20 à 38 % de la machine Pictet nouveau système comparativement à la machine Linde, et l'inventeur, M. Pictet, en a abandonné la construction. (D) avril 1890.

tombe sous le coup de nos considérations sur la suppression du graissage et cela à un très haut degré, car l'adjonction de l'acide carbonique élève la surchauffe à des températures très élevées.

Il nous reste un dernier point à considérer, au sujet duquel de nombreuses constructions ont surgi c'est la surchauffe pendant la compression : Comme nous l'a expliqué si bien M. Richard, d'après le théorème de Carnot, *il est nécessaire de rapprocher le plus possible les températures extrêmes du cycle*, c'est-à-dire, de ne pas descendre dans le réfrigérant à une température plus basse que celle qui est strictement nécessaire, et de ne pas surchauffer à la compression ; or, *toutes* les machines, sauf quelques exceptions que je citerai, surchauffent plus ou moins ; on combat cette surchauffe par des enveloppes à circulation d'eau autour du cylindre et des clapets, par des tiges et pistons creux à circulation d'eau, et même par des refroidissements par circulation de vapeur venant du réfrigérant ; mais, quoi qu'on fasse, la surchauffe existe et augmente la force motrice nécessaire dans une très notable proportion ; on peut dire à priori *qu'une machine avec surchauffe est de beaucoup inférieure, comme rendement, à une machine sans surchauffe*. Quelques-uns ont essayé, par des mécanismes assez compliqués, à injecter du liquide dans le cylindre pendant la compression ; cette voie est évidemment la vraie, mais elle est compliquée et inutile, car la *machine Linde n'a pas de trace de surchauffe*, sans posséder pour cela le plus petit mécanisme spécial ; simplement par la façon de régler la soupape régulatrice en laissant circuler, en dehors de la vapeur, quelques gouttelettes de liquide entraînées mécaniquement. Par suite, cette machine n'a pas besoin de chemise à eau, de pistons creux, etc. : cela simplifie le compresseur et rend tous les organes plus accessibles ; en même temps le rendement est le plus élevé.

Après cet examen général, nous voyons immédiatement se simplifier la question que nous nous étions posée. Si nous résumons les divers résultats, voici ce que nous obtenons :

1° Toutes les *machines non graissées* intérieurement, quel que soit le corps volatil qu'elles emploient, ne peuvent pas aspirer à figurer dans un bon rang, car leur rendement est diminué, et leur entretien ne peut pas être considéré comme bon ;

2° Toutes les machines employant des *graissages exagérés* au moyen de *bains d'huile* diminuent leur rendement par les effets consécutifs de l'absorption et du dégagement du gaz sous la variation de pression, et par le remplissage des tuyaux d'une masse de mousse huileuse ; la diminution du rendement et la complication de l'appareil sont encore augmentées par la construction à simple effet qui n'a aucune raison d'être.

3° Toutes les machines employant des *huiles congelables* donnent lieu à des

chômages et à des démontages fréquents. L'intérieur des serpentins se tapisse d'une mousse pâteuse incompatible avec le but à atteindre. Elles peuvent parfois devenir dangereuses.

4° *Les liquides binaires*, et particulièrement le mélange d'acide sulfureux et d'acide carbonique, ne présentent pas l'avantage de la diminution de la force motrice qu'on leur a attribué à tort.

5° Toutes les *complications employées pour combattre la surchauffe*, telles que : chemises, pistons creux, couvercles creux, injections de liquide par distribution spéciale sont superflues, attendu qu'on peut atteindre le même but par le simple réglage de la machine.

En principe, toutes les machines avec surchauffe sont sensiblement inférieures à celles sans surchauffe.

Tout à coup nous reconnaissons notre chemin dans ce labyrinthe.

Que reste-t-il maintenant de ces centaines de propositions et de détails de construction ?

*La simple pompe horizontale à double effet et à gaz simple, construite aussi exactement que possible de façon à réduire les espaces nuisibles à quelques dixièmes de millimètres, avec stuffing-box en deux parties, et chambre intermédiaire remplie d'huile incongelable et reliée à l'aspiration de la machine.* — Pour des pressions exceptionnelles, la même pompe avec fonctionnement compound. Voilà l'idéal. Nous voyons, qu'en cherchant le meilleur, nous trouvons, comme toujours, le plus simple.

La définition donnée ci-dessus du type idéal du compresseur rapporte principalement à la construction proprement dite. Il reste maintenant à dire quelques mots du corps intermédiaire employé.

M. Richard nous a déjà dit que l'éther sulfurique et plusieurs autres liquides peu volatils sont abandonnés aujourd'hui ; nous avons entendu également pourquoi on les a abandonnés : c'est parce qu'ils exigent des cylindres trop grands, produisant des machines encombrantes. Le développement historique des machines à compression nous indique très clairement la voie suivie : on a toujours abandonné le liquide moins volatil pour un liquide plus volatil, L'éther a fait place à l'acide sulfureux et au chlorure de méthyle ; puis est venu l'ammoniac et enfin l'acide carbonique.

L'éther étant abandonné, examinons de suite *l'acide sulfureux* ; à son sujet, nous pouvons nous en tenir à l'appréciation de l'auteur même de ces machines qui, nous le savons, les a abandonnées aujourd'hui pour leur substituer des machines employant un liquide plus volatil. M. Pictet a dit textuellement qu'il faut employer des liquides à plus fortes pressions que l'acide sulfureux, et il a

choisi un mélange dont les pressions sont intermédiaires entre celles de l'acide sulfureux de l'ammoniac (1).

Je suppose, pour ma part, que ce liquide n'a été choisi que parce que l'ammoniac était déjà pris. J'ai déjà dit ce que je pensais des liquides binaires et surtout du liquide Pictet ; mais, même en laissant cette question ouverte, ces appareils fonctionnent sans graissage et doivent, pour cette raison, être considérés comme inférieurs ; en outre, ils surchauffent énormément : autre raison d'infériorité notable. *L'ammoniac*, au contraire, se comporte très bien avec les huiles minérales : c'est là une supériorité incontestable, à laquelle vient s'ajouter l'avantage des plus petits cylindres, de la neutralité absolue vis-à-vis des métaux employés ; les pressions d'aspiration étant toujours supérieures à l'atmosphère, toute rentrée d'air, d'humidité et de corps étrangers est supprimée, et, par là, la sécurité augmentée. La supériorité de l'ammoniac sur tous les autres corps volatils a été tellement reconnue, elle saute tellement aux yeux, que, depuis trois ou quatre ans, la machine à ammoniac fait l'objet des 9/10 de tous les brevets pris dans cette branche, et qu'un très grand nombre de constructeurs, voyant le succès de ces appareils, se sont outillés pour leur construction ; on pourrait certainement citer 30 à 40 usines ayant commencé cette construction depuis trois ou quatre ans seulement. Ce fait, qui est un fait pratique, confirme la supériorité de l'ammoniac plus que toute discussion théorique.

Reste enfin *l'acide carbonique*.

D'après la loi que nous avons citée tout à l'heure, l'acide carbonique devrait venir au premier rang ; j'avoue que, moi-même, j'étais, pendant des années, partisan de ce corps, que je croyais appelé à supplanter l'ammoniac. Mais, depuis qu'on a pu étudier de plus près les appareils à acide carbonique, je suis revenu de mon idée.

Pour m'expliquer, je prendrai un exemple sur les machines à vapeur.

MM. Sulzer frères ont fait certains essais de consommation de vapeur de leurs moteurs en variant les pressions de la chaudière. Eh bien, les moteurs en question augmentaient de rendement en augmentant la pression de vapeur de 4 à 8 kilogrammes environ ; mais, lorsque la pression s'élevait de 8 à 12 kilogrammes la consommation de vapeur augmentait régulièrement, et pourtant ces moteurs étaient construits de la façon la plus parfaite.

J'en conclus, qu'à partir d'une certaine limite de pression, les fuites dessouspapes des pistons et les autres causes de mauvais rendement acquièrent une influence prépondérante ; de même, et surtout, les espaces nuisibles.

Et je trouve que cette thèse peut s'appliquer immédiatement aux machines à acide carbonique, seulement à un degré beaucoup plus élevé. J'estime que les

(1) Nous avons déjà fait remarquer que M. Pictet a également abandonné son *nouveau* système à liquide binaire (liquide Pictet) depuis l'époque où ce mémoire fut présenté (D).

mêmes causes indiquées doivent diminuer le rendement de ces machines dans d'énormes proportions.

A cette première considération s'en ajoute une autre : M. Richard nous a dit que la chambre du stuffing-box est, dans les machines Reydt, reliée à un gazomètre pour éviter les fuites vers l'extérieur ; or, avec les pressions de 70 atmosphères qui règnent dans ces machines, il est évident que la fuite au gazomètre n'est pas accidentelle, mais régulière, et que la recompression de cette quantité de gaz de la pression atmosphérique à celle du condenseur représente une bonne fraction du travail total.

Enfin la troisième raison, qui ne permettra jamais aux machines à acide carbonique d'avoir un fort rendement, est une raison toute théorique, mathématique, et par conséquent hors de doute : elle provient de ce fait que la chaleur d'évaporation  $r$  de ce liquide est très faible, et sa chaleur de liquide  $q$  très forte ; or, comme le liquide passe de la température du condenseur ( $+ 15$  à  $20^{\circ}$ ) à celle du réfrigérant  $- 10^{\circ}$  par exemple, ce liquide amène dans le réfrigérant une forte quantité de chaleur qui, pour l'acide carbonique, peut devenir plus forte même que le froid ensuite produit par l'évaporation. On peut calculer le rapport de la perte de travail causée par cette raison au travail total nécessaire, et on trouve, par exemple pour  $- 10^{\circ}$  au réfrigérant et  $+ 15^{\circ}$  au condenseur, que ce rapport est, avec l'ammoniac égal à 0,088, et avec l'acide carbonique égal à 0,573.

Avec 25 degrés au condenseur, on trouve 0,133 pour l'ammoniac et 1,534 pour l'acide carbonique.

On voit que, dans le dernier cas, la chaleur amenée au réfrigérant est plus grande que le froid produit ; c'est pourquoi les constructeurs cherchent à abaisser la température du condenseur par des circulations de vapeurs froides, mais, évidemment, toujours au détriment du froid utile.

Enfin, quatrième raison, l'acide carbonique surchauffe énormément à la compression. Toutes ces causes réunies donnent aux machines à acide carbonique un rendement tout à fait insignifiant.

Nous sommes donc autorisés à dire que la voie où se sont engagés des praticiens, c'est à dire le développement de la machine à compression d'ammoniac, est la bonne, et celle à qui appartient l'avenir.

*Et nous pouvons compléter notre définition du compresseur idéal en ajoutant que c'est l'ammoniac qu'il doit employer.*

Maintenant que, dans le nombre des machines à compression, nous sommes parvenus à définir un type, il faudra comparer ce type aux autres systèmes de production du froid : l'air comprimé et l'absorption.

Pour faire utilement cette comparaison, il faudrait, pour ces deux autres classes de machines, également arriver à définir le type idéal. Je ne me reconnais pas la compétence pour le faire, mais je serais très heureux si les spécialistes ici présents

voulaient bien nous donner une définition de chaque type considéré comme le meilleur.

Une fois ces trois définitions bien établies, la question des machines à froid se trouvera singulièrement simplifiée, et il ne faudra plus beaucoup de temps pour reconnaître, entre trois types seulement, celui auquel appartient l'avenir.

M. Richard discute un peu cette question dans son savant mémoire ; il nous dit même que la lutte reste circonscrite entre les machines à affinité et celles à compression d'ammoniac, et que les machines à air froid restent réservées aux bateaux et à quelques applications, où le rendement joue un rôle secondaire.

Je suis absolument d'accord avec la première partie de cette conclusion, mais en désaccord complet avec la seconde partie. Je trouve d'abord que la question du rendement ne joue jamais un rôle secondaire ; cette considération est même la base de tout ce que j'ai eu l'honneur de vous dire jusqu'ici.

Je trouve que la question du rendement : de la *quantité de froid produit par cent kilogrammes de combustible, est précisément la question primordiale*. Or, sans entrer dans la théorie, en ne prenant pour base que les données indiquées par les constructeurs mêmes, il m'est difficile de comprendre qu'on puisse encore choisir une machine à air froid pour une application quelconque.

Comparons par exemple le prospectus de la maison Bell-Coleman au prospectus de la maison Linde, et prenons deux machines de production égale. Eh bien, la machine à air consomme, pour le même travail utile, de 5 à 6 fois la force motrice de la machine à ammoniac, et cela, de l'aveu même du constructeur.

Sur un voyage d'Australie en Europe, avec un appareil frigorifique de moyenne grandeur, cela fait une différence de consommation de 50 à 60 tonnes de combustible, qu'il faut non seulement payer, mais emporter au détriment de la charge utile.

Si, malgré cela, on a préféré jusqu'ici les machines à air, c'est simplement parce que le *type marin manquait pour les autres systèmes*. On ne pouvait pas, sur un bateau, monter séparément machine à vapeur, compresseur, condenseur réfrigérant et diverses pompes, et réunir tous ces appareils entre eux par des tuyaux ; une installation de ce genre aurait certainement donné de déplorables résultats, et on préférerait, pour cette raison, une machine à air. Mais aujourd'hui le *type marin est créé pour la machine à compression* ; MM. Sulzer frères ont à l'Exposition une machine Linde de ce genre, et, à mon avis, c'est là la plus grande nouveauté et la manifestation la plus intéressante parmi les machines de cette spécialité. Cette machine porte sur un seul socle le moteur à vapeur et un compresseur compound.

Le socle contient à l'intérieur le condenseur, et il porte sur ses flancs d'un côté le condenseur à vapeur, de l'autre une pompe à eau puisant directement à la mer. Voilà donc une installation complète en une seule pièce, pouvant se placer n'importe où sur un vaisseau. Aussi cette machine a-t-elle inspiré le plus grand intérêt aux capitaines de navire et aux exportateurs de viande qui ont eu l'occasion de la voir ; immédiatement aussi, la compagnie de la White-Star-Line a commandé deux de ces appareils pour ses vaisseaux.

Il est certain, qu'une fois ce type créé, il n'y a plus de raison d'employer la machine à air froid ; et le terrain va maintenant lui manquer rapidement dans la seule application qui lui restait, le refroidissement des cales du navire.

Voilà donc notre question sur l'avenir des machines à froid encore plus circonscrite et réduite à la comparaison de deux systèmes, employant tous deux l'*ammoniac*.

Faut-il préférer l'affinité à la compression ?

Quelques essais semblent avoir donné des résultats heureux pour la machine à affinité ; mais la plupart des essais, ceux qui sont publiés dans tous leurs détails, et dont on peut poursuivre toutes les phases, ont donné des résultats tout opposés. Les seuls essais sérieux qui sont parvenus entièrement à la publicité sont ceux de l'Association polytechnique de Munich, faits par un certain nombre de professeurs, sous la direction même des constructeurs de ces appareils.

Ces essais, publiés par le rapporteur de la commission, le professeur Schröter, de l'École polytechnique de Munich, ont amené à séparer complètement les machines à affinité en un groupe spécial, distinct des machines à compression.

Je citerai la conclusion de ce rapport, et je termine avec cette citation mon exposé.

M. Schröter dit textuellement :

« En remarquant expressément que les chiffres du tableau ne doivent pas encore représenter le rang *définitif* des divers systèmes, on peut pourtant, sans difficultés, en former certains groupes, séparés entre eux par de tels intervalles qu'il est certainement permis d'en tirer un jugement général sur leur valeur *relative*. Indubitablement, les machines à absorption forment un groupe distinct, dans lequel se présentent divers degrés d'économie de production ; mais ce *groupe*, même avec des améliorations considérables, est toujours séparé des machines à compression par un intervalle tellement grand que l'on reconnaît qu'il y a ici une différence fondée dans le système, et qui sépare la meilleure machine par absorption de la machine par compression. Cette différence est, en réalité, prouvée également par la théorie. »

Pour terminer, je tiens à répéter que je serais très heureux si une discussion prolongée nous amenait à examiner de plus près les diverses questions soulevées et à approfondir leur portée.

## OBSERVATION DE M. HIRSCH

J'ai écouté avec le plus vif intérêt la remarquable discussion dont M. Diesel vient de nous donner lecture. Je me permettrai seulement d'appeler l'attention de la section sur un point qui me semble imparfaitement élucidé. Il s'agit des machines à gaz liquéfiables, et de l'état dans lequel se trouve un gaz pendant la période de compression.

M. Diesel affirme que, dans toutes les machines de ce genre, la vapeur passe, pendant la compression, à l'état de surchauffe ; et il invoque à l'appui de cette thèse l'élévation de température qui se produit pendant la compression, et que, dans un grand nombre de machines, on combat à l'aide d'affusions d'eau froide. Cette preuve ne paraît pas absolument indiscutable : la compression amène naturellement un échauffement, mais cet échauffement peut fort bien coexister avec la saturation, et même avec la condensation partielle de la vapeur ; le résultat, à ce point de vue, est fonction à la fois de la densité et de la température. Même dans la compression adiabatique, il y a parfois condensation de la vapeur saturée : tel est le cas pour la vapeur d'éther sulfurique ; et, avec toutes les vapeurs, il suffit d'enlever une assez faible quantité de chaleur pour que la compression amène une condensation, et cela, malgré l'élévation de température.

L'étude de ces phénomènes est un problème qui, en principe, se résout sans difficulté à l'aide des équations de la thermodynamique. Malheureusement cette solution rencontre, dans les applications, un obstacle sérieux : pour la plupart des vapeurs employées dans les machines à froid, on ne possède pas les constantes physiques nécessaires pour le calcul numérique des équations : les coefficients faisant défaut, il paraît difficile d'affirmer à l'avance que, dans telle ou telle circonstance, il y aura surchauffe ou condensation de la vapeur saturée pendant la compression.

## RÉPONSE DE M. RICHARD

Avant de présenter quelques observations sur la remarquable communication de M. Diesel, je dois lui exprimer tous mes remerciements pour les éloges dont il a bien voulu honorer mon mémoire sur la production et les applications industrielles du froid ; mais je ne puis accepter ces éloges pour moi seul. J'ai eu, en effet, pour m'aider dans la rédaction de ce mémoire, de nombreux collaborateurs parmi les auteurs qui ont, avant moi, étudié cette question, et dans les ouvrages desquels j'ai puisé de précieux renseignements. Je citerai, entre autres : en France, le mémoire classique de M. *Ledoux* sur la théorie des machines frigorifiques à air et à gaz liquéfiés, le travail très important de M. *Armen-gaud* sur les machines à air, le livre de M. *Lezé* sur les machines à glace, et le cours de mécanique de M. *Haton de la Goupillière*, où ce maître éminent traite

la question des machines frigorifiques avec la méthode rigoureuse et l'inimitable clarté qui caractérisent son enseignement tout entier ; en Angleterre, les mémoires présentés aux Civil Engineers et aux Mechanical Engineers de Londres par MM. *Bell-Coleman*, *Kirk*, *Kilbourn* et *Lightfoot* ; en Allemagne, en outre des ouvrages de MM. *Schroter* et *Alois Schwarz*, le traité à peine achevé et déjà classique de M. *Behrend*, qui devrait être entre les mains de toutes les personnes qui s'intéressent à la production industrielle du froid.

Le premier effet de la communication de M. Diesel a été de provoquer, comme vous venez de le voir, entre M. Hirsch et lui, entre le savant et le praticien, une discussion des plus intéressantes au sujet de l'un des points les plus importants du fonctionnement des machines à gaz liquéfiés : le gaz se comporte-t-il, pendant sa compression, comme une vapeur saturée ou comme une vapeur surchauffée ? Et il est résulté de cette discussion, entre deux personnes aussi au courant que possible de la question, non pas la lumière, mais, tout au moins, le doute, tellement, qu'à la fin de la discussion, chacune des parties est tombée d'accord pour admettre qu'il était impossible de trancher définitivement la question dans un sens ou dans l'autre, faute de données scientifiquement établies sur les propriétés physiques des principaux gaz employés dans les machines frigorifiques.

De là l'utilité, presque la nécessité d'une étude méthodique approfondie, à la fois scientifique et industrielle de ces corps.

Mais cette étude ne pourrait être entreprise que par des savants disposant de l'argent nécessaire pour établir des appareils de mesure, de l'habileté indispensable pour les concevoir et les manier, du temps très long qu'exigeraient ces recherches, et enfin d'un local où ils les poursuivraient à loisir. N'est-ce pas une nouvelle démonstration, ajoutée à tant d'autres, de la nécessité d'établir au plus tôt l'un de ces laboratoires industriels dont le Congrès a admis, dans sa dernière séance, l'incontestable utilité ?

Je proposerais en conséquence à l'approbation de votre Section, si M. le Président me le permet, le vœu suivant :

« Comme suite au vœu exprimé par le Congrès relativement à l'organisation « de laboratoires de mécanique, la 3<sup>e</sup> Section recommande en particulier l'insti- « tution de recherches expérimentales précises sur les propriétés physiques « des fluides usités dans les appareils à produire le froid. »

Abordons maintenant l'examen de quelques points de la communication de M. Diesel.

M. Diesel se déclara tout d'abord l'adversaire des *machines verticales* à bâtis distincts, et en particulier des machines à simple effet, dont il fait fort bien ressortir les défauts, mais sans mentionner deux de leurs avantages importants : la moindre fatigue, la non-ovalisation du cylindre qui n'a pas à supporter le poids

du piston, et, dans les machines à simple effet seulement, la moindre fatigue des stuffing-box, qui n'ont pas à supporter la pression de liquéfaction du gaz. Si le nombre des stuffing-box est doublé, leur fatigue est diminuée de plus de moitié, considération qui n'est pas à dédaigner, quelle que soit la perfection de leurs garnitures. Le fait est que, malgré leur prix d'achat plus élevé et leur encombrement plus volumineux, et bien que venues après que les compresseurs à double effet eurent reçu presque tous leurs perfectionnements actuels, les machines à simple effet se répandent de plus en plus : il suffit de rappeler les noms de MM. Lavergne, Kilbourn, Wood et Fixary. Or, il paraît bien difficile d'admettre qu'un dispositif plus cher et plus encombrant remplace ainsi souvent un mécanisme moins cher et plus compact en ne présentant sur ce dernier que des inconvénients. Je ne prétends pas trancher la question en faveur des machines à simple effet, mais je pense qu'il serait aussi plus prudent de ne pas la trancher, même en s'appuyant sur l'autorité de M. Diesel, exclusivement en faveur des compresseurs à double effet.

En ce qui concerne la suppression de l'espace nuisible par le maintien d'une couche d'huile au-dessus du piston des machines à simple effet, M. Diesel pense que, loin de supprimer l'espace nuisible, cette couche d'huile l'augmente par sa transformation en une sorte de mousse ammoniacale. Cela serait parfaitement vrai si l'on avait la prétention de se servir indéfiniment de la même couche d'huile qui, d'ailleurs, ne tarderait pas à disparaître; mais on doit comprendre que l'on entend, lorsqu'on veut employer cette couche d'huile, la renouveler suffisamment pour la maintenir toujours fraîche, insuffisamment imprégnée de gaz pour se transformer en mousse. Dans certaines machines, ce renouvellement s'opère d'une façon modérée, par un graisseur que l'expérience apprend bien vite à conduire; dans d'autres machines, celles de Kilbourn et de Lavergne notamment, il s'effectue avec une surabondance peut-être un peu trop libérale, mais qui s'oppose certainement à la formation de la mousse.

Le *joint pâteux des machines Fixary* a eu le malheur de rencontrer en M. Diesel un redoutable adversaire : il va jusqu'à nier son existence, tout en l'accusant, s'il existait par hasard, des méfaits les plus noirs. Je vais tâcher de dissiper ces préventions, tout en vous avouant que je me trouve, en cette occasion, un peu embarrassé, car la société que je dirige construit des machines Fixary et le bureau d'organisation du Congrès n'a certainement pas eu l'intention de me fournir, en m'honorant de la fonction de rapporteur, l'occasion de vous présenter, à tort ou à raison, la machine Fixary et son joint pâteux comme la plus parfaite des machines à froid. Je n'ai pas d'ailleurs la prétention d'indiquer le joint de M. Fixary comme le seul qui puisse empêcher les fuites; la disposition de M. Tellier remplit parfaitement cette condition; mais je pense, je suis même

certain que notre joint pâteux est absolument imperméable, et cela, avec un moindre serrage des garnitures, un frottement moins élevé. Je dis que j'en suis certain parce que j'ai constaté maintes fois, sur des machines Fixary à double effet, qu'il suffit de supprimer l'action de ce joint pour que l'huile, puis du gaz ammoniac sortent de la garniture, absolument imperméable auparavant. Nous ne pouvons pas spécifier à quel état de congélation ou de viscosité se trouve l'huile de ce joint, mais son efficacité, entendue comme je viens de la définir, est incontestable. Nous pouvons même aller plus loin, et vous signaler une observation tendant à démontrer que l'huile du joint pâteux n'est pas complètement liquide, même autour de la tige du piston : cette tige est, en effet, absolument sèche au sortir de la garniture ; on peut souvent y frotter une feuille de papier sans la graisser : c'est une constatation que je viens de répéter en présence de M. Hirsch, sur la machine Fixary installée au frigorifère de l'asplade des Invalides.

Quand à l'objection tirée de l'obligation d'employer pour le joint pâteux de l'huile congelable, susceptible de se répandre dans les serpentins du bac à glace et de les engorger par sa congélation, je ferai remarquer qu'il n'est pas *nécessaire* d'employer pour le graissage général de la machine, l'huile même qui circule plus ou moins dans le joint pâteux, et que, si nous n'agissons pas ainsi, c'est que nous avons constaté l'innocuité complète de l'emploi, tant pour le joint que pour le graissage général, d'une l'huile lourde, congelable vers  $-20^{\circ}$ . Cette huile se trouve, en effet, presque complètement enlevée à l'ammoniac, dès sa sortie des compresseurs, par un séparateur d'huile, constitué sur le principe des antiprimeurs des chaudières à vapeur, et qui ne laisse arriver aux serpentins du réfrigérant que des traces d'huile négligeables en pratique. Cette séparation de l'huile s'opère d'ailleurs très bien, par des procédés analogues, dans les machines de Lavergne, de Wood, de Kilbourn, etc., où le graissage très abondant conduirait sans cela à une obstruction rapide des serpentins.

L'objection à l'emploi de l'*acide carbonique* tirée de la chaleur élevée de son liquide, aurait besoin, pour porter avec toute l'importance que lui attribue M. Diesel, de la confirmation expérimentale des chiffres cités par lui, et qui paraissent en contradiction complète avec les résultats affirmés par M. Windhausen. Ici encore, ce serait au laboratoire industriel de trancher la question.

Je ne puis m'empêcher de trouver M. Diesel un peu sévère à l'égard des *machines à affinités*. Je sais bien qu'elles ont été condamnées par les expériences de Munich, qui les ont accusées d'un rendement trois fois moindre environ que celui des bonnes machines à compression ; mais il n'est pas bien certain que ces expériences soient sans appel. D'autres expériences, exécutées en France et en Amérique, les contredisent sur bien des points. Il y aurait lieu, pensons-nous,

de comparer et de discuter les résultats de ces différentes expériences avant de considérer la sentence des juges de Munich comme tout à fait définitive.

Le jugement prononcé par M. Diesel contre l'emploi *des machines à air*, même sur les navires, me parut aussi quelque peu prématuré. La principale objection des armateurs à l'emploi des machines à gaz liquéfiés sur les navires est, en effet, l'élément d'insécurité ou de risque introduit dans leur fonctionnement par leur dépendance d'un approvisionnement limité d'un produit chimique : une fausse manœuvre, un accident suffisent pour perdre la charge d'une machine, et le maniement de ces gaz exige des ouvriers spéciaux, dont la maladie peut compromettre par quelques jours d'arrêt le sort d'une cargaison infiniment plus précieuse que le combustible perdu par suite du moindre rendement des machines à air. Ces appréhensions, peut-être exagérées mais très légitimes au fond, empêcheront sans doute l'emploi des machines à gaz liquéfiés à bord des navires tant qu'elles ne les auront pas dissipées par quelques applications heureuses et prolongées. Nous souhaitons que la machine de M. Linde remporte ce succès : elle ouvrirait ainsi aux machines à gaz liquéfiés une nouvelle voie, ce dont nous ne pourrions que féliciter M. Linde et son éminent constructeur, M. Sulzer ; mais nous pensons néanmoins qu'il conviendrait de rester, jusqu'au succès final, dans une certaine réserve à ce sujet.

Ces quelques observations faites, il ne me reste plus qu'à remercier, pour mon compte personnel, M. Diesel des renseignements qu'il a bien voulu nous fournir dans son intéressante communication, où l'on rencontre à chaque pas la marque d'un praticien émérite, élevé à l'école de M. Linde, l'un des ingénieurs les plus éminents en matière de machines à froid.

---

## Légende des Planches

Planche 1-2. — *Machine à air de Windhausen.*

A compresseur-détendeur séparé en deux parties par une gorge isolante *c*.

B long piston creux, rempli de matière non conductrice, aspirant l'air par le clapet *b*, et le refoulant, par *a*<sub>1</sub> au travers du tuyau J<sub>1</sub> et des tubes du refroidisseur F, qui l'annèlent, par J, à l'aspiration *a*<sub>1</sub> du détendeur. L'air froid et détendu est refoulé, par la soupape *b*<sub>1</sub> partie au refroidisseur F, au travers du tuyau J<sub>2</sub>, partie au bac à glace, par le tuyau J<sub>3</sub>, puis du bac à glace au refroidisseur, par le tuyau J<sub>3</sub>. Enfin, ces deux parties de l'air froid reviennent à l'aspiration *b* du compresseur par le tuyau J<sub>1</sub>.

F refroidisseur de l'air comprimé divisé, par la chambre tubulaire F<sub>1</sub> en deux parties F<sub>2</sub> F<sub>3</sub>, refroidies : la première par la circulation d'eau même qui qui rafraîchit le compresseur, et la seconde par l'air froid amené directement du détendeur, par J<sub>2</sub>, et du bac à glace par J<sub>3</sub>. Les proportions d'air admises au refroidisseur F par J<sub>2</sub> et par J<sub>3</sub> sont réglées par la manœuvre du robinet *p*.

H bac à glace avec chicanes en bois H<sub>3</sub>, destinées à uniformiser la distribution de l'air froid sur les mouleaux. *r*, poche en caoutchouc régularisant la pression de l'air dans le bac à glace, R, reniflard laissant pénétrer de l'air extérieur filtré dans le bac, dès que la pression s'y abaisse, malgré la poche *r*.

Planche 3-4. — *Machine à ammoniac de Kilbourn.*

AA, soupapes d'aspiration avec *dash-pot*, et soutenues par un étrier (fig. 4). B, soupape de refoulement.

L'ammoniac refoulé par BD, le robinet V et le tuyau F, au condenseur M, s'échappe par le tuyau H et le robinet de détente W, au réfrigérant E, pour revenir à l'aspiration C du compresseur par le tuyau N et le robinet d'isolement U.

P, tuyau amenant l'eau de circulation par QQ au condenseur, d'où elle s'échappe par R et par S, au réfrigérant qui l'amène glacée en O'. G, agitateurs : un pour le condenseur, un pour le réfrigérant.

Planche 5-6. — *Machine à glace Fixary*, type vertical de 50 kilogs à l'heure.

A, pompe ou compresseur à deux cylindres à simple effet. — B, condenseur avec serpentins de condensation. — C, récipient à ammoniac liquifié. — D, récipient à huile. — E, réfrigérant ou congélateur. — F, robinet d'isolement du congélateur. — G, robinet isolant le condenseur. — H, robinet de réglage. — I, séparateur d'huile. — L, robinet isolent le récipient. — M, robinet isolant le récipient C du séparateur d'huile. — N, robinet de communication. — O, robinet de chargement. — P, bouchon de purge d'air. — Q, robinet distributeur d'huile. — R, robinet de réglage du joint congelé ou joint pâteux. — S, soupape d'équilibre. — T, bouchon de nettoyage.

Planche 7-8. — *Exemple d'une installation frigorifique de Brasserie* (Cirier-Pavard à St-Germain).

Une machine à ammoniac Fixary, horizontale, à double effet, du type de 500 kilogrammes de glace à l'heure, fonctionne sur un réfrigérant qui alimente, avec une petite fabrication de glace, deux circulations : une circulation de liquide incongelable, qui refroidit les caves de réserve par des serpentins disposés aux plafonds des caves, et une circulation d'eau glacée, qui refroidit les cuves de fermentation, en passant par des refroidisseurs à double fond immergés dans ces cuves.

Planches 9 à 14. — *Installation d'une fabrication de 2,000 kilogrammes de glace transparente à l'heure, procédé Fixary-Stoppani* (Société des glaces pures à Paris).

A, machines à vapeur Farcot. — B, compresseurs à ammoniac Fixary. — C, condenseurs. — D, égoutteur séparateur d'huile. — E, récipient à ammoniac. — F, réfrigérants. — G, chariot roulant de relevage des mouleaux. — H, bac à eau chaude. — I, bac refroidisseur de l'eau épurée. — J, plan incliné pour le démoulage des blocs de glace. — K, crémaillères d'avancement des mouleaux. — L, épurateur de vapeur. — M, condenseur de vapeur. — N, refroidisseur. — O, filtre. — P, pompes à air. — Q, pompes alimentaires. — R, accumulateurs. — S, pompe centrifuge. — T, transmission principale. — U, transmission intermédiaire commandant les pompes à air. — V, transmission de commande du chariot roulant. — X, transmission de commande des agitateurs. — Y, puits et pompes d'alimentation d'eau. — Z, conduite d'eau au réservoir d'alimentation. — *a*, arrivée d'ammoniac aux réfrigérants. — *b*, robinets de détente. — *c*, aspiration dans les réfrigérants. — *d*, aspiration des compresseurs dans le bac refroidisseur. — *e*, refoulement des compresseurs aux séparateurs d'huile. — *f*, refoulement des séparateurs d'huile aux condenseurs. — *g*, refoulement des condenseurs aux récipients à ammoniac. — *h*, échappement de vapeur à l'épurateur. — *i*, conduite de vapeur

épurée au condenseur de vapeur. — *j*, communication du condenseur au refroidisseur. — *k*, conduite d'eau condensée au filtre. — *l*, amenée d'eau filtrée aux pompes alimentaires. — *m*, refoulement des pompes alimentaires aux accumulateurs. — *n*, amenée d'eau des accumulateurs au bac refroidisseur. — *n'*, arrivée d'eau de source de l'épurateur Howatson. — *o*, appareils du remplissage des mouleaux. — *p*, aspiration d'air. — *q*, refoulement d'air. — *r*, conduite d'eau du refroidisseur aux condenseurs. — *r'*, conduite du refroidisseur allant aux condenseurs à ammoniac. — *s*, trop-plein des condenseurs allant à la pompe centrifuge. — *s'*, arrivée du trop-plein des condenseurs à ammoniac. — *t*, conduite d'eau de la pompe aux condenseurs de vapeur. — *u*, tuyau de trop-plein.

Planche 15. — *Frigorifère Fixary de 5000 calories, à trois compartiments avec chambre de conservation des viandes.* (Exposition de 1889.)

A, Chambre froide ou de conservation de 50 mètres cubes. — *d*, Ventilateur aspirant l'air du haut de la chambre, par la conduite B, et l'y refoulant, au travers des compartiments *ccc* du frigorifère, par les conduites C C, disposées latéralement et pourvues de nombreuses trappes de réglage. — *b*, Machine à glace Fixary de 50 kilogrammes à l'heure, type vertical. — *a*, Moteur à gaz Otto de 6 chevaux.

Planche 16. — *Frigorifère Chambers des Victoria Docks* (p. 279).

D D D D, Compresseurs verticaux à simple effet au gaz ammoniac, vitesse 100 tours par minute. — E B, E B, Machines à vapeur compound de 30 chevaux. — C C, Pompe à air. — A A, Pompe de circulation.

Planches 17, 18. — *Frigorifère Fixary, maison de conservation ou entrepôt frigorifique de Crefeld*, p. 294.

*a*, Machine à vapeur. — *b*, Compresseurs Fixary à double effet de 100.000 calories chacun, dont un de rechange. — *c*, Réservoir d'huile. — *d*, Condenseur d'ammoniac. — *e*, Récipient pour l'huile et l'ammoniac liquéfié. — *f*, bac à glace de 375 kilogrammes à l'heure. — *g*, Bac de démolage. — *h*, Plan de vidange des mouleaux. — *i*, Bac d'alimentation des mouleaux. — *k*, Grue roulante du service des mouleaux. — *l*, Chemin de roulement de la grue. — *m*, Frigorifère Fixary de 60.000 calories. — *n*, Conduite d'air froid. — *o*, Conduite d'air chaud. — *p*, Conduite d'air frais. — *q*, Conduite d'air vicié. — *r*, Ventilateur du frigorifère. — *s*, Appareil de distillation pour fabrication de gaz ammoniac en parlant de l'ammoniac du commerce. — *t*, Pompe alimentaire à main. — *u*, Pompe centrifuge d'alimentation d'eau, etc. — *v*, Réservoir de distribution d'eau. — *w*, Transmission. — *x*, Manomètre. — *y*, Puits.

Planches 19, 20. — *Frigorifère Fixary, installation de Kalk*, (p. 264).

*a*, Compresseur à double effet, type horizontal. — *b*, réservoir d'huile. — *c*, condenseur d'ammoniac. — *d*, Récipient d'huile et d'ammoniac liquéfié. — *e*, Frigorifère Fixary à quatre compartiments. — *f*, Ventilateur du frigorifère. — *g*, conduite d'air froid. — *h*, Conduite d'air chaud. — *i*, Conduite d'air frais. — *k*, Sortie de l'air vicié. — *l*, Appareil à distiller l'ammoniac. — *m*, Pompe d'alimentation à la main. — *o*, Réservoir. — *p*, Transmission. — *q*, Manomètre. — *r*, Cheminée. — *s*, Locomobile. — *n*, Pompe centrifuge de circulation d'eau.

Planches 21-22. — *Frigorifère et machine à glace Fixary. Installation de la Compagnie frigorifique portugaise*, (p. 292).

M M, Machines motrices. — C C, Chaudières. — *pp*, Compresseurs Fixary de 100.000 calories à double effet. — C C, Condenseurs. — G G, Bacs à glace transparente. — A, Accumulateurs. — V R, Condenseur et refroidisseur de la vapeur condensée (p. 253). — E, Frigorifère Fixary. — N, Ventilateur. — W W, chambres froides. — *a*, Conduites d'aspiration. — *r*, Conduites de refoulement de l'airrefroidi.

Planches 23-24. — *Frigorifère Fixary. Installation des Halles de Bruxelles.*

A, Machine motrice. — B, Compresseur Fixary à double effet de 100.000 calories. — *b*, Refoulement de l'ammoniac aux condenseurs C C — *a*, Aspiration de l'ammoniac détendu revenant du bac à glace E et du frigorifère Y au compresseur. — *f*, Echappement des machines à vapeur : cette vapeur débarrassée de sa graisse dans l'épurateur de vapeur I, se condense en J; M, pompe à air, K, refroidisseur de l'eau condensée. — L, Filtre d'où l'eau condensée, froide et purifiée, est reprise par la pompe N, qui la refoule, par le tuyau *j*, dans un accumulateur, d'où elle passe, par *h*, au réservoir refroidisseur *s*, du service des mouleaux ; ce réservoir est traversé par le retour *a* de l'ammoniac au compresseur dans un faisceau tubulaire. — E, Bac à glace recevant l'ammoniac liquéfié par le tuyau *e*, avec treuil roulant F et avancement des mouleaux U, bac et câble de démontage G et H, turbine agitatrice *a*. — Y, Frigorifère Fixary avec ventilateur X, aspirant l'air des chambres froides en *l*, et le refoulant refroidi par *m*... *d*... robinets de détent : du frigorifère. — Z, Chaudières. — V, Réservoir de distribution d'eau. — R R, Transmissions.

# LA SUCRERIE ET LA DISTILLERIE

à l'Exposition Universelle de 1889

PAR

Paul HORSIN-DÉON

INGÉNIEUR

---

## AVANT-PROPOS

Les *industries agricoles* sont, de toutes celles qui vivent sur le sol de France, les plus dignes de l'intérêt public, à cause des immenses ressources qu'elles procurent à l'Agriculture pour écouler ses produits.

Nous pouvons dire que dans l'Europe toute entière il en est de même, car la culture du blé n'est plus rémunératrice au dire de tous, et les plantes industrielles prennent la première place dans les assolements, comme celles qui doivent fournir aux cultivateurs le bénéfice réel de leurs durs travaux.

L'agriculture de son côté tient le premier rang dans les productions de l'Europe et même du monde entier, tant au point de vue de la superficie productive qu'elle représente que par la somme d'argent qu'elle met en roulement dans l'échange de ses produits divers. Mais que ferait-elle si l'industrie ne s'emparait pas de ses plantes sucrées, betteraves et canne à sucre, de son houblon, de ses céréales, de ses pommes de terre, de ses graines oléagineuses pour les transformer en sucre, alcool, bière, fécule, huile, savon, etc. Qu'advierait-il si les usines cessaient leur travail ? Elle végéterait comme elle végète dans les pays où les usiniers ne prêtent pas leur concours au cultivateur, et le prix de la terre, au lieu de croître sans cesse, diminuerait graduellement au fur et à mesure de la ruine générale, comme cela s'est vu dans les crises sucrières de tous les pays.

Les industries agricoles enfin forment le grand pivot autour duquel tournent

toutes les transactions, car elles ont pour objet principal de satisfaire au premier besoin de l'homme, l'alimentation.

C'est pour l'alimentation que se créent les routes, les chemins de fer, les transports de toutes sortes, et c'est pour elle que s'extrait la houille et le fer. Là où l'homme n'a pas de besoins, comme dans les pays chauds, l'industrie agricole n'existe pas ; là aussi les chemins de fer font défaut, ainsi que toutes les autres industries. C'est pourquoi les législateurs doivent porter tous leurs soins à protéger l'éclosion et la vie des usines qui emploient les produits de l'agriculture.

Malheureusement il n'en est pas toujours ainsi, surtout en Europe. Les deux plus grandes, la sucrerie et la distillerie, aussi bien que l'industrie du vin d'ailleurs, semblent mises à l'index par les gouvernements qui prétendent en faire les sauveurs des budgets en détresse. Plus qu'aucune autre industrie, ces deux-ci sont soumises aux rigueurs du fisc, pressurées à rendre l'âme, et l'on ne leur desserre l'écrou que lorsque, presque mortes, on craint de voir périr en elles, la poule aux œufs d'or ! Aussi la législation change-t-elle sans cesse pour elles, et il faut qu'elles soient bien vivaces pour ne pas en être mille fois enterrées. On parle beaucoup dans les parlements de protéger l'agriculture et l'on tue les industries agricoles ! C'est l'une de ces bizarreries qui proviennent de bien des causes dont l'explication n'est pas du domaine d'un ouvrage tel que celui-ci, et que nous nous contentons de mentionner sans commentaires.

Après ce que nous venons de dire, il n'est pas sans intérêt de donner quelques chiffres comme preuve à l'appui de l'importance de ces industries agricoles.

L'industrie sucrière en France produit pour 245 millions de francs de sucres et de mélasse, tandis que l'industrie de la houille ne produit que 241 millions et celle du fer 222 millions.

65 000 ouvriers d'usine, 110 000 ouvriers agricoles, telles sont les forces humaines qu'emploie la sucrerie. 100 000 bœufs sont nourris de ses résidus, enfin 71 000 chevaux-vapeur sont employés dans les sucreries de France ! Et voilà comment cette industrie se rattache à l'industrie du fer et du charbon, par son immense matériel mécanique qui a une valeur de près de 200 millions et par la grande quantité de vapeur qu'elle emploie. Et comme dernier chiffre, des plus typiques, citons les 166 millions qu'elle rapporte au trésor.

Donnons donc à ces belles industries, si nationales, l'appui dont elles ont besoin, sans exiger d'elles de sacrifices trop lourds, et les traitant autant que possible sur le pied d'égalité avec les autres industries ; ce sera le moyen de protéger l'agriculture qui ne peut vivre que par elles et pour elles, et c'est ce que comprendront ceux qu'anime l'esprit de progrès et de justice par lequel se soutiendra la fortune industrielle et agricole de nos riches contrées.

---

## SUCRERIE

---

Le plus grand progrès que l'industrie du sucre ait vu réaliser depuis 1878, est sans contredit celui de l'amélioration de la culture.

Déjà, à la dernière Exposition universelle les cultivateurs de graines nous présentèrent de magnifiques espèces d'une richesse exceptionnelle. Mais la ferme ne les avait pas encore adoptées en France, seule l'Allemagne en profitait.

Aujourd'hui il en est tout autrement. Partout on a compris que le champ est le grand laboratoire où se fabrique le sucre, où s'élaborent les jus sucrés plus ou moins purs et par conséquent plus ou moins faciles à travailler, et l'on s'est mis avec ardeur à la recherche des graines les plus profitables à la fois à l'usine et au fermier. Grâce à ce choix de la graine, et à la culture mieux raisonnée, grâce aussi aux travaux remarquables de chimistes et agronomes éminents de tous les pays, la betterave riche et pure s'est répandue partout, et c'est certes là le progrès le plus réel que nous ayons à enregistrer depuis dix ans.

Quelques changements importants se sont d'ailleurs produits aussi dans l'usine en même temps.

La diffusion a complètement remplacé les presses pour l'extraction du jus de la betterave, et son matériel s'est amélioré avec un usage plus répandu.

Si les méthodes d'épuration des jus sont restées à peu près les mêmes, néanmoins le contrôle chimique de la fabrication a pris une extension remarquable, et l'Exposition des chimistes de Sucrerie nous montre toute la perfection que l'on porte au laboratoire dans la recherche des méthodes d'analyse rapide ou complète des produits de la sucrerie. Car à mesure que l'on obtenait des betteraves plus riches, on s'efforçait aussi de la travailler mieux pour extraire le maximum de sucre possible, diminuer les pertes, et tirer le meilleur parti possible des produits que livre cette industrie.

A cause encore de la pureté plus grande du jus l'emploi du noir animal est tombé peu à peu en discrédit comme un agent presque inutile et coûteux d'épuration. Nombre d'usines dans tous les pays l'ont à peu près supprimé, et bientôt les fours à noir ne seront plus qu'une légende des temps jadis, que l'on ne trouvera plus qu'en raffinerie.

En revanche les filtres-presses ont dû être étudiés avec plus de soin pour permettre un lavage aussi parfait que possible des écumes et perdre moins de sucre, en même temps que l'on cherchait à rendre moins boueux les jus qui en découlent. De ce côté on peut signaler un progrès réel, et en tous cas une somme de travail et de recherche considérable.

De plus, les filtres-presses se sont complétés par la filtration mécanique, dont

le but était de remplacer le noir en tant qu'agent donnant la limpidité aux jus avant l'évaporation.

Les filtres mécaniques sont d'introduction récente en sucrerie, quoiqu'ils rappellent les antiques filtres Taylor que l'on employait jadis au temps de la défécation simple. Mais néanmoins on ne peut comparer que pour mémoire les temps anciens et les temps nouveaux tant est grand le progrès réalisé depuis lors dans notre industrie.

L'exposition ne présente qu'une seule amélioration réelle dans le mode d'évaporation du jus. Mais elle est considérable. C'est le système Rillieux pour l'évaporation et le chauffage à effets multiples. Ce système a révolutionné l'industrie sucrière en certains pays, en Autriche surtout, en apportant des économies considérables de combustible aux usines qui l'ont employé. Le système Rillieux commence à prendre racine un peu partout et est assurément celui que l'avenir adoptera d'une façon générale.

A côté de cela l'Exposition offrait peu de modèles nouveaux comme chaudières évaporatoires. Un seul est essentiellement récent et présente un réel intérêt. C'est l'appareil inventé par M. Mariolle-Pinguet de Saint-Quentin. Et cependant des engins nouveaux sont nés à l'Etranger. Il est regrettable de ne pas les voir ici.

Rien de changé pour la cuite des sucres, mais le travail de la masse cuite offre quelques systèmes nouveaux qui ne constituent pas des améliorations primordiales.

Le travail des mélasses depuis 1878 a suivi des phases nombreuses et mouvementées. De nombreux systèmes ont été essayés et abandonnés. Quelques-uns seulement ont résisté à l'expérience et restent en pratique.

Notons encore quelques essais de raffinage en fabrique, cette opération si simple qui ne peut s'implanter dans la sucrerie à cause des lois fiscales.

En raffinerie proprement dite aucun progrès exposé. D'ailleurs la raffinerie ne fait qu'appliquer les innovations introduites dans les sucreries, comme le travail des mélasses qui s'y est grandement développé.

Tel est en quelques mots le bilan de l'Exposition de 1889 pour l'industrie sucrière. Nous allons maintenant examiner en détail les appareils nouveaux dont quelques-uns sont exposés seulement.

Nous ne croyons pas devoir nous astreindre dans cet examen aux seuls objets exposés, plusieurs maisons n'ayant pu produire leurs appareils pour des raisons diverses.

Mais à la fin de ce travail nous ferons une étude d'ensemble des diverses Expositions afin de bien coordonner les faits signalés et montrer les progrès réalisés par chacun.

---

## Réception des racines à l'usine

---

### TRANSPORT DES BETTERAVES A L'USINE

Aujourd'hui la pesée de la betterave est le mode usité pour déterminer l'impôt en France. Outre le besoin d'avoir de bonnes betteraves, il est donc devenu indispensable de l'amener propre et sèche à la balance, pour ne pas payer de droit sur de la terre et de l'eau arrivant à la bascule.

Aussi doit-on avoir bien soin, lors du transport des champs ou des silos, de n'amener que des racines bien décollées sans paille ni feuille. On doit aussi faire attention à la nature de la terre qui enrobe les betteraves, car les terres argileuses ne peuvent se nettoyer à l'eau qu'après un ressuyage préalable qui dessèche suffisamment la terre pour qu'elle tombe en croûte. Pour celles-là la mise en silos ou en tas pendant un temps plus ou moins long est indispensable et l'on ne devra jamais les conduire directement des champs à l'usine.

Un système qui est en grande faveur auprès de la sucrerie, pour le transport des betteraves des silos à l'usine, est le *transporteur hydraulique*.

Il consiste en un canal étroit ayant assez de pente pour que l'eau que l'on y projette par une pompe s'écoule rapidement. Ce canal court tout le long des silos. On y jette les betteraves, et celles-ci entraînées par le courant suivent le trajet de canal qui débouche au pied de l'élevateur desservant les laveurs. Les racines arrivent donc ainsi à l'usine avec un lavage préalable très efficace. Comme les betteraves nagent dans l'eau, une grille placée en un point convenable du canal est un excellent épierreur.

Enfin on peut varier le parcours à l'infini, faire passer le canal sous les silos, en le recouvrant alors d'un plancher mobile qui permet de faire tomber presque sans main d'œuvre les betteraves dans l'eau courante.

De plus cette eau peut être celle des pompes à air, et se trouver amenée dans le haut du canal par les pompes elles-mêmes, sans avoir besoin de pompe spéciale, en sorte que l'installation se simplifie beaucoup lorsque la disposition de l'usine et des silos le permet.

Ce système a donc de grands avantages comme économie de main d'œuvre et comme lavage des racines.

On lui objecte que si les betteraves restent longtemps dans l'eau, les parties tranchées, comme le collet et les blessures, forment autant de centre de perte de sucre par diffusion. Nous ne croyons pas l'objection fondée, attendu que les betteraves doivent toujours être lavées, et que la diffusion s'opère aussi bien dans les laveurs que dans le transporteur hydraulique.

De plus la diffusion ne se fait qu'à une faible profondeur de quelques millimètres seulement, c'est la zone de diffusion facile. Au delà il faut un temps très

long pour arriver au désucrage. Or cette diffusion facile est celle qui se fait dans tous les laveurs, et la betterave ne reste pas assez longtemps dans l'ensemble du transporteur et des laveurs pour que la zone facile de diffusion soit dépassée. Enfin la betterave reste infiniment plus longtemps dans les laveurs que dans le transporteur, et même avec le transporteur comme on peut diminuer l'importance des laveurs la somme totale de lavage peut ne pas être augmentée.

De tout cela résulte que le transporteur hydraulique se répand rapidement en dépit de cette objection, la seule sérieuse, et qu'il est adopté dans un très grand nombre d'usines, mais surtout en Autriche et en Allemagne. En Russie la température est le seul obstacle qui s'oppose à son adoption, encore l'avons-nous vu employé fréquemment dans les magasins à betteraves fermés qu'on appelle « bourakovnia » qui contiennent une provision de betteraves suffisante pour alimenter l'usine pendant deux ou trois fois 24 heures.

Les canaux du transporteur hydraulique ont environ 400 millimètres de largeur sur une profondeur de 450 à 500 millimètres, dimensions variables suivant l'importance de l'usine, la quantité d'eau dont on dispose et la rapidité du courant.

La pente ne doit pas être moindre de 7 millimètres par mètre, plus grande dans les courbes que dans les lignes droites. Plus elle est grande, plus rapide est le courant et meilleur est le service du transporteur, mais aussi plus grande doit être la quantité d'eau fournie. Lorsque l'on a peu d'eau à sa disposition, on peut diminuer un peu la pente pour que la betterave nage sans cesse, mais il faut prendre de grandes précautions pour éviter les obstructions.

Depuis 1878 c'est à peu près la seule amélioration qui ait été faite pour le transport des betteraves à l'usine.

### ÉLÉVATEURS

La betterave amenée à l'usine doit être déversée dans les laveurs. Une grande facilité pour le travail introduite dans le nouveau mode d'agencement des usines est de mettre les laveurs au niveau du sol, de manière à ce que les transporteurs hydrauliques ou autres, les wagonnets ou les brouettes puissent s'y déverser directement.

Sinon il faut élever la betterave au niveau du laveur.

Les élévateurs à vis, connus en 1878 sous le nom d'élévateurs Charpentier, sont de plus en plus employés et prennent des noms divers suivant le pays où l'on en fait usage. On les applique d'ailleurs à tous les services, pour les cossettes épuisées aussi bien que pour la betterave.

On se sert parfois en Allemagne et en Autriche, comme élévateurs à betteraves, de grandes roues à aubes intérieurs, marchant d'un mouvement lent produit par un engrenage. Les betteraves sortant du transporteur hydraulique tombent dans la roue, s'égouttent un peu en montant, et se déversent dans la trémie des la-

veurs. La fig. 1 représente cette roue telle que l'a construit en France, M. Magnin (Charmes).

Ces grandes roues nous semblent bien embarrassantes et sujettes à réparation, néanmoins quelques-unes sont installées en France.

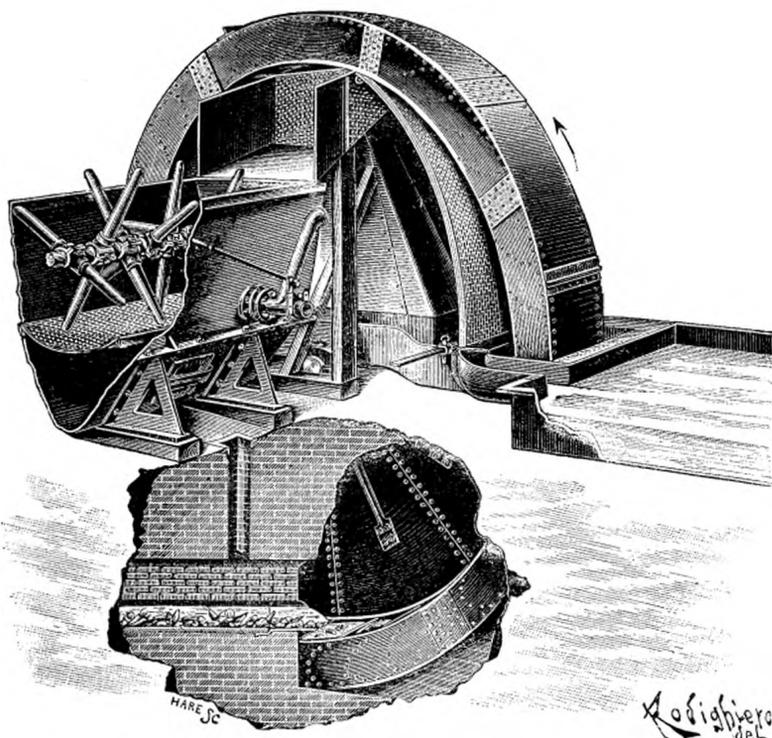


FIG. 1

Les élévateurs à palettes ou à godets sont, en somme, ceux qui sont le plus répandus, avec chaînes d'entraînement ou courroie de chanvre ou caoutchouc.

A l'Exposition il n'y avait qu'un seul spécimen de transporteur à chaîne, système Ewart, exposé classe 50 par la Maison Burton fils.

La chaîne système Ewart se compose de maillons facilement démontables, comme on le voit figure 2, mais disposés de telle façon que, lorsque la chaîne est tendue, les maillons ne puissent se décrocher en aucune manière, puisqu'il est indispensable de donner une forte inclinaison à l'élément lorsque l'on veut le faire glisser dans le crochet du précédent.

Les maillons sont en fonte malléable, tous exactement calibrés, ce qui permet

de les substituer l'un à l'autre, et d'obtenir avec le même nombre d'éléments des chaînes exactement de même longueur.

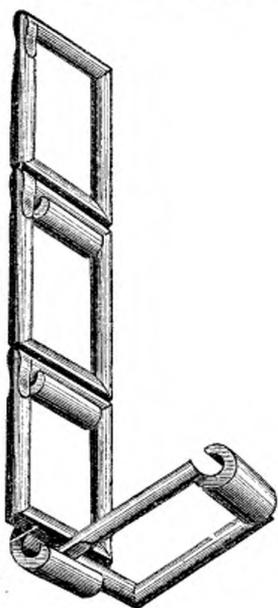


FIG. 2

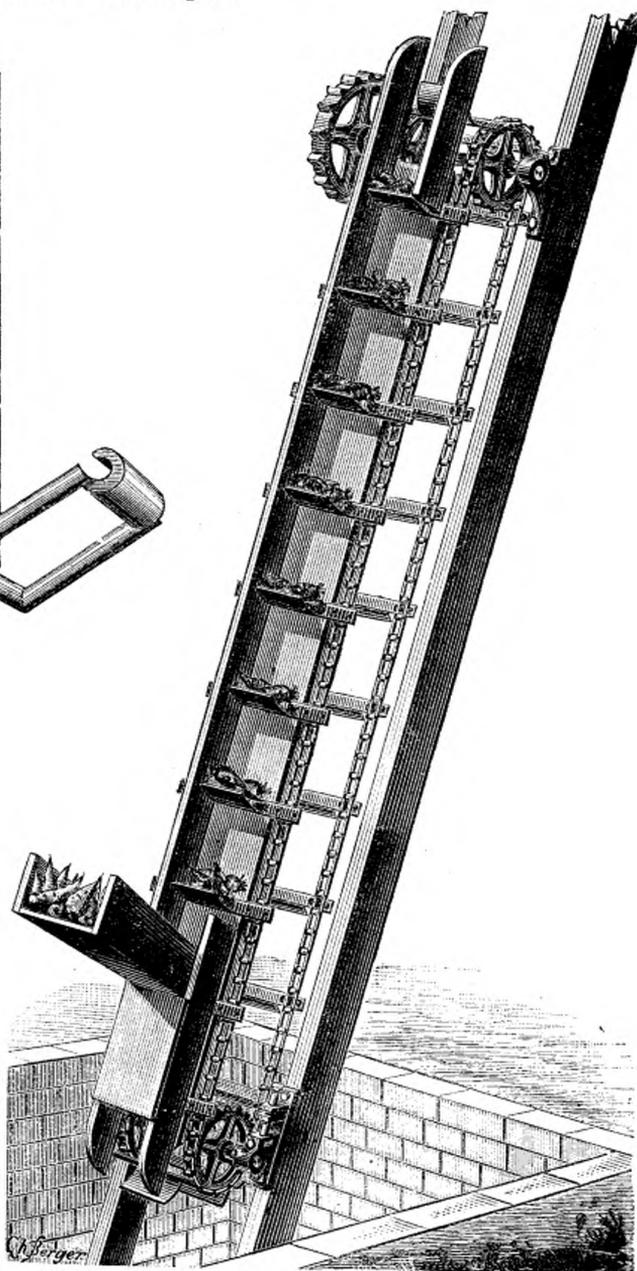


FIG. 3

Grâce à ces qualités, la chaîne Ewart permet de construire des élévateurs

(fig. 3) dont les palettes peuvent avoir la longueur que l'on désire, tout en restant parallèles, les deux extrémités de chaque palette étant retenues par des chaînes identiques roulant sur des roues à denture calibrée. On a ainsi des élévateurs à betterave puissants et légers, et ne laissant rien à désirer.

La chaîne Ewart permet d'ailleurs toutes les combinaisons possibles pour les élévateurs et transporteurs à palettes, à godets, etc. Elle peut servir aux mêmes usages que les chaînes de Gall pour les transmissions même à grande vitesse (jusqu'à 5 mètres par seconde), et, comme elle ne craint pas l'humidité, elle se recommande pour tous les cas où l'emploi des courroies serait impossible.

*Laveurs.* — Rien de nouveau de ce côté. On préfère aujourd'hui les laveurs à bras aux laveurs à tambour (voir fig. 1 précédente). Le seul perfectionnement qui existe c'est que les bras sont mobiles sur l'axe de manière à changer l'angle du pas de vis à volonté. A cet effet tous ces bras sont portés chacun sur une chape creuse qui s'enfile sur l'arbre; cette chape porte, sur le pourtour des deux faces, des crans disposés de telle façon que les saillies de l'une rentre dans les creux de la chape voisine, en sorte que toutes ces chapes serrées l'une contre l'autre forment un tout rigide. Il suffit donc que la dernière chape porte une vis de serrage pour fixer en place tous les bras dans la position qu'on aura donnée avec l'angle d'inclinaison voulu.

*Sécheur.* — Du lavoir, la betterave ne peut aller telle quelle à la bascule pour être pesée, car elle est trop humide. Aussi a-t-on cherché des moyens mécaniques de séchage, ou plutôt d'égouttage, car on n'est pas encore arrivé à la sécher d'une manière pratique.

Le moyen le plus répandu est le *secoueur mécanique* espèce de plan légèrement incliné, en tôle perforée de trous nombreux suffisamment petits pour que les queues de betteraves ne passent pas, ou formé de lattes en fer rapprochées parallèlement.

Il est animé d'un mouvement de va et vient suffisamment rapide pour que la betterave, par la force d'inertie et grâce à l'inclinaison du plan, reste en place au mouvement de recul, le plan métallique reculant seul sous la betterave, ce qui fait que la charge avance toujours et ne revient pas en arrière.

Le mouvement de va et vient est donné par une manivelle ou une excentrique, et le passage du point mort concourt aussi à l'effet précité.

Enfin le mode de suspension du plan incliné est variable. Tantôt il se meut sur une glissière, tantôt il est suspendu au moyen de petites bielles ou de ressorts.

Cet appareil suffisamment long et bien monté rend de réels services. Auprès on peut mettre des femmes chargées de décoller les betteraves boutuses et d'enlever les corps étrangers qui pourraient arriver à la bascule.

Un autre appareil plus efficace encore est le transporteur-essuyeur, construit par Denis-Lefèvre et C<sup>o</sup> de Saint-Quentin. Il se compose d'une douzaine de cylindres placés tous parallèlement et tournant tous dans le même sens de même vitesse. Ces cylindres sont autant de brosses tournantes garnies en baleine ou en piassava et forment le fond d'une nochière allant du lavoir à l'élévateur du coupe-racines. La betterave tombant dans cette nochière est entraînée de brosse en brosse, roulée dans tous les sens, essuyée par elles, et arrive bien époncée et bien nettoyée à la bascule.

Le seul entretien de cet appareil est l'usure des brosses; néanmoins il répond bien à son but.

### BASCULE

Les betteraves sont élevées ensuite au moyen de chaînes à godet verticales jusqu'à l'appareil de pesage.

La régie française est très exigeante. La bascule doit répondre à de nombreux desiderata.

Le chargement et le déchargement ne peuvent se faire qu'avec l'assentiment de l'employé de la régie. La pesée doit être toujours la même, et le déchargement ne peut se faire que si le poids est exact dans la benne.

Le déchargement ne doit pouvoir se faire que lorsque l'employé a mis la bascule au cran de repos, cran qu'il ne peut lui-même embrayer que si le poids de la betterave est exact. Deux compteurs doivent marquer automatiquement le nombre de pesées, l'un visible, l'autre invisible, et les deux compteurs doivent marquer le même chiffre à la vérification.

Enfin, lors de la pesée, la benne, la bascule, tout le système en un mot, doit être enfermé sous une cage inabordable pour qu'on ne puisse frauder. L'appareil doit donc contrôler fabricant et employé de la régie.

Disons de suite que les inventeurs se sont ingénies à résoudre ces nombreux problèmes, et qu'un grand nombre de bascules fonctionnent à la satisfaction de tous, sans donner de retard à l'alimentation de la trémie du coupe-racines.

L'Exposition contenait de nombreux spécimens d'instruments de pesage pour sucrerie.

Il y a deux systèmes généraux. Le système à bennes fixes, et le système à bennes mobiles.

Dans le *système à benne fixe*, celle-ci est portée à demeure sur la bascule et tous les leviers, compteurs portes d'emplissage et de vidange etc., sont supportés par elle. La benne a le fond incliné du côté de la porte de vidange, et cette porte ne peut s'ouvrir que lorsque le couvercle est fermé, et réciproquement le couvercle ne peut s'ouvrir que lorsque la porte de vidange est fermée. Une série de leviers contrariés, d'excentriques et de crochets mis en mouvement par ces engins, permet d'arriver à ce double résultat. Enfin la porte de vidange ne peut s'ouvrir que lorsque le verrou d'arrêt du fléau de la balance a pu être poussé, et ce verrou

d'arrêt ne peut être poussé que quand le fléau est bien horizontal. A cet effet, le levier actionnant le verrou d'arrêt est dans la main de l'employé de la régie. Il pousse en même temps une came qui fait obstacle à l'ouverture de la porte du bas lorsque le verrou d'arrêt est ouvert, et qui au contraire permet son ouverture à l'exclusion de celle de la porte du haut quand il est fermé.

Telles sont les conditions que doivent remplir ces balances.

Le système à bennes mobiles est plus simple, il est appliqué à des wagonnets que l'on amène sur une bascule. Le cran d'arrêt du fléau ne peut-être poussé que lorsque le wagonnet enfermé dans la cage de toile métallique qui le rend inabordable a bien le poids. Mais ce mode de pesée n'est appliqué qu'aux usines ayant déjà des wagonnets, quoiqu'un procédé ingénieux proposé par M. Gallois, et approuvé par la régie comme nous le verrons plus loin, permette facilement de généraliser ce système qui a beaucoup d'avantages.

Nous trouvons dans les premiers :

### Exposition Maguin

L'appareil pour pesage des betteraves exposé par M. Maguin comporte tous les organes dont nous parlons plus haut. La véritable amélioration apportée par l'inventeur est la suivante (fig. 4).

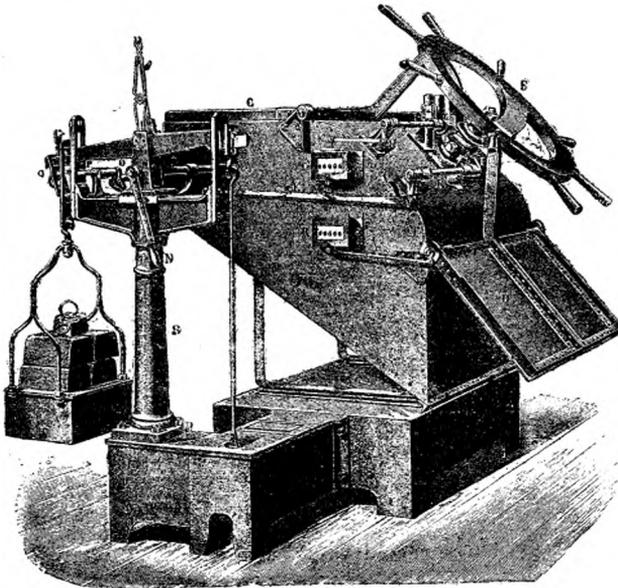


FIG. 4.

Dans tous les appareils de pesage il faut manier les leviers tantôt de haut en bas, tantôt de bas en haut. Il peut arriver que l'ouvrier se trompe de sens et fasse alors le mouvement arrière s'étant aperçu de son erreur. Mais alors le compteur marque, celui-ci étant solidaire des leviers de manœuvre, et c'est une pesée indiquée en trop.

M. Maguin a fait actionner la manœuvre par un volant E qui tourne toujours dans le même sens, soit pour ouvrir soit pour fermer, chose possible puisque le mouvement est alternatif. Il est donc impossible de marquer deux fois de suite au compteur sans avoir fait une évolution complète de tout le mouvement, par conséquent l'ouvrier ne peut plus se tromper.

On voit sur la figure 4 en R et C' les deux compteurs, en N le levier qu'actionne l'employé de la régie, en C la porte de chargement, et D la porte de vidange.

### Exposition Montauban et Marchandier

Dans le petit modèle exposé (fig. 5) la porte du haut peut être ouverte et fermée sans obstacle quand la porte du bas est fermée au moment de l'emplis-

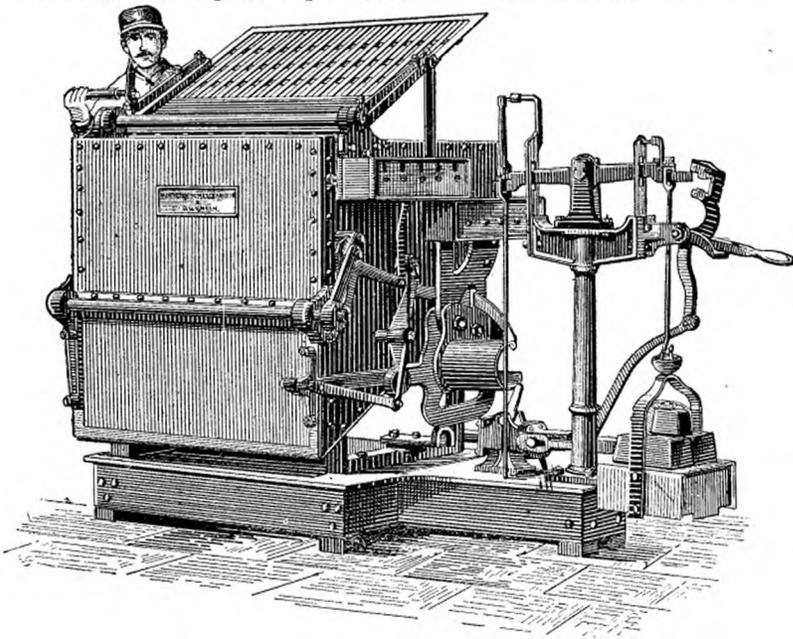


FIG. 5

sage, mais la porte du bas ne peut être ouverte que quand celle du haut est fermée définitivement. Cela permet de régler bien exactement la pesée en ajoutant ou retranchant des betteraves, d'ouvrir et de fermer la benne sans marquer au compteur. Le compteur ne marque qu'à l'ouverture de la porte du bas, et lorsque l'employé de la régie a poussé le verrou d'arrêt. D'ailleurs un dispositif ingénieux ne permet pas de pousser le verrou d'arrêt tant que la porte du haut n'est pas bien close.

On remarque de plus la façon dont est disposée la manivelle de manœuvre des couvercles qui est indépendante, de manière à ne pas nuire à la sensibilité de la bascule, et de plus, très abordable par l'ouvrier.

Enfin, la même exposition contenait un spécimen de compteurs rustiques et indérangeables pour les bennes (fig. 6), condition nécessaire avec la brusquerie des ma-

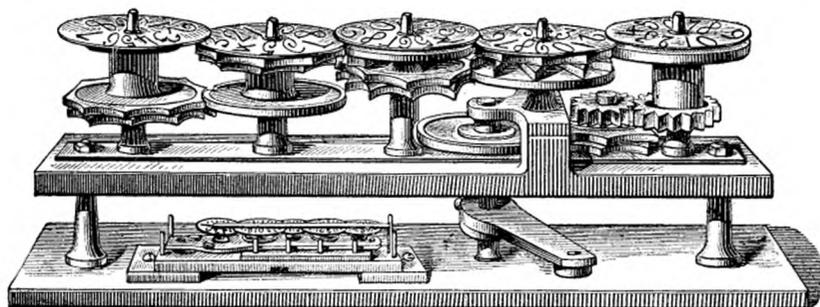


FIG. 6.

nœuvres d'usine. Ces compteurs donnent de plus la facilité à l'ouvrier de rouvrir la porte de vidange au moment où il vient de la fermer s'il s'aperçoit qu'une betterave, par exemple, entrave la fermeture et cela sans que le compteur marque de nouveau.

## Exposition des Usines de la Mulatière

L'appareil de pesage, système *Bride*, qui se trouvait dans cette exposition a les mêmes avantages que le système précédent, réouverture de la porte du bas sans marquer au compteur, ouverture à volonté de la porte du haut lorsque celle du bas est fermée ; mais les leviers ne paraissent pas très faciles à manier.

Comme spécimen de bennes mobiles, nous ne voyons qu'un petit modèle :

## Exposition de M. Gallois

Le système de M. Gallois est fort ingénieux. Le voilà en deux mots :

Le wagonnet à betteraves roule sur des rails dans un tunnel à section rectangulaire. Ces rails sont portés sur le tablier de deux bascules, sur les deux premiers tiers du parcours et surplombent la trémie du coupe-racines sur l'autre tiers. De même le dessus du tunnel est ouvert sur le premier tiers et fermé sur les deux autres tiers. La première bascule sert au fabricant à faire le poids exact. Quand ce poids est obtenu, que le tablier est bien de niveau, le wagonnet est poussé par une chaîne sans fin sur le tablier de la deuxième bascule qui est celle de la régie, et qui est rendue extra-sensible par la position spéciale des couteaux. Si le poids est exact, le tablier de la balance reste au même niveau étant parfaitement équilibré. Si le poids est trop fort, le tablier s'enfonce, et il est impossible au wagonnet d'aller plus loin à cause de la solution de continuité des rails qui le calent. Si, au contraire, il est trop léger, le tablier remonte et deux calles l'arrête au plafond du tunnel. Il faut, dans les deux cas, revenir en arrière pour parfaire le poids. Lorsque la pesée est exacte, le wagon va jusqu'à la trémie où il se vide automatiquement.

Telle est l'économie du système qui comporte une série de détails des plus ingénieux et qu'il est difficile d'expliquer sans dessin. Il a été approuvé par la régie comme les précédents.

---

## ÉTUDE DE LA BETTERAVE

---

### LA BETTERAVE RICHE

La betterave est une plante bisannuelle dans nos climats, à racine pivotante. La première année, elle développe sa racine et ses feuilles ; la seconde année, elle monte à graine.

Lorsque la betterave se trouve dans des pays sans hiver, la poussée des graines arrive après le parfait développement de la racine. Le même phénomène se

passé également dans nos climats avec certaines graines probablement plus hâtives, qui, sous l'influence encore peu connue des conditions climatiques, montent à graine dès la première année.

Tous les soins des fabricants ont porté depuis quelques années à cultiver la betterave riche en sucre. En effet le prix de revient du sucre à l'usine est d'autant moindre que la matière première est plus riche, quand bien même on paierait à sa valeur le sucre contenu dans la betterave, non seulement parce que la matière première étant plus riche les frais de sa main-d'œuvre sont moindres, mais encore parce qu'il a été reconnu que plus la betterave est riche en sucre, plus le jus sucré qu'on en retire est pur et plus il se travaille facilement, demandant moins de soin pour sa défécation et moins de chaux ou agents épurants.

C'est grâce à la betterave riche, à son jus plus pur, que l'on est arrivé à la suppression de l'emploi du noir animal dans les fabriques, à la suppression des décanteurs, en un mot, à la simplification du travail et, par conséquent, à l'abaissement du prix de revient.

Il est encore une autre raison pour laquelle les fabricants en France ont recherché la betterave riche. Ce sont les lois fiscales auxquelles est soumise la sucrerie depuis 1884. En effet, la régie pèse la betterave à son entrée dans l'usine, et c'est d'après cette pesée qu'est établi l'impôt en admettant pour la betterave une richesse moyenne déterminée d'avance.

Le poids de la betterave, multiplié par la richesse moyenne, donne le sucre imposable sur lequel se répartit l'impôt; tout le sucre produit en plus, d'après la loi de 1884, doit être indemne d'impôt. Mais le sucre manquant est imposé comme existant. On peut juger par là quel intérêt ont les fabricants à produire des excédents en achetant de la betterave riche! Aussi les cultivateurs français, poussés par les fabricants, eurent-ils en trois ans produit de la betterave aussi riche que celle que les Allemands avaient mis dix ans à créer sous l'empire du même régime.

Cette loi de 1884 a donc été un grand bienfait pour la sucrerie, bienfait dont la culture a largement profité; car la betterave a pris dès lors une valeur proportionnelle à sa teneur en sucre, et quoique le cultivateur ait obtenu moins de racine à l'hectare, le champ lui a produit d'avantage à cause du prix élevé de vente de la récolte. De plus ce champ produisant moins, et produisant une racine plus riche en sucre et moins riche en sels, est moins épuisé d'engrais, d'où bénéfice pour tout le monde.

Mon but n'étant pas de parler des lois fiscales de la sucrerie, je pourrais m'arrêter là. Mais j'ajouterai que le fisc a vu d'un mauvais œil les bénéfices que les fabricants réalisaient, grâce au travail de leur intelligence. Aussi sous prétexte de *déficit sur les évaluations budgétaires*, a-t-il imposé depuis les excédents, augmenté la prise en charge, et réduit le plus possible les bonis dûs aux excédents. Les fabricants ont diminué dès lors le prix auquel ils payaient la bette-

rave, en sorte que c'est la culture qui paie toujours les fausses manœuvres des législateurs à l'égard des industries agricoles. En voulant diminuer les bénéfices des industriels au profit du budget, les législateurs tuent l'agriculture et s'en vont larmoyer ensuite aux Parlements sur la 'mauvaise fortune des agriculteurs ! C'est ainsi dans tous les pays et ce sera ainsi tant que l'on considérera les industries agricoles comme des vaches à lait que l'on peut traire abusément pour engraisser les budgets.

Le grand, l'immense progrès que la sucrerie a fait depuis 1878 est donc l'obtention normale à l'usine d'une betterave riche qui lui a permis de simplifier le travail de l'usine.

Mais obtenir une betterave riche ne se fait pas sans provoquer de la part des intéressés des recherches, des études, des travaux sans nombre pour arriver à ce maximum de richesse.

Un point important était de savoir comment naît le sucre dans la betterave, et pourquoi certaines betteraves sont riches tandis que d'autres sont pauvres, et enfin qu'elles sont les meilleures méthodes de culture pour obtenir la betterave riche.

#### FORMATION DU SUCRE DANS LA BETTERAVE

Nous allons passer en revue les points les plus importants de ces différents problèmes.

En 1877 eut lieu, à ce propos, à l'Académie des sciences, une grande discussion soulevée par M. Violette et à laquelle prirent part MM. Claude Bernard, Duchartre, Pasteur, Berthelot, Boussingault et autres savants éminents. De cette longue discussion la lumière ne put jaillir, malgré tous les mérites de tous ces grands physiologistes. C'est que l'on ne possédait à ce moment que des éléments généraux de discussion et aucun fait n'était assez particulier pour qu'il ne puisse s'expliquer de plusieurs façons.

La base de toute cette discussion était que la betterave effeuillée est moins sucrée que la betterave qui conserve toutes ses feuilles jusqu'à maturité complète. Et l'on se demandait si le sucre s'élabore par la racine ou par les feuilles. L'ablation des feuilles semblait prouver que c'est là que se forme le sucre. Mais d'autres répondaient que l'effeuillage provoquait un retard dans le travail des racines. Qui avait raison ?

Cependant d'autres chercheurs éminents continuaient leurs travaux sur la betterave. Les feuilles, les pétioles, les racines étaient pesées et analysées avec soin, des tableaux étaient dressés où l'on tenait compte de toutes les données climatériques. MM. Corenvinder, Dehérain, Leplay, Pagnoul et d'autres encore

rivalisaient d'ardeur pour se rendre compte des conditions d'existence de la précieuse racine. Les Allemands, de leur côté, cherchaient et compilaient. C'est alors, en 1886, que M. Aimé Girard, l'éminent professeur du Conservatoire des Arts et Métiers et de l'Institut agronomique, entreprit les travaux qui l'amènèrent au bout de plusieurs années d'études à découvrir la véritable mécanique de la formation du sucre dans la betterave. C'est par la feuille que se forme le sucre et sous l'influence solaire.

Quelques mots sur ce beau travail dont l'auteur était le Président de la section sucrière à l'Exposition.

Le but que s'était proposé M. Aimé Girard était l'étude complète de la betterave depuis l'extrémité la plus fine des dernières radicelles jusqu'à celle des feuilles, afin que rien de l'existence de la plante ne pût lui échapper. A cet effet, la graine de betterave fut semée dans un terrain artificiel formé de bonne terre franche, tamisée pour écarter tout objet capable de déranger la croissance de la racine.

Cette terre était contenue dans une caisse formant un terre-plein de 2 mètres de hauteur, 6 mètres de largeur et 13 mètres de longueur, formant donc 75 mètres carrés de surface utile environ, et garantie par des talus extérieurs des changements brusques de température, comme serait un champ d'expérience ordinaire.

Enfin l'intérieur de ce terre-plein était divisé par des cloisons verticales en dix cases de végétation.

La terre a été analysée, puis travaillée comme les terres à betterave, enrichie d'engrais chimiques, et semée en Avril. On put alors faire dix récoltes à époques assez régulièrement espacées jusqu'au 1<sup>er</sup> Octobre, date de la dernière.

Les récoltes se faisaient de la manière suivante :

En avant de chaque case on abattait la cloison verticale. La terre alors s'éboulait. Mais les betteraves étaient maintenues en place dans leur position normale avec grandes précautions. Au moyen d'un jet d'eau lancé avec soin, on les débarrassait de la terre qui les enveloppait ; en sorte que M. Girard put se procurer un certain nombre de racines, dans chaque case, avec toutes leurs radicelles, leur chevelu complet, sans la moindre déchirure.

Ces betteraves étaient épongées extérieurement par des moyens fort ingénieux, puis photographiées, mesurées, pesées, analysées, etc.

Tout a été fait avec tant de soin et d'habileté, que M. Girard put connaître exactement les moindres détails de la vitalité des racines. Les souches, les pivots, les radicelles, les pétioles, les limbes et les nervures des feuilles furent soumis à l'examen analytique le plus minutieux.

Bien plus, ces derniers éléments furent examinés après récolte de jour et récolte de nuit, ce qui fut un trait de génie, car c'est de là qu'est survenu le succès complet des investigations de M. Girard.

Voici le résumé des observations auxquelles ont donné lieu ce long et beau travail.

Etant connu que le but des feuilles et des radicelles est de nourrir la souche de la betterave, et d'y accumuler le jus sucré, les radicelles ne concourent en rien à la formation du sucre ; elles ne servent qu'à absorber l'humidité et les sels nourriciers du sol.

Tout autre est l'objet des feuilles. C'est dans les limbes que s'élabore le sucre qui s'écoule par les nervures et les pétioles vers la souche. Le jour le sucre se forme, la nuit il est absorbé par la racine, en sorte qu'au matin, limbes et pétioles sont moins chargés de sucre que le soir. C'est la lumière solaire qui préside à la création du sucre, et plus le ciel est découvert et sans nuage, plus le sucre se forme en abondance par la feuille.

Ainsi c'est la feuille qui forme le sucre. Le problème est définitivement résolu par M. Aimé Girard.

Nous nous sommes étendus un peu longuement sur ce sujet, car il est de premier ordre pour l'histoire de la végétation, et qu'il est fertile en résultats pratiques pour la culture.

On pouvait voir à l'Exposition les photographies publiées dans le mémoire que M. A. Girard a écrit sur ses belles recherches, donnant, au sixième, des spécimens des betteraves à l'époque des dix arrachages successifs. On y voit l'extraordinaire développement du chevelu qui présente jusqu'à 2<sup>m</sup>,50 de longueur. Il n'avait jamais été donné jusqu'à ce jour de pouvoir contempler toutes les radicelles de ces racines pivotantes qui occupent dans le sol une telle surface que M. Girard évalue à 6 ou 8 mètres cubes le volume de terre dans lequel chaque betterave peut développer ses organes. C'est ce qui explique la difficulté des repiquages lorsque la betterave a déjà un certain développement, et aussi la difformité des racines qui ne peuvent étaler à leur aise leur chevelu dans un sol mal défoncé. Enfin cela montre comment les récoltes des racines pivotantes ameublissent les sous-sols, qu'ils enrichissent par l'immense quantité de radicelles laissées en terre lors de l'arrachage. L'agriculteur peut donc tirer de ces recherches beaucoup d'enseignements, chacun d'après la nature des terrains qu'ils cultivent, aussi bien sur la manière même de les travailler, que sur la nature des engrais qu'il doit répandre dans ses champs.

## PRÉPARATION DE LA TERRE — ENGRAIS

De ce que nous venons de dire on tire immédiatement la conséquence suivante : c'est que la terre doit être labourée profondément. Car non seulement il faut qu'elle soit bien meuble pour permettre au pivot de s'élaner rapidement dans

le sol, mais encore il est non moins indispensable que les radicelles s'étendent facilement autour pour prendre leur nourriture.

Il faut aussi que le sol soit bien fumé régulièrement et partout pour que le chevelu puisse s'étendre tout autour et que la racine ait une bonne forme facile à l'arrachage.

Enfin il faut bien choisir ses engrais, pour qu'ils restent là où leur présence est nécessaire, cela surtout pour ce qui a rapport aux engrais chimiques. Car certains sels, comme par exemple le carbonate d'ammoniaque, filent dans le sous-sol avec les eaux pluviales, tandis que le nitrate d'ammoniaque remonte sans cesse à la superficie. Donc suivant la nature du sol ou du sous-sol, suivant les effets végétatifs que l'on voudra produire, on emploiera tel ou tel produit chimique approprié.

Sur ce point comme sur tous les autres, rien d'absolu d'ailleurs. C'est au cultivateur à bien connaître ses terres, et à savoir se servir des données de la science pour l'entretenir en humus et en sels fertilisants.

Nous n'en dirons pas plus long sur ces points importants, car nous ne pouvons aborder la partie agricole dans cette revue de l'Exposition sucrière, ce que nous avons dit expliquant suffisamment les nécessités d'un travail énergique du sol avec l'emploi d'une quantité suffisante d'engrais bien choisis.

Nous y reviendrons d'ailleurs souvent par la suite, en traitant de la betterave elle-même.

## SEMILLE — GRAINE DE BETTERAVE — SA CULTURE

Depuis 1884 on a beaucoup cherché quelle était la meilleure disposition à adopter sur le champ pour l'espacement des lignes et des plans. On s'est aperçu que les plans rapprochés et les lignes espacées produisaient les betteraves les plus riches en sucre, mais aussi diminuaient le poids de la racine; de là grande résistance du cultivateur qui veut du poids pour tirer plus d'argent de sa culture. Néanmoins, en choisissant bien sa graine et ses espacements, on arrive facilement à produire des récoltes de 40 000 kilogrammes à l'hectare, en betteraves suffisamment riches, en sorte que cultivateurs et fabricants y trouvent leur compte. On est arrivé en effet à augmenter parallèlement le poids du sucre dans la racine et le rendement à l'hectare, en sorte que les appréhensions du cultivateur contre la betterave riche qui se surpaie sont complètement tombées aujourd'hui, à peu d'exceptions près.

Cet heureux résultat est dû pour beaucoup aux travaux nombreux et assidus d'agronomes distingués qui, dans de vastes champs d'expérience, ont recherché les meilleures conditions de culture pour satisfaire à toutes les exigences.

Car si la France a produit industriellement la bonne betterave après l'Alle-

magne, elle n'a pas eu qu'à copier ce qui se faisait chez ses voisins pour faire aussi bien qu'elle.

En effet la culture betteravière est essentiellement variable avec le climat et la nature du sol ; telles méthodes, telles graines, qui réussissent bien en un point ne donnent que des résultats médiocres dans un autre.

Il a donc fallu dans chaque contrée rechercher la graine et le mode de culture les plus favorables. C'est ainsi que se sont fondées les *stations agronomiques*, les *syndicats agricoles*, etc, dont les travaux ont doté chaque contrée des méthodes de culture qui leur sont le plus profitables.

Beaucoup de ces stations agronomiques ont exposé des tableaux et des collections qui prouvent toute l'utilité de ce genre d'établissements.

En moyenne on cherche à obtenir 8 à 10 betteraves par mètre carré ; on y arrive en donnant 20 à 25 centimètres entre les plans, et environ 45 centimètres entre les lignes. Les betteraves obtenues ainsi pèsent dans les 300 à 800 grammes, et sont d'une richesse de 14 à 17 % de sucre, même parfois d'avantage. Il en résulte que, s'il n'y avait pas de manquants, on aurait des récoltes de 60 000 kil. à l'hectare.

On est donc dans de bonnes conditions pour les cultivateurs et les fabricants, qui sont ainsi rémunérés de part et d'autre de leurs travaux.

On s'explique assez bien que les plans serrés donnent de la betterave riche. En effet, avec ce mode de semaille, la feuille et le pivot avec son chevelu ont toute la place nécessaire pour s'accroître dans les vastes sillons qui séparent les lignes. Seules les souches sont gênées dans leur accroissement. Comme d'après ce que nous avons vu dans le remarquable travail de M. A. Girard, ce sont les feuilles qui font le sucre, et que ces feuilles ont leur entier et facile développement, il n'est pas étonnant que, leur œuvre s'accomplissant sur une souche de petite dimension, celle-ci soit plus riche en matière sucrée à l'exclusion des matières salines et ulmiques que les racines n'absorbent par osmose qu'autant que le suc de la plante peut en prendre. Si le suc est très aqueux, les sels s'absorberont facilement. Si au contraire il est déjà chargé de sucre, par conséquent d'une densité élevée, l'action osmotique des sels sera moindre. C'est ce qui fait que plus un jus est riche en sucre, moins il contient de sels ; c'est ce qui fait aussi qu'en prenant la densité d'un jus de betterave on juge assez exactement de sa qualité par le poids spécifique trouvé.

Indépendamment du mode de culture, nous avons dit que la graine jouait un des rôles principaux dans l'obtention de betteraves riches. Cela se conçoit facilement ; la nature des sujets cultivés pouvant différer du tout au tout, il est indispensable de choisir ceux qui sont le plus propres à la contrée où ils doivent vivre. C'est ainsi que nous avons vu, dans les terres noires de la Russie, les Vilmorins améliorés donner de splendides résultats, et les Simon Legrand mal réussir, tandis que dans les terres jaunes avoisinantes ce sont les Simon Legrand

qui réussissaient le mieux comparativement aux Vilmorin. Les cultivateurs intelligents doivent donc se mettre d'accord avec la sucrerie pour le choix de la graine, c'est incontestable.

De grands travaux, d'us surtout à l'initiative privée, ont été faits sur la culture de la graine. Le nom de Vilmorin est attaché depuis trois quarts de siècle à l'amélioration des races par la sélection de la graine; d'autres, plus récents, comme Simon Legrand, Desprez, etc., ont joint leurs efforts à cette grande œuvre. Nous ne parlerons pas des Allemands qui n'ont pas voulu figurer à l'Exposition, mais nous signalerons qu'en Russie de belles cultures de bonnes graines existent aussi comme celles de Charitonenko, de L. Walkhoff, etc.

Pour la culture des porte-graines, les conditions sont tout autres que pour celles des betteraves destinées à la sucrerie. Il faut, à l'encontre de l'autre mode de culture, que la racine ait son entière liberté de développement pour que les radicelles et le pivot, qui vont maintenant travailler avec beaucoup plus d'énergie que la feuille, puissent absorber les sucS nourriciers de la terre fortement enrichie dans laquelle on la plante.

A l'Exposition on pouvait remarquer de magnifiques porte-graines présentés par M. Jules Legras, de Besny, près Laon. Ces porte-graines étaient cultivés par une méthode nouvelle particulière à l'exposant. Plantées en quinconce, en laissant 1 mètre entre les lignes dans un sens et 0<sup>m</sup>,50 dans l'autre, chaque pied, qui est écarté de 1 mètre en tous sens du pied voisin, a dès lors un vaste espace où s'étendre, avec facilité remarquable pour binages répétés en tous sens. Cette culture est rationnelle au point de vue de la nutrition de la plante, et, paraît-il, elle est rationnelle aussi au point de vue du rendement en graine et de la qualité, ce qui est le point important, puisque M. Legras récolte en moyenne 488 g. de graines par pied, soit environ 3 000 kilogrammes de graines par hectare.

M. Legras pratique en plus une opération utile sur chaque sujet; c'est l'ablation complète de la tige du centre si forte et si absorbante pour les sucS de la plante, et le pincement de tout *gourmand* qui se trouve dans le même cas. Il en résulte que la graine profite autant que possible des sucS absorbés par la racine et est plus lourde, plus saine, plus active. Le fait est que les betteraves qui en sont issues, telles que les présentait M. Legras, ont une moyenne de plus de 17 % de sucre, ce qui est excellent pour la sucrerie, avec un rendement à l'hectare de 26 à 30 000 kilogrammes de racines.

En joignant aux soins de culture une sélection bien entendue, un choix de racines de bonne et forte descendance, c'est ainsi qu'on est arrivé aux belles espèces qui sont partout en honneur dans les fermes travaillant avec conscience pour la sucrerie.

## ESPÈCES DE BETTERAVES

La galerie du quai d'Orsay nous présentait les espèces de betteraves les plus propres à la sucrerie, réparties entre de nombreux exposants. En effet, indépendamment des grands producteurs de graine, chaque comice agricole, chaque groupe de cultivateur faisait voir les espèces produites dans leur centre, et l'on pouvait ainsi juger des différences que chaque contrée présente dans la culture de la betterave.

Mais pour que pareille exposition fût entièrement profitable dans le sens que nous indiquons, il eût été nécessaire d'accompagner chaque espèce de l'analyse et de la description des terres où les racines avaient poussé, ce que l'on rencontrait trop rarement.

## Exposition Vilmorin-Andrieux.

Nous ne saurions mieux définir le but que la maison Vilmorin-Andrieux s'est donné en présentant les spécimens de betterave qui figuraient à son exposition qu'en citant textuellement quelques passages de la brochure que M. Vilmorin a écrit sur « les graines de betterave à sucre » et si nous citons ces passages c'est qu'ils répondent complètement aux idées nouvelles qui se sont fait jour en France depuis 1884. Cette brochure dit en effet :



FIG. 7

« Depuis que ce système de perception de l'impôt a été introduit en France par la loi de 1884, les races de betterave à sucre d'une richesse supérieure ont été naturellement les plus recherchées, comme étant les seules qui permettent d'atteindre sûrement et de dépasser fréquemment le rendement légal. Sous ce rapport la *betterave blanche améliorée Vilmorin* (fig. 7), se recommande d'une façon toute particulière par sa richesse exceptionnelle, sa grande pureté et facile conservation.

« Mais il va de soi que, pas plus que les autres, elle ne peut satisfaire à tous les besoins, et qu'il y a place à côté d'elle pour des races à produit plus

abondant et à richesse un peu moindre, tout en restant suffisante pour permettre d'atteindre pleinement le rendement imposé...

« La nécessité d'aller en chercher les graines à l'étranger ne nous semble nullement imposée par la force des choses. L'idée que nous avons besoin de graines allemands parce que nous avons adopté le régime d'impôt allemand peut être spécieuse, mais elle n'est pas juste.

« Les premiers et les plus grands bénéfices des fabricants allemands, sous le régime de l'impôt sur la betterave, ont été obtenus avec des racines provenant de graines françaises. Il n'y a donc aucune raison pour que nos fabricants, et par extension nos cultivateurs, ne fassent pas parfaitement leurs affaires au moyen de graines récoltées dans notre pays ».

Et plus loin :

« La betterave à sucre, en effet, soumise depuis de longues années à la culture, est devenue si souple et si maniable qu'il est aisé de la modifier suivant les besoins au gré du producteur ».

Partant de ces idées, M. Vilmorin a cherché et a créé des races de betteraves marchant parallèlement avec la betterave *Vilmorin améliorée*, véritable type de la betterave à sucre riche et stable dans sa race, et qu'aucune autre n'a jamais surpassée, ces nouvelles races répondant aux besoins de la culture et de la sucrerie tout à la fois, c'est-à-dire donnant richesse et rendement suffisant pour satisfaire les deux partis.

Entre autres se trouve la *betterave blanche française riche* (fig. 8), dont le rendement cultural est supérieur non seulement à la *Vilmorin améliorée*, mais encore à la *Klein-Wanzleben*, cette betterave allemande si recherchée aujourd'hui. La richesse moyenne du jus de cette betterave varie de 15 à 16,5 % de sucre, avec des densités de 1,070 à 1,075, qui monte souvent à 1,080. Les racines sont très régulières de forme, longues, minces, tout à fait enterrées, mais demandant une terre profonde et très bien préparée. Son feuillage ressemble à

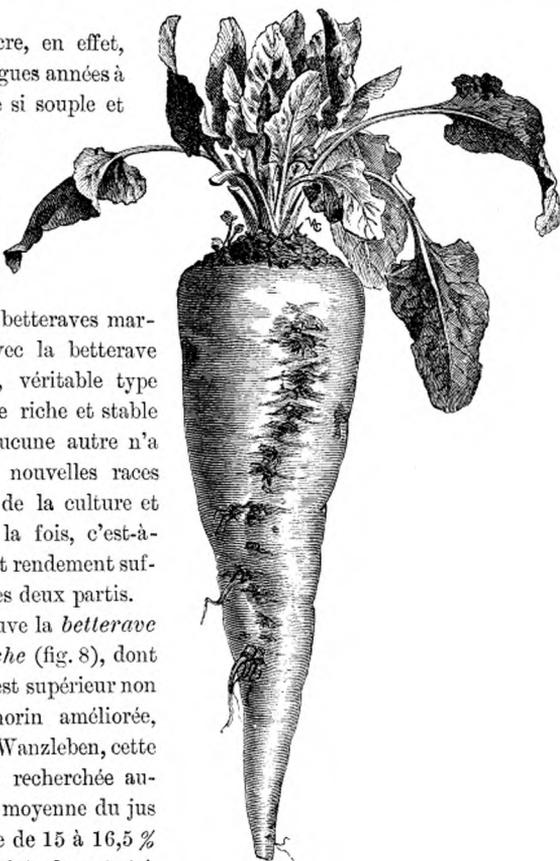


FIG. 8

celui de la betterave à collet vert, dite Brabant. M. Vilmorin recommande cette betterave française riche comme répondant complètement aux besoins actuels de notre culture.

Il exposait néanmoins les autres races courantes, collet rose, collet vert, betteraves de distillerie, etc., formant un ensemble remarquable comme étude approfondie de la question betteravière. C'était bien là l'exposition d'un maître.

## Expositions diverses

Nos départements avaient fait des expositions collectives où chaque participant conservait son individualité. De la sorte on pouvait connaître assez bien les facultés productives de chacune des contrées de la France, betteraves, pommes, raisins, pomme de terre, blé, laitage, légumes, etc.

Au point de vue sucrier, c'est l'exposition collective des agriculteurs du Nord qui était la plus nombreuse, sinon la plus intéressante.

On y remarquait les betteraves *E. Carlier* à Orchies, qui a fait une conférence sur l'emploi du procédé Pellet pour l'analyse des betteraves-mères, celles de *F. Desprez* à Capelle; tous deux grands producteurs de graines, qu'ils répandent sur tout l'Europe.

Malheureusement on regrettait l'absence de la maison *Simon Legrand*, dont la mort récente du fondateur est sans doute cause de l'abstention. Simon Legrand est l'un des premiers qui ait porté au loin nos bonnes graines françaises dont il avait créé un type bien connu. Nous lui devons bien ces quelques lignes de regret.

On trouvait encore les expositions des producteurs particuliers, sucreries et fermes modèles, telles que celles de *Dujardin* de Monchecourt, *Lepeuple* à Bersée, *Macarez* à Haulchin, etc.

Toutes ces expositions se distinguaient d'une façon très remarquable de celles de 1878. En effet à cette dernière Exposition les Desprez et les Carlier étaient énormes. Il semblait qu'à cette époque on ait cru découvrir poids et richesse réunis, mais richesse bien relative, car on se contentait de peu. En 1889 au contraire les racines étaient moyennes et plutôt petites, très riches, enfin telles qu'il convient à la betterave à sucre proprement dite, mais avec cette motion répétée de rendements rémunérateurs à l'hectare. C'est là le grand progrès réalisé par les producteurs, d'avoir su concilier dans une même racine les intérêts du cultivateur et du fabricant.

Dans le Pas-de-Calais on trouvait les expositions de MM. *Caron*, *Codron*, *Demiaulte*, *Mascléf*, *Stoclin*, etc., auxquels les mêmes éloges peuvent être adressés qu'aux précédents.

L'exposition de Seine-et-Marne, où se trouvent les sucreries de Coulommiers, Provins, etc., comptait aussi de bonnes espèces de racines.

Dans l'arrondissement de Reims, noyées dans le champagne et autres produits du pays, les sucreries de *Fismes* (Macherez, Goumant et C<sup>ie</sup>) et de *Loivre* (Chovet-Thierry et C<sup>ie</sup>), avaient exposé leurs produits.

Citons encore dans l'exposition de l'arrondissement de Sainte-Menehould, la sucrerie *Lesaffre et Bonduelle*, dans les arrondissements de Soissons, de Château-Thierry, de Melun, de Meaux, etc., d'autres sucreries exposaient aussi, et près d'elles les cultivateurs témoignaient, par la présence de leurs variétés de betteraves, du soin porté partout à cette culture.

Enfin parmi les expositions particulières, remarquons celle de la *Société de la Sucrerie de Bourdon* (Puy-de-Dôme), administrée par M. E. Boire, l'un des membres du Jury de la classe 50. On y trouvait aussi l'exposition de M. *Paillart*, au château d'Hymmeville (Somme) et de MM. *Tétard et fils*, les fabricants-cultivateurs de Gonesse (Seine-et-Oise).

Nous aurons ainsi passé en revue la classe 74 si riche en documents et qui ne laisse aucun doute sur l'égalité de la culture betteravière en France et dans les autres pays, lorsque nos fermiers veulent bien suivre les méthodes de culture normale que nous avons précédemment décrites.

---

## COUPE-RACINES

---

La betterave pesée est reçue dans le coupe-racines destiné à la réduire en *cossettes*.

Un bon coupe-racines doit faire des cossettes bien régulières, dont tous les brins aient *la même épaisseur*, soient longs et tranchés bien nettement. Il ne doit donner aucune trace de bouillie provenant d'un froissement de la betterave. Il faut donc que la betterave soit coupée toujours parallèlement à la première section qui lui a été faite par le premier couteau qui l'a atteinte. Il ne faut pas qu'elle change de position, qu'elle danse au choc des lames. Une cossette bien régulière de forme et d'épaisseur, telle est la première condition pour faire une bonne diffusion.

Dans un coupe-racines, il y a deux éléments à considérer : la carcasse elle-même, avec son plateau tournant et ses contre-lames, puis les couteaux. Il y a autant d'intérêt à étudier l'un aussi bien que l'autre des deux éléments.

## PLATEAU ET TRÉMIE

Pour que toutes les betteraves soient coupées de même manière, afin de donner des cossettes égales, il est de première nécessité que tous les couteaux soient animés de vitesses égales. Or, il n'en est pas toujours ainsi. En effet, les couteaux sont montés sur un plateau tournant horizontalement, et suivant les rayons. Il est donc évident que les couteaux les plus rapprochés de la circonférence ont un mouvement de translation plus rapide que ceux les plus rapprochés du centre.

Donc, une première condition pour qu'un coupe-racines soit bien construit, c'est que les couteaux soient placés près de la circonférence, et qu'ils ne prennent qu'une longueur telle du rayon, que la vitesse sur toute la longueur du couteau soit sensiblement la même. C'est ce que l'on fait en Autriche, en construisant des plateaux de grand diamètre, qui ne portent des couteaux qu'aux extrémités des diamètres.

Le plateau tournant doit être bien équilibré. Autre condition généralement mal remplie, puisque la plupart de nos coupe-racines ne travaillent que sur une partie quelquefois très restreinte de leur surface, l'autre partie ne supportant aucune charge. Les coupe-racines, dont le plateau coupe sur toute la circonférence sont infiniment supérieurs, puisque ce plateau est sensiblement équilibré, et que sa surface est, en somme, mieux utilisée.

La disposition que doivent avoir les barrettes d'arrêt de la betterave au-dessus du plateau, n'est pas encore bien résolue. Les uns font les contre-plaques inclinées, les autres les font verticales. Cette seconde disposition nous paraît la plus rationnelle, car ces contre-plaques sont destinées à sectionner la trémie pour forcer la betterave à rester en place, et la position inclinée semble plutôt propre à faire sauter les racines lorsque celles-ci sont peu nombreuses.

Enfin, le plateau ne doit pas tourner trop vite pour obtenir de la cossette longue, et la trémie doit toujours être pleine pour que la pression soit constante sur les couteaux.

Quant à la forme de la trémie, il faut qu'elle soit assez haute pour obtenir la pression désirée, à parois verticales pour que la betterave glisse bien et parallèlement à elle-même, sans rétrécissement trop grand à la base pour que les racines ne coïncent pas.

A l'Exposition nous trouvons plusieurs exemples de coupe-racines.

## Exposition de M. Maguin

Nous commençons par celle-ci parce que les coupe-racines qu'elle contenait (fig. 9) présentaient un ensemble de recherche et de nouveauté tout à fait remarquable.

Ces coupe-racines coupent sur toute la circonférence du plateau, ce qui leur donne le grand avantage sur tous les autres systèmes d'être bien équilibrés et d'avoir un débit beaucoup plus considérable.

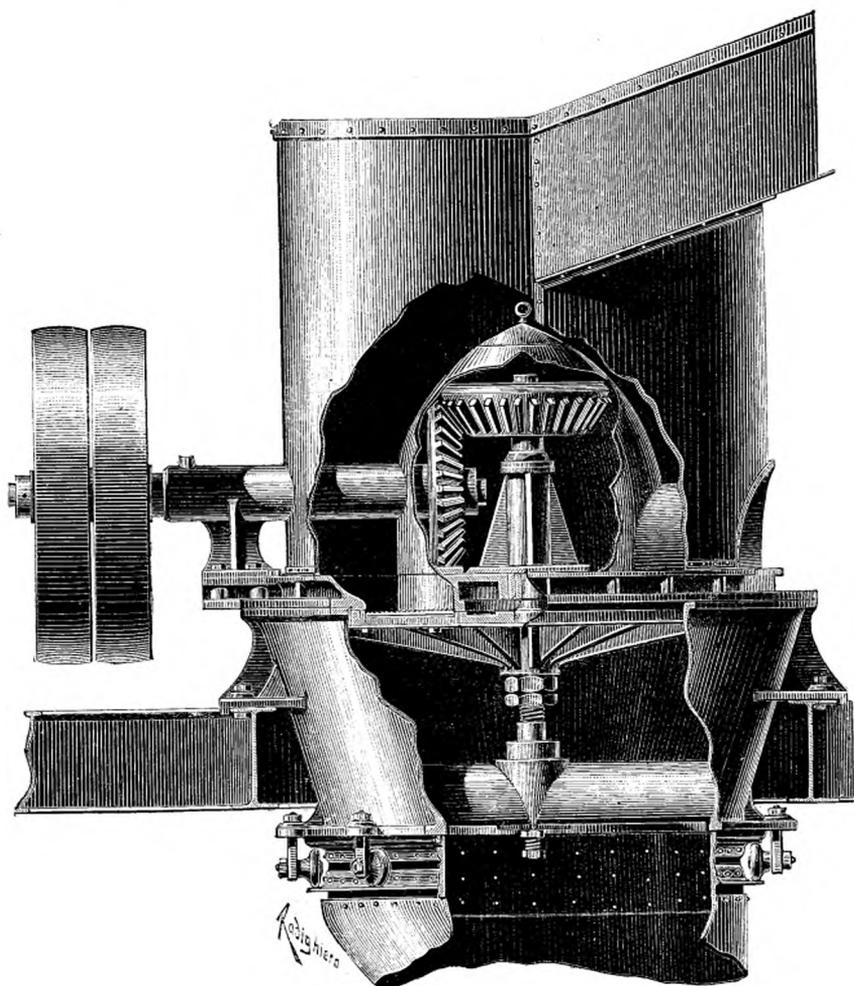


FIG. 9

Les engrenages sont cachés sous un capuchon en forme de dôme au centre du plateau. Ce dôme sert de guide à la betterave pour tomber sur le plateau, et li-

mite la partie coupante à la périphérie du plateau tournant. Cette disposition a donc un grand avantage, moindre malheureusement dans les petits modèles où la partie coupante s'approche trop du centre; elle n'a que l'inconvénient de ne pas laisser facilement abordable l'engrenage pour les réparations. Enfin, les contre-plaques des barrettes d'arrêt de la betterave contre le plateau sont verticales.

M. Maguin a donc cherché un appareil rationnel, et y est arrivé. Il ne donne aux plateaux de 1<sup>m</sup>,800 qu'une vitesse de 65 tours; il doit donc obtenir de bonnes cossettes.

En résumé, cette exposition de coupe-racines était digne d'attention par les progrès que leur constructeur a cherché à y apporter.

### Exposition des Anciens Établissements Cail

Ici, pas grand'chose de nouveau, si ce n'est la disposition des engrenages qui laisse entièrement libre toute l'ouverture de la trémie. C'est un bon coupe-racines ordinaire.

#### COUTEAUX

La question des couteaux est plus délicate encore que celle de la trémie et du plateau. Quelle inclinaison doit-on donner aux couteaux, quelle forme, quelle dimension, et quels porte-couteaux doit-on employer?

Comme porte-couteaux, celui de M. Maguin (fig. 10) est excellent. Il présente

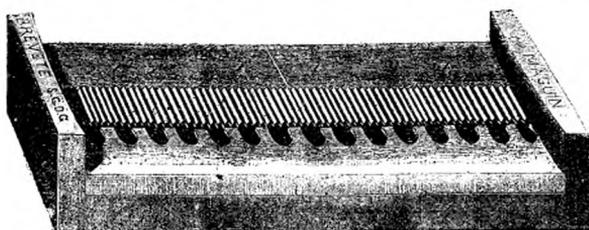


FIG. 10.

dans la contre-plaque une série d'encoches disposées de telle sorte que les pier-  
railles et autres corps lourds filent sous la lame du couteau dans la trémie à cos-  
settes, et par conséquent évitent la détérioration de ces couteaux. C'est un bon  
outil très répandu et qui figurait à l'Exposition.

Quant aux couteaux eux-mêmes, il est évident que l'on doit choisir leur profil  
d'après la betterave que l'on a à débiter. D'abord, il est de règle que l'on doit  
faire la cossette aussi fine que possible. Avec de la bonne betterave riche, à  
chair très ferme, on doit faire des cossettes tout à fait fines de 4, 5 millimètres.  
Avec des betteraves moyennes, comme celles que nous avons en France actuel-

lement, la division de 5, 4 millimètres convient bien. La grosse division n'a plus de raison d'être que pour les betteraves altérées.

En effet, plus fine est la cossette, plus facile est la diffusion; mais aussi plus la cossette se tasse dans le diffuseur. Si donc on fait de la cossette très fine avec de la betterave molle, la circulation dans le diffuseur sera mauvaise. Le choix de la dimension du couteau a donc une grande importance. Quant à son profil, il en a une non moins grande, surtout avec les betteraves de qualité ordinaire. C'est ainsi, qu'avec les racines très dures, on peut prendre n'importe quel profil, comme nous l'avons vu faire en Russie avec les Vilmorin améliorées, qui permettent de faire usage du Goller en tôle ondulée, couteau très économique, tandis qu'avec les betteraves ordinaires le couteau faitière s'impose. (Fig. 11) (construction Maguin).

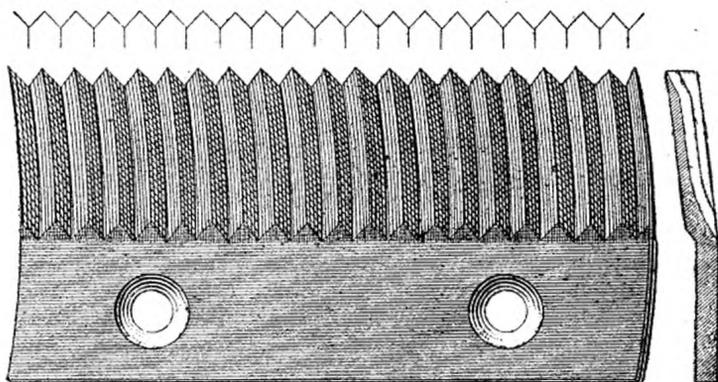


FIG. 11.

De même pour l'inclinaison du couteau. Plus il sera incliné, plus longue sera la cossette, mais plus il mordra difficilement sur la betterave.

Enfin, règle indispensable, il faut que les couteaux coupent toujours bien, pour faire de la bonne cossette. On gagne à changer les couteaux émoussés aussi souvent que de besoin.

Par conséquent, il n'y a pas de règle générale; chacun devra prendre le couteau qui convient le mieux à la betterave qu'il a à travailler, et l'expérience servira mieux le fabricant que la théorie.

### Exposition de M. Maguin

Nous trouvons là, outre des excellents *porte-couteaux épierreurs* (fig. 10), dont nous avons parlé, tous les genres de couteaux usités en sucrerie, et fabriqués par la maison Maguin, ainsi que les outils nécessaires à l'affutage des couteaux. Entre autres, M. Maguin a exposé un nouveau système de couteaux dits « lame

bienvenue » (fig.12) : c'est un couteau faitière fort court, très léger, en acier trempé très dur. Sa durée de service est, à cause de la trempe, trois ou quatre fois plus grande que celle des autres, et la cossette qu'il fait est admirable, parce qu'il

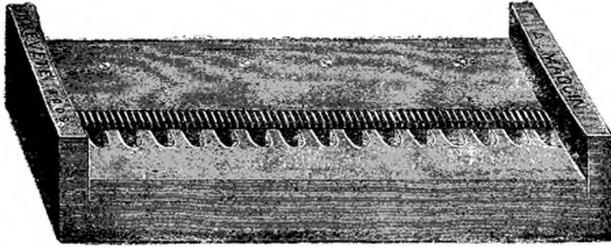


FIG. 13



FIG. 12

coupe fort bien. Enfin, son prix est tellement minime que, lorsqu'il est émoussé,

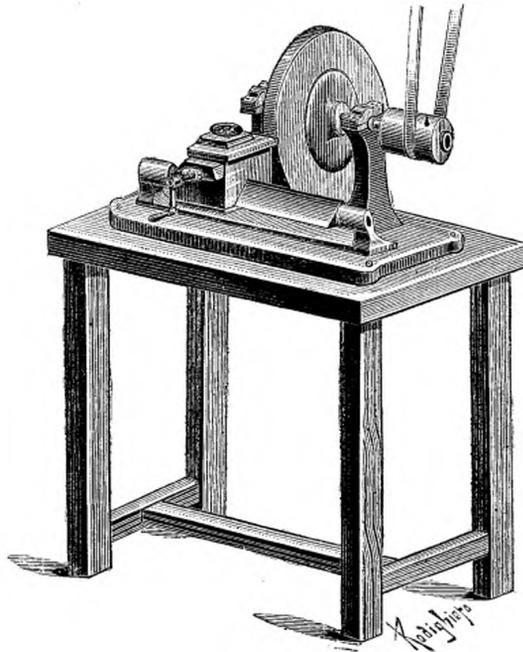


FIG. 14

on peut le jeter à la ferraille. En effet, grâce à sa longue durée, sa valeur intrinsèque est égale et même inférieure au prix du rhabillage des couteaux ordinaires.

Donc, suppression des ouvriers affûteurs, des limes et outils pour l'affûtage, et simplification, par conséquent, du travail par diffusion. Tel est le but qu'a voulu obtenir M. Maguin, et auquel il semble arrivé. La figure 13 représente le couteau Bienvenu monté dans le porte-couteau Maguin, et la fig. 12 les modifications nécessitées par la petite dimension de la lame.

L'affûtage des couteaux de diffusion, après qu'ils ont servi, est une question de premier ordre pour la diffusion, puisqu'il est indispensable de leur donner une bonne coupe pour bien diffuser. De plus, cet affûtage est délicat, à cause du profil de la lame, qui doit couper sur tous les points également, et aussi de l'inclinaison radiale des rainures.

M. Maguin exposait deux outils distincts pour cet affûtage. L'un (fig. 14) est

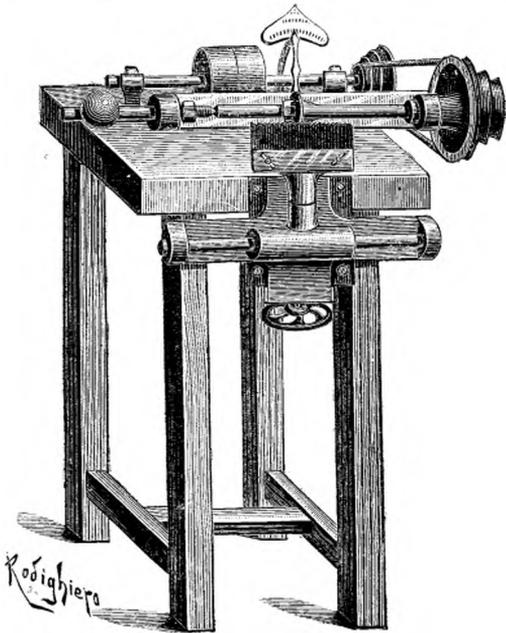


FIG 15

une meule d'émeri destinée à rendre parfaitement plane et droite la tranche même des couteaux, lorsque ceux-ci ont été émoussés plus profondément en un point qu'à un autre par des pierrailles. Il faut alors rogner le couteau sur toute sa longueur jusqu'à ce qu'on ait atteint l'extrémité de l'échanerure. Le couteau est placé dans une mâchoire qui se meut sur une glissière parallèlement à l'axe de la meule, avec chariot de rapprochement contre la meule.

Cette opération faite, on affûte la lame sur la machine (fig. 15). L'outil coupant est une petite fraise qui a le profil du couteau, et dont on oriente l'inclinaison suivant celles des rainures du couteau. Un cadran, placé au-dessus de tout l'appareil, indique le degré de l'inclinaison de l'arbre qui porte la fraise.

Le couteau est saisi dans une mâchoire mobile d'avant en arrière, sur un axe horizontal placé le plus bas possible, mais à une distance telle qu'il donne le coupant à la lame. La mâchoire et le couteau se meuvent également de droite à gauche et de gauche à droite, en glissant sur leur axe. De la sorte, l'ouvrier, saisissant le couteau et le présentant devant la fraise, affûte sans tâtonnement, et régulièrement, donnant partout un coupant égal.

Après cette opération, il y a un repassage à la lime. A cet effet l'ouvrier est muni des limes de forme spéciale, qui lui permettent de faire facilement son travail.

Pour la fabrication des couteaux, on se sert des mêmes outils, mais tous les mouvements sont alors rendus automatiques, et l'ouvrier n'a qu'à placer la lame dans l'outil sans autre surveillance que de remettre d'autres lames quand les premières sont affûtées.

Telle était l'exposition Maguin, très complète et très intéressante.

*Nochère du coupe-racines.*— La cossette sortant du coupe-racines est dirigée sur les diffuseurs de différentes manières.

Avec les batteries circulaires le coupe-racines est élevé au-dessus de la batterie et dans l'axe de celle-ci. Une nochère inclinée, ayant en haut la forme d'un entonnoir, recueille toute la cossette et la dirige directement dans les diffuseurs, A cet effet cette nochère porte à la partie supérieure des galets qui lui permettent de tourner sur elle-même pour se mettre en face du diffuseur en charge.

Cette disposition va très bien. A l'étranger on lui fait le reproche d'emplir trop lentement le diffuseur. Pour corriger cela on n'aurait qu'à donner plus de volume à la nochère et l'emplir dans les temps d'arrêt. On obtiendrait ainsi le même résultat qu'avec les wagonnets.

Lorsque la batterie de diffuseurs est en ligne, on fait usage de wagonnets à suspension aérienne se vidant par le bas, et courant sur des rails placés au-dessus de la ligne des diffuseurs de manière à ce que les wagonnets se vident directement dans les diffuseurs. On emploie aussi des courroies sans fin en gutta-percha courant le long de la ligne des diffuseurs entre deux plats-bords, en sorte que l'ensemble forme une nochère à fond mobile. Le plat-bord qui fait face à la rangée de diffuseurs s'ouvre par une petite porte vis-à-vis de chaque vase de diffusion, et la porte en s'ouvrant à l'intérieur empêche la cossette du coupe-racines qui tombe sur la courroie d'aller plus loin, en sorte que cette cossette est obligée de passer par la porte ouverte et de tomber dans le diffuseur.

Cette disposition très commode et très répandue était exposée par *les Anciens Etablissements Cail*.

## DIFFUSION

Les batteries de diffusion qui, jusqu'à présent, ne comptaient guère que huit à dix vases, depuis plusieurs années sont construites avec douze et quatorze vases successifs. Les batteries courtes provenaient de l'imitation de ce qui se faisait jadis en Autriche où est née la diffusion. Mais si là les batteries ne contenaient que peu d'éléments, c'est à la législation du pays qu'on le devait. Depuis que l'impôt n'est plus perçu sur la capacité des diffuseurs ni en Autriche ni en Russie, la longueur des batteries s'est accrue partout. On y gagne la possibilité de faire des jus plus denses, par conséquent d'économiser du combustible à l'évaporation.

La forme des diffuseurs a beaucoup varié ainsi que leurs dimensions, et la législation y est encore pour beaucoup. Aujourd'hui on préfère la forme entièrement cylindrique qui est la plus rationnelle, et une capacité moyenne de 25 ou 30 hectolitres. On va en effet de 15 à 40 hectolitres de capacité.

Les portes du haut doivent être assez grandes pour l'emplissage rapide. Mais on abandonne petit à petit les portes autrichiennes qui avaient le diamètre même du diffuseur.

Les portes du bas varient considérablement dans leur position. La fermeture horizontale par en-dessous, qui permet la vidange rapide est beaucoup en honneur. Seulement, comme on abandonne également la porte de grand diamètre, on est obligé de terminer le diffuseur par un tronc de cône aussi court que possible, ce qui a peu d'inconvénients.

La porte latérale revient un peu en usage, elle exige un peu plus de main-d'œuvre, mais la forme tout à fait cylindrique du vase offre, au point de vue théorique, une garantie plus grande d'épuisement.

La porte latérale avec fond arrondi pour vidange automatique donne moins d'avantages que la vidange directe par en-dessous, mais l'établissement de la batterie est plus simple.

En somme, la prohibition des diffuseurs tronconiques est complète, la fermeture de la porte de vidange seule varie, et il ne semble pas qu'il y ait grande différence dans l'épuisement et la densité du jus obtenu entre les trois systèmes précités. Le plus commode pour son installation sera donc celui que devra choisir le fabricant faisant une commande aux constructeurs.

La manière de rendre les portes étanches varie aussi beaucoup. Pour les petites portes le simple joint en caoutchouc suffit. Mais pour les grandes le joint hydraulique s'impose.

Les *Anciens Etablissements Cail* avaient exposé une demi-batterie de diffuseurs dont les portes du bas avaient une fermeture qui paraît excellente. La porte de vidange est tenue en place par une fermeture à baïonnette; le joint est fait au moyen d'un tuyau en caoutchouc dans lequel se fait la pression hydraulique. Seulement le joint au lieu de se faire sur un plan de contact horizontal est agencé de la manière suivante. La porte rentre dans le diffuseur, et le joint se trouve pris dans la paroi cylindrique qui sert de logement à la porte. De cette façon si le joint vient à fuir la projection de liquide chaud se fait verticalement, tandis qu'avec la méthode ordinaire la projection est horizontale. Il y a donc là un danger écarté pour les ouvriers de la fosse qui n'ont plus crainte d'être brûlés par la rupture du joint. De plus la porte est soulagée du poids représenté par la pression du joint, d'où encore chances moindres de rupture des attaches.

Dans les bons montages de diffusion c'est l'ouvrier du haut qui, de son plancher, ouvre et ferme les portes du haut et du bas.

La *Maison de Fives-Lille* aussi bien que les *Anciens Etablissements Cail* n'avaient pas manqué à cette règle dans leur exposition, chacun par un système différent et ingénieux.

*Calorisateurs.* — Le chauffage de la batterie de diffusion se fait presque partout au moyen de *calorisateurs*, chauffés à vapeur directe et placés auprès de chaque diffuseur. Ces calorisateurs sont des réchauffeurs que traverse le jus en se rendant d'un diffuseur à l'autre. En tant que réchauffeurs ils doivent répondre à toutes les conditions voulues pour leur usage.

Or pour réchauffer le jus il est une règle fort peu appliquée en sucrerie, c'est qu'il ne faut pas que ces jus soient en contact avec des surfaces de chauffe à une haute température, sous peine d'altération. Chacun sait que le jus introduit dans un générateur à 4 atmosphères se décompose rapidement et se brûle en colorant l'eau. Donc la température correspondante suffit pour altérer le jus au contact d'une paroi à cette température. Or les calorisateurs ont en général une très petite surface de chauffe, et la faute en est aux fabricants qui réclament toujours du bon marché, et aux constructeurs qui n'imposent pas une bonne construction à leurs clients. La course à la commande que les agents des constructeurs exécutent sans cesse, et l'appât du bon marché pour les acheteurs, produisent cet effet détestable que le matériel de sucrerie perd en qualité au lieu de s'améliorer. Pour les calorisateurs il en est ainsi. On ne leur donne plus que 2 mètres de surface de chauffe pour 30 hectolitres à réchauffer en quelques minutes, en sorte que, dans l'unique serpentin qui remplace aujourd'hui les réchauffeurs tubulaires d'autrefois on est obligé d'entretenir la pression des générateurs à 4 ou 5 atmosphères et quelquefois plus et l'on brûle le jus. Aussi lorsqu'on considère les calorisateurs, on trouve à leur surface des dépôts noirs qui ne sont que des matières du jus carbonisées. Il est donc indispensable de revenir en arrière sur ce point.

Les calorisateurs pour râperies, chauffés à vapeur de retour, sont obligés d'avoir plus de surface. Il faut dans tous les cas adopter cette même surface pour que la vapeur directe dans les calorisateurs se détende à une demi-atmosphère, à une atmosphère même, ce qui n'a pas d'inconvénient et ne brûle plus le sucre.

*Circulation.* — Le jus circule dans la batterie sous l'effort d'une pression obtenue, soit en élevant le réservoir d'eau d'alimentation, soit en poussant l'eau au moyen d'une pompe avec ou sans accumulateur, soit en poussant encore l'eau au moyen de l'air comprimé.

Ce dernier moyen est surtout employé dans les usines où l'eau manque, et nécessite l'emploi de compresseurs d'air. Ces appareils sont des pompes, ordinairement enfermées dans un réservoir d'eau courante pour refroidir le cylindre qui s'échauffe par la compression. Les soupapes d'aspiration sont généralement sur les fonds du cylindre, et les soupapes de refoulement dans une boîte sur laquelle se boulonne le tuyau pour l'air comprimé. Celui-ci se rend dans un ou deux grands cylindres servant de réservoir d'air pour les usages de l'usine. Car outre son usage à la diffusion, on l'emploie aussi parfois dans des monte-jus en guise de vapeur, ce qui est une grande économie.

La maison *E. et J. Hulot et C<sup>ie</sup>* de Bruxelles présentait un système horizontal de compresseur d'air, système Burckhard et Weiss de grande puissance, fort bien étudié dans tous ses détails.

Le cylindre à air et le cylindre à vapeur sont juxtaposés sur le même bâti et leurs pistons sont accouplés sur le même arbre à deux manivelles inclinées à 50°. D'où résulte un ensemble ramassé, à petit volant, puisque l'angle de deux manivelles produit le plus grand effort en pleine course, en sorte que la machine occupe peu de place. Le cylindre à vapeur est à détente Rider, et porte un régulateur Porter; quant au cylindre à air c'est sa distribution à tiroir qui constitue la véritable innovation de MM Burckhard et Weiss. En effet un petit canal pratiqué dans l'épaisseur de la coquille du tiroir équilibre à, fin de course la pression derrière le piston, en sorte que, au départ, le piston agit immédiatement à l'aspiration. De là résulte que cette pompe a un rendement en air aspiré de 90 % du volume engendré, quelle que soit la compression imposée à la machine. C'est donc un type de bon compresseur d'air très puissant et très recommandable.

La maison de *Fives-Lille* exposait une pompe de compression d'air dite *pompe normale* (système Venger) portant son cylindre à vapeur sur le même bâti, genre de pompe fort commode à cause du peu de place qu'elle occupe, et de la facilité de son installation.

La circulation de jus dans les batteries exige une tuyauterie de grand diamètre, une robinetterie bien comprise, bien à la main, et bien soignée. Telles étaient celles des batteries exposées en 1889, et qui n'offrent pas assez de particularités pour être décrites ici.

*Presses à cossettes.* — Les cossettes épuisées s'écoulent dans une fosse placée sous la batterie de diffusion, et sont remontées aux presses à cossettes pour leur faire abandonner la plus grande partie de leur eau de trempage. Celles-ci sont de systèmes divers, presse Bergreen, presses Selvig et Lange, etc. Aucun de ces systèmes ne figurait à l'Exposition. Nous n'en parlerons donc que pour mémoire.

#### RENTRÉES DE LIQUIDES SUCRÉS DANS LA BATTERIE DE DIFFUSION

On a souvent eu l'idée de faire rentrer dans la batterie de diffusion des liquides sucrés légers obtenus en cours de travail et dont on ne voulait pas évaporer la grande quantité d'eau qu'ils contiennent de concert avec celle du jus normal. On a pensé aussi que la betterave en cossette peut agir soit comme épurant par endosmose, soit comme matière filtrante, soit même comme agent de fixation des alcalis. C'est ainsi que M. Manoury voulait traiter les égouts de turbinage, pour les faire rentrer dans le travail épuré par la cossette même.

M. *Mariolle-Pinguet* a imaginé un système qui fonctionne très bien et dont il a exposé le dessin. Il consiste à faire rentrer les eaux de lavage des filtres-presses dans le diffuseur correspondant à la densité de ces liquides, soit dans le quatrième en travail dans la batterie.

Les petites eaux de filtre-presses doivent être au préalable carbonatées à fond dans des chaudières disposées à cet effet, puis introduits dans le diffuseur en quantité convenable exactement mesurée pour que la marche de la diffusion reste correcte.

Il en résulte comme avantages que la carbonatation et l'appareil d'évaporation sont soulagés d'autant, augmentation de ce fait du travail que ces appareils peuvent produire, c'est-à-dire augmentation du poids de betterave mis en œuvre dans l'usine; épuisement plus complet des écumes, puisque l'on ne craindra pas de faire sortir l'eau de lavage à un degré trop faible non rémunérateur eu égard au poids de charbon représenté par son évaporation; enfin économie d'eau à la diffusion s'élevant environ à 6 ou 8 %, si l'on épuise fortement les écumes. Il n'est pas à craindre que cette rentrée ait une influence sur l'épuisement du diffuseur de queue qui recevra autant d'eau que de coutume, car on tirera un peu plus du diffuseur de tête et l'on aura néanmoins des jus de même densité que de coutume à cause du sucre que les petites eaux font rentrer. D'ailleurs, dans les sucreries où ce système a été bien appliqué, on ne s'est aperçu d'aucun désordre dans le travail. Le nouveau procédé de M. *Mariolle-Pinguet* est donc des plus recommandable.

La figure 16 ci-contre, représente l'ensemble du système. *a* est la batterie de filtres-presses dont les eaux de lavage sont mesurées dans la nochère *b*, et s'écoulent par le tuyau *c* dans deux bacs mesureurs *d* où se fait la carbonatation de la chaux qui reste en excès dans ces liquides. Des serpentins de chauff-

fage permettent de porter ces jus à la température convenable. Une petite pompe *h* reprend le liquide alternativement dans chacun des bacs mesureurs, par le tuyau *g*, et le refoule dans la batterie de diffusion dont on voit un des vases à la droite du dessin. Des flotteurs agissant sur un index qui se déplace le long d'une échelle graduée, permettent de n'envoyer dans chaque diffuseur que la quantité voulue d'eaux de lavage des filtres-presses. Une soupape de sûreté *m* placée au refoulement de la pompe renvoie dans les bacs, au moyen de cols de cygne, le liquide au moment de la fermeture des robinets sur la diffusion.

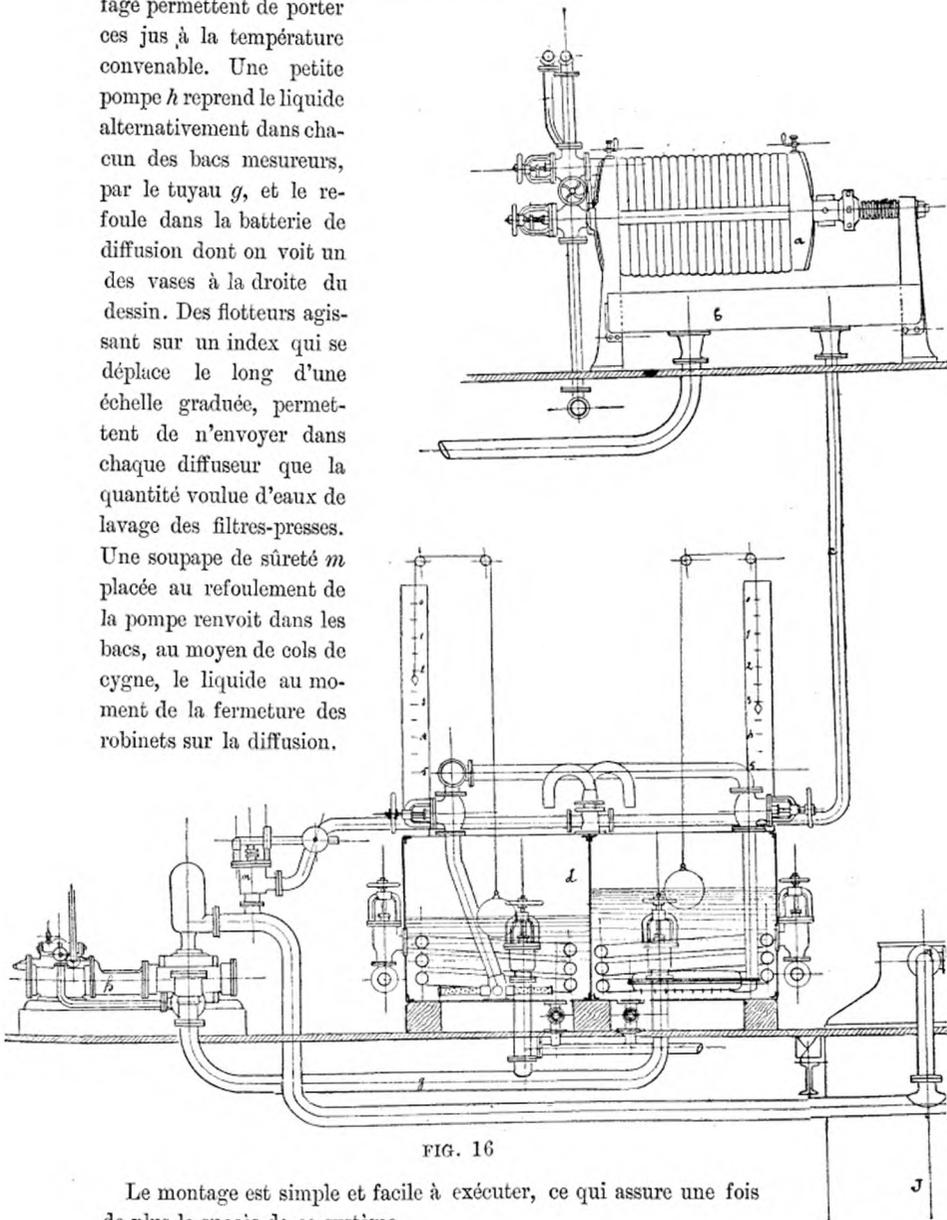


FIG. 16

Le montage est simple et facile à exécuter, ce qui assure une fois de plus le succès de ce système.

J

## BAC-MESUREUR

---

Les jus de diffusion sont recueillis dans des vases mesureurs, puis sont chauffés et envoyés à la carbonatation.

En Belgique les vases mesureurs sont sous la main de la régie, car c'est d'après le volume du jus et sa densité que l'impôt est prélevé.

En France et dans les autres pays, le mesurage est libre, et sert à diriger le travail de la batterie, car d'un tirage correct et régulier dépend la bonne marche de la diffusion.

Nous ne saurions trop recommander aux fabricants de n'avoir *qu'un seul* bac mesureur. Il est inutile en effet d'en avoir deux ou d'avantage, lorsqu'un seul suffit quand il est bien monté. Un plus grand nombre ne sert qu'à entretenir une réserve inutile de jus qui traîne et qui s'altère,

Pour qu'un bac mesureur soit bien monté il faut que l'emplissage et la vidange se fassent dans le même temps minimum que l'on admet pour que la diffusion s'opère dans chaque diffuseur. Ainsi si l'on fait un diffuseur toutes les 5 minutes, il faut pouvoir emplir le mesureur en deux minutes et le vider en deux minutes. C'est donc une affaire de tuyauterie bien comprise.

### Exposition de M. Horsin-Déon

Le grand problème en sucrerie est de calculer le sucre qui entre dans l'usine à l'état de betterave, celui qui passe dans les différents postes de l'usine, et celui qui sort de l'usine en sucre, mélasses et résidus, pour, de l'ensemble de ces données, déduire les pertes et tâcher de les éviter.

Les méthodes chimiques servent à doser le sucre dans tous les produits de la fabrication. Mais il faut mesurer ces produits, et, si ces mesures ne sont pas faites d'une manière convenable, on peut commettre de graves erreurs d'évaluation.

C'est dans le but de faire ces mesures dans des conditions plus scientifiques et plus exactes que M. Horsin-Déon a construit les appareils que nous allons décrire.

Les betteraves sont pesées par les soins de la régie. On sait donc, par leur analyse souvent répétée, à très peu près exactement la quantité de sucre qui entre dans l'usine.

Cette betterave, découpée en lamelles, est ensuite traitée dans les batteries de diffusion d'où sort un volume de jus qui est mesuré. On en prend la densité pour en avoir le poids, et la teneur en sucre par des essais saccharimétriques. La différence du poids de sucre trouvé dans le jus et de celui trouvé dans la betterave constitue la perte que l'on doit retrouver par l'analyse dans les résidus.

Il est donc de la plus haute importance ;

1° De mesurer exactement la quantité de jus tirée de la diffusion ;

2° D'avoir à chaque instant la densité du jus.

3° De prélever des échantillons exactement moyens du jus.

Les appareils dont nous allons parler ont pour but de faire ces trois opérations dans des conditions d'exactitude rigoureuse.

*Contrôleur-mesureur automatique.* — Cet appareil est destiné spécialement à enregistrer la quantité de jus tirée de la diffusion, ainsi que l'heure à laquelle on a fait les tirages, les temps d'arrêt de la diffusion, et le moment auquel ont lieu ces arrêts, etc., en sorte que le directeur de l'établissement, rien qu'à l'aspect du bulletin sur lequel l'appareil enregistre ces données (fig. 17) juge immédiatement de la régularité du travail ou des accidents qui ont pu arriver à la diffusion.

On sait que la bonne marche de l'usine est liée à la bonne marche de la diffusion. Dès lors un contrôle sévère et continu de cet atelier est de première nécessité en sucrerie.

En même temps qu'il inscrit les quantités de jus tirées, l'appareil avertit, par des sonneries électriques ayant un ton différent, du moment où le bac-mesureur dans lequel est fait le tirage se trouve rempli au niveau voulu, ou s'il est vidé complètement. De la sorte, les ouvriers n'ont qu'à ouvrir ou fermer les robinets au tintement des sonneries, ce qui assure la régularité expresse du travail. Enfin, indépendamment de toutes ces sécurités, un compteur marque le nombre de bacs tirés.

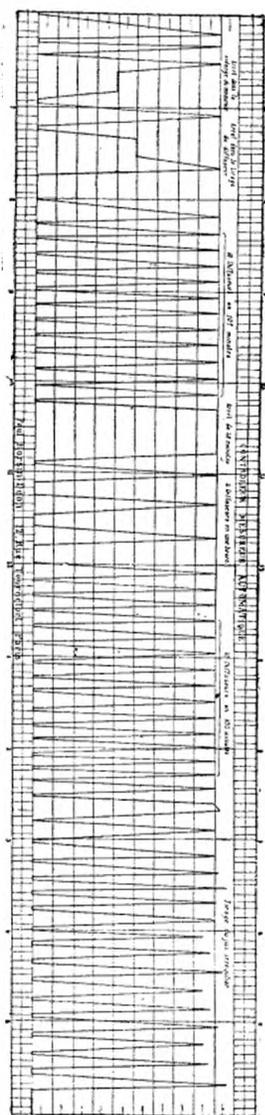


FIG. 17

Le contrôleur-mesureur automatique (fig. 18) se compose essentiellement d'un flotteur placé dans le bac-mesureur dont nous venons de parler et qui, au moyen d'une ficelle, transmet à l'appareil les mouvements d'emplissage et de vidange de ce bac.

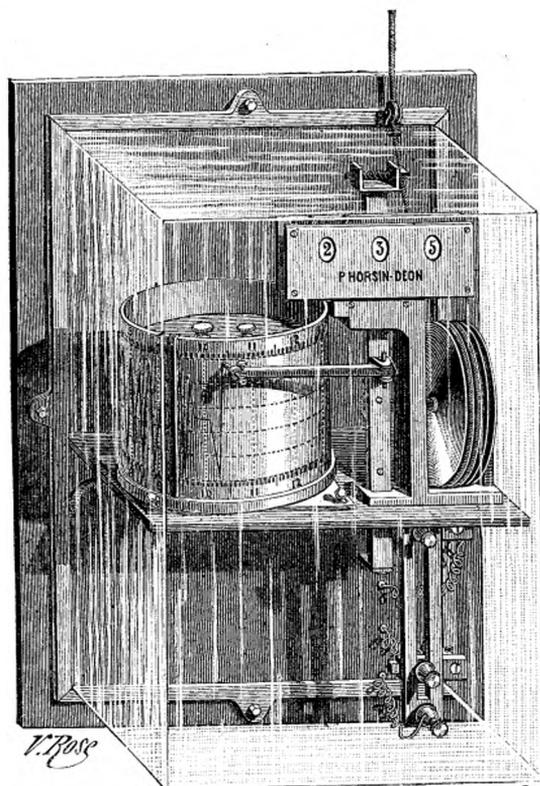


FIG. 18

Cette ficelle s'enroule sur un rouet à ressort, semblable au rouet des appareils enregistreurs de Watt. Ce rouet est muni d'un pignon qui communique un mouvement vertical à une règle de cuivre munie par derrière d'une crémaillère s'engrenant dans le pignon.

Cette règle de cuivre porte vers son milieu un crayon, ou une plume système Richard, se déplaçant le long d'un cylindre vertical muni d'un mouvement d'horlogerie, et sur lequel s'enroule le bulletin d'inscription, comme dans tous les appareils de ce genre.

L'extrémité inférieure de la règle porte un talon qui agit sur les contacts électriques des sonneries. Celui du bas, qui correspond à la vidange complète du bac, est fixe. Celui du haut, au contraire, est mobile et se déplace sur une échelle qui permet de régler la sonnerie correspondante au point d'emplissage du bac que l'on désire obtenir. C'est le chef de fabrication qui règle ce contact.

Enfin l'extrémité supérieure de la règle fait marcher le compteur qui marque le nombre de bacs tirés.

Cet appareil rend de très grands services à la sucrerie, car toutes les usines qui le possèdent sont arrivées, grâce à lui, à un travail d'une grande régularité à la diffusion, et par conséquent à un très bon épuisement, et à une diminution dans les pertes de sucre dans les cossettes.

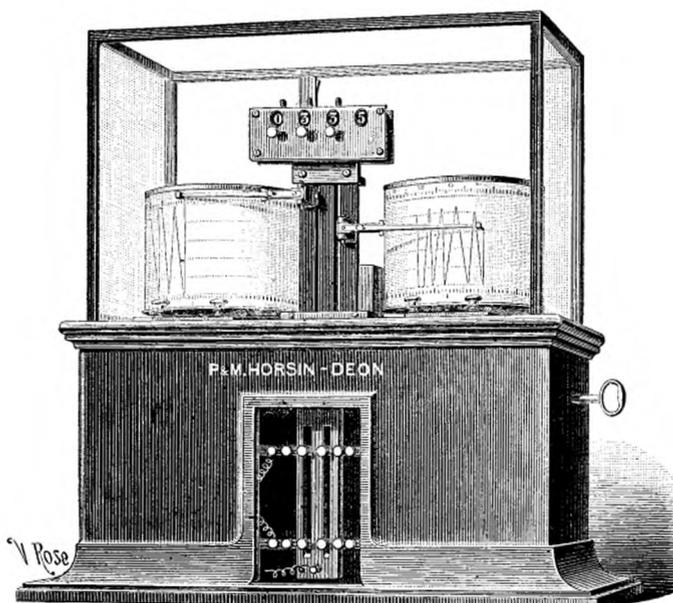


FIG. 19

M. Horsin-Déon fait construire également un *contrôleur-mesureur* à double inscription pour les usines qui ont deux bacs-mesureurs, comme cela se passe obligatoirement en Belgique, ou celles qui ont deux batteries de diffusion, ou enfin qui tiennent à conserver deux bacs-mesureurs pour une seule batterie. Cet appareil (fig. 19) se compose de deux systèmes, semblables au précédent, réunis sur un même bâti, et n'ayant qu'un compteur, mais deux tambours ins-

cripteurs correspondant à chacun des bacs-mesureurs. Ces tambours sont actionnés tous deux par le même mouvement d'horlogerie, condition nécessaire pour avoir l'isochronisme des mouvements.

Des contrôleurs doubles sont recherchés surtout par la Russie où il est rare d'avoir une seule batterie par usine, et rendent les meilleurs services comme contrôle.

*Densimètre enregistreur.*— Cet appareil enregistre la densité des liquides en mouvement à une température quelconque, corrigée par l'instrument même à la température normale. Il se compose d'une chambre terminée en dessous par une paroi en caoutchouc. Cette chambre est surmontée d'un tube vertical qui supporte une autre chambre semblable à la première, dont la paroi supérieure est également formée par une membrane en caoutchouc. Le tout est plein d'eau et plonge dans un vase vertical où circule le liquide de bas en haut, s'écoulant par débordement à la partie supérieure du vase. De la sorte, la hauteur du liquide dans le vase est constante.

On conçoit donc que, si le liquide est de l'eau, il agit d'une certaine manière sur la membrane en caoutchouc du bas de l'appareil qu'il soulève, la force élastique de la membrane faisant équilibre à la pression de l'eau. La membrane supérieure, poussée par l'eau intérieure, suit le même mouvement et actionne un système de leviers donnant le mouvement à une plume qui se déplace devant un papier mù par un mouvement d'horlogerie.

Si le liquide extérieur, au lieu d'être de l'eau, est du jus plus lourd que l'eau, la membrane inférieure aura un mouvement plus considérable, proportionnel à la densité du liquide, et le déplacement de la plume sera plus considérable et inscrira la densité proportionnelle du jus. Par conséquent l'appareil inscrira la densité du liquide qui circule dans le vase vertical.

Mais, de plus, il corrigera la différence de densité provenant de la différence de température. Car cette chambre de bronze, pleine d'eau, plongée dans le liquide, en prendra la température exactement comme ferait un thermomètre. Le volume de l'eau dans le thermomètre augmentera donc quand la densité du liquide extérieur diminuera à cause de l'augmentation de température. De plus, ces deux augmentations et diminutions sont de même valeur, car le coefficient de dilatation de l'eau et du jus de diffusion sont sensiblement les mêmes, par conséquent elles se corrigent mutuellement, et si l'appareil marque la densité de 1 avec l'eau à 4°, elle marquera la même densité, quelle que soit la température de cette eau, la correction étant ainsi obtenue par l'appareil lui-même.

Le densimètre enregistreur peut servir à tous liquides, jus, sirop, alcool, en ayant soin de mettre à l'intérieur un liquide ayant le même coefficient de dilatation que le liquide extérieur.

*Échantillonneur automatique.* — La prise d'échantillon est un des points les plus importants du contrôle chimique des usines ; pour être bien faite, il faut à la fois que l'échantillon obtenu soit proportionnel à la quantité de liquide passant au travail et qu'il en représente une moyenne aussi rapprochée que possible.

Pour répondre à ces exigences, M. Horsin-Déon a fait usage d'un tube, qui, placé dans le bac-mesureur, s'emplit en même temps que lui et donne par conséquent un échantillon dont la *qualité* varie avec celle du liquide entrant dans le bac, et dont la *quantité* ou le volume varie avec la hauteur du liquide dans le bac. Ce tube se vidant automatiquement chaque fois que le bac est plein, assure une prise régulière de l'échantillon sans qu'aucune erreur puisse se produire.

Il suffit donc, pour l'analyse, de bien mélanger ensemble tous les échantillons recueillis, et d'en prendre ensuite une certaine quantité, pour avoir la moyenne exacte du liquide passé dans le bac-mesureur.

L'échantillonneur repose sur l'emploi d'un robinet à 3 eaux construit de telle sorte qu'il ne s'ouvre que sous un angle assez faible. Ce robinet met en communication une crépine, servant de base à l'appareil, avec un tube de cuivre vertical, dans lequel s'emmagine l'échantillon. La troisième eau communique à l'extérieur du bac avec un robinet à raccord, par lequel on recueille le liquide contenu dans le tube ; celui-ci est maintenu dans la position verticale par une potence placée à la partie supérieure qui assure en même temps la rigidité de l'appareil.

L'échantillonneur ainsi monté, il reste à faire manœuvrer automatiquement le robinet. Pour cela il y a deux systèmes :

Dans les usines où le bac mesureur est muni d'un robinet de sortie, il suffit de relier la clé de ce robinet à la clé de celui de l'échantillonneur par un système de leviers tel que les deux robinets se manœuvrent ensemble, et que en ouvrant la sortie du bac on ouvre en même temps le robinet à trois eaux sur la sortie de l'échantillon. Ce système très simple peut se monter facilement à l'usine.

L'autre moyen est représenté (fig. 20). Le tube de cuivre est entouré d'un bâti de fer, relié par une articulation au robinet à trois

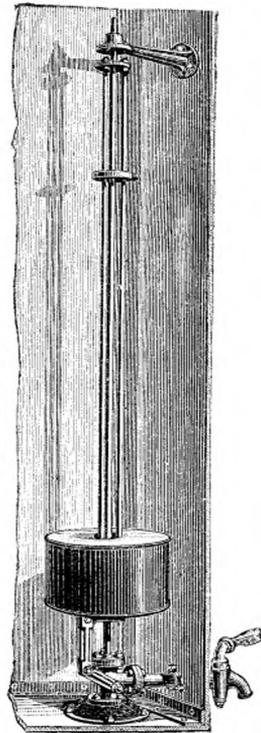


FIG. 20

seaux, et sur lequel glisse un flotteur, dont on peut régler la course au moyen d'une butée que l'on fixe à hauteur convenable sur les tiges du bâti.

Supposons cette butée placée de façon que le système étant levé, elle affleure le liquide dans le bac. Lorsque celui-ci est vide, tout le système se trouve abaissé de telle sorte que la clé du robinet à trois eaux vient presque toucher la crépine.

Dans cette position, le tube est en communication avec l'intérieur du bac. Si le liquide arrive, il entre dans la crépine et monte dans le tube en même temps que dans le bac, soulevant peu à peu le flotteur jusqu'à ce que celui-ci s'appuyant sur la butée, le liquide arrive presque à le submerger. A ce moment il se soulève brusquement, enlevant avec lui le bâti, et faisant tourner le robinet qui met alors le tube en communication avec l'extérieur et permet à l'échantillon de s'écouler.

Le mouvement descendant du flotteur est arrêté par la potence contre laquelle viennent buter les têtes des tiges, empêchant ainsi une trop grande ouverture du robinet.

L'échantillon s'écoule au dehors par un robinet à raccord qui permet de le recueillir dans un flacon contenant une dose connue de sous-acétate de plomb dont on tiendra compte plus tard dans l'analyse.

*Indicateur de niveau à cadran.* — Cet appareil a été construit pour remplacer les longues règles divisées qui donnent les différents niveaux dans les bacs d'attente ou d'alimentation. En général ces règles, à cause de l'emplacement qu'elles nécessitent, sont placées assez loin des ouvriers qui ont à les surveiller.

L'appareil exposé, au contraire, à cause de ses petites dimensions, peut se placer facilement à l'endroit le plus convenable. Son cadran, ayant 240 millimètres de diamètre, permet de bien distinguer les divisions, encore que l'on puisse l'agrandir si on le juge à propos.

De plus, deux contacts électriques, réglables à volonté, peuvent être placés sur ce cadran et avertissent que le bac est vide ou qu'il est plein.

Ce point est assez important, car il empêche d'avoir des débordements qui occasionnent des pertes toujours préjudiciables.

Cet appareil est en quelque sorte une simplification du contrôleur mesureur. Un flotteur a sa corde enroulée sur une poulie à ressort, munie d'un pignon qui en réduit la course. Ce pignon actionne en même temps une roue dentée et une aiguille qui se déplace devant le cadran.

Le montage se fait de la même façon que celui du contrôleur en ce qui concerne le flotteur.

---

## CARBONATATION

---

Les jus mesurés sont chaulés soit dans le mesureur même, soit, ce qui est préférable, dans un bac spécial muni d'un agitateur, soit enfin dans les bacs de carbonatation. Le bac spécial de chaulage est préférable parce qu'on est sûr de ce que l'on fait. Il a un inconvénient, c'est la perte de calorique qui provient du transvasement, mais on peut y obvier en garnissant ce bac de bois ou de calorifuge, et le fermant par un couvercle muni d'une porte de regard.

Une pompe refoule le jus chaulé à la carbonatation. Nous préférons la pompe au monte-jus, même à air comprimé, qui est un organe que l'on ne visite ni ne nettoie jamais.

Le jus chaulé est refoulé parfois à travers des réchauffeurs pour être porté à 75 ou 80° avant carbonatation. C'est une méthode née en Autriche et qui a de grands avantages au point de vue de l'utilisation de la vapeur. Nous en reparlerons plus tard, à propos du système d'évaporation et de chauffage à effets multiples Rillieux.

La carbonatation s'opère ordinairement dans des bacs où l'on refoule le gaz carbonique au moyen d'une *pompe à gaz* dont nous allons parler.

La forme des bacs de carbonatation est assez variable avec les usines.

En France, par une mauvaise inspiration, on les a fait autrefois fort plats avec 60 centimètres, un mètre au plus, de hauteur de jus.

L'Allemagne a suivi au début cet errement.

Mais en Autriche, M. Robert de Séelovitz, croyons-nous, a inauguré les bacs à grande hauteur de jus, 2 mètres environ, qui sont bien plus rationnels puisque le gaz carbonique s'y utilise mieux.

La carbonatation donne au début beaucoup de mousse. Les bacs plats en sont encombrés et l'on est obligé d'émousser soit avec de la graisse, soit avec des émousseurs.

Ces derniers étaient d'abord constitués par une injection de vapeur faisant rideau à la surface du liquide. Mais comme ces émousseurs dépensent une énorme quantité de vapeur, les fabricants, soucieux de leur intérêt, les ont remplacés par des émousseurs mécaniques formés de palettes tournant et rabattant la mousse au fur et à mesure de sa production.

Les Autrichiens ont fait mieux, ils ont surmonté les bacs de carbonatation de rehausses ayant trois ou quatre mètres de hauteur, fermées par un couvercle qui supporte une large cheminée. De la sorte, la mousse a toute la place nécessaire pour se former et s'abattre d'elle-même, supprimant ainsi tout émousseur mécanique ou autre.

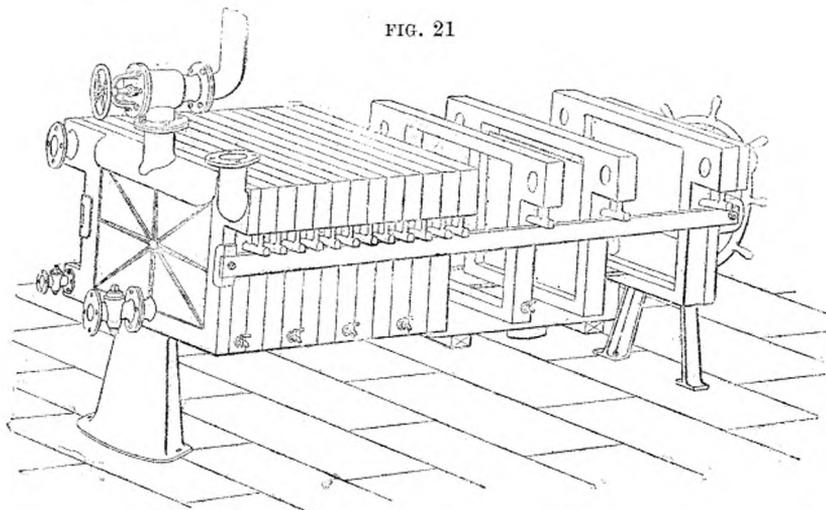
De nombreux essais ont été faits pour rendre continue la carbonatation et

supprimer l'ennui des émousseurs de toute sorte, supprimer aussi la malpropreté inhérente à la manipulation des jus chaulés, gagner du temps, de la place, et utiliser les gaz d'une façon plus rationnelle, enfin éviter cette énorme quantité de jus en travail qui traîne et s'altère, soit pendant l'emplissage, soit pendant la vidange des bacs ; car on peut poser en règle générale que tout jus qui ne circule pas est sujet aux altérations de toutes sortes, fermentation, acidification, etc. Enfin les jus se refroidissent quand ils restent dans les bacs.

L'Exposition nous présentait deux modèles de carbonatation continue.

### Exposition de M. Horsin-Déon.

Le *carbonateur continu* de M. Horsin-Déon (fig. 21) a la forme extérieure d'un filtre-pressé. Il a dix plateaux mobiles sans compter le plateau fixe de tête et le plateau de serrage.



Le plateau de tête porte le robinet pour l'admission du gaz carbonique, le robinet pour l'admission de vapeur de chauffage, celui d'admission de jus chaulé et la sortie des eaux condensées. Les gaz ayant passé dans l'appareil s'échappent par un vase de sûreté placé également sur le plateau fixe, tandis que les jus carbonatés s'écoulent par un déversoir placé sur le côté et au bas du dernier plateau.

Chacun des plateaux mobiles porte à l'intérieur une tôle laissant seulement une ouverture horizontale sur toute la longueur du plateau ; ces ouvertures sont placées alternativement en haut et en bas des plateaux, faisant ainsi chicane,

de telle sorte que le jus lancé dans l'appareil suit un mouvement de lacet montant et redescendant jusqu'à la sortie. Enfin les tôles sont fixées dans les plateaux de telle manière qu'elles forment une série de chambres alternativement étroites et larges, les chambres étroites recevant le jus par le haut.

Ceci donné, voilà ce qui se passe :

Lorsque le gaz est envoyé dans l'appareil, le jus chaulé circule dans le même sens que lui, allant du plateau fixe au plateau de serrage. Dans les chambres étroites l'espace est calculé de manière à ce qu'il n'y ait de place que pour le gaz, en sorte que le jus y est chassé en avant par ce dernier. Mais comme la chambre suivante est plus large et que le gaz y arrive par le bas, le jus remonte lentement et le gaz y barbotte exactement comme dans les boules de Liebig usitées dans les laboratoires où les gaz sont absorbés par barbottage. Cet appareil est donc une grande boule de Liebig industrielle où l'on peut faire toutes les opérations auxquelles sont destinés ces appareils, aussi bien la carbonatation des jus sucrés que celles des potasses, etc.

Comme en sucrerie on a besoin de chauffer les jus pendant la carbonatation, un ou plusieurs cadres, au commencement ou à la fin, portent des serpentins en forme de grille pour la vapeur.

L'avantage de cette disposition est celle-ci :

Le gaz et le jus chaulé suivant la même direction s'épuisent ensemble, l'un en chaux l'autre en acide carbonique, en sorte qu'à la fin de l'appareil on a du jus pauvre en chaux et du gaz pauvre en acide carbonique.

La fin de l'opération est donc lente et l'on est maître ainsi de son point de carbonatation, même si de légers changements se manifestent dans la teneur du gaz. Si, au contraire, comme on l'a souvent essayé, le gaz riche vient en contact du jus pauvre en chaux, on n'est jamais sûr du point d'arrêt dans la carbonatation. C'est ce qui a fait rejeter jusqu'à présent les appareils de carbonatation continue.

L'appareil exposé a travaillé environ 1800 hectolitres de jus chaulé à 11 % de lait de chaux de 20° B. par 24 heures avec du gaz à 16 % et il fera d'autant plus de travail que l'usine où il sera établi possédera un gaz plus riche. En pratique il a travaillé les jus quatre fois plus vite que par les chaudières ouvertes marchant parallèlement avec lui. En effet, il a 4 barbottages de 60 centimètres, correspondant par conséquent à 2<sup>m</sup>,40 de hauteur de jus, tandis que les chaudières ouvertes n'ont pas plus de 60 centimètres à 1 mètre de liquide en travail. De plus, les mousses ne gênent pas, puisqu'elles sont carbonatées en même temps que les jus ; on arrive avec cet appareil à régler assez le point final de carbonatation pour que, dans les essais qui ont été faits, le degré calcique qui devait être de 100° n'ait varié que de 90 à 110°.

Le jus au sortir de l'appareil est prêt à passer aux décanteurs ou aux filtres-presses, suivant le mode d'installation des usines.

### Exposition L. Fontaine.

Le second appareil de carbonatation continue, sous le nom de *carbonateur Crepelle*, était exposé par la maison L. Fontaine. C'est un bac allongé verticalement, le jus arrive par en haut et sort par en bas, tandis que le gaz carbonique arrive par en bas et monte dans le liquide, contrarié dans son mouvement ascendant par de nombreuses chicanes. Le jus le plus pauvre en chaux se trouve donc au contact du gaz le plus riche, ce qui est un avantage pour l'épuisement du gaz, mais un inconvénient pour la régularité du point final de carbonatation, comme nous le disions précédemment.

Le jus carbonaté s'écoule par en bas, remonte latéralement au bac et rentre dans un décanteur Gaillet (voir p. 409, 6<sup>e</sup> partie), faisant corps avec le premier.

Il serait à désirer que les fabricants de sucre encourageassent les inventeurs qui cherchent à améliorer leur outillage en faisant officiellement des essais comparatifs des divers systèmes et en recommandant les plus pratiques et ceux qui répondent le mieux aux besoins de leur industrie. Mais il faudrait pour cela instituer une école pratique de sucrerie en France, comme il en existe à l'étranger, et quoique la *Société des Chimistes de sucrerie* l'ait réclamée depuis longtemps, rien de semblable n'existe encore chez nous.

#### FOURS A CHAUX

Avant d'aller plus loin, parlons de la *chaux* et du *gaz carbonique*.

La chaux et le gaz carbonique sont obtenus au moyen de fours à chaux dont le gueulard est fermé, et dont les gaz sont aspirés par une pompe.

Les fours à chaux sont de deux sortes aussi répandues l'une que l'autre. Les fours à foyer extérieur et les fours sans foyer. Il semble cependant que ces derniers prennent le pas aujourd'hui sur les autres. Quoiqu'il en soit, les fours à foyer extérieur reçoivent par le gueulard la pierre à chaux mélangée d'une petite quantité de coke, et le reste du combustible est brûlé dans des foyers latéraux. Les autres au contraire, reçoivent ensemble la pierre à chaux et tout le coke nécessaire à la calcination de la chaux.

L'Exposition ne donnait qu'un seul spécimen de four à chaux de sucrerie. C'était un dessin de MM. Toisoul et Fradet, représentant un foyer gazogène appliqué aux fours à chaux. C'est donc une troisième sorte de chauffage.

La fermeture du gueulard se fait de différentes manières. Elle doit être telle que l'on puisse faire les charges avec le moins de rentrées d'air possible. Les glissières sont difficiles à obtenir étanches même avec la cendre. La fermeture qui réunit les meilleures conditions d'étanchéité et de rapidité de chargement est encore le cône renversé, dont les joints sont faciles à faire avec un peu de cendre et qui répartit bien la charge.

La pompe à gaz est l'un des outils les plus difficiles à réussir complètement. En effet, les gaz sont chauds, quoique refroidis dans un appareil spécial. L'as-

Mais cette distribution est toujours défectueuse, car les fermetures et ouvertures ne sont pas instantanées, et lors du refoulement il reste toujours derrière le piston une certaine quantité de gaz comprimé dans les espaces nuisibles. Nous n'avons vu nulle part qu'on ait essayé de parer à ces inconvénients. On se contente de prendre la pompe très grande, quitte à perdre une partie du gaz dans l'atmosphère.

Il faut remarquer que la tuyauterie doit avoir un très grand diamètre, surtout entre le four et le laveur refroidisseur, car les gaz sortent parfois du four à la température rouge, et par conséquent dans un état de dilatation énorme. Bien des mécomptes surviennent en sucrerie par la faute du manque de diamètre de cette tuyauterie.

Le laveur doit être un puissant refroidisseur, car plus les gaz sont froids plus la pompe a d'effet utile, et plus elle envoie de gaz carbonique à la carbonatation, puisque sous le même volume un gaz froid contient plus d'acide qu'un gaz chaud. Tant qu'on ne sera pas parvenu à obtenir des pompes à gaz chauds il faudra refroidir les gaz ; et c'est un des mauvais côtés du matériel, puisqu'on perd ainsi des calories qui seraient bien mieux utilisées si le gaz se refroidissait au contact du jus lui-même dans la carbonatation en lui cédant sa chaleur. On économiserait ainsi de la vapeur de chauffage.

Aucun appareil ayant rapport aux pompes à gaz ne figurait à l'Exposition.

## MÉTHODES DIVERSES DE TRAVAIL

### Exposition Manoury.

On a essayé fréquemment de modifier le mode de travail des jus. M. Manoury directeur de la Société de Raffinage des Mèlasses, avait exposé une série de produits : sulfate de magnésie, baryte, acide phosphorique baryté, au moyen desquels il a proposé de traiter les jus sucrés. Voici comment il opère.

Les jus sortant de la diffusion sont additionnés de sulfate de magnésie, chauffés vers 80 degrés, puis chaulés. On continue à chauffer jusque vers 95° et on ajoute de la baryte ; on porte alors le mélange à l'ébullition et la première saturation est terminée.

Les jus filtrés sont alors soumis à une seconde opération. Ils sont additionnés de chaux et de baryte, traités par l'acide carbonique, et, vers la fin, additionnés d'acide phosphorique baryté qui termine la saturation des sels de chaux.

Si tous ces réactifs sont mis à la dose voulue, les jus doivent être à l'alcalinité habituelle après la seconde opération et plus purs que les jus de carbonatation ordinaire.

Les boues sont recueillies dans des filtres-presses et ont une valeur marchande

en rapport avec l'acide phosphorique qu'elles contiennent, en sorte que le fabricant se trouve remboursé d'une partie de ses frais.

Tel est en quelques mots ce procédé qui a parfaitement réussi dans plusieurs usines. Les jus qu'il donne ne contiennent pas de sulfate de chaux et n'incrustent pas, par conséquent, les tubes des appareils d'évaporation. On profite donc de toute la série des déféquants, sulfate de chaux, précipité magnésien, carbonate de chaux et de baryte, et enfin phosphate de chaux, ce qui explique l'épuration plus grande des jus, puisque dans le procédé ordinaire on n'a que le double précipité de carbonate de chaux pour enlever les matières organiques et colorantes de la betterave.

M. Manoury a encore amélioré son système en le combinant avec le traitement des mélasses par la baryte dont nous parlerons plus loin. En effet, au lieu d'ajouter de la baryte caustique dans les jus, il ajoute le sucrate de baryte provenant du traitement des mélasses, ce qui rachète la dépense de baryte par l'excédent de sucre qu'elle amène de la sorte dans les jus. Les deux procédés devant marcher ensemble dans les sucreries, on voit quel bénéfice ce travail peut rapporter aux fabricants.

Nous y reviendrons d'ailleurs à propos du traitement des mélasses.

---

## FILTRES-PRESSES

---

Les jus, carbonatés une première fois, sont séparés des boues que forme le carbonate de chaux et qui sont en suspension, carbonatés une seconde fois, séparés de nouveau des boues, filtrés et enfin évaporés.

La séparation des boues se fait de différentes manières. Soit au moyen de la décantation, soit au moyen de filtres-presses.

La décantation est abandonnée partout à l'étranger. Elle n'est plus employée qu'en France et en Belgique et tend même à disparaître de ces deux pays. C'est un moyen plein d'inconvénients, donnant des jus troubles, poussant à la fermentation, et perdant beaucoup de calorique. Il est économique, car des bacs coûtent moins cher que des filtres-presses. Mais depuis que la fabrication devient de plus en plus rationnelle, la raison d'économie de matériel disparaît devant le bon travail.

Les filtres-presses sont construits aujourd'hui dans tous les bons ateliers, et rivalisent de perfectionnements.

Un bon filtre-presse, outre ses qualités de solidité, doit être commode à manier, doit présenter toutes les facilités possibles pour le changement des serviettes et l'entretien de leur longue durée, et enfin permettre un désucrage sinon ab-

solu, ce qui ne peut pas être, au moins aussi parfait que possible des tourteaux.

Les filtres-presses peuvent se classer en deux catégories, suivant qu'ils sont à plateaux et à cadres comme les anciens Danek, ou à plateaux seuls comme les anciens Trinks.

Leurs dimensions peuvent les classer aussi en filtres-presses ordinaires, à plateaux de 600 à 700 millimètres, grands filtres-presses, à plateaux de 1 mètre, et filtres-presses monstres ou doubles, qui ne sont que deux grands filtres-presses montés sur le même bâti.

Avec les grandes dimensions qu'affectent maintenant les filtres-presses, les cadres entre plateaux semblent assez nécessaires. Mais dans les petits filtres-presses on a toujours intérêt à supprimer les cadres qui sont une manœuvre supplémentaire. Aussi avaient-ils disparu complètement depuis que l'on possédait les filtres Trinks à introduction centrale. Aujourd'hui l'introduction se fait latéralement par des oreilles venues de fonte avec les plateaux, de manière à ne plus trouser les toiles. On a donc été obligé de revenir aux cadres, même dans les petits filtres-presses, l'introduction se faisant forcément entre les toiles par l'intermédiaire des cadres.

### Exposition de M. Mariolle-Pinguet

M. Mariolle-Pinguet a voulu parer à cet inconvénient, et il y est arrivé d'une façon fort ingénieuse, de la manière suivante (fig. 22, 23, 24, 25, 26 et 27).

L'introduction du jus chaulé se fait en haut à gauche par un canal latéral comme dans les autres appareils du même genre (fig. 25). Dans l'ouverture que ce canal laisse dans chaque plateau est ajustée une pièce en bronze mobile, sorte de tuyau de même section que celle du canal, mais qui porte une tubulure latérale ayant la forme d'une demi-ellipse verticale (fig. 27), pour lui donner également une grande section.

Cette tubulure sert à l'introduction du jus boueux entre deux plateaux consécutifs et est placée de son côté arrondi dans un logement ménagé dans la fonte.

On commence donc par mettre les toiles, puis, par dessus, on place la tubulure mobile, dont la partie arrondie fait joint sur la toile, et la partie plane se serre sur le plateau suivant.

De la sorte, on n'a plus besoin de cadres, la tubulure mobile remplissant le même but, et les plateaux travaillent comme dans les Trinks, sans que les toiles soient percées.

Ce système a l'avantage de diminuer le poids total des cadres, la longueur

du filtre-pressé, de diminuer également de moitié le nombre des joints, ce qui est un grand intérêt au point de vue des fuites, et enfin de simplifier la

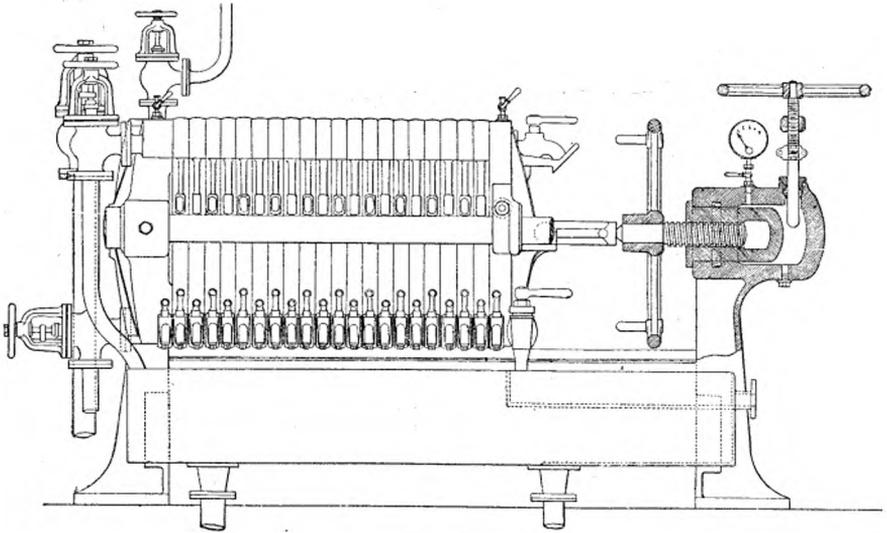


FIG. 22

main d'œuvre pour la vidange du filtre-pressé, tous avantages qui avaient autrefois fait adopter les Trinks et rejeter les Danek.

D'ailleurs tous les autres éléments du filtre-pressé sont admirablement étudiés.

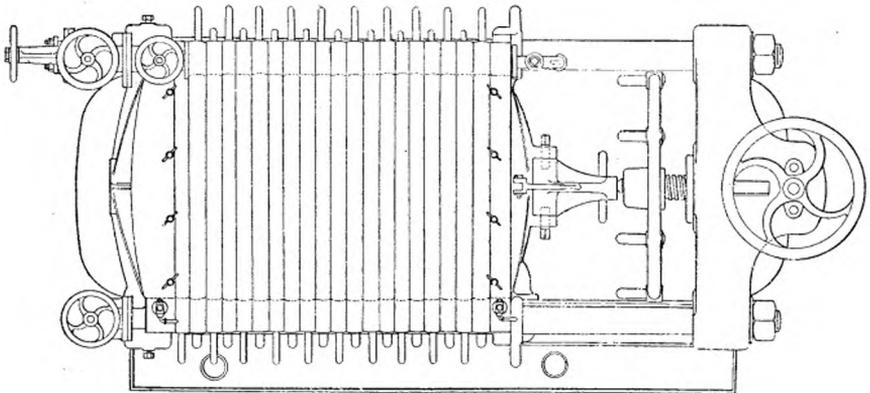


FIG. 23

Tous les joints des canaux pour jus et lavages sont en caoutchouc à fermeture hydraulique, la pression forçant le caoutchouc à s'appuyer sur les cadres.

Remarquons aussi la construction des plateaux (fig. 26) dont l'âme intérieure ordinairement en fonte cannelée, sujette aux ruptures et à l'obstruction, est remplacée par des barres de fer carrées placées verticalement et parallèlement l'une à l'autre à un intervalle de quelques centimètres, et à dilatation libre, et de telle manière que les plaques en tôle perforée s'appuient sur les angles des barreaux. Cette disposition assure donc une grande solidité en même temps qu'une grande surface de filtration.

Enfin le serrage se commence avec une vis et se termine par l'action, en bout de la vis même, d'une presse hydraulique faisant corps avec le bâti, ce qui permet d'atteindre facilement la pression

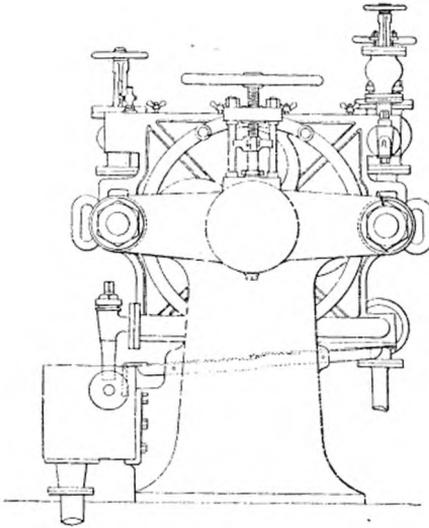


FIG. 24

de 100 kilogrammes par 100 mètres carrés nécessaire pour les joints (fig. 22).

Tout est donc admirablement étudié dans ce filtre-pressé qui sort des errements connus. Le poids de chaque tourteau dans l'appareil exposé, dont les cadres avaient 800 millimètres, est de 17 kilogrammes. Il avait 30 chambres, et pouvait donc contenir 510 kilogrammes d'écumes.

Il était muni, bien entendu, de tous les engins ordinaires pour lavage des écumes.

M. Mariolle-Pinguet construit sur le même modèle des filtre-presses de 1 m, ce qui prouve que même dans les grands modèles on peut supprimer les cadres sans inconvénient.

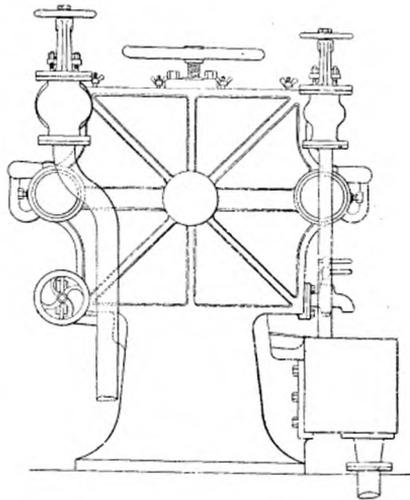


FIG. 25

Les anciens établissements *Cail* exposaient un filtre-pressé grand modèle, dans lequel les plateaux ne portaient pas non plus d'âme fixe. Elle était remplacée par des barrettes vissées sur les plaques perforées, en sorte que l'épaisseur du plateau était diminuée de toute celle de l'âme elle-même qui est ordi-

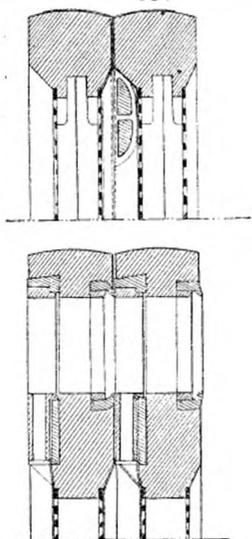


FIG. 27

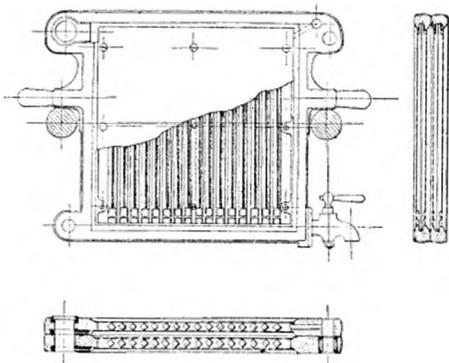


FIG. 26

nairement assez grande dans les grands modèles pour avoir de la solidité. D'ou légèreté plus grande des plateaux et moindre longueur du filtre-pressé, quoi qu'il ait 40 compartiments et que les tourteaux aient 28 millimètres d'épaisseur, formant un poids total de 1 350 kilogrammes d'écumes.

Il y a donc aussi dans ce filtre-pressé, qui est à épuisement, quelques recherches pour arriver à l'amélioration dans la construction.

La Société anonyme de construction mécanique de Saint-Quentin (ancienne maison *Lecoq et Villette*) exposait le filtre-pressé Kroog, l'un des premiers qui ait fait l'entrée et la sortie des liquides par des oreilles latérales aux plateaux. Il a donc des cadres intermédiaires.

Ce filtre-pressé, à déplacement de jus, est déjà ancien, mais son fonctionnement est excellent. Nous n'insisterons pas, car il est bien connu des fabricants.

Dans cette exposition se trouvait encore un second filtre-pressé à 29 plateaux de 1 mètre. Ce qui le distingue des autres appareils, c'est son mode de serrage très énergique, obtenu d'abord par une vis ordinaire, et complété par un engre-

nage à vis sans fin que l'on rend solidaire de la vis centrale au moyen d'un encliquetage. Ce système a l'avantage de ne pas augmenter la longueur du filtre-presses.

La maison *Montauban et Marchandier* de Saint-Quentin, présentait un filtre-presses Villette (fig. 28) à plateaux de 1 mètre formant 30 tourteaux, il a,

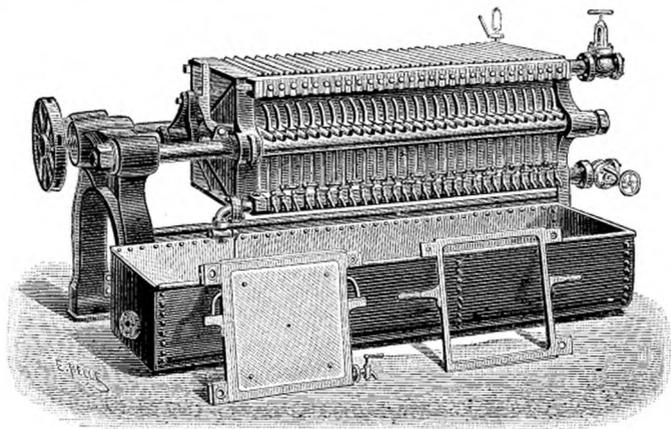


FIG. 28

comme tous les autres, cadres et plateaux avec appareils d'épuisement ; le serrage s'y fait au moyen d'une vis en acier mue par engrenage et pignon formant vérin fort puissant. Les détails en sont très étudiés, mais n'apportent rien de réellement nouveau dans la construction.

### Exposition E. et J. Halot et C<sup>ie</sup> de Bruxelles.

Le filtre Cizek exposé par la maison Halot, réunit tous les perfectionnements que l'on a cherché à apporter aux filtres-presses à l'étranger. Il présente en outre quelques points particuliers intéressants.

L'appareil exposé (fig. 29) était double, pouvant former 80 compartiments pour chaque moitié, soit 160 pour la totalité.

Un tel filtre-presses suffit pour un travail de 400 000 kilogrammes de betteraves par 24 heures.

Les cadres et plateaux ont 900 millimètres de hauteur et 800 de largeur ; épaisseur des cadres 26 millimètres et des plateaux 24 millimètres.

La fermeture se fait à la presse hydraulique, avec écrou d'arrêt sur le piston pour empêcher le recul quand l'action des pompes est terminée.

La tête commune aux deux filtres-presses est au milieu, formée par un fort plateau sur lequel se trouvent les entrées de jus et d'eau. A droite et à gauche de ce plateau, de forts sommiers supportent les cadres dont les robinets de sortie de jus sont tous sur le même front.

Les joints des cadres sur les plateaux sont faits par des garnitures en caoutchouc. Les cadres et plateaux portent en bas un canal latéral pour les jus carbonatés, et dans le haut deux canaux à eau de lavage. Enfin en haut également un petit canal pour l'échappement de l'air avec soupape automatique.

Plateaux et cadres se déplacent sur les sommiers en roulant sur des galets.

La sortie du jus est munie, en guise de robinets, de sortes d'ajutages à clapets extérieurs tenus en place au moyen d'un étrier muni d'un levier qui force sur un plan incliné disposé sous le clapet. Ces clapets Cizek sont une réelle amélioration aux filtres-presses, quoique ce ne soit qu'un petit détail.

Les filtres Cizek ont tous les canaux et ouvertures pour le jus et l'eau fort larges, conditions que l'on doit remplir d'ailleurs toujours pour avoir un emplissage et un coulage réguliers sur toute la longueur de l'appareil.

L'avantage des grands filtres-presses sur les petits est que, la manœuvre étant à peu près la même, les ouvriers ont beaucoup moins de travail avec les premiers, puisqu'ils se vident et se remontent moins souvent. Il y a aussi l'avantage d'avoir moins de jus de mise en route qui est toujours trouble, puisqu'on met en route moins souvent. De plus les démontages étant moins répétés les ouvriers ont tout le temps nécessaire pour faire le remontage avec soin et sans précipitation, ce qui est un grand point.

En seconde carbonatation, par exemple, les grands filtres travaillent presque 24 heures sans démontage, coulant sans cesse du jus clair, au grand avantage des filtres et de l'évaporation.

Dans les grands filtres-presses la pression est beaucoup plus uniforme et beaucoup plus constante que dans les petits, à cause du temps plus grand de l'emplissage, en sorte que le rendement par mètre carré de surface filtrante est plus considérable.

En général il ne faut pas plus de 70 à 80 litres d'eau de lavage par 100 kilogrammes d'écumes. Dans les grands filtres-presses ces quantités sont plus faciles à obtenir que dans les autres, l'incertitude étant moindre à cause du moins grand nombre d'opérations.

Les ouvriers sont en effet toujours portés à écourter ou prolonger la fin du lavage quand le nombre des opérations est considérable comme avec les petits filtres-presses.

Enfin, dans les filtres Cisek, les deux canaux à eau sont destinés à laver les tour-

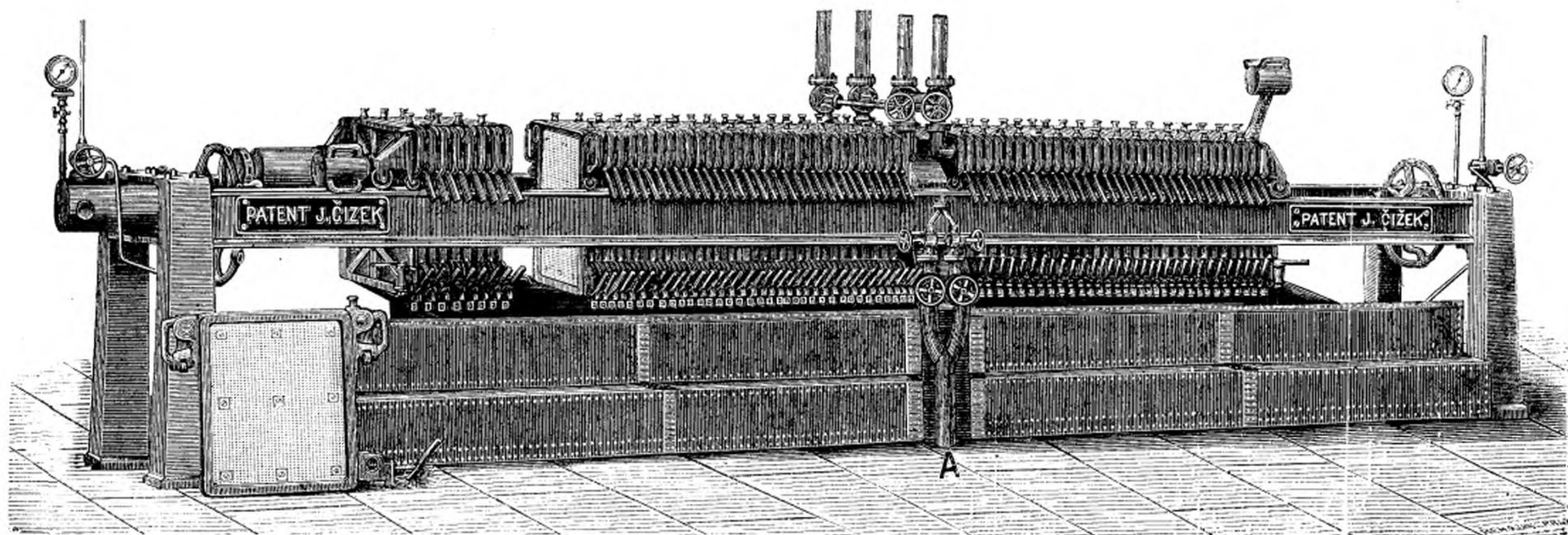


FIG. 29. — FILTRE CIZEK

teaux tantôt par la droite tantôt par la gauche du plateau, ce qui, paraît-il, use moins les toiles.

On objecte aux grands filtres-presses que dans le cas d'accident sur une chaudière, ou de passage d'un mauvais lot de betteraves, on aura beaucoup plus d'embarras sur les grandes masses d'écumes que sur les petites.

Une chaudière suffit pour empêcher le coulage d'une grande quantité de jus, et, dans ce cas, il est plus aisé de se débarrasser et de perdre la pressée d'un petit appareil que d'un grand, la perte étant moindre.

M. Cizek, pour défendre son appareil, prétend au contraire qu'une mauvaise chaudière est réparée par les autres, et que le passage ralenti un instant se rétablit lorsqu'arrive du jus bien travaillé.

Nous nous sommes étendu sur cette comparaison entre les petits et les grands filtres-presses, parce que l'emploi des grands appareils tend à se généraliser et que les fabricants se demandent parfois s'ils ont intérêt à adopter tel ou tel modèle. Les raisons ci-dessus les renseigneront sur celui qui convient le mieux à leur travail.

*Pompes à écumes.* — Les jus carbonatés sont refoulés dans les filtres-presses au moyen de pompes spéciales qui doivent être telles que la pression sur les liquides ne dépassent jamais une quantité donnée, 3 atmosphères en moyenne.

Ce résultat est obtenu dans les nombreux systèmes proposés par les moyens suivants.

Le diamètre du piston de la machine à vapeur qui met les pompes en mouvement et le diamètre du piston de ces pompes sont calculés de telle sorte que la différence de la pression qu'ils supportent soit égale au maximum de pression qu'on veut obtenir pour une pression donnée aux générateurs. Ainsi si la surface du piston à vapeur est 1 et celle du piston de la pompe est 2, avec une pression de 5 atmosphères aux générateurs, la machine s'arrêtera théoriquement lorsqu'il y aura 2 1/2 atmosphères de pression derrière le piston de la pompe.

En calculant convenablement son rapport on aura donc une machine équilibrée pour la pression voulue.

Un autre moyen est d'actionner le régulateur de la machine par un petit piston qui se soulève et ferme le régulateur quand la pression voulue est obtenue. Si la tige du petit piston agit sur un fléau de balance équilibré la fermeture sera progressive. Le régulateur ferme en même temps la circulation des liquides boueux.

Enfin en accouplant deux systèmes semblables de pompe et de machine motrice sur le même arbre coudé, en donnant un angle de 50 degrés aux deux manivelles, il n'y aura pas de point mort à un pareil couplet lorsque la pression voulue sera obtenue la machine s'arrêtera. Elle se remettra en marche lorsque la pression diminuera dans les filtres-presses, sans qu'on ait besoin de s'en occuper.

C'est sur ces principes réunis que sont installées toutes les pompes à écumes.

Ajoutons, pour terminer la description générale, qu'une forte bouteille d'air installée au refoulement porte le tuyau qui actionne le régulateur, ainsi que le manomètre qui sert à régler une fois pour toutes le jeu des pompes.

La seule pompe à écumes qui figurait à l'Exposition était construite par les ateliers *Jean et Peyrusson*, d'après le modèle introduit par Dehne et modifié par eux.

Le bâti est vertical, deux cylindres à vapeur intérieurs au bâti actionnent le même arbre coudé en vilebroquin qui surmonte tout le système et porte au milieu un volant de petite dimension suffisamment pesant. Les pompes à piston plongeur, au nombre de quatre accouplées deux à deux, sont à l'extérieur du bâti. Elles sont boulonnées sur celui-ci, ce qui permet de les enlever pour les réparations. La bouteille d'air est placée derrière dans l'axe de l'appareil, et en avant se trouve le régulateur excessivement sensible adopté dans ce genre de machines.

On construit aussi des pompes à écumes horizontales sur le même système.

Enfin, pour le lavage des écumes l'eau est refoulée par des petites pompes à pistons équilibrés de même système et qui n'ont pas besoin de régulateur à cause du travail moins pénible et plus régulier qu'elles ont à faire.

*Régulateur de pression D. Legat.* — M. Legat a imaginé un régulateur de pression remarquable pour les pompes à écume (fig. 30).

La vapeur, qui met en mouvement les pompes, traverse une soupape équilibrée D. Une tige centrale FF, maintenue en haut et en bas par deux membranes métalliques MN identiques, retient la soupape sur son siège, si rien ne vient troubler leur équilibre. Pour produire l'ouverture de la soupape, deux ressorts RR fixés aux extrémités d'entretoises BB', appuient sur le haut de la tige centrale. Mais,

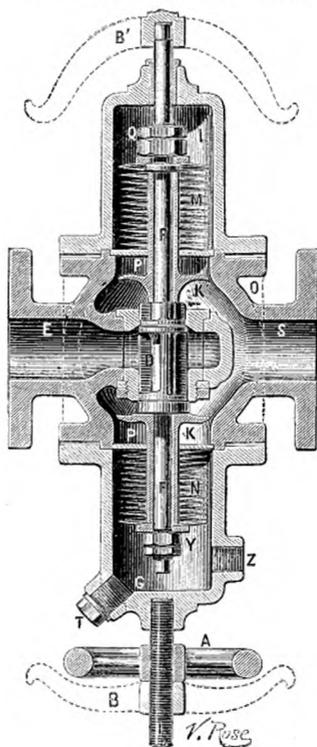


FIG. 30

d'autre part, la membrane métallique du bas N est enfermée dans une chambre G mise en communication par un petit tuyau avec l'espace dans lequel s'exerce la pression des pompes, c'est-à-dire, dans le cas que nous citons, avec la bouteille d'air des pompes à écume. On conçoit alors que si la pression dans la bouteille d'air fait équilibre, en N à la pression des ressorts qui s'exerce en M, la soupape se fermera, et la vapeur ne passant plus, la machine s'arrêtera. Il suffit donc de régler la tension des ressorts au moyen du volant A pour obtenir aux filtres-presses la pression désirée.

Ce régulateur est d'une grande sensibilité, et est appelé à rendre de réels services dans la construction des pompes à écume.

---

## FILTRATION MÉCANIQUE

---

Les filtres à noir ont presque complètement disparu de la sucrerie. En revanche la filtration mécanique des jus a pris un large développement, puisqu'elle doit remplacer l'action du noir par un nettoyage parfait des jus de toutes les matières en suspension dans ceux-ci. On ne saurait en effet donner trop de soins à la filtration mécanique, les jus propres s'évaporant beaucoup mieux et encrassant moins les appareils.

La filtration mécanique est déjà ancienne en France, où depuis longtemps certaines fabriques n'employaient plus que du noir très vieux, indéfiniment calciné et qui n'agissait plus que mécaniquement. En Allemagne on essaya le gravier. Mais la véritable filtration mécanique ne prit le jour que lorsque vinrent les poches Puvrez. Ces poches, renouvelées comme idée des filtres Taylor, eurent leur grand succès au choix excellent du tissu qui les formait.

Depuis, ce tissu a été employé dans tous les filtres mécaniques, qui prirent alors des formes plus en harmonie avec le reste du matériel des usines, évitant les vapeurs gênantes du jus chaud, dès lors les pertes de calorique, etc.

Néanmoins les poches Puvrez sont encore employées dans bien des cas, surtout dans les usines qui conservent la décantation, pour faire une filtration préparatoire.

A l'Exposition on trouvait différents systèmes de filtres-mécaniques.

## Exposition Maguin.

Les premiers filtres mécaniques qui furent construits consistaient en un bâti en bois ressemblant à un osmogène dont les papiers seraient remplacés par des toiles. Certaines sucreries transformèrent même leurs osmogènes en filtres-mécaniques.

M. Maguin a exposé un de ces osmo-filtres, dans lesquels la filtration est double, c'est-à-dire traverse deux compartiments garnis de toile avant de sortir dehors; c'est donc une filtration énergique. L'idée de la filtration double est d'ailleurs déjà ancienne.

## Exposition de Fives-Lille et de MM. E. et J. Halot et C<sup>ie</sup>.

Le meilleur filtre-mécanique qui ait été fait est celui breveté par la maison Breitfeld-Danek de Prague et imaginé par l'un de leurs ingénieurs, M. Prokch. La maison de Fives-Lille et la maison Halot de Bruxelles sont concessionnaires de son exploitation en France et Belgique et l'ont exposé toutes deux.

Il consiste en une bache en tôle, fermée hermétiquement par un couvercle qui repose sur joint en caoutchouc, et dans laquelle on introduit le jus ou sirop à filtrer sous une pression de deux à trois mètres du liquide.

A l'intérieur de la bache se trouve la surface filtrante, composée de sacs tendus sur une tôle ondulée. Cette tôle ondulée est pendante, les ondulations étant dans le sens vertical. La tête de la tôle est prise dans une rainure pratiquée dans un tuyau de fer, et ce tuyau de fer, dont un bout est bouché et l'autre ouvert, est fixé horizontalement dans le haut de la bache de la manière suivante.

Dans le bout ouvert pénètre l'ajutage d'un petit conduit coudé qui sort hors de la bache, et contre le bout fermé, formant crapaudine, s'appuie la pointe d'une vis de pression manœuvrée du dehors au moyen d'une clé. Le tuyau de fer ainsi que la tôle ondulée se trouvent pris dans la toile filtrante, et le tout est suspendu ainsi parallèlement à l'une des faces de la bache.

A cause de la faible épaisseur de cette surface filtrante on peut suspendre ainsi 30 de ces tôles dans la bache, et chacune représentant 1 mètre carré, on a ainsi un appareil ayant 30 mètres de surface filtrante, et qui n'occupe pas sur le sol plus d'un mètre carré d'emplacement.

L'appareil fonctionne donc de la manière suivante : le jus ou sirop emplit la bache, traverse la toile, se répand et monte dans les ondulations de la tôle qui se prolongent dans l'intérieur du tuyau de fer, et s'écoule dehors par l'ajutage dans une nochière fixée sur cette bache.

Un petit joint en caoutchouc empêche le jus de passer entre l'ajutage et le tuyau de fer. La toile bien serrée sur le tuyau et retenue par une lame de fer qui fait ressort sur toute la longueur du tuyau, empêche également le jus de passer dans ce tuyau autrement qu'à travers la surface filtrante. On a donc sous un petit volume un système puissant de filtration.

Un fait particulier se passe pendant la filtration.

Les boues s'accumulent sur les toiles, et lorsque l'épaisseur forme un poids de boue que leur cohésion ne peut supporter, elle tombe. Le fait est que dans le fond de la bêche on retrouve une quantité considérable de boue qui ne peut s'expliquer par la décantation du liquide, et que les filtres Breitfeld-Danek ont une durée en effet utile considérable.

Ainsi on compte que chaque mètre carré peut filtrer par 24 heures 100 hectolitres de jus, ou 75 hectolitres de sirop à 22, ou 35 hectolitres de sirop à 30° Baumé. Un filtre de 30 mètres peut donc filtrer 3000 hectolitres de jus ou 2250 hectolitres de sirop à 22, ou 1050 hectolitres de sirop à 25. Ce rendement est minimum, car ces filtres font beaucoup plus si l'on veut, mais dans cette moyenne on est assuré d'obtenir des sirops et des jus admirablement filtrés.

Nous avons vu le filtre appliqué en raffinerie pour des sirops à 40° Baumé bouillants, et donner des résultats inattendus comme limpidité et quantité filtrée.

Aussi plus de 1200 de ces filtres ont-ils été vendus en Europe quoiqu'il n'y ait que trois ou quatre ans que l'invention existe. On ne saurait en faire un meilleur éloge.

Les anciens établissements *Cail* ont exposé un filtre du même genre, le filtre Kasalowsky, qui n'est qu'une imitation du filtre Danek. La seule différence consiste en ce que la tôle ondulée est remplacée par une toile métallique épaisse genre Liebermann et soutenue tout autour par des barrettes de cuivre.

La Société de constructions mécaniques de *Saint-Quentin*. (Ancienne maison *Lecoq et Villette*), exposait un filtre mécanique de toute autre espèce, nommé filtre Baur, applicable plutôt à la filtration sur noir, sable ou toute autre matière en grain ou poussière.

C'est une sorte de filtre-pressé à cadres et plateaux, avec entrées et sorties latérales, et joints Kroog.

Les plateaux ont 7 à 8 centimètres d'épaisseur et sont surmontés d'une sorte d'entonnoir renversé et aplati ayant la longueur et l'épaisseur du cadre, et dont la pointe est fermée par une petite porte mobile. Par cette porte on introduit la matière dont on veut se servir comme agent filtrant. De plus, entre les plateaux, on peut mettre des toiles comme aux filtres-pressés ou aux filtres mécaniques. On fait entrer le jus à filtrer par les cadres qui contiennent l'agent filtrant; le jus se répand dans ce cadre, traverse les toiles et sort par les plateaux comme dans les filtres-pressés. Les cadres peuvent être lavés à l'eau ensuite comme les tourteaux d'un filtre-pressé.

On a donc réuni ainsi les avantages du filtre à noir et ceux du filtre mécanique dans un seul appareil.

L'appareil exposé avait 42 cadres de 800. Il peut être appliqué à toute industrie ayant des filtrations à effectuer. En sucrerie il est surtout utilisable pour les jus de canne. C'est un instrument nouveau et fort curieux à connaître.

---

## ÉVAPORATION

---

Les jus filtrés sont évaporés dans le vide pour être réduits à l'état de sirop.

À l'Exposition de 1878, plusieurs appareils à triple-effet étaient exposés, car à cette époque on n'avait jamais pu faire mieux. Quelques essais avaient été tentés par la maison Cail pour faire des appareils à quadruple et nonuple-effet, mais ces essais avaient été infructueux, et l'on avait dû s'en tenir au triple-effet.

M. Rillieux, qui avait inventé le triple-effet avant 1843, date de son premier brevet, fut le premier, en 1881, qui soit parvenu à combiner des quadruple-effets, et même des quintuple-effets, fonctionnant aussi normalement que les triple-effets. Depuis cette époque, une quantité de ces appareils a été créée en Europe, mais c'est à M. Rillieux que revient l'honneur d'avoir appris à la sucrerie à les construire.

En 1881-1882, M. Rillieux imagina d'employer les vapeurs formées par chaque caisse du quadruple-effet à faire les différents chauffages des usines, considérant chacune des caisses comme un générateur de vapeur à basse température capable de distribuer cette vapeur dans tous les postes de l'usine où elle pouvait être utilisée. Alors il put réchauffer toutes les eaux, les jus et les sirops à double et triple-effet, réalisant ainsi une économie considérable de combustible sur ces chauffages à vapeur directe.

Cette méthode de travail prit une grande extension, et plus de *deux cents* sucreries d'Europe se sont installées en quelques années sur le système Rillieux, qui leur apportait de 30 à 50 % d'économie de charbon ou de bois.

Il y a un fait assez curieux dans cette histoire. M. Rillieux, dans ses premiers appareils construits en Amérique vers 1845, avait fait non seulement l'évaporation à double et triple-effet, mais encore la cuite en grain à double-effet, se servant à cet usage d'une partie de la vapeur du premier corps du double ou du triple-effet.

Or, tous les savants, tous les auteurs qui se sont occupés des appareils d'évaporation en Europe, comme Pécelet, Walkhoff, etc., avaient décrété d'autorité qu'il était impossible de faire bouillir avec la même vapeur, dans des vases séparés, « des liquides ayant des densités différentes » que, par conséquent « M. Rillieux, l'inventeur de l'appareil, ne s'était pas complètement rendu compte des phénomènes physiques qui s'y produisent. » (Pécelet).

Or, non seulement la cuite à double-effet marche à merveille, mais encore M. Rillieux, dans sa nouvelle méthode de chauffage à effets multiples, est venu donner un démenti formel à la science officielle et officieuse qui condamnait ses méthodes. Et, c'est à cause des idées fausses qui régnaient alors, qu'aucun perfectionnement n'a pu être apporté aux appareils d'évaporation jusqu'en 1878, et il a fallu que M. Rillieux revienne parmi nous pour secouer toutes ces erreurs scientifiques et remettre les ingénieurs dans leur chemin. Et encore aujourd'hui beaucoup de gens doutent malgré cela, et ne veulent pas reconnaître que M. Rillieux en sait plus que tout autre sur ces questions qui ont fait l'objet de ses études constantes pendant de longues années, en dépit de la leçon de l'expérience de chaque jour.

Cette digression était nécessaire pour expliquer pourquoi l'Exposition de 1889 n'apportait rien de saillant comme nouveauté dans les appareils d'évaporation, excepté les appareils Rillieux, que nous allons décrire.

### Exposition de MM. E. et J. Halot et C<sup>ie</sup> de Bruxelles.

La maison Halot, de Bruxelles, qui construit en Belgique les appareils Rillieux, avait exposé un petit modèle au dixième de l'installation faite par eux de ce système dans l'usine de Luttre (Belgique), appartenant à M. E. Halot.

L'appareil d'évaporation est un quadruple-effet à chaudières de dimensions différentes, calculées d'après le travail qu'elles ont à effectuer.

Dans un semblable appareil, avec une pression d'une demi-atmosphère dans le ballon des retours des machines, la vapeur du premier corps est à 106° centigrades environ ; celle du second à 95, et ainsi de suite.

Le premier corps, avec sa vapeur à 106°, chauffe le second corps, et en outre chauffe les jus de seconde carbonation, et les sirops avant filtration qui doivent être tous deux réchauffés vers 100° environ.

Le second corps chauffe le troisième, et en outre les jus de première carbonation qui doivent être réchauffés vers 75 ou 80°, ce qui est facile avec de la vapeur à 95°.

On voit qu'il n'y a là rien que de très simple et de très rationnel.

Le chauffage des jus se fait dans des réchauffeurs qui ont été exécutés d'après les idées et les indications de M. Horsir-Déon.

On sait que, plus les liquides circulent vite au contact d'une surface chauffante, plus vite ils se réchauffent.

M. Horsin-Déon a donc fait faire des réchauffeurs à circulation rapide. Ce sont des appareils tubulaires verticaux dans lesquels les liquides font plusieurs circuits successifs. De plus, comme on peut avoir besoin de nettoyer l'intérieur des tubes où le jus circule, la surface de chauffe pour chaque station a été divisée entre plusieurs réchauffeurs disposés en batterie de telle sorte qu'on puisse en isoler un à fin de nettoyage sans arrêter le travail des autres, et sans entraver par conséquent le travail de l'usine.

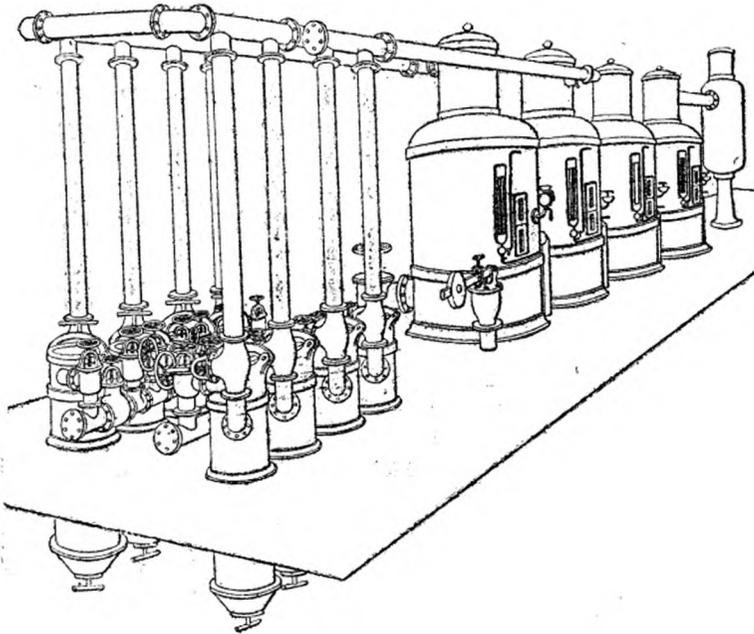


FIG. 31

On voyait en effet sur la gauche du quadruple-effet les trois batteries de réchauffeurs dans lesquels circulent les jus avant première et avant seconde carbonatation et les sirops, en connexion avec la première et la seconde caisse de l'appareil d'évaporation.

Le quadruple-effet se terminait par le réchauffeur condenseur ordinaire qui sert à Luttre à chauffer vers 40° les eaux de la diffusion.

Enfin, au-dessous des appareils, étaient disposés tous les automates pour retenir d'eau condensée des réchauffeurs et des différentes caisses, montés d'après le système spécial de l'inventeur, et connu sous le nom de boîtes à flotteur Rillieux.

Ce petit appareil, fort joliment fait, était la reproduction fidèle du modèle adopté pour les montages de France et de Belgique. C'était, on peut le dire, une des inventions les plus considérables pour la sucrerie exposée en 1889, car elle correspond à une véritable révolution dans le matériel et le mode de travail des usines qui, malgré cela, l'adoptent avec empressement.

L'appareil Rillieux avec chauffage est représenté (fig. 31). C'est un quadruple-effet dont la première caisse, à gauche de l'appareil sur le dessin, chauffe six réchauffeurs, et la deuxième caisse deux réchauffeurs pour la première carbonatation. La première caisse reçoit la vapeur de retour par la grosse tubulure placée derrière, et la vapeur directe au moyen d'une soupape équilibrée, système *Dulac*, placée en avant. Cette soupape est basée sur les mêmes principes que les soupapes de sûreté décrites dans cet ouvrage. Elle peut se soulever d'une hauteur égale au quart du diamètre, et admettre dès lors toute la vapeur débitée par le tuyau, sans exiger une dimension déterminée. Elle est d'ailleurs d'une sensibilité extrême, et se règle à quelques grammes près.

Les indicateurs de vide et pression représentés ici sont ceux de M. Horsin-Déon, décrits plus loin.

### Exposition Mariolle-Pinguet.

M. Mariolle-Pinguet avait présenté à l'Exposition un appareil à triple-effet fort original et tout à fait nouveau.

Dans certaines usines on manque d'emplacement horizontal pour installer le triple-effet. M. Mariolle-Pinguet a imaginé de construire cet appareil en superposant les caisses, faisant ainsi une colonne dont la figure 32 représente la coupe. La partie du bas, B, est la première caisse. La deuxième, C, est au-dessus; la troisième, D, est en haut. Les vapeurs du troisième corps se rendent à travers le vase de sûreté à chicane 4, et le tuyau M dans un condenseur à cascade N, qui surmonte une colonne barométrique P.

La surface de chauffe est constituée par des tubes J, en forme de cloche, qui baignent dans le jus, et dans lesquels pénètrent les vapeurs de la caisse immédiatement au-dessous, au moyen de tubes centraux I. La caisse du bas reçoit le mélange de vapeur de retour et de vapeur directe comme à l'ordinaire, par la tubulure H. La figure 33 représente la coupe des tubes de chauffe, et de leur assemblage sur les plaques tubulaires.

Celles-ci sont à double paroi *a* et *b*, séparées par un espace de 8 à 10 centimètres. Sur la paroi supérieure repose la cloche *J*. Le tube central *I* s'agrafe par un rebord *f* sous la paroi inférieure. La cloche et le tube sont boulonnés ensemble par un écrou *d* qui appuie sur la partie supérieure de *J*, et attire à lui le tube *I*, en sorte que du même coup on fait joint

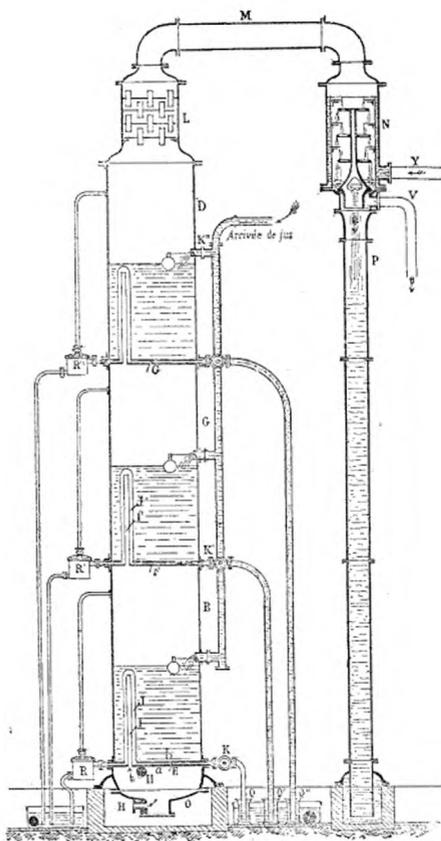


FIG. 32

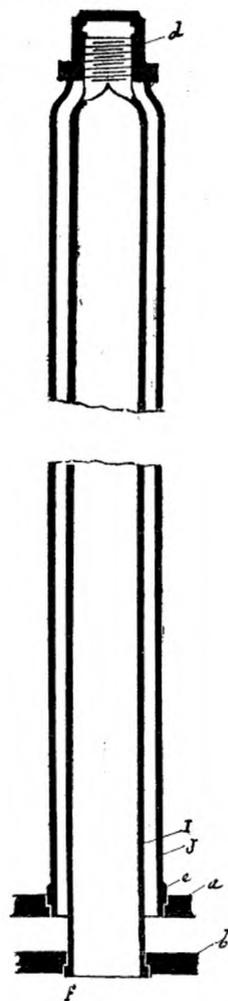


FIG. 33

étanche sur les deux plaques. Le tube *I* présente sous l'écrou des orifices qui le mettent en communication avec l'intérieur de la cloche *J*.

Ceci posé, voilà ce qui se passe. La vapeur du jus de la caisse pénètre dans

le tube I, arrive en haut, se répand dans la cloche J qui est baignée par le jus, se condense, et son eau de condensation tombe entre les deux plaques d'où on l'extrait.

Dans l'appareil exposé, l'eau condensée était recueillie dans des boîtes à flotteur Rillieux R. Comme ces boîtes se trouvent à des hauteurs de 3 et 6 mètres, pour la deuxième et troisième caisse, l'eau qu'elles contiennent peut s'écouler naturellement dans un bac placé sur le sol, formant ainsi colonne barométrique. On n'a donc pas besoin de pompes pour l'extraire. L'eau du premier corps s'écoule naturellement dans le même bac, puisqu'elle est sous pression.

Dans les trois caisses, on fait du sirop pour simplifier la marche des liquides, de sorte que le réservoir à jus, étant plus haut que l'appareil, il suffit d'un jeu de robinets pour l'alimentation. Les trois robinets correspondant à chaque caisse étaient actionnés du bas par des leviers. De plus, dans chaque caisse un flotteur, manœuvrant une soupape équilibrée ou un papillon, réglait automatiquement l'alimentation du jus.

Le sirop se vidait, comme l'eau condensée, par colonne barométrique, dans un bassin collecteur placé au bas de l'appareil. Les robinets des tuyaux de vidange du sirop étaient aussi actionnés du bas par leviers. Trois éprouvettes Q, contenant des aréomètres, recevaient le sirop de chaque caisse. Enfin, les indicateurs de vide étaient au bas, à la hauteur de l'œil de l'évaporeur, réunis à chaque candre par de petits tuyaux. Les indicateurs étaient à mercure, du système Horsin-Déon, dont nous parlerons plus loin.

Tel est, dans son ensemble, cet appareil fort complet, fort bien présenté, fort ingénieux, et qui, outre le peu d'emplacement qu'il occupe, a encore l'avantage d'être moins compliqué que les autres, puisqu'il supprime les vases de sûreté et la grosse tuyauterie.

M. Mariolle-Pinguet a construit cet appareil en vue des colonies, car étant en tôle et peu volumineux, au point de vue du fret il présente de grands avantages. De plus, il n'a pas besoin de charpente en fer, ce qui est un autre avantage très appréciable comme première installation.

Théoriquement, cet appareil est fort remarquable. En dehors de l'alimentation en jus de chaque caisse, qui peut être modifiée au moyen de pompes, tous les autres points offrent de grandes qualités : suppression de la grosse tuyauterie, qui amène des pertes de charges, diminution des pertes de calorique, mouvement des vapeurs de haut en bas dans les tubes condenseurs, bonne répartition du jus, etc.

C'est, enfin, une des rares nouveautés de l'exposition sucrière.

### Exposition des anciens établissements Cail.

Cette maison de construction exposait un triple effet ayant 320 mètres carrés de surface de chauffe pour travailler 2400 hectolitres de jus, soit 7,5 hectolitres de jus à concentrer par vingt-quatre heures par mètre carré de surface, ce qui est la garantie ordinaire des constructeurs ; c'est peu d'ailleurs.

Rien de bien saillant dans cet appareil qui était construit sur le type ordinaire de la maison Cail avec vases de sûreté placés sur les calandres. Cependant remarquons une tentative d'amélioration dans le mode de chauffage. Les espaces intertubulaires sont divisés en trois chambres recevant chacune directement leur vapeur par un robinet distinct, de manière à diminuer le circuit que la vapeur peut avoir à faire pour se condenser. Nous ne croyons pas beaucoup à l'efficacité de ce système.

Outre cela il faut noter que les joints des calandres et des fonds sont faits sur caoutchouc, ce qui assure une plus grande facilité pour le montage, et permet d'employer moins de boulons pour fixer les parties des chaudières entre elles.

A côté du triple-effet une chaudière à cuire de 2<sup>m</sup>,750 de diamètre avec six serpentins, chauffage à vapeur directe ou de retour, double robinetterie de vapeur pour permettre de chauffer les serpentins avec l'une ou l'autre de ces vapeurs, ou les unes avec l'une, les autres avec l'autre à volonté.

La calandre avait 2<sup>m</sup>,400, et la capacité utile était de 140 hectolitres de masse cuite.

Les eaux condensées y étaient extraites par une pompe et refoulées directement aux générateurs selon la mode qui tend à se propager en ce moment, et qui d'ailleurs, sans être parfaite, est préférable aux anciennes méthodes préconisées par cette maison.

La pompe était à double effet, ce qui est toujours préférable au point de vue de l'équilibre des pressions.

### Exposition de la Compagnie de Fives-Lille.

Un joli triple-effet en cuivre, avec calandre en fonte, renflée pour la circulation de la vapeur, selon le système adopté par cette maison depuis 1878. D'ailleurs rien de particulier dans cet appareil, qui avait 390 mètres carrés de surface de chauffe pour évaporer 2600 hectolitres de jus, soit 6 hect., 66 par mètre carré, encore moins que la maison Cail.

Les eaux condensées recueillies dans des bouteilles avec enlèvement d'air à la

partie supérieure comme l'a indiqué M. Rilieux, étaient extraites par une pompe à clapets automatiques, mue par la pompe à air, ainsi que la pompe à jus et la pompe à sirop.

Ce qu'il y avait de remarquable dans cette exhibition, c'est la belle apparence l'élégance réelle de tout ce matériel qui n'avait pas été construit, d'ailleurs, en vue de l'Exposition.

La chaudière à cuire de 90 hectolitres, avait cinq serpentins, avec entrées pour vapeur directe et vapeur de retour. Elle portait à sa partie supérieure sur le tuyau d'évacuation de vapeur, un ralentisseur Hodek horizontal, espèce de cylindre de grand diamètre dont le but est de ralentir les vapeurs et provoquer ainsi la chute des gouttelettes de sirop, avec ou sans l'emploi d'un tamisage à l'intérieur.

Les Hodeks sont d'un emploi tout à fait général en Allemagne, Autriche et Russie. Ce sont les meilleurs, les plus efficaces de tous les vases de sûreté. Il est remarquable, et malheureux, que nos constructeurs français ne les généralisent pas sur tous leurs appareils d'évaporation et de cuite.

### Exposition Chenailler.

Ce constructeur a la spécialité des évaporeurs à l'air libre connus sous le nom de chaudières Wetzell, Derosne, etc. L'appareil exposé était composé de dix lentilles en cuivre de 1<sup>m</sup>,90 de diamètre réunies par leur centre sur un axe creux, et portant à leur périphérie chacune deux godets de déversement, ces godets étant placés, relativement à ceux de la lentille voisine, suivant une hélice qui contournerait extérieurement l'ensemble des lentilles. La vapeur pénètre par une extrémité de l'axe et l'eau condensée sort par l'autre. L'axe tourne donc dans deux presse-étoupes ne permettant pas le passage de la vapeur. Plusieurs types de ces appareils étaient exposés.

M. Chenailler a eu la pensée de faire un appareil semblable en vase clos marchant dans le vide. Il est composé de trois lentilles semblables mues dans une chaudière close par un axe qui sort de chaque côté de la chaudière. On fait le vide dans l'appareil comme dans une chaudière à cuire.

L'avantage de ces systèmes c'est d'obtenir une évaporation rapide à cause de la mince épaisseur du sirop sur la partie émergente des lentilles, et un renouvellement sans cesse répété du liquide, ne permettant pas son altération. Malheureusement la surface en travail est très faible eu égard au volume de l'appareil.

## Exposition Horsin-Déon.

On remarquait dans cette exposition des appareils à mercure (fig. 35) pour indiquer le vide et la pression dans les caisses de triple-effet et les chaudières à cuire, comme nous en avons déjà vu appliquer sur le triple-effet vertical de M. Mariolle-Pinguet.

Ces appareils ont été construits pour remplacer les indicateurs métalliques dont les indications sont généralement faussées par l'usage. Les baromètres à mercure seuls donnent des indications constamment exactes.

Cependant une couche d'eau condensée s'accumule ordinairement sur le mercure dans ce genre d'appareils. M. Horsin-Déon a obvié à cet inconvénient en établissant au bas de ses indicateurs un purgeur pour vider l'eau qui se condense dans la tuyauterie de communication avec la chambre de vapeur où l'on veut mesurer le vide. Ce purgeur va se brancher sur la chambre de condensation du corps suivant. Cette disposition a en plus l'avantage de permettre le contrôle de la différence de vide qui existe entre ces deux points, différence qui ne doit être que de un demi-centimètre environ quand l'appareil d'évaporation est bien construit. Une différence plus grande indique un vice dans la circulation des vapeurs. Ceci posé voici comment est agencé l'appareil. Sur une plaque de fonte qui supporte tout le système se trouvent fixées aux deux extrémités deux boîtes reliées entre elles par deux tubes d'acier qui forment cadre de protection à un troisième tube en verre placé entre eux deux et pénétrant dans les deux boîtes dont nous venons de parler.

La boîte du haut est partagée en deux compartiments, celle du bas est percée de deux circuits, l'un qui fait communiquer le tube de verre avec le tube d'acier de gauche, leur ensemble faisant tube en U. L'autre qui communique avec le tube d'acier de droite et débouche à l'extérieur dans l'axe de l'appareil et traverse un téton sur lequel est vissée la boule de purge.

Cette boule porte deux robinets, l'un latéral qui communique avec le haut de la caisse dont on veut connaître le vide, l'autre en-dessous avec l'espace intertubulaire de la caisse suivante et qui est le purgeur proprement dit.

Le tube de verre, et en même temps le tube d'acier gauche sont remplis à moitié de mercure jusqu'au 0 d'une plaque émaillée fixée sur la plaque de fond. La plaque émaillée est d'ailleurs divisée en centimètres de vide et pression de 0

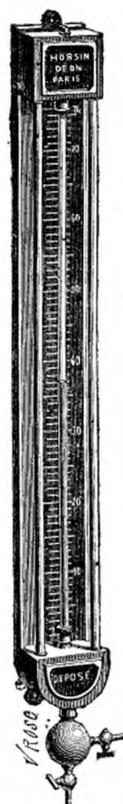


FIG. 34

à + 76 et à — 76, et en regard sont inscrites les températures correspondantes.

De ce dispositif résulte ceci. Le vide ou la pression fait dans la boule se propager par le tube d'acier de droite, agit sur le mercure dans le tube de verre et peut se lire sur la plaque émaillée. Le tube d'acier de droite communique avec l'atmosphère. Des bouchons en fer permettent le nettoyage et la vidange de l'appareil, le remplacement du tube de verre, etc.

La construction est solide et élégante. Le tube de verre est du tube ordinaire de laboratoire tel qu'on le trouve chez tous les fournisseurs, condition qui rend cet indicateur à mercure éminemment pratique dans tous les pays.

---

## MOULINS A MASSE CUITE

---

La masse cuite qui tombe des chaudières à cuire est recueillie dans des bacs de forme et de dimensions différentes suivant les systèmes.

Avant de la turbiner il faut la malaxer pour en former une pâte suffisamment fluide afin de permettre le turbinage, ce qui force à lui ajouter une certaine quantité de clairce ou de mélasse épuisée pour la délayer. En effet cette masse ne contient que 5 à 8 % d'eau et par conséquent se durcit lors du refroidissement à cause des phénomènes de cristallisation qui s'y produisent. Mais par le malaxage on lui fait reprendre une grande partie de sa fluidité primitive, et d'autant plus que le malaxage est plus parfait. Néanmoins l'addition de clairce de délayage s'impose avec les malaxeurs ordinaires.

M. *Maguin* a exposé un appareil appelé *Moulin Bergreen* qui produit un malaxage tellement parfait que l'emploi de clairce devient inutile, même lorsque la cuite ne contient que 4 % d'eau. C'est donc un progrès dans le travail des masses cuites, celles-ci ayant de ce chef un rendement en premier jet plus considérable.

L'appareil se compose d'un malaxeur à dents puissantes qui désagrège la masse cuite. Celle-ci retombe en cet état dans un second malaxeur placé en sens inverse de l'autre où la masse cuite est reprise de nouveau. C'est la succession du malaxage qui produit l'effet réalisé par cet appareil.

La *Compagnie de Fives-Lille* avait exposé un malaxeur-élévateur de masse-cuite fort curieux et marchant bien. Il se compose d'un bâti roulant portant une trémie dans laquelle on jette la masse cuite, un malaxeur à dents qui fait le mélange, et une espèce de pompe qui refoule la masse mélangée à la hauteur et au point que l'on désire au moyen d'un large tuyau.

Cette pompe, qui n'est qu'un piston se déplaçant devant une lumière qu'il ouvre et ferme alternativement, et dans laquelle se précipite la masse cuite sortant du malaxeur, comme dans certaines machines à briques ou dans les presses à pulpe Lepchinsky, est mue soit au moyen d'une courroie par la transmission des turbines, soit par un moteur direct placé sur le même bâti.

Ce malaxeur a été construit pour éviter le transport à la main de la masse cuite aux turbines, surtout dans les emplis, transport qui occasionne des pertes sensibles. L'appareil, en effet, se roule auprès du bac en vidange, reçoit directement la masse à turbiner, et la refoule soit dans des wagonnets, soit dans le malaxeur desservant les turbines.

C'est un bon appareil bien conçu et rendant des services.

---

## TURBINAGE.

---

Les turbines exposées étaient nombreuses. Les unes étaient destinées au turbinage proprement dit de la masse cuite, et nous commencerons par celles-ci, devant parler des autres à propos du raffinage en fabrique.

### Exposition A. Thomas.

La turbine exposée par M. Thomas se faisait remarquer par l'agencement général fort bien compris de ses divers services.

La masse cuite pelletée à la main dans un mélangeur-malaxeur en forme de noyère courant sur toute la longueur de l'atelier, était distribuée dans chacun des tambours centrifuges au moyen du mesureur de masse cuite suivant.

C'est une boîte en fonte dont le fond est incliné pour l'écoulement de la masse dans le tambour. Cette boîte est boulonnée sur le malaxeur présentant une ouverture correspondante, et contient un système de deux larges clapets conjugués de telle manière que l'un ne peut s'ouvrir sans que l'autre soit fermé hermétiquement, la tige de chacun d'eux servant de point d'appui au levier de manœuvre qui les rend solidaires, et qui est rappelé par un fort ressort. L'un des clapets sert à l'introduction de la masse dans le mesureur, et l'autre à sa décharge dans la turbine. Un trou d'air assure l'emplissage et la vidange faciles. Tout cet ensemble est fort ingénieusement agencé.

La clairce se donne au moyen d'un système de mesureur non moins ingénieux, de manière à ce que la quantité en soit exactement déterminée. Mais en ouvrant le robinet du mesureur de clairce, on tourne en même temps l'ajutage d'écou-

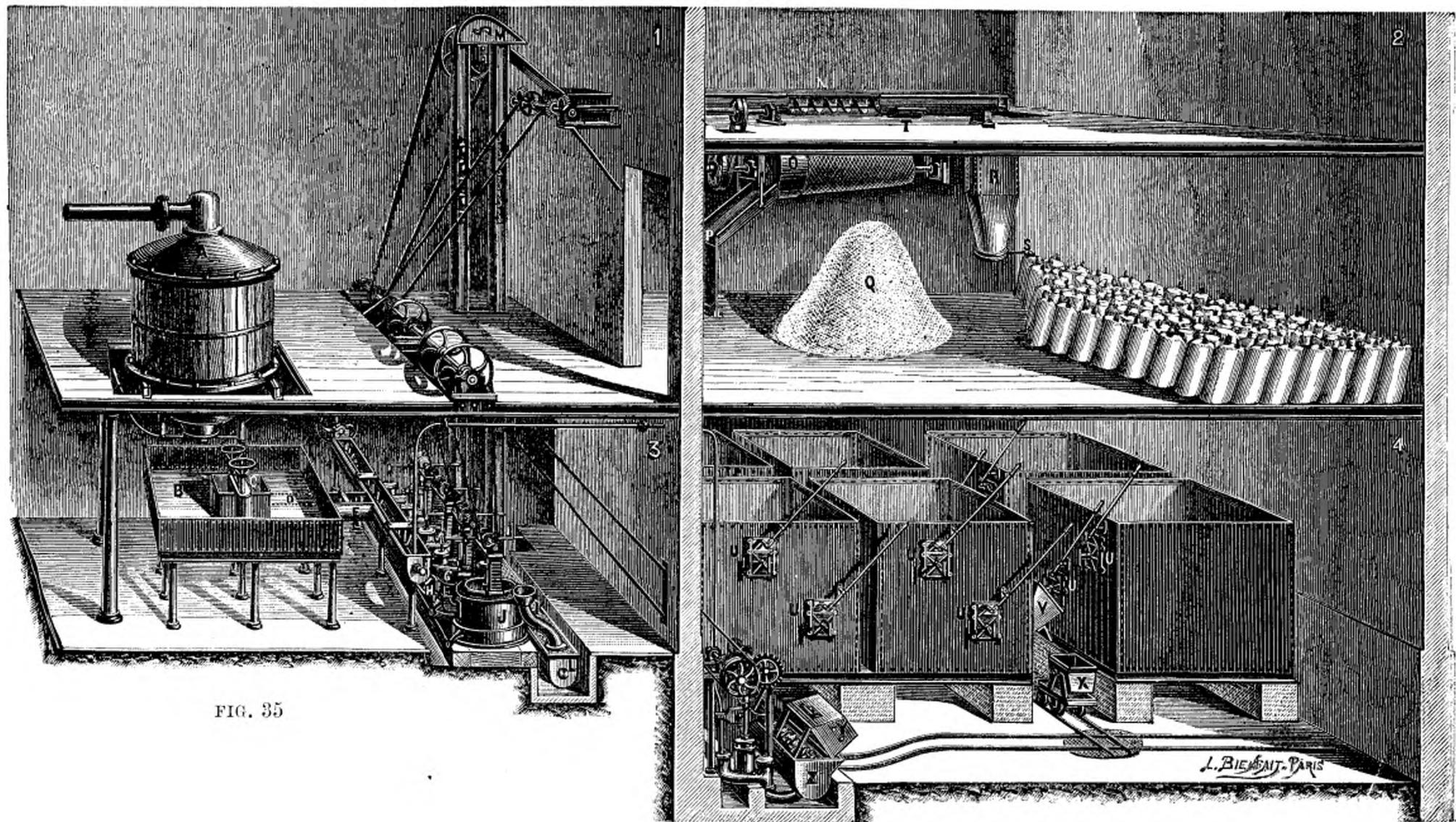


FIG. 35

## LÉGENDE DE LA FIGURE 35.

1. *Salle de la cuite.* — 2. *Magasin à sucre.* — 3. *Salle des turbines*  
4. *Emplis.*

|                                                                                     |                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| A Appareil à cuire.                                                                 | M Elévateur.                                                       |
| B Bac de masse cuite.                                                               | N Hélice du magasin, alimentée par l'élévateur.                    |
| C Coffre de sortie de masse cuite à 2 registres, placé au centre du bac B.          | O Tamiseur à sucre séparant les parcelles agglomérées.             |
| D Compartiment diviseur faisant fonction de moulin à sucre, et placé sous le bac B. | P Coulottes des parties agglomérées.                               |
| E Malaxeur entraîneur de masse cuite.                                               | Q Sucre passé par le tamiseur.                                     |
| F Malaxeur entraîneur de masse cuite aux turbines J.                                | R Ensacheur servant à ensacher directement au besoin.              |
| G Appareil chargeur-jaugeur de masse cuite.                                         | S Trappe-tirette pour ensachage.                                   |
| H Obturateur isolant les turbines des malaxeurs en cas d'arrêt quelconque.          | T Trappe de direction.                                             |
| I Levier de manœuvre,                                                               | U Trappes à registres fixées aux bacs d'empli.                     |
| J Batterie de turbines.                                                             | V Hotte mobile et portative s'adaptant aux trappes U.              |
| K Entonnoir et conduit recevant le sucre turbiné.                                   | X Wagonnet avec bassin desservant les emplis.                      |
| L Hélice conduisant le sucre à l'élévateur M.                                       | Y Bassin de déchargement sur le moulin de la pompe.                |
|                                                                                     | Z Pompe avec moulin à sucre envoyant les bas produits au malaxeur. |

lement de mélasse, de manière que la mélasse de la masse cuite est séparée automatiquement de la mélasse provenant de la clairee, chacune coulant dans une noehère spéciale. C'est une excellente disposition pour permettre la rentrée des égouts de turbinage dans le travail, rentrée qui se généralise aujourd'hui de plus en plus, et qui nécessite la séparation exacte des produits riches provenant des clairçages.

Le sucre produit est sorti de la turbine à la main, comme à l'ordinaire, et jeté par l'ouvrier dans un entonnoir placé près de la turbine, et entraîné par une vis sans fin placée sous le plancher jusqu'à l'élévateur du grenier à sucre.

Tout cet ensemble était fort remarquable, et présentait une véritable amélioration dans le service de l'atelier de turbinage qui gagne ainsi en propreté, en régularité de travail ou diminution du prix de la main-d'œuvre, et, enfin de compte, en quantité de rendement.

D'ailleurs M. Thomas fait de nombreuses installations de son système, ce qui est le meilleur éloge qu'on puisse faire.

La planche ci-contre (fig. 35) représente l'ensemble de l'installation des turbines avec la cuite, les emplis et le magasin à sucre. Nous renvoyons à la légende qui l'accompagne pour plus amples explications.

## Exposition Van Gœthem de Bruxelles.

Les centrifuges de ce système ne présentent d'autres modifications aux autres appareils de même genre que le mode de vidange, par la partie inférieure, du sucre après turbinage, modification d'ailleurs assez importante au point de vue de la rapidité du travail.

Le fond du tambour présente une ouverture oblongue fermée par une porte en bois qui glisse horizontalement entre deux butées, de telle manière que la fermeture en est très suffisante pour empêcher l'égouttage de la masse au moment du chargement.

L'opération terminée l'ouvrier amène l'ouverture devant lui en tournant le tambour, fait glisser la planche qui la ferme, et y jette le sucre détaché de la toile métallique. Le fond du bâti de la turbine se relève à cet endroit en une sorte d'entonnoir arrasant le plateau du tambour, et qui se prolonge au-dessous par un conduit surmontant l'hélice chargée d'entraîner le sucre à l'élévateur des greniers. L'ouvrier n'a donc plus à faire le mouvement fatiguant de l'emplissage des sacs.

Cette disposition est excellente et se recommande par sa simplicité, et la diminution réelle de main d'œuvre qu'elle procure.

Ajoutons que l'emplissage de ces turbines se fait au moyen de wagonnets de chargement basculants, que l'on fait circuler sur rail le long des turbines et qui reçoivent la masse cuite au sortir du malaxeur. C'est d'ailleurs le système qui est le plus généralement employé aujourd'hui, le chargement au bassin ayant fait heureusement son temps.

Citons encore l'exposition de la *maison Buffaud* de Lyon, qui contenait de nombreux types de turbines et essoreuses avec et sans moteur directe, à mouvement en dessus et en dessous, et qui présentait comme curiosité une turbine mue par l'électricité.

---

## EXTRACTION DU SUCRE DES MÉLASSES.

---

Toute législation qui a pour base l'impôt sur la matière première a naturellement pour effet de pousser au perfectionnement du mode de travail afin d'augmenter les rendements.

C'est pourquoi la sucrerie allemande a travaillé avec tant d'ardeur à trouver

des méthodes pour l'extraction du sucre des mélasses, et que la France marche aujourd'hui dans cette voie depuis la loi de 1884.

En effet la mélasse proprement dite, est une preuve vivante de la défectuosité du travail en sucrerie, c'est le déchet de la fabrication, déchet abondant et de grande valeur que l'industriel a intérêt à diminuer le plus possible.

L'extraction du sucre des mélasses n'est qu'un palliatif ; mieux vaudrait trouver le moyen de n'en pas faire du tout. Aussi, a-t-on cherché, et cherche-t-on encore, à se débarrasser des emplis en faisant rentrer dans le travail les premiers égouts de turbinage, à purifier les eaux sucrées de lavage des filtres-presses en les faisant repasser dans la diffusion, etc., diminuant ainsi la somme des produits mélassigènes dont nos procédés de défécation sont impuissants à nous préserver.

C'est ainsi que nous avons vu les turbines Thomas admirablement organisées pour séparer les produits cristallisables que l'on envoyait autrefois à la recuite de second, et qui peuvent être traités directement avec les premiers jets ; c'est ainsi que même les égouts de masse cuite séparés des égouts de clairçage rentrent aujourd'hui dans beaucoup de sucreries par moitié en tête du travail, et même a-t-on cherché à les réintroduire dans la batterie de diffusion par le procédé Manoury.

Toutes ces recherches, toutes ces tentatives aboutiront un jour à supprimer la mélasse. Mais jusque là doit-on s'efforcer d'appliquer les méthodes qui en extraient le sucre, comme le système dit de *séparation*, *l'osmose* et autres procédés dont nous allons parler.

Nous regrettons que l'Exposition ait été si peu prodigue en spécimens de ces méthodes qui n'y étaient pour ainsi dire pas représentées.

L'osmose, la plus ancienne de toutes celles qui aient survécu au critérium de l'expérience, n'y figurait que par le petit appareil appelé *osmomètre*, imaginé par M. Leplay pour étudier les phénomènes qui le caractérisent. Et ce petit appareil qui se trouvait dans l'exposition collective de la *Société des chimistes de sucrerie* en dit long sur la perfection que M. Leplay avait apportée dans l'art de l'osmose. En effet, d'après la définition même de son savant inventeur :

« Cet osmomètre peut servir à déterminer, par des expériences exactes, les conditions et les influences qui doivent contribuer le plus puissamment au succès économique de l'osmose », remplaçant ainsi tous les tâtonnements de la pratique, par des expériences de laboratoire effectuées sur les liquides et les papiers que l'on doit mettre en œuvre.

Et c'est par cette étude approfondie des conditions les plus favorables à l'osmose, que M. Leplay était arrivé à inventer son *osmogène évaporateur à densité constante* qui sera appelé à rendre de si grands services à la sucrerie, quand son usage lui sera devenu familier.

Malheureusement la législation est changeante, on osmose peu maintenant

Mais un jour viendra peut être où l'osmose reviendra de plus belle, et les beaux travaux de M. Leplay, le digne successeur de Dubrunfaut, rendront encore aux fabricants tous les services que leur auteur en attendait.

Parmi les travaux de M. Leplay, il s'en trouve un fort original, que nous voulons rappeler ici, car il intéresse les fabricants qui veulent tirer tout le parti possible de leurs osmogènes ; c'est la *production du salpêtre* en sucrerie.

Les eaux d'exosmose contiennent surtout des sels de potasse, et entre autres le nitrate, le chlorure et le sulfate. Si à ces eaux on ajoute du nitrate de soude et que l'on fait cristalliser par évaporation, il y a double décomposition entre les chlorures et sulfates de potasse et le nitrate de soude. Tous les sels de potasse se changent en salpêtre éminemment cristallisable, tandis que les sels de soude peu cristallisables restent dans les eaux mères.

On arrive à produire ainsi un corps, le salpêtre, qui a une grande valeur, au moyen de corps très bon marché, les eaux d'exosmose et le nitrate de soude, et sans grande manipulation.

Tous les travaux de M. Leplay s'ils n'étaient pas exposés en nature, étaient cependant réunis dans la bibliothèque de la *Société des chimistes de sucrerie*. M. Leplay a beaucoup écrit, et c'est ce qui nous permet aujourd'hui de citer ses œuvres remarquables à propos de l'Exposition.

### Exposition de M. Manoury.

Nous avons déjà parlé de l'exposition modeste de M. Manoury qui ne contenait que quelques produits chimiques, mais sur lesquels il y a long à dire.

La baryte, qu'il emploie pour l'extraction du sucre des mélasses, a souvent été essayée dans l'industrie, car elle permet de précipiter le sucre à l'état de *sucrate de baryte* insoluble, ce qui est le moyen le plus radical de résoudre le problème. Mais la baryte est un produit cher, et sa revivification est tellement difficile qu'elle a fait rejeter jusqu'à ce jour tous les procédés qui l'utilisent.

Le procédé que propose M. Manoury est celui-ci :

Étant donné que dans la succession des opérations, la baryte séparée du sucre se trouve en dernier ressort à l'état de carbonate de baryte, au lieu de l'opération difficile de la revivification, M. Manoury dissout le carbonate dans l'acide chlorhydrique, faisant ainsi du chlorure de baryum. La dissolution de ce sel étant filtrée puis chauffée à l'ébullition, on y ajoute de la soude caustique, et dans le mélange on verse la mélasse chaude, le sucrate de baryte se précipite. On passe alors au filtre-pressé, on lave à l'eau chaude et l'on a ainsi le sucrate que l'on n'a plus qu'à carbonater pour obtenir le sucre et du carbonate de baryte, qui servira à une nouvelle opération.

La baryte peut donc servir ainsi indéfiniment, et la seule dépense est celle de l'acide et de la soude qui servent à la revivification, ainsi qu'une freinte assez faible de la baryte employée qui ne dépasse pas en fin de compte 10 %.

Nous souhaitons bonne chance à ce nouveau système qui permettra la suppression de la mélasse en sucrerie, puisque nous avons vu que le sucrate de baryte, au lieu d'être carbonaté directement, peut rentrer en travail dans les opérations de la sucrerie même, et que la baryte peut être employée pour le traitement des égouts de premier jet.

### Exposition des anciens établissements Cail.

Cette maison est concessionnaire du procédé *Sostmann* pour l'extraction du sucre des mélasses par la chaux et l'alcool.

Elle exposait des dessins représentant l'installation de ce procédé dans la sucrerie d'Attigny (Ardennes), ainsi que les produits de la fabrication, tels que mélasse, lait de chaux alcoolique, sucrate, eaux mères, vinasse, et sucres provenant du traitement.

Le procédé *Sostmann* repose sur ce fait que le sucrate de chaux fait en présence de l'alcool se précipite rapidement à l'état insoluble, mais que le précipité est beaucoup plus rapide lorsque la chaux est éteinte elle-même dans l'alcool.

En conséquence on fait d'une part une solution alcoolique de mélasse, d'autre part un lait de chaux avec de l'alcool à 40 %; on mélange le tout en le refroidissant à 12 ou 15° centigrades, et au bout de quelques heures la précipitation du sucrate de chaux est complète.

Tel est le procédé *Sostmann* dont le matériel compliqué faisait l'objet des dessins exposés.

---

### RAFFINAGE.

---

On cherche beaucoup à remplacer le pain de sucre par la fabrication du sucre raffiné en tablettes. En effet la forme du pain de sucre ne répond plus aux besoins du jour, et l'on ne le conserve plus qu'à cause de la routine commerciale. La tablette se prête bien mieux à la confection des morceaux que l'on sert aux consommateurs, et le déchet en est infiniment moins considérable. Dans les raffineries on fabrique les deux espèces de sucre parallèlement, car l'un et l'autre ont acquiescé sur le marché.

La fabrication du sucre en tablettes ne diffère du raffinage en pain que par la fin de l'opération. La masse cuite au lieu d'être coulée dans des formes coniques, clairée sur ces formes, etc., est coulée dans des formes spéciales qui s'adaptent dans un appareil centrifuge. C'est dans les turbines que se fait le clairçage avec toute la rapidité que comporte ce système d'égouttage. Le séchage des tablettes à l'étuve est d'ailleurs beaucoup plus rapide que celui des pains. Tout est donc à l'avantage de ce mode de fabrication.

Dès lors on a cherché de nombreux moyens d'accélérer le travail des turbines, et plusieurs de ces systèmes figuraient à l'Exposition.

La maison de *Fives-Lille* présentait une turbine pour l'obtention du sucre en plaquette, système H. Vivien.

M. H. Vivien s'est donné pour but de produire des plaquettes bien régulières, de dimension telle que les demandent les casseries de sucre pour la consommation.

Il a cherché à rendre son système aussi rapide et aussi pratique que possible en diminuant les manipulations et les rendant faciles.

Ses formes se composent de deux plaques en tôle d'acier galvanisée, rivées par le bas sur un fer plat, et réunies en haut par un fermoir qui maintient leur parallélisme. Quand le fermoir est ouvert, les deux plaques faisant ressort s'écartent légèrement, ce qui permet le dégagement facile des plaquettes que contient la forme.

Enfin des nervures sont pratiquées dans ces plaques, parallèlement à la base pour y glisser des réglettes qui divisent la forme en deux compartiments égaux.

Pour charger la masse cuite dans les formes, celles-ci sont placées dans un wagonnet en tôle étanche, et dont trois côtés sont fixes et le quatrième mobile pour servir de porte. Les formes sont placées toutes verticalement, en rangées séparées par des tôles galvanisées, et finalement serrées l'une contre l'autre au moyen de coins en bois qui occupent toute la hauteur des moules pour ne pas laisser d'espaces vides.

Dans cet état, le wagonnet est roulé sous la chaudière à cuire ou à réchauffer ; on y laisse couler la masse cuite qui emplit toutes les formes grâce à certains évidements laissés dans les réglettes. Puis, lorsqu'il est rempli, on l'abandonne à lui-même tout le temps nécessaire pour que la masse se durcisse suffisamment pour supporter le turbinage.

Alors le wagonnet est débâti, chaque forme est ébarbée et rapprochée, et enfin on les place dans la turbine.

Le tambour de la turbine reçoit le mouvement par en dessous ; il a 96 centimètres de diamètre et est muni d'un régulateur Fesca.

La tôle du tambour n'est pas perforée, les égouttages en sortent par débordement.

Les formes sont mises verticalement et dans le sens du rayon dans six cases agencées dans le tambour et formées par des plaques en bronze perforées disposées symétriquement sur le pourtour, ainsi que par une couronne intérieure qui forme un espace annulaire avec la paroi pleine du tambour. Des coins à vis serrent fortement les moules en place.

Quand la turbine est chargée on la met en route jusqu'à cessation d'égouttage. Puis on l'arrête, on la couvre d'un couvercle qui fait joint hermétique avec l'espace annulaire. On fait le vide dans l'espace ainsi clos, et enfin, lorsqu'on est arrivé au degré de vide voulu constaté au moyen d'un indicateur métallique placé sur le couvercle, on laisse entrer la clairce jusqu'à ce que le tambour soit plein, ce qu'on constate au moyen d'une lunette.

Cette clairce remplit les espaces abandonnés par la mélasse, grâce au vide qui en a chassé l'air, et lorsque l'on juge l'opération terminée, on rompt le vide, laisse s'écouler l'excédent de clairce par une ouverture ménagée dans le fond du tambour, retire le couvercle et remet la turbine en route. Enfin, on arrête, démonte la turbine, porte les plaquettes aux étuves. L'opération dure environ une heure.

Les différents égouts du bitumage sont séparés suivant leur degré de pureté.

La Maison *Jean et Peyrusson* exposait des dessins représentant le procédé C. Adant pour le turbinage directe de la masse cuite raffinée. Ce système consiste à couler la masse cuite dans une série de moules annulaires ayant la forme du tambour d'une turbine.

Ces moules sont divisés et subdivisés en segments ayant la forme de plaquettes de dimensions voulues, au moyen de tôles mobiles. Lorsque la masse cuite a pris par le refroidissement dans le moule la consistance voulue, on l'enlève du moule et la porte dans une turbine spéciale dont le panier a 1<sup>m</sup>,150 de diamètre et 750 millimètres de hauteur. Après que la masse est égouttée, on la clairce en ralentissant la turbine, puis on égoutte une dernière fois et porte le bloc à l'étuve. Les plaquettes ne sont démontées qu'ensuite.

Ce système peut produire 8 000 kilogrammes de plaquettes par 24 heures et par turbine. Une vitrine contenait des spécimens du sucre produit, avec indication de la quantité de clairce employée qui varie de 26 à 30 % avec un rendement de 88 à 89 % suivant la grosseur du grain. Les cuites de sirop vert demandent 100 % de clairce avec un rendement de 58,4 %. La durée des opérations est variable avec la grosseur du grain, soit de 20 à 50 minutes.

Les anciens établissements *Cail* et la Maison *Jean Peyrusson* exposaient encore le matériel nécessaire à la fabrication des sucres en plaquettes par le système *Selwig et Lange*. Ce système demande un assez grand nombre de manipulations.

La masse est coulée dans des formes dites cristallisoirs en tôle divisées et subdivisées en espaces égaux aux plaquettes que l'on veut obtenir. Quand la masse

est suffisamment solidifiée, les cristallisoirs sont retournés sur une table en bois, et la masse introduite dans des formes qui servent au chargement d'une turbine.

Quand ce turbinage ne laisse plus écouler de sirop vert, on arrête la turbine, on en retire les formes et on les introduit dans une caisse en fonte dans laquelle on fait le vide et introduit ensuite la clairce. Cette opération faite on réintroduit les formes et les replace dans une nouvelle turbine, puis dans une seconde caisse de clairçage, puis enfin dans une dernière turbine.

Le système demande donc un groupe de trois turbines et de deux caisses de clairçage. Pour 100 kilogrammes de masse cuite, on produit 64 kilogrammes de tablettes donnant 56 kilogrammes de sucre cassé.

---

## CASSERIES DE SUCRE

---

Une industrie s'est formée pour casser les sucres en pain et les sucres en plaquettes, depuis que la consommation demande des morceaux réguliers. Ces établissements connus sous le nom de *casseries de sucre* ont un matériel spécial dont quelques spécimens figuraient à l'Exposition.

M. *Borssat* à Paris présentait toute une série d'appareils ingénieux. C'était d'abord une *scie* divisant les pains de sucre en rondelles, machine ne nécessitant aucune fondation quoique d'une stabilité absolue, et dont le chariot qui porte le pain de sucre roule sur galets pour réduire à son minimum l'effort de poussée nécessaire pour le sciage. Dans cette machine comme dans toutes les autres du même auteur, les paliers sont à graissage automatique et hermétiquement clos pour intercepter le passage des poussières de sucre. Avec cet instrument un seul homme peut scier 6 à 800 pains de 10 kilogrammes en 10 heures.

Ensuite venait une *lingoteuse* pour diviser les tablettes et les rondelles en lingots. Elle est formée d'une série de scies circulaires très fines portées sur le même arbre, et maintenues parallèles par un guide. Le plan sur lequel on pose les tablettes à scier est incliné; un entraîneur les pousse automatiquement contre les scies, en sorte que le même ouvrier qui scie les pains en rondelles peut conduire la lingoteuse en déposant sur le tablier de l'appareil les rondelles au fur et à mesure qu'il les coupe.

Enfin le tout se complétait d'un *cassoir* ou machine destinée à casser les lingots en morceaux réguliers, les lingots placés sur une table dans le sens de leur longueur sont entraînés entre deux cylindres placés comme ceux d'un laminoir, mais qui sont espacés de la quantité nécessaire pour le passage des lingots. Seu-

lement, sur un certain nombre de génératrices des cylindres, sont disposées des arêtes tranchantes, qui cassent le lingot très régulièrement au passage.

Indépendamment de ces trois machines M. Borssat exposait une machine, dite *machine à agglomérer* pour tirer parti des sciures de sucre provenant des appareils précédents. A cet effet les sciures sont passées d'abord dans un moulin ressemblant à un grand moulin à café, pour égaliser le grain, puis les poussières légèrement mouillées, sont versées dans une trémie et saisies par un piston qui les presse fortement dans un moule. Ce moule est composé d'une pièce en bronze rectangulaire dont une des faces est mobile, et se déplace automatiquement aussitôt la pression terminée, de manière à dégager le lingot formé.

La maison de *Fives-Lille* exposait une machine *Matté et Scheibler* pour casser les rondelles de pain de sucre. Elle portait sur sa table un entraîneur formant une série de mailles circulaires accolées, dans lesquelles on place les rondelles afin qu'elles soient poussées sous les couteaux de l'appareil. On sait que la machine *Matée Scheibler*, déjà fort ancienne, ne pouvait casser que les lingots en morceaux. Celle-ci complète le matériel de la casserie, en supprimant les scies employées généralement dans les lingoteuses, d'où déchet moindre.

M. *Weidknecht*, de Paris, exposait une machine dite *granulateur*, destinée à concasser les déchets de casserie ou d'autres sucres en morceaux de manière à faire des *pilés* ou des *semoules*, marchandise demandée par certains pays. Cette machine fort intéressante brise les morceaux, les désagrège, les pulvérise enfin, et le produit arrivé à grosseur passe par une grille et est ensaché.

---

## ANALYSES

---

La sucrerie est une industrie dans laquelle la chimie joue un grand rôle. Car, s'il est facile de faire du sucre sans chimistes, on ne peut pas le faire bien, c'est-à-dire économiquement, sans leur concours.

Il est indispensable de contrôler à chaque instant, pendant la fabrication, la nature de la betterave, la nature du jus déféqué, celle de la masse-cuite, des égouts et des mélasses pour pouvoir leur appliquer tel traitement qui leur conviendra le mieux. Il est non moins indispensable de se servir de l'analyse pour créer des espèces de betteraves riches, et si l'industrie sucrière a fait des progrès depuis dix ans, c'est bien grâce à l'application de la chimie analytique, beaucoup plus qu'au perfectionnement de l'outillage et des méthodes de travail. Le matériel, les systèmes d'épuration des jus ont peu changé, la précision seule s'est introduite dans les opérations; la betterave s'est améliorée considérablement, les pertes en sucre sont devenues minimales dans les résidus, les rendements ont aug-

menté en proportion. Telles sont les différences capitales qui caractérisent aujourd'hui la fabrication du sucre de betterave, si on la compare à ce qu'elle était autrefois. En 1878 l'Exposition universelle nous montrait déjà la naissance de ce progrès ; mais de 1878 à 1889 ce progrès a fait des pas de géants, pour la France surtoat, depuis le changement de la législation de 1884.

Aussi a-t-on vu en 1889 des expositions d'appareils de contrôle, d'instruments d'analyse chimique appliqués à la sucrerie, et entre-autres une exposition collective fort intéressante de la *Société des chimistes de sucrerie et de distillerie de France et des Colonies*, société de création récente (1882) et qui a réuni rapidement un grand nombre d'adhérents, grâce aux travaux nombreux et utiles pour l'industrie sucrière que ses membres ont publiés dans ses bulletins mensuels.

Cette petite Exposition comprenait une bibliothèque contenant la collection des bulletins de la Société, et en outre les ouvrages de sucrerie publiés par ses membres. De plus deux tables étaient surchargées d'appareils de chimie appropriés à la sucrerie. Parmi les ouvrages contenus dans cette bibliothèque, citons d'abord une série de brochures éditées par les soins de la Société, résumant les travaux de son comité sur quelques questions spéciales, telles que *l'achat des betteraves à la densité, le guide pour le dosage de l'azote et de la potasse*, etc., toutes brochures destinées à unifier les méthodes d'analyse pour les rendre comparables entre les différents opérateurs, en choisissant celles qui donnent le plus de sécurité dans l'exactitude.

Nous remarquons ensuite parmi les publications des membres de l'association, le *Traité théorique et pratique de la fabrication du sucre, guide du chimiste fabricant*, de M. P. Horsin-Déon, le *Traité d'analyses des matières sucrées* de MM. Commerson et Laugier, *Traité de la culture et de la distillation de la betterave et du topinambour* de M. Guillemin. *Les cours de sucrerie* professés par M. Vivien, le *Manuel-agenda des Fabricants de sucre et des distillateurs* de MM. Gallois et Dupont. La collection complète du *Journal la sucrerie indigène* de M. Tardieu et du *Journal la Distillerie française* de M. Durin, etc., etc., et un grand nombre de brochures de MM. Pellet, Sidersky, et autres chimistes.

Le matériel de laboratoire comprenait entre autres appareils intéressants, un nécessaire pour la détermination de la densité de la betterave de *M. Ladureau*, un appareil portatif pour le même usage destiné à faire les analyses aux champs, par *M. Beaudet*, un appareil pour l'analyse des betteraves porte-graines de *M. Hanriot*, tous les appareils nécessaires pour le dosage direct du sucre dans la betterave pour la diffusion aqueuse de *M. Pellet*, un four à incinérer et un appareil à doser l'humidité des masses cuites et des mélasses de *M. Courtonne*, une étuve à vide de *M. Vivien*. De plus les appareils de contrôle de diffusion et les indicateurs de vide à mercure de *M. Horsin-Déon*, l'osmomètre du re-

gretté *M. Leplay*, une collection des appareils usuels exposés par *MM. Gallois et Dupont*, un appareil à distiller de *M. Durin*, etc., enfin une série de flacons renfermant les divers produits de la fabrication présentés par *M. Darras*. Décrivons quelques uns de ces différents appareils, en passant en revue tout le travail du chimiste en fabrication.

La première opération à laquelle soit soumise la betterave au laboratoire c'est son analyse comme porte-graines. Chaque betterave destinée à fournir la graine doit être analysée, car de sa richesse et de sa qualité dépendront la richesse et la qualité de ses descendants. C'est ainsi que, par une sélection bien entendue, on est arrivé à produire des espèces riches, en ne plantant comme porte-graine que des racines dont les ascendants jusqu'au troisième degré au moins avaient été reconnus riches et fournissant des jus purs.

Pour analyser une betterave destinée à être replantée, il faut prélever dans sa chair un échantillon représentant bien la moyenne de sa composition, sans cependant la blesser au point d'amener sa dégénérescence. On est arrivé à ce résultat en perçant la betterave de part en part au moyen d'un emporte-pièce qui enlève un échantillon cylindrique prélevé au premier quart de la hauteur et incliné un peu vers la base. C'est ce petit cylindre qu'on analyse.

*M. Hanriot* a exposé un petit appareil (fig. 36) destiné à analyser cet échantillon par la méthode Pellet, par diffusion aqueuse à froid instantanée. A cet effet le petit cylindre retiré de la betterave est pesé et introduit dans l'appareil où il est râpé suivant la méthode Pellet, et d'où il sort à l'état de bouillie, sans perte, grâce aux lavages effectués dans l'appareil même, et tombe dans une fiole jaugée. L'opération dure quelques instants seulement, et l'appareil lavé en marche à chaque fois peut servir immédiatement sans arrêt pour une autre analyse. Il est donc fort bien compris, et de fait, *M. Hanriot* a pu exécuter avec lui, en Mars et Avril 1889, 8 000 analyses de porte graines.

L'appareil se compose sommairement d'une boîte conique en bronze dans laquelle s'engage une noix de même conicité animée d'un mouvement de rotation de 1200 à 1500 tours par minute.

La noix est taillée en forme de râpe à bois suivant les indications de *M. Pellet*, et la boîte est cannelée à l'intérieur.

Sur le côté, la boîte en bronze porte une tubulure inclinée à 45° ayant le diamètre des cylindres de betteraves à analyser. C'est dans cette tubulure qu'on introduit les cylindres, et qu'on les presse contre la noix qui les râpe. Le poussoir est formé au moyen d'un cylindre creux en acier surmonté d'une poire en caoutchouc remplie d'eau de 40 à 80 centimètres cubes de capacité suivant que l'on fait usage de ballons d'analyse de 50 ou 100 centimètres cubes.

L'eau est maintenue dans la poire au moyen d'un clapet à ressorts, de telle sorte que lorsque le poussoir arrive à fin de course, et que le cylindre de bette-

rave est entièrement râpé, il suffit de presser la poire pour en faire sortir l'eau et laver la noix.

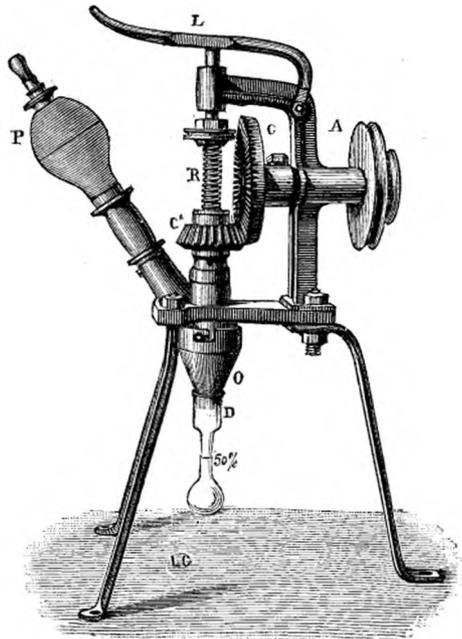


FIG. 36

Sous la boîte en bronze se fixe un entonnoir métallique O dont le col s'engage dans le ballon d'analyse D, et qui reçoit la râpüre et l'eau de lavage.

Tous les détails de cette petite machine sont très bien étudiés et répondent parfaitement aux besoins des opérations pour lesquels il a été construit.

Disons de suite quelques mots de la méthode d'analyse de betterave de M. *Pellet* dont nous venons de parler, méthode qui tend à se généraliser en France et en Belgique à cause non-seulement de sa grande exactitude, mais aussi de la rapidité avec laquelle elle permet de donner la richesse en sucre d'un échantillon déterminé.

M. *Pellet* a remarqué que la betterave râpée d'une certaine façon, donnant une bouillie ni trop grosse ni trop fine, telle qu'on l'obtient en passant la racine sur une râpe à bois usée, pouvait être introduite telle quelle dans un ballon jaugé additionné d'un peu d'acétate de plomb, étendue d'eau et agitée, et qu'instantanément tout le sucre de l'échantillon se trouve dissout dans l'eau. Il suffit

d'affleurer le ballon, filtrer et polariser pour avoir la richesse en sucre de la betterave analysée.

Comme il avait déjà une râpe à betterave de son système (fig. 37) fonctionnant

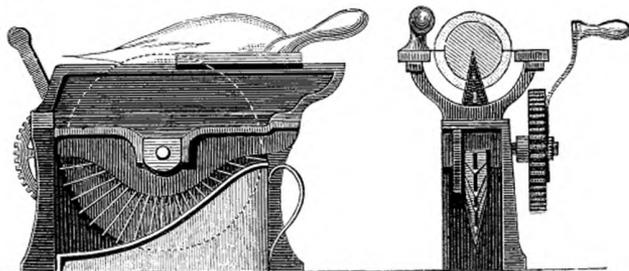


FIG. 37

fort bien pour l'obtention des jus par la pression de la râpuration, comme on le faisait ordinairement en sucrerie, il fit tailler à la manière des râpes à bois son disque

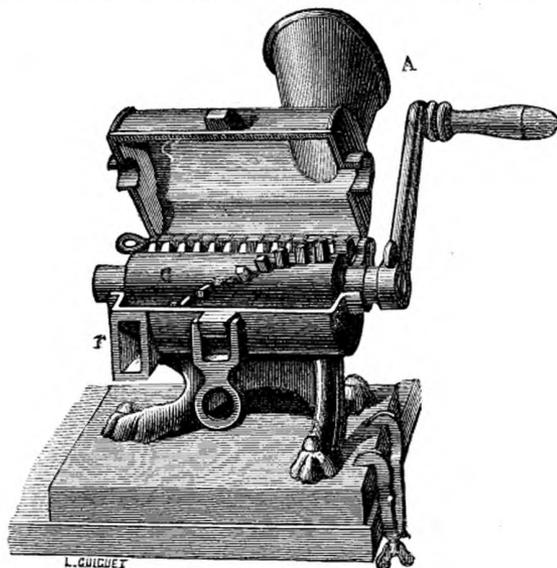


FIG. 38

tournant qui porte alors le nom de disque Keil, et procéda à une série d'analyses fort nombreuses qui l'assurèrent de l'excellence de sa méthode.

Ce ne fut pas sans de longues discussions que le système *d'analyse par dif-*

*fusion instantanée à froid* entra dans la pratique; ceux qui faisaient la digestion alcoolique ou bien la diffusion dans l'eau chaude, belges, allemands ou français n'acceptèrent

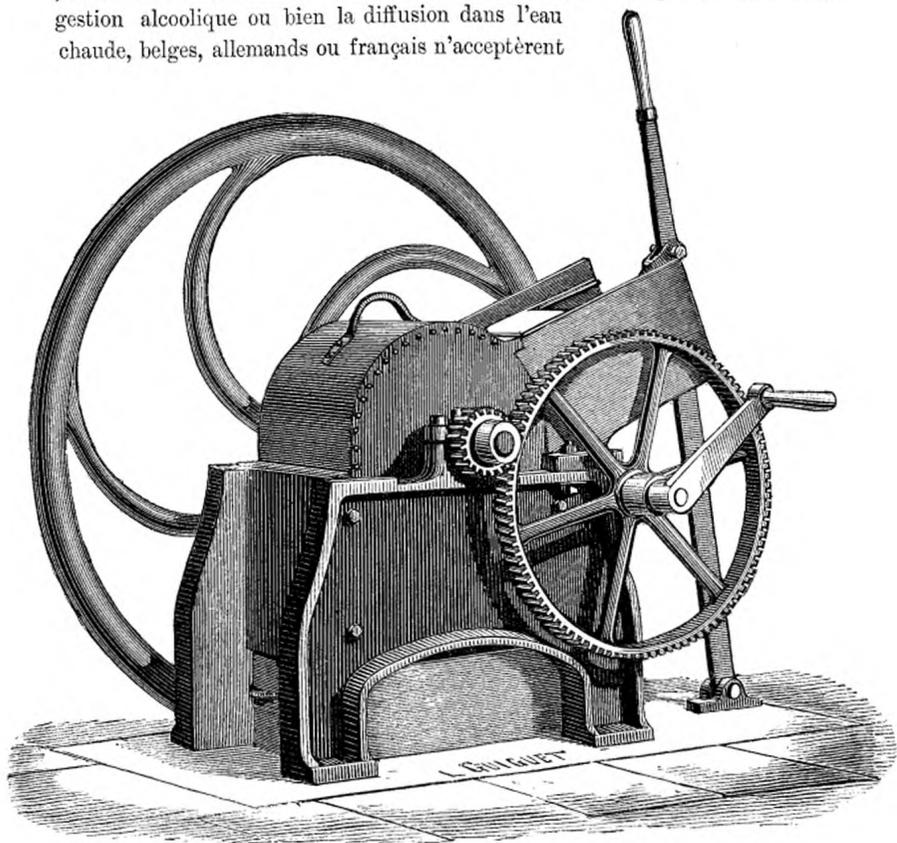


FIG. 39

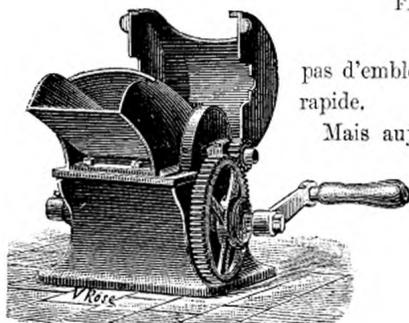


FIG. 40

pas d'emblée la nouvelle méthode si curieuse et si rapide.

Mais aujourd'hui le procédé Pellet a fait son chemin et a su triompher de la majorité des oppositions que l'on ne rencontre guère vivace encore qu'en Allemagne, sans doute parce que c'est un procédé Français!

Si nous continuons le cours de la fabrication nous aurons à analyser d'abord

la betterave dans les champs à partir du mois de Juillet pour suivre sa maturité, puis à la réception à l'usine en Septembre, pour payer le cultivateur qui vend son produit à l'analyse, puis à son entrée dans le coupe-racines, et à sa sortie à l'état de cossette,

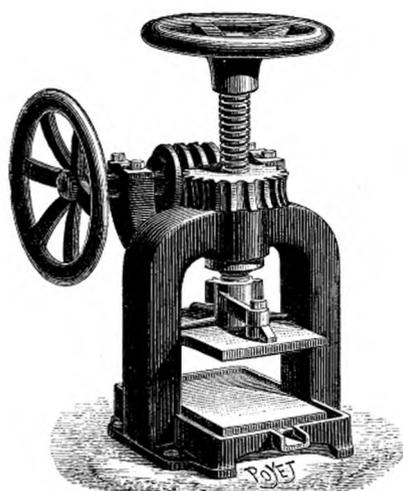


FIG. 42

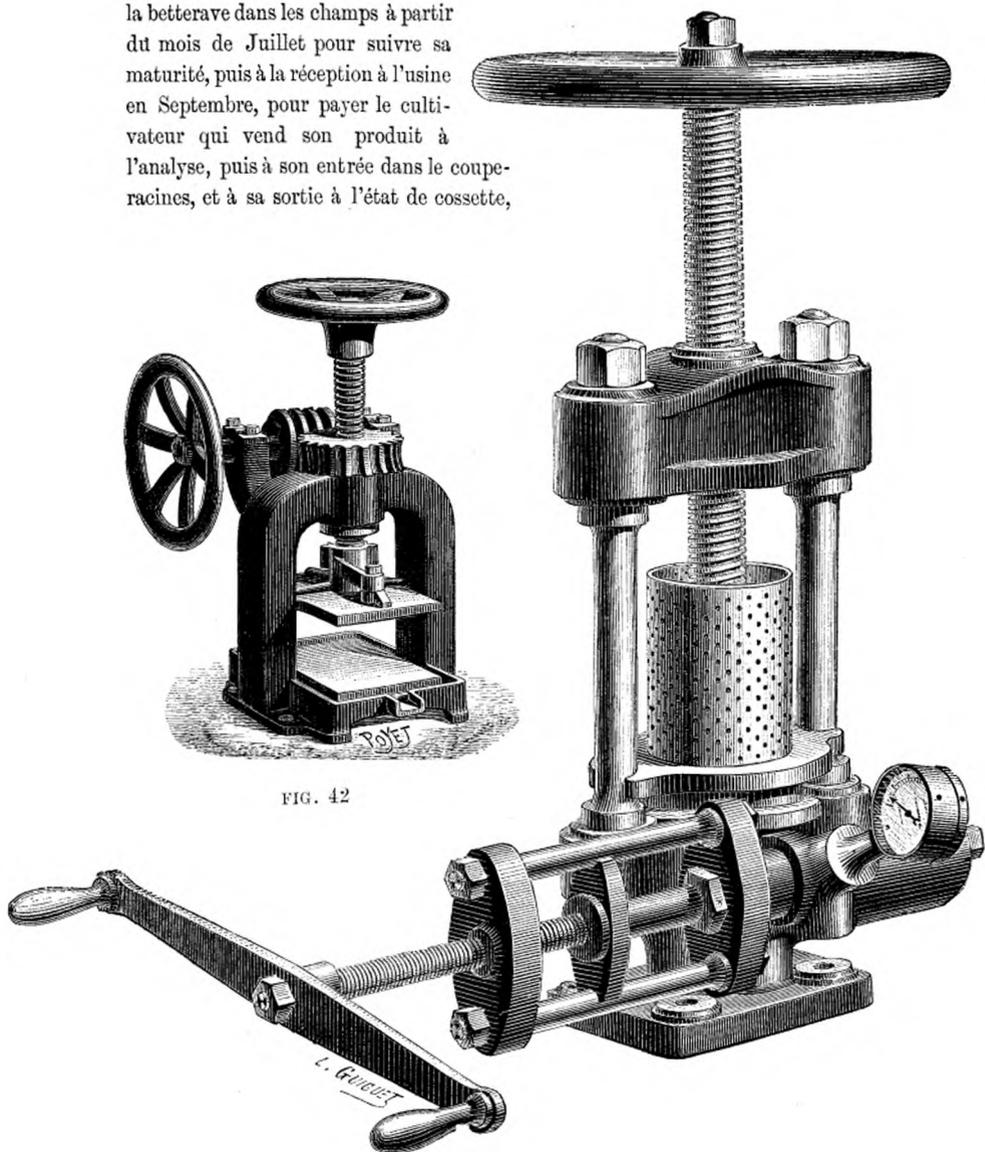


FIG. 41

pour savoir exactement la quantité de sucre qui entre dans l'usine à l'état de betterave.

Toutes ces opérations se font de même manière.

Elles nécessitent des râpes, des presses, aréomètres, fioles graduées, etc., tous instruments d'ordre ordinaire dans les laboratoires, et qui étaient largement représentés à l'Exposition. Citons d'abord la râpe *Pellet*, avec disque Keil, la hache-cossette à lames mobiles (fig. 38) et les râpes ordinaires (fig. 39 et 40) montrées par MM. *Gallois* et *Dupont*, une râpe au moteur très puissante et bien comprise exécutée par M. *Maguin*, les presses hydrauliques de laboratoire, figure 41, pouvant être employées comme presse ordinaire. Ces presses donnent 3 ou 400 atmosphères, sans effort. MM. *Gallois* et *Dupont* avaient des presses à main (fig. 42) qui donnaient la même pression en supposant un effort de 50 kilogrammes sur le volant. Si donc on compare ces deux instruments, avec le premier un seul homme fatiguera moins et pourra faire de nombreuses analyses en un seul jour. Seulement quelque bien construit qu'il soit, il a les inconvénients d'un instrument compliqué qui demande des réparations délicates, l'autre est toujours prêt au service. Donc dans un laboratoire qui ne se sert pas journellement de sa presse, la presse à main est préférable. En réalité si l'on s'outille pour faire un grand travail journalier il est préférable de posséder les deux systèmes, l'une, la presse hydraulique, pour les analyses faites en masse, et que l'on soigne et met en état après la campagne, l'autre pour les analyses ordinaires de laboratoire où l'effort que l'on fait n'est pas une fatigue, n'étant pas répété souvent.

En dehors des appareils pour la digestion aqueuse du système *Pellet*, l'Exposition des chimistes de sucrerie montrait encore, comme nous l'avons dit, d'autres appareils spéciaux.

D'abord les deux nécessaires pour prendre la densité des jus de betteraves et les analyser aux champs de MM. *Beaudet* et *Ladureau*. Ces deux nécessaires comprennent l'un une râpe et l'autre un forêt-râpe (fig. 43) pour faire la pulpe, une petite presse à main, éprouvette, densimètre, flacons de sous-acétate de plomb, et de tannin, ballons jaugés de 100-110 pour l'analyse saccharimétrique, tout ce qu'il faut pour faire des essais complets.

M. *Vivien* a exposé un appareil de laboratoire pour essai des betteraves et des lamelles coupe-racines. Il se compose d'une série d'entonnoirs allongés cylindriquement par en haut, sorte de tubes ayant environ 300 centimètres cubes de capacité, et plongés tous dans un seul bain-marie à température constante. Les douilles de ces tubes entonnoirs traversent le fond du bain-marie et sont terminées par un robinet. On peut faire autant d'essais qu'il y a de ces tubes dans le bain-marie.

A cet effet on prend 100 grammes de la betterave à essayer découpée en cossettes, et on la met dans un des tubes. On la recouvre d'eau chaude. On laisse

digérer 3 minutes, et l'on tire le liquide dans un ballon d'un litre. On recouvre de nouveau avec de l'eau chaude, et après 3 minutes on soutire encore.

On recommence l'opération sept fois. Le dernier liquide tiré ne contient presque plus de sucre, et l'on a ainsi dans un litre de liquide tout le sucre de 100 grammes de betterave.

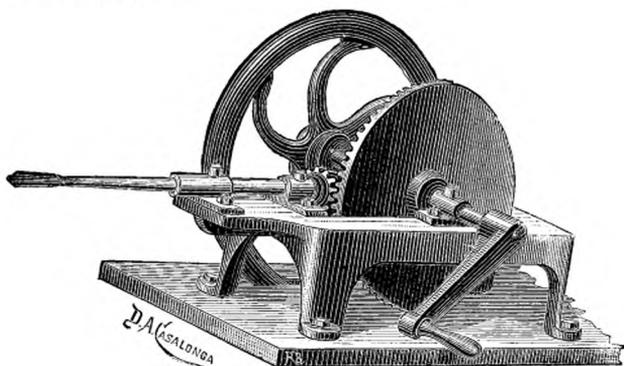


FIG. 43

L'analyse donne la totalité du sucre à 2 millièmes près, erreur insignifiante plus petite que celle provenant de la sensibilité des instruments dont on se sert.

C'est donc une analyse reproduisant au laboratoire les opérations de la diffusion telles qu'on la fait à l'usine, ce qui rend le jus obtenu comparable au jus réel que l'on a à travailler pratiquement.

Les échantillons de betterave sont introduits dans les tubes enfermés dans un panier en toile métallique. En retirant le panier après l'épuisement, desséchant la cossette qu'il contient et la pesant après dessiccation on a la quantité de matière ligneuse contenue dans la betterave. On en conclut la quantité de jus correspondante.

De sorte que cette petite installation permet de faire très facilement les essais des racines travaillées, essais que l'on ne fait pas toujours à cause du manque d'appareil rendant facile leur exécution.

M. Vivien a exposé également une *étuve* pour dessécher les cossettes, masses-cuites, mélasses, etc., et faire les analyses dans lesquelles des gaz se dégagent que l'on doit recueillir.

Cette étuve se distingue de l'étuve Wiesnegg ordinaire par certains points particuliers, et surtout par un point principal que voici.

La porte fait joint étanche avec la caisse intérieure où l'on met les matières à dessécher, et l'air qui circule dans cette caisse passe auparavant par un flacon de dessiccation et d'épuration, puis par un serpentín engagé dans le bain de sable. En sorte que l'air qui circule dans la caisse est de l'air pur, sec et chaud, ce qui

favorise considérablement la dessiccation des matières. Enfin l'air qui s'échappe, avant d'aller dans l'atmosphère, peut passer par des tubes de Will et Warentrapp pour recueillir l'ammoniaque, par exemple, dans les analyses d'engrais. On peut aussi faire un vide partiel dans la caisse pour évaporer sous basse pression. Enfin cet instrument est un véritable laboratoire où l'on peut faire des essais variés et nombreux sans cesser d'être une excellente étuve.

Indépendamment de la betterave, le chimiste doit analyser les cossettes résiduelles de la diffusion et les petites eaux qui s'échappent du diffuseur. On doit en outre mesurer, échantillonner et analyser les jus sortant de la diffusion, en mesurer la densité et la température, et calculer en fin de compte si le jus et les résidus contiennent bien tout le sucre contenu dans la betterave, pour s'assurer s'il n'y a pas eu de pertes par destruction de sucre ou autre cause dans la diffusion pour corriger le mauvais travail ou les erreurs si ces pertes existent.

Nous avons décrit à propos de la diffusion les appareils de M. *Horsin-Déon* pour arriver à faire ce contrôle automatiquement, appareils représentés également dans l'Exposition des chimistes de sucrerie.

Plus loin dans le cours de la fabrication le chimiste aura à analyser les jus pendant la fabrication, leur alcalinité, au moyen de liqueurs titrées et de burettes dont l'Exposition de MM. *Gallois et Dupont* contenait des spécimens variés (fig. 44 et 45) qui tous tendent à rendre les essais plus faciles

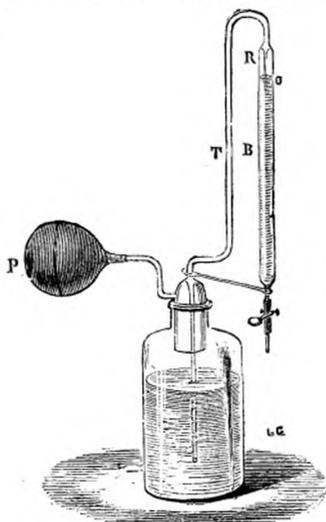


FIG. 44

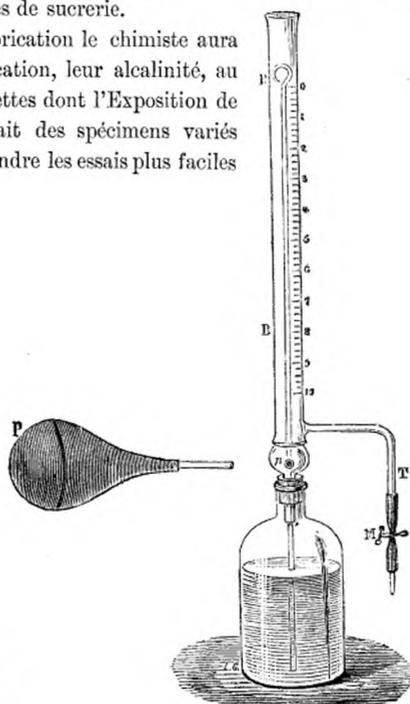


FIG. 45

et plus rapides, car en sucrerie où le laboratoire a tant d'essais à faire, il faut

que les instruments et les méthodes facilitent par leur perfection le travail de l'opérateur.

Il faudra ensuite analyser les sirops, les masses cuites, les bas produits, sans compter les essais parallèles de chaux, gaz carbonique, et autres produits entrant dans le travail ou dans les ateliers corollaires de l'usine, générateurs, four à chaux, gaz d'éclairage etc.

L'instrument capital dans toutes les analyses de matières sucrées est le saccharimètre.

*Saccharimètres.* — Chacun sait le principe sur lequel repose l'emploi du saccharimètre.

Arago avait découvert les phénomènes de la polarisation circulaire, et Biot utilisa cette découverte pour analyser les substances comme le sucre, douées de ce pouvoir rotatoire.

L'instrument de Biot, nommé polarimètre, peu pratique pour l'industrie, fut modifié par *Soleil* père, qui utilisa d'une manière remarquable ses belles connaissances optiques pour construire le premier *saccharimètre*, qui, modifié, donna le saccharimètre *Soleil* si longtemps en usage en sucrerie.

Le successeur de *Soleil*, *M. J. Duboscq*, construisit ensuite un autre saccharimètre dit à *pénombre* en utilisant la prisme de *Gellet* modifié par *M. Cornu* de l'Institut. Ce saccharimètre *Duboscq*, que nous décrirons plus loin, est un instrument magnifique, d'un rare mérite, mais qui ne permet d'observer que des liqueurs peu colorées.

*M. Laurent* eut alors l'idée de modifier encore le saccharimètre pour pouvoir polariser même des liqueurs colorées. Ainsi sont nés les différents appareils qui sont aujourd'hui entre les mains des chimistes de sucrerie.

Depuis 1878, les appareils saccharimétriques ont peu changé. Les laboratoires de l'état prescrivent toujours l'emploi du saccharimètre *Laurent* à *pénombre* comme le plus pratique de tous. Aucun appareil vraiment nouveau n'a paru pour détrôner celui-là, qui d'ailleurs a subi plusieurs perfectionnements que nous allons étudier.

## Exposition de *M. Léon Laurent*, de Paris

La théorie du saccharimètre à *pénombre* n'est plus à faire. Nous l'avons d'ailleurs écrite nous-même plusieurs fois pour notre part. Nous n'avons qu'à examiner l'appareil tel qu'il est aujourd'hui.

Des besoins nouveaux s'étant créés en sucrerie, le saccharimètre a dû se plier à ces nouvelles exigences. En effet en 1878 cet instrument ne servait absolument qu'aux analyses de jus riche ou de sucres.

Depuis, la diffusion s'est répandue partout, et, avec la diffusion, l'analyse des petites eaux résiduelles est devenue nécessaire.

Mais ces liquides très peu sucrés demandaient à être observés dans des tubes très longs pour que la lecture de la déviation polarimétrique fût sensible. Aussi les saccharimètres qui ne comportaient en 1878 que l'emploi de tubes de 20 centimètres ont-ils dû s'allonger pour recevoir des tubes de 50 et même 60 centimètres.

La figure 46 représente le saccharimètre Laurent tel qu'on le trouve maintenant dans tous les laboratoires de sucrerie, et l'on remarque que la règle porte-tube L a pris une longueur et en même temps une solidité qu'elle n'avait dans les petits saccharimètres en usage il y a 10 ans.

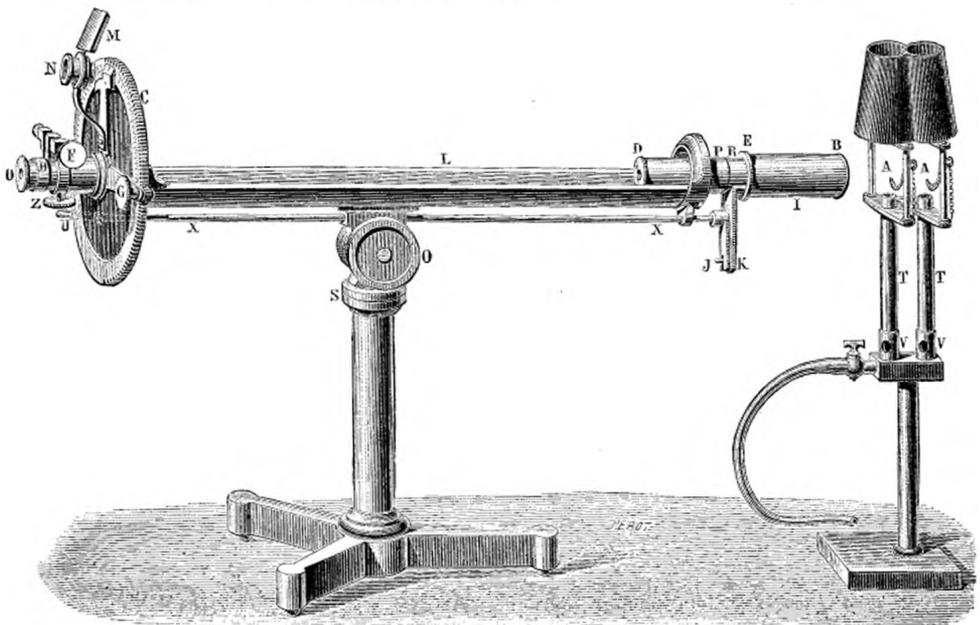


FIG. 46

Mais de ce que le champ visuel s'est éloigné il a fallu augmenter l'intensité lumineuse, résultat que M. Laurent a obtenu d'une manière ingénieuse en plaçant deux lumières identiques l'une derrière l'autre.

La flamme monochromatique jaune employée dans ce cas est toujours la même, celle du sel marin plongé dans la flamme incolore d'un bec Bunzen T, au moyen d'un petit support en toile de platine A. Mais deux becs identiques portés sur le même support sont jumelés de telle sorte qu'ils puissent additionner leur lumière, comme on le voit sur le dessin.

De plus la longueur de l'appareil rendait le maniement du polariseur placé en R impossible à l'opérateur ayant l'œil à la lunette. On sait en effet que, dans le saccharimètre Laurent, en changeant l'angle du polariseur on rend l'image plus lumineuse, ce qui permet d'examiner des liqueurs colorées. Pour permettre à l'opérateur ce mouvement du polariseur, une tige X munie d'un levier U placé derrière le limbe C et par conséquent à portée de la main, engage son autre extrémité, qui est coudée et fendue en fourche J, dans un bouton fixé à un levier K agissant sur le polariseur R. Telles sont les modifications qu'a subi cet appareil. Nous pouvons dire d'ailleurs que ce grand modèle est d'une sensibilité ex-celle, plus grande peut-être que celle du petit modèle d'autrefois déjà si précis, ce qui prouve qu'outre la forme M. Laurent a amélioré aussi sa fabrication. D'ailleurs c'est un chercheur infatigable qui ne s'arrête pas dans la voie du progrès.

Il y a des établissements et des sucreries qui n'ont pas l'avantage d'avoir le gaz, et qui ne peuvent cependant se passer du saccharimètre.

Il y a deux moyens de parer à cet inconvénient.

Le premier consiste à employer un *éolipyle* (fig. 47). C'est une petite chaudière en cuivre H chauffée au moyen d'une lampe à alcool, contenant elle-même de l'alcool ou de l'esprit de bois, et qui est surmontée d'un système analogue au bec Bunzen double décrit précédemment.

L'alcool alimenté d'air en V brûle en G comme le gaz et produit la flamme incolore dans laquelle est plongée la coupelle portant le sel marin. Une soupape de sûreté E, dont on voit à gauche le détail, rend l'appareil tout-à-fait inoffensif. L'éolipyle brûle pendant 25 minutes environ, après quoi il faut le recharger.

L'autre moyen, plus radical, consiste à faire usage du *saccharimètre à lumière blanche* de M. Laurent (fig. 48). Dans ce saccharimètre, en avant de l'analyseur M. Laurent a placé le compensateur de l'ancien saccharimètre Soleil à lames prismatiques de quartz. C'est alors sur le compensateur R que l'on fait la lecture comme dans l'ancien Soleil, et le limbe C n'est plus qu'un écran pour faciliter les observations.

Il en résulte qu'avec ce dispositif on peut se servir d'une lumière quelconque, d'une bonne lampe à pétrole par exemple, ou de la lumière solaire, et cependant l'appareil est toujours à pénombre, c'est-à-dire que le disque apparaît toujours d'une teinte uniforme, se séparant en noir et blanc

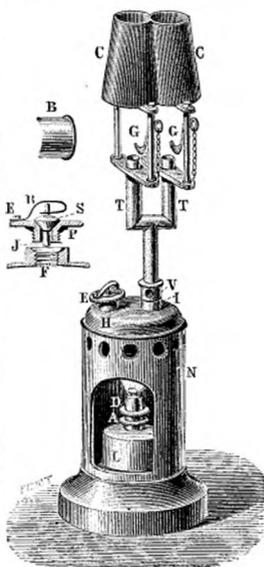


FIG. 47

lorsqu'on approche du point de polarisation, exactement comme dans le pé-  
nombre à lumière jaune.

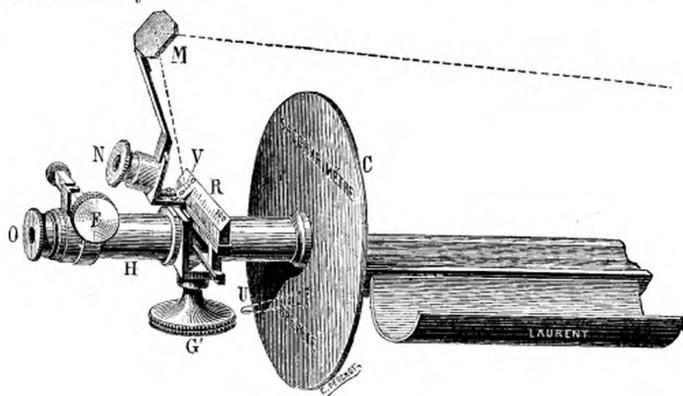


FIG. 48

Ce saccharimètre d'ailleurs est plus sensible encore que celui à lumière jaune.  
Mais il est beaucoup plus délicat à construire à cause de la difficulté de trouver

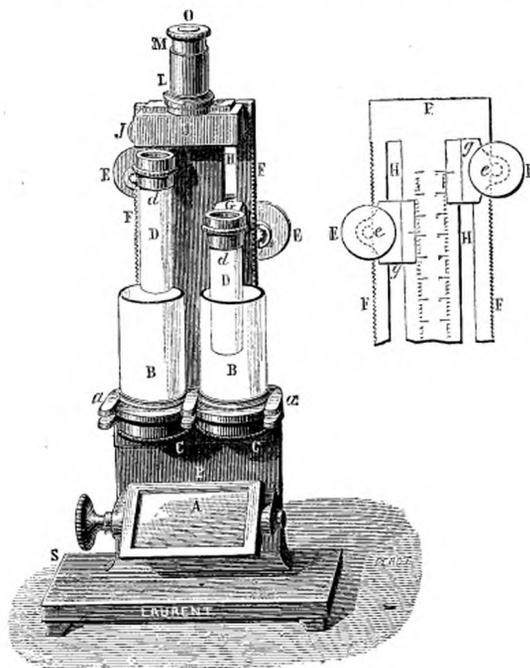


FIG. 49

de bons quartz, sans défauts, difficulté d'autant plus grande que l'appareil est

plus perfectionné. Ce modèle est une nouveauté réelle pour l'Exposition de 1889, car il ne date que de 1882, et son principe même n'était pas connu en 1878.

Outre les saccharimètres, on trouvait dans l'Exposition de M. Laurent un appareil très employé en sucrerie et surtout en raffinerie, le *colorimètre* dont l'invention remonte à 1854 et est due à J. Duboscq.

Cet instrument (fig. 49) sert à *comparer* les liquides colorés, en sorte que si l'on possède un type on peut déterminer par la suite le degré de coloration de tous les liquides examinés. Il n'y a donc rien d'absolu dans ses indications puisqu'il n'indique que le rapport de coloration avec le type dont on fait usage.

Néanmoins on tire un parti excellent de cet appareil quand on sait bien choisir son terme de comparaison.

Il se compose (fig. 50) de deux vases cylindriques B B placés parallèlement dans une monture métallique, et à demeure. Les fonds de ces vases sont formés de lames de verre à faces bien parallèles, et ils sont placés identiquement dans le même plan.

Dans ces vases on peut faire pénétrer plus ou moins profondément deux autres vases D de même forme et construits de même manière, mais d'un plus petit diamètre. Ces vases D sont donc mobiles, et se déplacent verticalement en agissant sur des roues à mollette E placées derrière, qui portent un pignon en grenant dans une crémaillère. Le déplacement de ces vases D est mesuré par derrière (fig. 49) au moyen d'une graduation faite sur le bâti métallique, et d'un vernier *g*.

Une glace A projette sous ce système les rayons d'une source de lumière un peu diffuse, et si la lumière dont on dispose est trop vive on intercale entre elle et le miroir un verre dépoli. Les rayons lumineux traversent parallèlement les vases B et D, puis rencontrent en K un double prisme qui rapproche les rayons qui ont passé par D, sans les mélanger. Si alors on regarde par la lunette M on voit d'abord la ligne de séparation des deux prismes, ligne qui sert à mettre au point. Mais si l'intensité lumineuse est la même à droite comme à gauche, le champ de la lunette séparé en deux par la ligne est d'intensité égale partout (fig. 50).

Ceci posé, voici comment on se sert du colorimètre.

On relève complètement les vases D. On verse dans les vases B les liquides à observer, soit le type dans l'un, le liquide en expérience dans l'autre. On abaisse

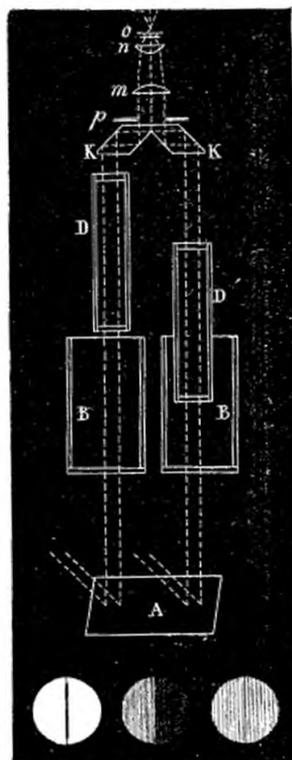


FIG. 50

les deux vases D jusqu'à ce qu'ils pénètrent tous deux dans le liquide. Alors on regarde par la lunette et l'on observe que la lumière est absorbée plus d'un côté que de l'autre ; le champ de la lunette est alors séparé en deux demi-disques dont l'un est plus foncé que l'autre (fig. 50). Dans cette position on enfonce davantage le tube D dans le liquide jusqu'à ce que les deux demi-disques aient la même teinte et on lit derrière les indications des deux verniers. Cette lecture donne la différence des colorations des deux liquides.

En effet l'intensité lumineuse égale a été obtenue par l'observation de la même source de lumière passant à travers deux couches inégales de liquide, couches limitées entre les fonds des vases D et les fonds des vases B, et la lecture des verniers indique les hauteurs de liquide traversées par la lumière des deux côtés, hauteurs proportionnelles à la différence de coloration des liquides.

Cet appareil est donc d'un usage facile et tous les détails de sa construction en sont parfaitement étudiés pour rendre plus commodes encore ses nombreuses applications industrielles.

### Exposition de la maison J. DUBOSCQ, Ph. PELLIN successeur

Au point de vue chronologique nous aurions dû commencer par la description de l'Exposition de cette maison, dont les instruments, comme nous l'avons dit, sont plus anciens de date, et sont sur le degré d'égalité comme perfection avec ceux de M. Laurent. Mais nous avons commencé par l'Exposition Laurent parce que ses saccharimètres sont beaucoup plus répandus en sucrerie.

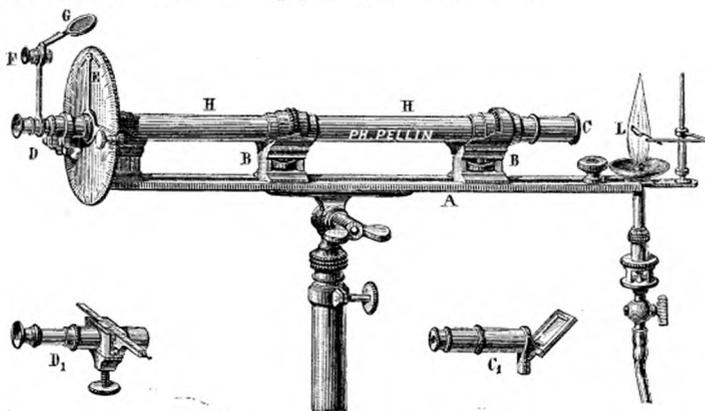


FIG. 51

Le grand saccharimètre *Soleil-Duboscq* (fig. 51) à pénombre avec prisme Cornu, permet l'emploi de grands tubes de 50 et 60 centimètres, ou l'observation de deux tubes de 20 à la fois, comme il est représenté sur la figure. A cet effet

des supports B B glissent dans un pied à rainure A de manière à ce qu'ils aient

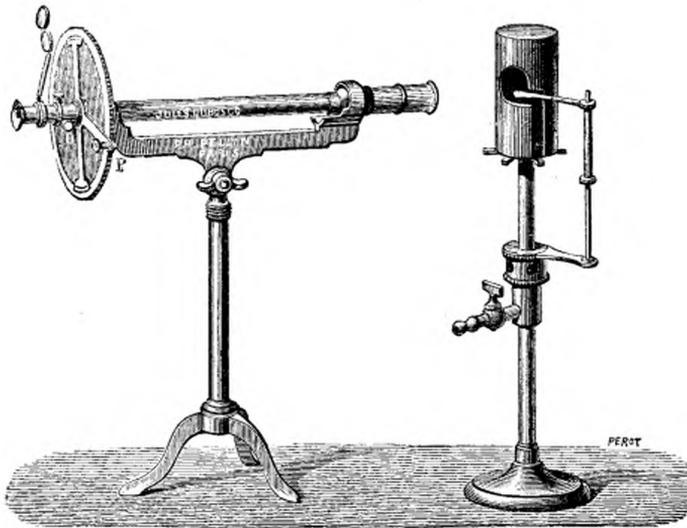


FIG. 52

un écartement égal à celui des extrémités des tubes, le second support portant le polariseur.

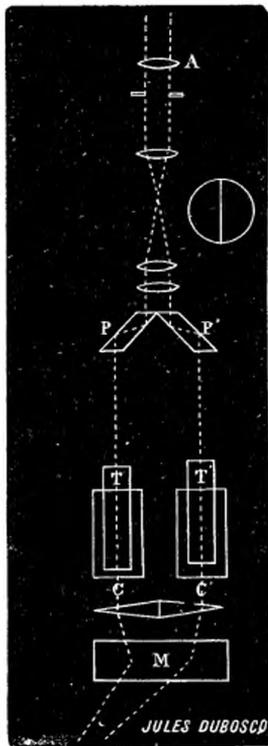


FIG. 53

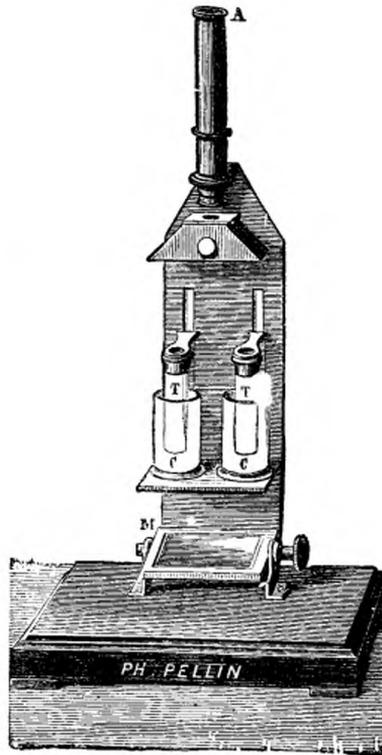


FIG 54

La flamme du bec Bunzen est portée par le pied lui-même, tant permet le déplacement de tout l'appareil sans crainte de ce que la lunette ne se trouve plus dans l'axe du foyer lumineux ; c'est une bonne chose très pratique. Le sel est placé dans la flamme au moyen d'une petite cuiller de platine, pour avoir la lumière monochromatique.

On peut remplacer l'analyseur D par le compensateur Soleil D<sub>1</sub> et obtenir ainsi, comme dans le Laurent, le pénombre à lumière blanche, et alors se servir de la lumière solaire au moyen d'un miroir C<sub>1</sub> que l'on substitue au tube C.

L'appareil petit modèle (fig. 52) qui repose sur les mêmes principes n'est approprié qu'aux tubes de 20 centimètres.

Ce sont tous deux de très bons instruments d'une très grande précision.

Enfin M. Pelin exposait aussi le saccharimètre Soleil proprement dit, sur lequel nous n'avons pas à revenir.

*Colorimètre.* — Enfin nous trouvions dans cette exposition le colorimètre Duboscq original, celui qui a donné le modèle des appareils du même genre à tous les autres constructeurs (fig. 54). Celui-ci diffère du colorimètre Laurent par l'interposition sous les vases CC récepteurs des liquides en expérience (fig. 53) d'un double prisme qui ramène les rayons lumineux dans l'axe de ces vases lorsque l'on fait usage d'une source de lumière artificielle, comme une lampe, dont les rayons sont convergents vers un point unique.

## SUCRERIE DE CANNE

---

La sucrerie de canne tend de plus en plus à adopter les appareils de la sucrerie de betterave. L'Exposition ne montrait pas comme les autres de spécimen de ces puissants moulins qui écrasent encore la canne dans la plupart des habitations. Par contre, elle nous faisait voir des diffuseurs créés spécialement pour la canne et la bagasse, des coupe-cannes et des échantillons des produits de ces nouveaux engins.

Les antiques équipages ont fait place au triple-effet, et le filtre-pressé et la turbine complètent le matériel moderne.

Donc, à l'exception des modèles spéciaux de coupe-cannes et de diffuseurs, tous les appareils que nous avons décrits pour la betterave peuvent se rapporter à la sucrerie de canne moderne.

On est encore loin, il est vrai, de trouver tous ces appareils dans les établis-

séments exotiques. On peut même dire que les sucreries montées à *la moderne* sont la rare exception, mais la tendance très marquée est de ce côté; aussi nous ne parlerons que de ces objets nouveaux.

Avant de décrire ces appareils, disons quelques mots de la diffusion en sucreries de canne.

Cette industrie a le rare avantage de posséder dans ses déchets un excellent combustible. La canne, écrasée au moulin, ou bagasse, brûle admirablement dans les générateurs appropriés.

Autrefois, lorsqu'on ne possédait pas encore les filtres-presses, lorsque l'extraction du jus ne formait pas un volume de liquide trop considérable, la bagasse séchée au soleil était plus que suffisante pour assurer tout le service combustible de l'usine avec l'emploi de l'appareil d'évaporation à double-effet, que M. Rillieux venait d'introduire en Louisiane et à l'île de Cuba. Lorsque la bagasse était humide, en employant le triple-effet on arrivait au même résultat.

Mais la quantité de jus augmenta, les moulins devenant plus puissants et les pertes de sucre moins importantes par les lavages d'écume; de plus, les double et triple-effets devinrent insuffisants à concentrer les sirops, soit par manque de surface de chauffe, soit par erreurs de construction; bref, à la bagasse, on dut ajouter d'autres combustibles, bois ou charbon, et les frais de fabrication se trouvèrent grevés d'autant. Remarquons que ces frais de combustible sont énormes en certains pays lointains, qui n'ont chez eux ni bois, ni charbon, et qui brûlent le charbon anglais à plus de 50 francs la tonne.

Vinrent les essais de diffusion. Dans ce système, la canne est divisée en rondelles, ou rouelles, taillées dans un plan incliné à 45° environ sur l'axe de la canne, et ces rouelles sont introduites dans les diffuseurs à la manière de la cossette de betterave.

Mais, après la diffusion, ces cossettes très humides, difficiles à sécher, même en passant au moulin, parce que celui-ci les réduit en poussière, sont impossibles à brûler économiquement. Le fait est que dans les premières sucreries où l'on monta la diffusion de la canne, des montagnes de ces rouelles épuisées encombrèrent les alentours de l'usine, et, de plus, ce qui est le pire, on dut remplacer complètement le combustible bagasse par du charbon.

Cependant, la maison de Fives-Lille, qui s'est faite le champion de la diffusion de la canne, a cherché le moyen de brûler ces rouelles si gênantes.

En aménageant convenablement les fours Godillot (voir 6° partie, p. 376), la cossette de canne brûle, et produit du calorique. Mais, comme elle est très humide, malgré la pression d'un ou deux moulins préparatoires, une partie du calorique est employée à vaporiser l'excès d'eau, et si le restant est utilisable au chauffage des générateurs, il n'en est pas moins vrai que l'on est obligé d'employer encore du charbon pour compléter la quantité de combustible nécessaire à l'usine.

La cossette de canne bien pressée représente, dit-on, dans les fours Godillot, la moitié de la valeur de la bagasse. D'autre part, la diffusion donne 115 de jus pour 100 de cannes.

Les moulins donnent 65 kilogrammes de jus sur 88 kilogrammes que renferment 100 kilogrammes de canne, et les moulins avec défibreux, Faure ou autres, donnent 75 kilogrammes.

Enfin la diffusion, comparée aux moulins ordinaires, donne un excédent de 3 kil. 6 de sucre environ pour 100 kilogrammes de canne, et seulement de 1,9 de sucre par rapport aux moulins avec défibreux.

Tels sont les éléments du problème tel que le posent les défenseurs de la diffusion.

Or, il est évident que, de quelque manière que l'on calcule, la diffusion donne toujours un bénéfice notable sur les moulins, même en brûlant du charbon. Aussi la diffusion est-elle le procédé qui doit s'implanter forcément en sucrerie de canne un jour ou l'autre.

Mais le problème se pose ainsi : Quel genre de diffusion doit-on adopter ? N'y a-t-il pas moyen d'employer un système de diffusion tel que la bagasse y conserve toute sa valeur comme combustible, et ne peut-on pas adopter un système de travail en fabrique tel que cette bagasse suffise pour le chauffage des générateurs ? En un mot, n'y a-t-il pas moyen d'extraire tout le sucre de la canne, et de ne pas acheter de combustible ?

Le problème est possible à résoudre en diffusant la bagasse et en employant les procédés Rillieux d'évaporation et de chauffage.

La diffusion de la bagasse en batterie a été essayée, mais il y a encore des progrès à faire de ce côté ; les chercheurs ne manqueraient pas, et des appareils seraient même tout étudiés pour être essayés, si des fonds étaient mis par les comices à leur disposition.

Ajoutons, pour compléter cette si intéressante question, que l'on est arrivé à simplifier beaucoup le travail en fabrique, grâce à la diffusion. En effet, en introduisant dans la batterie des agents déféquants, le jus de canne en sort à un état tel qu'il peut être évaporé directement !

C'est un grand progrès. En effet, on supprime du coup l'atelier de défécation, les filtres-presses, etc., et les pertes en sucre résultant du maniement du jus.

En résumé, les efforts faits pour propager la diffusion de la canne ont donné des résultats fort remarquables et fort appréciés. Mais il y a mieux à faire encore, et il ne faut pas désespérer de voir bientôt la réalisation complète du problème.

## Exposition de la Compagnie de Fives-Lille.

La Compagnie de Fives-Lille a exposé un coupe-cannes et deux diffuseurs spécimens d'une batterie de seize vases.

*Coupe-cannes.* — Cet appareil se compose, comme les coupe-racines destinés à la betterave, d'un plateau horizontal porte-couteau, animé d'une grande vitesse de rotation, et mû par en-dessous, avec trémies au-dessus pour recevoir la canne à couper. Le plateau a 2<sup>m</sup>,400 de diamètre, et est muni de seize boîtes à couteaux. Son axe vertical est porté par une crapaudine mobile dans le sens vertical, de manière à régler l'épaisseur des rouelles.

Au-dessus du plateau mobile est un plateau fixe portant huit ouvertures, par lesquelles passent les cannes. Chaque ouverture porte une contre-plaque mobile permettant de compléter exactement le réglage de l'épaisseur des cossettes à obtenir. Les couteaux sont droits, en acier trempé. Sur le plateau fixe, une trémie en tôle, divisée par des parois inclinées en huit compartiments, correspondant aux huit ouvertures de ce plateau, sert à recevoir la canne à couper.

Enfin, les rouelles sortant des porte-couteaux, tombent sur le fond de la cuve en fonte qui contient tout le système, et sont rejetées en dehors par un ramasseur.

Un moteur à vapeur vertical, porté sur la plaque de fondation, met le système en mouvement.

Cet appareil peut produire 400 000 kilogrammes de cossettes en 24 heures.

Des échantillons de rondelles de canne, conservées dans l'alcool, montraient la netteté de la tranche obtenue par le coupe-canne.

*Diffuseurs.* — Les diffuseurs ont 40 hectolitres de capacité. Ils sont en tôle, avec tête en fonte portant le couvercle, comme dans les diffuseurs ordinaires. Le bas est formé par une pièce en fonte tronconique allant en s'évasant, contrairement à ce qui a lieu pour la betterave. L'intérieur est garni d'une enveloppe en tôle perforée.

Cette forme est nécessitée par ce fait que la nature fibreuse de la canne rend sa vidange difficile, et que, loin de pouvoir rétrécir la sortie, il faut au contraire lui donner le plus d'évasement possible.

La porte de vidange a le diamètre du diffuseur, et est équilibrée par un contre-poids. Elle est à joint hydraulique, et porte deux taquets d'accrochage. Elle est garnie d'une tôle perforée qui vient s'appuyer sur la tôle perforée également formant l'enveloppe intérieure du diffuseur.

La manœuvre de la porte de vidange se fait du plancher supérieur de la batterie au moyen de deux tiges mues ensemble par engrenage et manivelle, et dont les extrémités inférieures, filetéés, traversent chacune un écrou guidé qui actionne la porte.

L'accrochage se fait également du plancher par deux tiges filetées à leur extrémité inférieure, et qui actionnent ensemble un étrier équilibré par un contrepoids. Cet étrier vient s'emmancher sous chaque taquet d'accrochage.

Chaque diffuseur est muni de son calorisateur, qui n'offre rien de particulier.

### Exposition des anciens établissements Cail.

On trouvait dans cette exposition un spécimen des diffuseurs construits pour la canne.

Le vase est entièrement tronconique pour faciliter la vidange et comme ceux de Fives-Lille, la porte inférieure démasque toute l'ouverture du diffuseur.

Le joint hydraulique est fait comme pour les diffuseurs à betterave de cette maison, sur la périphérie du couvercle, mais la fermeture à baïonnette ne pouvant être appliquée avec la forme de l'appareil, a été remplacée par un système de verroux manœuvrés du haut. D'ailleurs tous les services sont les mêmes que ceux de la batterie de sucrerie de betteraves que nous avons décrite.

### Exposition de M. Faure.

Nous avons parlé précédemment du défibreux Faure et des résultats qu'il donne comme extraction du jus de la canne. Cet appareil, qui figurait à l'Exposition, ressemble à un moulin à canne, dont les rouleaux en acier sont entièrement taillés sur toute la surface suivant des lignes faisant un angle très aigu avec la génératrice du cylindre de telle sorte qu'une coupe du cylindre perpendiculaire à l'axe le ferait ressembler à une scie circulaire.

Les cylindres ont une taille différente de plus en plus rapprochée et en sens inverse. Alors la canne engagée entre ces cylindres s'y trouve déchiquetée en filaments grossiers qui, pressés ensuite, abandonnent beaucoup plus de jus que la canne non déchiquetée. Ces fibres se prêtent fort bien ensuite au chauffage.

### Exposition Brissonneau, Derouable et Lotz.

Le moulin exposé par cette maison figurait déjà à l'Exposition de 1878. Il se compose de huit cylindres portés dans le même plan horizontal sur un bâti unique. Les bagassières sont creuses et percées de petits trous, et permettent l'injection d'eau ou de vapeur afin d'obtenir un épousiment méthodique de la canne.

## COMPLÉMENT AU MATÉRIEL DE SUCRERIE.

### *Générateurs, machines, tuyauterie*

Il n'y a pas d'industrie où l'emploi de la vapeur soit aussi compliqué que dans la sucrerie. Toutes les formes sous lesquelles la vapeur peut être utilisée s'y trouvent réunies, soit dans les machines motrices, soit dans les appareils de chauffage, soit dans les appareils d'évaporation. La vapeur agit tantôt à la haute pression des générateurs, tantôt dans le vide, elle se condense aux températures les plus variables, traverse des tuyaux de dimensions et de formes les plus diverses, des soupapes sans nombre.

Le calcul de toutes les phases par lesquelles passe la vapeur en sucrerie demanderait une étude des plus compliquées ; aussi peut-on dire qu'il n'est jamais fait que dans des cas spéciaux, encore l'est-il bien rarement.

Les machines à vapeur en sucrerie, aussi bien que les générateurs ne demandent cependant aucune condition bien spéciale.

Les machines n'ont pas ou presque pas de détente, et les modèles les plus rustiques sont les meilleurs, puisque les vapeurs de retour sont utilisées à l'évaporation du jus.

Les générateurs doivent répondre à un seul point capital, c'est d'avoir une grande réserve de calorique qui leur permette des changements brusques dans le débit, de sorte que les générateurs à grande masse d'eau sont les meilleurs. On pourrait aussi employer les générateurs à très haute pression (10 et 12 atmosphères) comme les Belleville ou les De Nayer, mais à la condition qu'ils soient toujours maintenus et leur pression extrême pour avoir en magasin une grande masse de vapeur. Mais comme ces générateurs qui contiennent très peu d'eau sont toujours, et à tort, conjugués sans détendeur avec les générateurs à grande masse d'eau timbrés à 5, ils ne marchent également qu'à cette pression, et alors, lorsque la demande de vapeur est brusque, il n'en fournissent pas au moment voulu la quantité nécessaire.

Il est donc indispensable de mettre un détendeur entre les générateurs marchant sous des pressions différentes.

Nous remarquons entre autres, à l'Exposition, le *robinet détendeur automatique, régulateur de pression, système D. Legal*, qui se prête fort bien à cette application, étant facilement intercalable dans la tuyauterie de vapeur. La figure 55 le représente en coupe, et la figure 56 le fait voir dans son ensemble.

La vapeur entre en E sous grande pression, et sort en S avec la pression plus faible que l'on ne veut pas dépasser. Sur son parcours, elle rencontre une soupape équilibrée D qui est actionnée par une membrane métallique extensible M,

au moyen de la tige F. C'est la pression la plus faible existant dans l'appareil qui actionne la membrane M, et ouvre et ferme la soupape équilibrée D, suivant le plus ou moins de vapeur nécessaire en S. Des ressorts-balances GG', placés extérieurement, et agissant également sur la soupape D, sont réglés au moyen du volant A', proportionnellement à la pression que l'on désire en S.

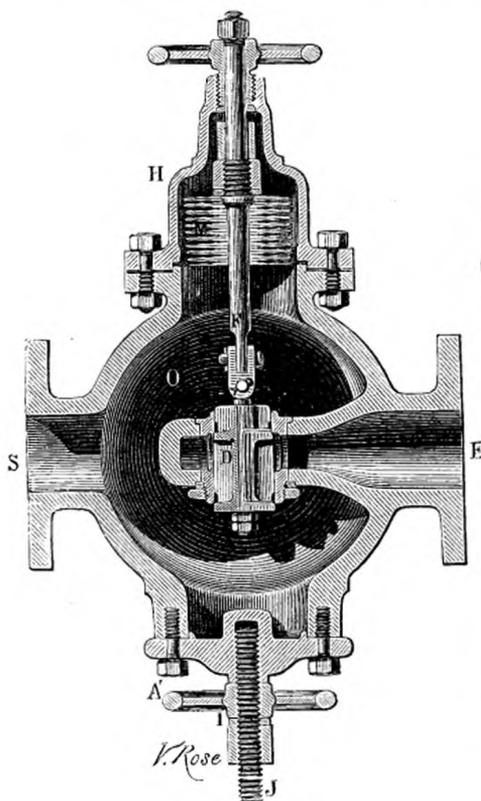


FIG. 55

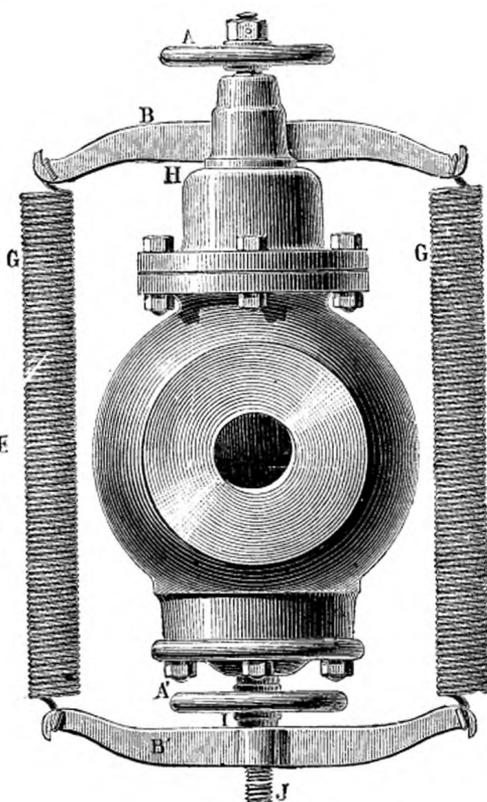


FIG. 56

Il résulte de ce dispositif que, quelque grande que soit la pression de la vapeur passant par la soupape, cette vapeur ne sort jamais qu'à la pression minima désirée. En sorte que si du côté E se trouvent des générateurs à 12 kilogrammes de pression, et du côté S' des générateurs à 5 kilogrammes, la soupape peut être réglée de manière à ce que la vapeur à 12 kilogrammes se détende à 5 kilogrammes avant d'entrer dans la conduite générale de vapeur de l'usine.

Cet appareil, construit avec grand soin, étudié d'une façon remarquable par son auteur, ne présentant d'ailleurs aucun presse-étoupe, ce qui lui donne une sensibilité extrême, se recommande tout particulièrement à la sucrerie.

M. Legat construit des détendeurs plus sensibles encore, dont nous nous occuperons dans l'article *Distillerie*; mais le précédent est amplement suffisant pour les besoins dont il est question ici.

Les règlements sur les générateurs à vapeur exigent, depuis plusieurs années l'emploi de clapet automatique d'arrêt dans le cas d'accidents, de manière à ce que la conduite de vapeur de chaque générateur, en particulier dans une batterie, se ferme d'elle-même s'il arrivait une rupture dans la tuyauterie générale.

La maison *Montauban et Marchandier* a exposé un clapet de ce genre fort intéressant (fig. 57). Il se compose d'un corps en fonte dans lequel se meut le clapet de retenu A. La vapeur suit le mouvement EFHDS, et ne pourrait sortir si le clapet A était fermé, appuyant elle-même dessus.

À la partie supérieure de la boîte, se trouve un petit cylindre K, dans lequel se meut un piston B, guidé en C, et rattaché à la soupape A par une tige rigide. Un tuyau à raccord IJ, muni d'un robinet, amène la vapeur du générateur dans le cylindre K, et celle-ci soulève le piston B, et par conséquent le clapet A.

Si donc on place l'appareil après la soupape de prise de vapeur du générateur, cette soupape étant fermée, si l'on ouvre la vapeur sur le tuyau J, le piston B et le clapet A se soulèvent.

Si alors on ouvre la soupape de prise de vapeur, celle-ci peut passer en D. Mais, s'il survient une rupture dans la tuyauterie générale, la pression en S, devenant plus basse qu'en E, le clapet A se referme automatiquement, malgré la pression en K, à cause de son plus grand diamètre, et tout danger provenant de la vidange rapide du générateur est écarté.

D'ailleurs, le rapport de B à A est tel que le clapet A ne se referme que quand la pression dans la conduite tombe brusquement au-dessous de la moitié de celle des générateurs.

Si la pression se rétablit, le clapet se relève seul, contrairement à ce qui arrive dans beaucoup de systèmes. Enfin, si par hasard le clapet retombait sur son siège sans raison apparente, on en est averti par la sortie de la vapeur à travers les cannelures que présente le guide C du piston.

Cet appareil est simple, suffisamment sensible, à cause du peu de frottement que présente le piston B, et est appelé à rendre des services. En tout cas, il répond bien au desideratum du règlement des générateurs.

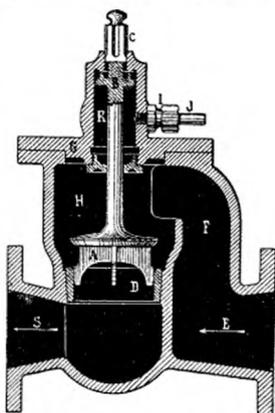


FIG. 57

La longue tuyauterie de vapeur des sucreries demande pour être bien aménagée non seulement un diamètre suffisant qui lui fait presque toujours défaut, mais encore de bons isolants comme le calorifuge Speenhoff (exposition Horsin-Déon, classe 50), autre point très négligé, et des purgeurs fréquents. Il serait utile d'avoir en chaque point où la tuyauterie fait siphon un purgeur automatique comme celui de M. Granjon (voir planche 9 et 10, 6<sup>e</sup> partie), ou celui de Cleuet (6<sup>e</sup> partie, p. 76), et l'on éviterait ainsi les coups de bélier qui rompent parfois la tuyauterie.

*Robinetterie.* — Mais nous voulons appeler l'attention particulièrement sur la robinetterie. Rien n'est moins étudié en effet que les soupapes de vapeur en usage en sucrerie, et comme l'Exposition nous en fournissait tous les spécimens variés, nous allons en dire quelques mots.

Sur une conduite droite on emploie trois sortes d'obturateurs : le robinet proprement dit, la vanne, et le robinet à soupape à brides parallèles, dit forme globe.

Dans les coudes on emploie divers modèles de soupape à brides d'équerre.

Or, si l'on considère tous les travaux qui ont été faits sur la tuyauterie en général, on sait avec quel soin tous les auteurs recommandent les coudes fortement arrondis, et les formules abondent pour calculer les pertes de charge provenant des angles. Les constructeurs, quand ils étudient un montage de machine, arrondissent les angles et évitent autant que possible les frottements de la vapeur dans tous les passages. Et puis, sur cette tuyauterie bien étudiée, on met des robinets tels qu'on les trouve dans le commerce, sans se demander si ils sont défectueux ou non.

Or les soupapes à brides d'équerre les plus usitées sont non seulement des coudes tout ce qu'il y a de plus droit, mais encore la vapeur y est écrasée contre les parois autour de la soupape.

La vapeur dans les soupapes *globe* fait deux coudes obtus et deux coudes aigus très courts, et est écrasée par la soupape.

Seuls les robinets proprement dits, et surtout les vannes, sont rationnels.

Enfin il existe une espèce de soupape à bride d'équerre qui est la pire de toutes, c'est la *soupape allemande*. C'est une soupape écrasée dans laquelle la vapeur n'a pas de place pour sortir, et, pour lui en donner, on a ménagé tout autour un espace annulaire qu'elle doit suivre pour pouvoir s'évacuer. En sorte que la vapeur, écrasée d'abord autour du clapet, est obligée de tourner sur elle-même dans l'espace annulaire, puis de revenir sur ses pas pour s'échapper par une ouverture aplatie elle-même et qui va en s'évasant pour reprendre la forme cylindrique!

Nous ne parlerions pas de ces soupapes, qui nous ont donné les plus grands tracés à l'étranger à cause des pertes de charge énormes qu'elles occasionnent

dans la pression de la vapeur, si les allemands n'en inondaient pas nos sucreries en les vendant très bon marché, et si nous n'avions pas remarqué une tendance aux constructeurs français d'adopter ce triste modèle, sans doute parce qu'ils supposent que tout ce qui vient d'Allemagne est le *nec plus ultra* du bien, tandis qu'en fait de mécanique c'est trop souvent le contraire.

Nous avons en effet vu à l'Exposition un constructeur de Lyon qui présentait un très grand assortiment de soupapes allemandes sorties de ses ateliers ! Nous ne saurions trop mettre les ingénieurs et constructeurs en garde contre l'emploi de ces engins essentiellement défectueux.

Selon nous, une conduite de vapeur bien faite ne doit présenter aucune soupape à clapet. Quelque commode que soit l'emploi d'une soupape à bride d'équerre pour faire un coude, on devrait les proscrire, et encore plus des soupapes à brides parallèles sur un tuyau droit.

Les coudes devraient être toujours arrondis et les interruptions faites par des robinets droits ou des vannes. On gagnerait ainsi une quantité de force vive dans la vapeur dont généralement on ne se rend pas compte.

Et si dans certains cas la soupape à bride d'équerre est inévitable, il faut alors faire usage d'une soupape dont la boîte soit volumineuse pour produire un ralentissement de vitesse momentané et éviter ainsi la perte due au coude droit.

Il faut que le clapet se lève haut pour éviter l'écrasement de la vapeur; il faut que la forme de la boîte soit étudiée pour que la vapeur trouve facilement sa direction sans se heurter contre des angles vifs.

Telles sont les qualités qu'il faut remplir une soupape.

Dans la 6<sup>e</sup> partie de cette publication, p. 318 et suivantes, se trouve décrite une série de ronets et de vannes de la maison Muller et Roger qui prouve que l'on peut facilement sortir des types ordinaires que la routine seule continue à faire employer, et la soupape de sûreté Dulac comme soupape à brides d'équerre est une des mieux étudiées qui existent.

Nous mentionnerons encore, comme type de soupape étudiée, celle que M. Legat a construite en vue de la suppression du presse-étoupe (fig. 58), le remplaçant par une membrane métallique extensible, d'où étanchéité parfaite, quelle que soit la vapeur qui circule dans l'appareil, eau ou alcool.

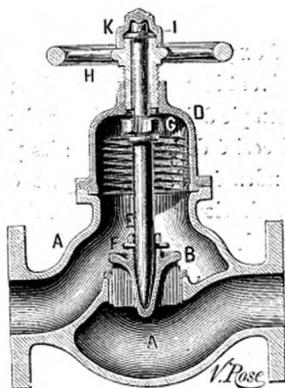


FIG. 58

Cette soupape, forme globe, présente quelques particularités intéressantes. La tige *e* de la soupape, au lieu de reposer sur la tête de la soupape, pénètre dans son axe qui est creusé jusqu'à la partie inférieure des ailettes. Il en résulte que, lorsque la tige *e* presse sur la soupape pour opérer sa fermeture étanche, ce n'est pas au-dessus de son centre de gravité, mais bien au-dessous qu'elle agit, faisant traction sur la soupape, et non poussée, d'où mise en place exacte sur le siège, quelle que soit la position horizontale ou verticale de l'appareil.

La tige *e* est mise en mouvement par un volant *h* portant une partie filetée. Elle entraîne avec elle la soupape au moyen d'un simple goupillage en *f*, qui n'empêche pas cette soupape de se mettre bien en place.

Le volant *h* appuie sur la tête de la tige au moyen d'un écrou *K* de forme spéciale, comme on voit sur le dessin. Enfin, la membrane *c* est serrée sur la tige entre une embase et un écrou *g* formant ainsi joint parfaitement étanche.

*Pompes.*— Les pompes en sucrerie doivent remplir certaines conditions spéciales suivant les usages auxquels on les emploie. Les pompes à sirop et mélasses par exemple doivent avoir des clapets d'aspiration qui se ferment facilement malgré la viscosité de la matière; les pompes à eaux ammoniacales, qui extraient les eaux condensées dans un espace où le vide est élevé, ont besoin de clapets légers à l'aspiration, et ces clapets doivent se soulever très peu pour être vite fermés. Les grandes courses sont indispensables dans ce dernier cas, pour faire équilibre au vide qui retient le clapet en sa place.

Toutes ces conditions variées forcent à avoir pour la sucrerie des pompes spéciales.

La *Compagnie de Fives-Lille* exposait avec un triple-effet déjà décrit, toute la série des pompes qui sont nécessaires à son service, pompes à jus, à eaux condensées et à sirop. Dans toutes ces pompes le jeu des clapets est automatique en sorte que leur poids n'entre pas en ligne de compte dans le fonctionnement. En général ce genre de pompe fonctionne fort bien pour la sucrerie. Nous en avons déjà parlé à propos des appareils d'évaporation, et d'ailleurs ces pompes ont figuré dans toutes les expositions antérieures.

La *Société de constructions mécaniques de Saint-Quentin*, ancienne maison *Lecoq et Villette* avait un modèle de pompes à vapeur jumelles système *Béduvé*. Les pompes à moteur direct sans volant du genre de celles-ci se répandent beaucoup en sucrerie à cause de leur facile emplacement. Il ne faut pas oublier en effet qu'une machine à vapeur de plus ou de moins dans ces fabriques

n'est pas une dépense comme combustible, puisque la vapeur d'échappement sert à l'évaporation des jus. C'est ce qui y explique le grand succès des pompes à action directe de toutes sortes, pompes Worthington et autres.

Aussi n'insisterons-nous pas davantage sur les pompes en sucrerie, car l'Exposition ne contenait pas de modèle spécial autres que ceux que nous avons cités.

---

## EXPOSITIONS DES SUCRERIES

(CLASSE 72)

Après avoir décrit les appareils de sucrerie, passons en revue les produits que les fabricants des différents pays exposaient.

### FRANCE

Dans la classe 72, 27 fabricants français ont montré les sucres que produisent leurs établissements. En France on fait en premier jet des sucres blancs dans la grande majorité des usines. Ces sucres qui, cependant, ont une richesse presque aussi grande que les raffinés 99,50 %, sont vendus pour la plupart aux raffineurs.

Cependant une certaine quantité de sacs vont à la consommation directe pour l'usage de l'épicerie, pour le sucrage des vendanges, pour la fabrication des sirops de pharmacie. Quelques sucreries font du grain extra, en gros grains, bleutés, et vendent ce sucre avec prime à la consommation directe, pour l'Angleterre surtout.

Les sucres de second et troisième jet vont à la raffinerie, et les mélasses sont vendues à la distillerie.

Pendant quelque temps la législation a permis l'osmose. Aujourd'hui on n'osmose plus les mélasses à cause des droits que le gouvernement a mis sur les sucres qui proviennent de ce travail.

Par contre quelques fabriques épurent leurs bas produits par le procédé Steffen au sucrate de chaux et les font rentrer dans le travail des jus de betteraves, en sorte que ces établissements ne font plus de mélasses.

Enfin un grand nombre de fabriques ont supprimé une partie importante de

leurs mélasses en faisant rentrer dans le travail leurs égouts riches du turbinage.

Il en résulte que la mélasse est un produit qui tend à disparaître, et si les frais d'installation des procédés en cours n'étaient si grands, on peut dire que la mélasse n'existerait plus du tout aujourd'hui. Mais, en présence de l'instabilité des lois sucrières, les fabricants hésitent à se lancer dans les dépenses. Aussi de nombreux chercheurs sont-ils en quête de procédés nouveaux moins coûteux.

*L'arrondissement de Cambrai* avait fait une exposition collective de ses fabriques et l'on y voyait tous les produits et sous produits du travail.

22 fabricants avaient concouru à cette petite exposition très complète et très intéressante.

*MM. Ménier, Silz et Lerouge, Stoclin, Vinchon*, les *sucrieries de Bourdon* avaient aussi montré leurs beaux sucres. *MM. Silz et Lerouge* exposaient en outre des raffinés produits en fabrique, et les sucrieries de Bourdon, si habilement administrées par M. Boire, l'un des membres du Jury de la classe 50, avaient en outre des alcools et des salins.

Nos sucrieries françaises sont les seules à posséder des *râperies*, ateliers d'extraction de jus placés au loin, dans les contrées productrices de la betterave, et qui renvoient leur jus par des pompes et des tuyaux à l'usine centrale où il est travaillé.

C'est ainsi que la sucrerie d'*Escaudœuvre*, qui exposait avec l'arrondissement de Cambrai, possède 13 batteries de diffusion qui lui permettent de travailler 300 millions de kilogrammes de betteraves et plus, soit autant que 13 sucrieries. C'est donc en France que se trouvent les plus grandes sucrieries du monde. Il faut cependant en exclure une seule plus grande encore, la sucrerie de Wanze, en Belgique, travaillant sur le même principe.

Mais le système de râperies, fort en vogue au moment où vivait son initiateur, M. Linard, n'est plus aussi apprécié aujourd'hui, et l'on en revient plutôt au système des fortes usines moyennes à deux ou trois batteries de diffusion au plus, alimentées par chemin de fer ou par eau.

En sorte que l'on préfère aujourd'hui former plusieurs fabriques dans ces dimensions que de ne construire qu'une seule fabrique monstre, dont la surveillance demande une attention considérable, et un personnel nombreux et dévoué.

C'est ainsi que la *Société de la sucrerie de Bourdon* possède quatre fabriques dans le Puy-de-Dôme, à Bourdon, Saint Beauzin, Chappes et Chagnat, formant une seule direction comme nous venons de le dire.

Rappelons que la classe 74 dont nous avons parlé précédemment, contenait aussi de nombreux spécimens des produits de nos sucrieries françaises.

Si nous nous reportons maintenant à la *Raffinerie*, nous trouvons aussi que

nos établissements français sont dans leur ensemble les plus importants du continent.

Comparée à sa production de 1878, elle a considérablement grandi dans ces dix années sous l'empire des lois changeantes qui la poussaient à faire grand pour avoir une importance en rapport avec celle du marché. Le fait est que la raffinerie française, réduite aujourd'hui pour ainsi dire aux raffineries parisiennes, disposent de moyens colossaux qui la rendent maîtresse du marché.

Il faut dire de suite que les produits de nos raffineries sont de premier ordre.

L'Exposition de la *Raffinerie Say* en fait foi. Outre les pains traditionnels, dont la marque est si recherchée, on voyait dans cette Exposition toutes les formes sous lesquelles la consommation demande le sucre, cassés, cubes, granulés etc.

La *Raffinerie Parisienne* avait aussi d'ailleurs de très beaux spécimens de sa production.

Enfin joignons à cela la belle Exposition de Candis de la maison *Cossé-Duval* de Nantes, dont les produits sont si recherchés pour la fabrication du Champagne.

Nous nous en tiendrons là pour l'Exposition des sucres Français, qui occupe une place si avantageuse dans la sucrerie européenne. Car si d'autres pays voisins produisent plus que la France, on peut dire sans crainte que les méthodes de fabrication et les produits français ne craignent pas leur rivalité.

## RUSSIE

L'Exposition sucrière Russe était beaucoup plus importante qu'aucune autre, non pas seulement à cause du nombre des exposants, mais aussi par l'originalité avec laquelle les sucres étaient présentés, et surtout par leurs qualités exceptionnelles.

En Russie le prix de revient de la fabrication est plus élevé que partout ailleurs en Europe, en sorte qu'on ne peut pas exporter. Si on le fait parfois, et dès lors à perte, c'est en vertu d'une convention entre fabricants, sous le nom de *Normirovka*, qui a pour but de ne pas conserver en Russie plus de sucre que la consommation ne demande, afin de maintenir les cours; les fabricants regagnent alors largement par la vente à prix élevé de leur norme, ce qu'ils perdent en exportant leurs excédents.

Le Russe ne consomme que le raffiné, encore faut-il qu'il ait une très grande dureté que n'ont pas les nôtres. En sorte que le raffineur est le seul acheteur du fabricant. Il en résulte que les raffineurs, faisant la loi dans ce pays, comme le raffineur la fait dans tous les autres, n'achètent que des sucres extra blancs qu'ils se contentent de fondre et de mettre en pains après une petite filtration sur noir.

Aussi beaucoup de raffineries se sont jointes à des sucreries groupées dans la même main.

Les fabricants de sucre sont presque toujours cultivateurs pour une grande partie de leur consommation, quelques-uns pour la totalité. Car il existe dans ce pays si fertile, d'immenses fortunes foncières, dont on n'a pas idée dans nos pays.

Certains propriétaires de quatre ou cinq grandes sucreries sont eux-mêmes propriétaires des terres qui les alimentent.

La plupart des sucreries ont deux batteries de diffusion, celles qui n'en ont qu'une sont en minorité. On en cite qui en ont trois. Ceci donne une idée de l'importance des usines.

Enfin toutes les sucreries sont groupées dans deux contrées principales, l'une dont Varsovie est le centre, l'autre qui s'étend dans les terres noires de Kieff et de Kharkoff, en descendant vers le Sud.

### Exposition de la maison J. G. KHARITONENKO et fils à Soumy

J.-G. Kharitonenko est un de ces grands propriétaires dont nous parlions plus haut.

Il possède cinq sucreries à Kianitsa, Parkhomovka, Krasnaja Iarouga, Nathalevka et Very, dans le gouvernement de Kharkoff, et il y a joint une raffinerie à Pawlowsk.

En 1889, il a cultivé 31 792 hectares de terre, dont 7 836 en betteraves, 3 860 en froment de diverses espèces, 3 115 en seigles, 3 412 en avoines, 600 en orge, 900 en millet, 600 en sarrazin, 3000 en prairies etc., 3200 étaient en fumaison.

La récolte rapporte environ pour 1 250 000 roubles de betteraves (!) travaillées dans les sucreries, 8000 roubles en semence de betteraves employées par les propriétés, et 20 à 25 000 roubles pour celles qui sont vendues à d'autres fabriques, 390 000 roubles de froment, seigle, avoine, vendus dans les ports du midi de la Russie, à Koenigsberg et aux moulins locaux, 160 000 roubles de froment, seigle, millet, sarrazin employés pour la nourriture du personnel et pour les semailles; 50 à 60 000 roubles d'orge et d'avoine consommés par les 5 500 animaux appartenant aux fermes, 110 000 roubles de foin pour le même usage, ce qui fait un rapport total de 2 354 000 roubles.

Il y a 1 400 ouvriers à poste fixe sur les fermes et usines, 21 000 s'occupant de

1.177 à 200 000 tonnes de betteraves, ce qui fait environ 25 000 kilogrammes à l'hectare et met la betterave à 7 roubles environ, soit 18 à 19 francs les 1 000 kilogrammes.

la culture pendant un ou deux mois, 7 500 employés au moment de la rentrée des récoltes et le battage pendant 4 mois, avec 800 chariots. 12 000 chariots fonctionnent au moment de l'arrachage et l'ensilage des betteraves.

Telles sont les forces vives employées par cette immense exploitation qui est gérée d'ailleurs avec une grande intelligence par son propriétaire et par son fils. Ces Messieurs ont bien voulu nous donner les renseignements qui précèdent et nous les en remercions.

MM. Kharitonenko ont exposé une vitrine à double face. D'un côté se trouvaient les produits des fermes, blés et semences diverses. De l'autre on voyait les sucres produits par les différentes fabriques.

Ce qui distingue à première vue le raffiné russe des autres, c'est la texture des pains qui se présentent sous la forme d'une masse homogène à cassure translucide. Leur blancheur est relevée par un bleutage très accentué, en sorte que ces sucres se présentent sous un très bel aspect.

Le sucre en grain des fabriques ne laisse rien à désirer au point de vue de la qualité. En effet comme les sucres jaunes ne sont pas vendables, on les refond dans les jus après la carbonatation, quelques fois avant la seconde, quelques fois dans les sirops avant la filtration. Il en résulte que le coefficient de pureté des masses cuites est relevé, et celles-ci sont très belles. D'ailleurs le travail des centrifuges est très soigné, le clairçage à la vapeur poussé très loin, ce qui fait que le sucre sort des turbines en masses compactes que l'on est obligé de casser pour l'en extraire. Le travail des greniers est lui-même surveillé avec beaucoup de soin, le sucre est rafraîchi dans de grands cylindres horizontaux tournant lentement, avec courant d'air au centre, avant d'être étendu sur le sol puis mis en tonneaux ou en sacs. De sorte que les beaux spécimens de sucre en grains exposés par MM. Kharitonenko représentaient bien exactement le sucre ordinaire des fabriques russes.

Ajoutons enfin que dans ces sucreries le personnel technique est nombreux, les laboratoires sont particulièrement bien montés, et que tout le travail est suivi avec autant de méthode et de précision que dans tout autre pays quelconque. Telle est cette exposition qui méritait une mention spéciale tant pour les produits exposés eux-mêmes, que pour l'importance exceptionnelle des travaux qu'elle représentait.

### Exposition de la Raffinerie de Kiew

Une autre exposition qui se présentait sous un fort bon aspect était celle de la raffinerie de Kiew, dont les sucres sont de première marque en Russie. Ce bel établissement qui fut créé en 1868 fut reconstruit complètement en 1874 à la suite d'un incendie.

Le matériel sort entièrement des ateliers de la Maison E. et J. Halot de Bruxelles, et est des mieux compris. C'est en réalité une raffinerie modèle, franco-belge, transplantée sur les bords du Dnieper.

Voici quelques détails intéressants sur cet établissement et qui prouvent que certaines Sociétés industrielles en Russie ne sont pas plus en retard que les nôtres sous bien des rapports.

La Raffinerie de Kiew, Société anonyme, dont le capital actuel est de 2 200 000 roubles, a coûté au total tant pour les constructeurs que pour le matériel 1 332 000 roubles. Elle travaille annuellement 1 200 000 pouds de sucre, soit environ 20 millions de kilogrammes de sucre-sable. Elle a une force motrice de 1480 chevaux et emploie 600 hommes et 80 femmes.

Dans l'enceinte de la raffinerie se trouve une école et deux hôpitaux.

L'école est gratuite et ses 120 élèves des deux sexes sont pour la plupart des enfants d'ouvriers de la raffinerie. Elle comprend deux classes, une élémentaire et l'autre plus élevée. Ces classes, selon la loi russe, ont dû être autorisées par le gouvernement.

L'un des hôpitaux est de 30 lits. Un officier de santé y séjourne continuellement, et un médecin y passe chaque jour la visite.

Le second hôpital est tout à fait isolé, et ne sert qu'en cas d'épidémie.

Enfin, la Société a fondé une caisse de secours et d'épargne pour les employés et une autre pour les ouvriers. Pour les deux caisses la Société prélève sur ses propres bénéfices certaines sommes, lorsque l'année est bonne, et nous pouvons dire que le cas s'est présenté souvent. Ces caisses sont également alimentées par les retenues faites aux participants, et par les versements faits par les ouvriers qui touchent dans ce cas un intérêt annuel de 5 %.

On peut voir ainsi que la philanthropie est fort bien entendue dans cet établissement modèle, et nous sommes heureux de donner ces détails que nous tenons de l'habile Directeur de la Raffinerie M. Lœuvé.

L'Exposition de la Raffinerie de Kieff comprenait une vitrine au milieu de laquelle se détachaient coquettement pains de sucre et morceaux contenus dans des coupes de cristal.

Nous trouvions encore dans la section Russe, l'Exposition de la *Sucrerie de Mariensky* près de Goroditche, autre établissement créé sur les modèles de la Maison Cail par la Maison Halot de Bruxelles, très belle sucrerie dont les plans figuraient dans la vitrine avec les beaux sucres qu'elle produit.

Les sucreries et raffineries de *Lebedin* à Spola, de *Gorodok*, d'*Hermanow*, de *Tchoupakovka*, de *Gorodnistche*, de *Tavolgeansk* dans le Gouvernement de Kieff, de Kharkoff et de Koursk, les sucreries de *Hermanon*, de *Konstancja* dans le gouvernement de Varsovie avaient exposé également des produits très remarquables, sucres en grains, en pains et sucres cassés.

En résumé la section Russe était des plus remarquables, et semblait tenir à honneur de montrer aux industries similaires des autres pays qu'elle n'a rien à leur envier.

### PAYS DIVERS

D'ailleurs les autres pays producteurs de sucre de betterave s'étaient pour ainsi dire abstenus.

La BELGIQUE était représentée par les sucres de la Raffinerie Tirlemontaise, et par l'Exposition collective de quatre raffineurs d'Anvers et de Gand.

Les PAYS-BAS montraient les produits des sucreries de MM. de *Bout et Leyten* d'Amsterdam et de la sucrerie de M. A. *Van Rossum* à Houtryle.

Enfin, la SERBIE avait deux exposants MM. *Michel Dimitich et Pierre M. Yovanovitch* qui avaient tenu à honneur de montrer à Paris que l'industrie sucrière existe aussi dans leur contrée trop peu connue.

Telle est l'Exposition sucrière de betterave telle qu'elle était représentée en 1889, fort intéressante, fort complète non par le nombre mais par la qualité des objets qu'elle nous montrait.

### SUCRERIE DE CANNE

La *sucrerie de Canne* d'autre part nous faisait voir une foule d'échantillons de toute provenance sur lesquels nous nous arrêterons peu, car beaucoup montraient combien cette industrie est en retard sur sa cadette Européenne.

Mentionnons cependant les beaux sucres en grain un peu ambrés exposés par la *Dairah Sanieh* de S. A. le Khédive d'Egypte. N'oublions pas que la plupart des Sucreries d'Egypte sont du matériel Français.

Dans les *Colonies françaises* on trouvait aussi quelques beaux produits, *La Réunion* comptait 15 exposants. *Mayotte et Comore* 2, *Tahiti* 1, sans compter les sous-produits, le rhum et le tafia qui accompagnaient les sucres. Inutile d'insister, en citant seulement *République Argentine* 15 exposants, *République dominicaine* 5, *Guatemala* 17, *Colonies portugaises* 5, *Espagne* 2, *Chili, Équateur, Hawaï*, etc.

Une mention spéciale est due aux *Etats-Unis* d'Amérique qui exposaient des sucres de *Sorgho* qui prennent au Kansas une importance de plus en plus grande. Citons l'Exposition spéciale de M. le D<sup>r</sup> *Wiley* qui étudie aux Etats-Unis les questions de diffusion de la canne et du sorgho, et tout ce qui a rapport au sucre dans ces contrées. Il montrait, outre une collection de sucres et de leurs dérivés également du *sucre d'Erable*. Ces tentatives de recherche dans

l'acclimatation et l'exploitation de plantes saccharifères autres que la betterave et la canne sont fort intéressantes dans les pays où l'on ne peut faire pousser ni l'une ni l'autre de ces plantes.

## CONCLUSION

Nous terminons ainsi la Revue de l'Exposition sucrière de 1889.

Nous constatons avec plaisir que la Sucrerie de betterave a fait quelques progrès depuis 1878, progrès réalisant une plus grande extraction de sucre de betteraves plus riches. Les pertes de fabrication ont diminué par l'emploi de la diffusion, du lavage des écumes dans les filtres-presses usité partout maintenant, par la suppression du noir animal, toutes choses qui n'étaient qu'à leur aurore il y a onze ans.

Aujourd'hui on cherche la suppression totale des mélasses et l'extraction totale du sucre de la racine sous forme de sucre de premier jet. Nous ne doutons pas qu'on y arrive promptement. Nous verrons cela assurément à l'Exposition de 1900. Espérons qu'alors d'autres surprises nous seront ménagées.

Le matériel a peu changé. La diffusion s'est améliorée, l'évaporation, sous l'inspiration de M. Rillieux, se fait dans des conditions beaucoup meilleures, les turbines se sont accommodées à un service plus régulier. Mais l'ensemble des fabriques est resté le même.

Nous croyons qu'il se modifiera d'avantage dans les dix années qui vont suivre et que le travail continu prendra de l'extension. Ce serait selon nous un grand progrès dans la fabrication du sucre qui occupe une si grande place dans l'industrie du monde entier.

Enfin, remarquons que la législation tient une telle place dans le progrès de la sucrerie, que nous souhaitons en terminant que les gouvernants apportent tous leurs soins à soutenir, par la stabilité de lois justes, les efforts des fabricants.

---

**MONOGRAPHIE**

DU

**GRAISSAGE DES MACHINES**

ET DU

**Matériel roulant des Chemins de fer**

PAR

**Et. VERNY**

---

**INTRODUCTION**

Quelle est l'importance du graissage en mécanique ?

Par la multiplicité des appareils de graissage exposés en 1889 on a pu juger quelle importance attachaient de plus en plus les ingénieurs, les constructeurs et les industriels au parfait graissage des machines. Les machines mal graissées sont de ce fait en peu de temps complètement dépréciées. Le graissage est en effet la condition essentielle de leur durée et de leur conservation indéfinies, puisque lorsqu'il ne fait jamais défaut en quantité et en qualité, les organes d'une machine, grâce au lubrifiant interposé ne s'usent rigoureusement pas. Il est la condition essentielle de leur rendement en quantité et en qualité ; en quantité, puisque la force motrice absorbée par une machine varie du simple au double au-delà même, suivant qu'elle est bien ou mal graissée ; en qualité puisque faute de graissage les machines perdent leur précision et que du bon ou du mauvais état où elles se trouvent dépend le bon ou le mauvais travail qu'elles produisent.

Enfin le graissage pèse d'un poids considérable dans les frais généraux d'une fabrication, au point de changer complètement les prix de revient. Outre le ren-

dement en quantité et en qualité des machines, les frais du combustible employé comme force motrice, les frais de main-d'œuvre et d'entretien, les frais d'amortissement des usines, peuvent suivant le bon ou le mauvais graissage, la bonne ou la mauvaise hygiène des machines, si nous pouvons parler ainsi, réduire au minimum ou varier jusqu'à les doubler les frais généraux de fabrication ; on conçoit que les prix de revient eux-mêmes dans lesquels ces frais entrent pour une part considérable pour le quart ou le tiers ordinairement, dépendent en grande partie de la solution plus ou moins parfaite que chaque concurrent industriel ou que le constructeur de ces machines a su donner à ce problème.

Le problème du graissage est donc d'une importance capitale. Quant à la manière de le résoudre nous ne croyons pas qu'on puisse la trouver en dehors de la méthode nouvelle basée sur le principe de *la circulation surabondante d'huile toujours pure autour des tourillons*, méthode qui se trouve exposée et développée dans cette monographie ; nous disons de la méthode nouvelle, et si le caractère de nouveauté pouvait être contesté à cette méthode, malgré l'absence dans le domaine public d'appareils construits sur le principe qui lui sert de base, parce qu'elle est tellement rationnelle qu'à sa réalisation sciemment ou inconsciemment, tous les efforts dans la voie de l'amélioration des anciens procédés, ont dû forcément tendre ; tout au moins ce sont bien à des appareils et à des moyens nouveaux auxquels il a fallu avoir recours pour l'appliquer, pour généraliser cette application à tous les cas usuels de la mécanique courante, pour l'étendre même à plusieurs où les difficultés de graissage n'avaient pu être surmontées.

Le plan de ce traité est de ne donner la description des appareils qui réalisent cette méthode et qui embrassent les machines industrielles de toutes catégories, les machines à vapeur et le matériel roulant des chemins de fer, qu'après une exposition préalable et une analyse approfondie de ce qu'est le frottement en mécanique et de ce qu'est le graissage, de ce que sont les lubrifiants et la manière de les appliquer. On verra ensuite par quelle méthode dynamométrique on obtient de titrer exactement ces lubrifiants et de déterminer la vraie valeur commerciale des huiles de graissage grâce au dynamomètre de rotation, dû à M. Leneveu, d'une remarquable sensibilité qui a été appliquée à ces essais. Cette mesure dynamométrique directe du coefficient de résistance de chaque huile suivant son pouvoir lubrifiant, a été étendue à la recherche de ce que vaut un système ou un appareil de graissage, à ce que tel ou tel métal, tel ou tel alliage employé comme coussinet peut faire économiser de force motrice, suivant l'adhérence des divers huiles pour ces métaux ou suivant la compressibilité de ces métaux.

Enfin un chapitre tout spécial est consacré, à cause des économies extraordinaires que son amélioration fait réaliser, au graissage des fusées de wagons et des cylindres de machines locomotives des chemins de fer.

Le principe de graissage énoncé plus haut est celui du graissage théoriquement parfait, car on ne peut imaginer au-delà de la surabondance d'alimentation et d'interposition du lubrifiant entre les surfaces, unie à la pureté toujours égale de ce lubrifiant. Quant aux moyens de l'appliquer ils consistent surtout dans l'emploi de la grenaille sous les deux formes, de grenaille de plomb à grains ronds dans certains cas, de grenaille de plombagine filtrante à grains plats dans d'autres cas, cette grenaille au travers de laquelle l'huile circule résolvant la triple difficulté restée jusqu'ici sans solution, de rendre facilement réglables les appareils graisseurs même pour les débits les plus invraisemblablement petits de une goutte par exemple en vingt-quatre heures, d'assurer la régularité et la continuité indéfinies de ces débits malgré les poussières les plus intenses répandues dans l'air ambiant, enfin de purifier automatiquement l'huile circulant indéfiniment autour des tourillons, soit que la purification ait lieu dans les organes de machines eux-mêmes, soit qu'elle s'effectue dans un filtre à part hors de ces organes.

L'emploi de la grenaille quelque poussière qui soit dans l'air pour l'encrasser ne peut faire craindre un mauvais fonctionnement des appareils dans un avenir aussi éloigné qu'on le suppose, puisque par le remplacement de cette grenaille on est assuré de les voir donner indéfiniment de parfaits résultats; or ce remplacement ne s'effectue que très rarement et seulement à des intervalles de plusieurs années pour les industries elles-mêmes qui développent le plus de poussières. Ce remplacement représente d'ailleurs une dépense insignifiante de 1 à 2 centimes seulement par appareil; on pourrait-même l'éviter en augmentant la dimension ordinaire des appareils, attendu que la lenteur d'encrassement dépend du rapport qui existe entre la surface de la grenaille et la section de l'orifice de débit; ce rapport pouvant être indéfiniment augmenté, la durée de service de la même grenaille pourrait l'être également.

Quant à la sécurité de fonctionnement elle est tout à fait complète, les arrêts brusques ou fréquents étant impossibles avec la grenaille puisque son encrassement ne se produit qu'avec une extrême lenteur.

Enfin de ce que la grenaille opère le graissage sans aucune surveillance sans aucun soin des appareils, ces appareils sont pratiques. Cette praticabilité qui est en mécanique la pierre d'achoppement des machines ou des procédés les plus irréprochables, les plus parfaits en théorie, est d'autant plus essentielle, que les appareils dont il s'agit s'emploient en plus grand nombre dans une usine, or le graissage est sans contredit ce qu'offre de plus général le domaine lui-même de la mécanique générale, les organes à graisser étant innombrables; il s'ensuit que cette qualité d'être pratiques, les appareils graisseurs doivent la posséder pleinement et sans restriction.

---

## I. — Analyse du phénomène du graissage

### NATURE ET CAUSE DU FROTTEMENT EN MECANIQUE

D'après les lois d'inertie énoncées pour la première fois par Kepler, un point matériel en mouvement, si aucune cause n'agit sur lui, conserve indéfiniment un mouvement uniforme rectiligne.

De même, si l'on supposait un des points d'une jante de roue roulant sur un plan rectiligne ou curviligne, ou bien un des points d'un tourillon animé d'un mouvement circulaire autour de son axe, ces points, abstraction faite de la pesanteur et de la forme des organes qui agissent sur eux, resteraient indéfiniment et uniformément animés de leur mouvement initial de translation dans l'espace.

Par contre, cette loi d'inertie est contrariée d'autant plus que le mouvement d'un point est, par une cause agissant sur lui, plus fortement et un plus grand nombre de fois dans le même espace de temps dévié de sa direction initiale uniforme et rectiligne.

Le mouvement d'un tourillon dans un coussinet est un mouvement de roulement; le tourillon tend en effet à rouler exactement comme la jante d'une roue de voiture roule sur une route, un bandage de chemin de fer sur des rails; mais par la forme du coussinet qui convertit le mouvement de roulement en mouvement de glissement, le mouvement initial étant constamment dévié, il y a résistance à la loi d'inertie. Cette résistance est pour un poids ou une pression donnés, directement proportionnelle au nombre de tours et au diamètre du tourillon; ou pour un nombre de tours donné directement proportionnelle au poids et au diamètre du tourillon.

D'où cette règle en mécanique, que l'effort perdu est d'autant moindre pour les tourillons que leur diamètre est plus petit.

Il s'ensuit la nécessité d'employer les matériaux les plus résistants afin de pouvoir diminuer le diamètre des tourillons; on le diminue le plus possible sans toutefois compromettre leur solidité, eu égard à la charge qu'ils doivent porter.

On allonge d'autre part autant qu'on le peut la longueur de ces tourillons pour faciliter, ainsi que nous l'expliquons plus loin, le graissage.

De la même manière et pour la même raison, la forme des roues dévie constamment les bandages de leur direction initiale qui est rectiligne et horizontale, pour rendre successivement tous les points de la génératrice tangents au rail, la résistance à la loi d'inertie est pour un poids ou une pression donnée directement proportionnelle au nombre de tours et inversement proportionnelle au

diamètre des roues; ou bien pour un nombre de tours donné, proportionnelle inversement au diamètre des roues et directement au poids ou à la pression.

D'où cette règle en mécanique que l'effort perdu est d'autant moindre pour les véhicules roulants, que le diamètre des roues est plus grand.

Dans ces deux cas, du mouvement d'un tourillon dans ses coussinets et du mouvement d'une roue sur des rails, et pour toutes les formes du reste de mouvement en mécanique, attendu que ces mouvements s'opèrent et se transmettent toujours au moyen d'organes soumis à la loi d'inertie, cet effort perdu, cette résistance qui sont plus ou moins grands suivant que la forme du mouvement met plus ou moins d'obstacle à la loi d'inertie, se traduisent par une pression des surfaces animées, l'une par rapport à l'autre d'un mouvement de translation; cet effort perdu, cette résistance constituent le *frottement*.

Le frottement est faible lorsqu'il s'agit d'un glissement ayant lieu dans le même plan et toujours dans le même sens, parce que la loi d'inertie n'est que faiblement contrariée; il est plus considérable pour le mouvement des tourillons et des roues d'essieu dans lesquels le mouvement initial est constamment dévié mais uniformément; il est maximum pour les mouvements alternatifs brusquement interrompus.

Pour les mouvements de roulements il faut de l'adhérence entre la roue et le sol ou entre le bandage et le rail; le poli des surfaces et leur dureté (autant qu'ils ne nuisent pas à cette adhérence) sont la seule manière d'atténuer le frottement. Pour les mouvements de glissement des tourillons dans les coussinets, nous allons étudier le rôle des lubrifiants.

*Définition du frottement.* — D'après ce qui précède on peut définir le frottement indépendamment de la cause qui le produit: la résistance qu'offrent deux surfaces pressées l'une contre l'autre et animées d'un mouvement de translation l'une par rapport à l'autre.

D'après la forme du mouvement, le frottement est ou bien un glissement, ou bien un roulement, ou bien encore un roulement accompagné de glissement.

*Définition du frottement de glissement.* — Le frottement de glissement est la résistance de deux surfaces pressées l'une contre l'autre et animées d'un mouvement de translation dans des conditions telles que les deux surfaces restent toujours, l'une par rapport à l'autre, dans le même plan curviligne ou rectiligne.

Tels les mouvements de glissières, d'excentriques, poulies folles, etc.

*Définition du frottement de roulement.* — Le frottement de roulement est la résistance de deux surfaces pressées l'une contre l'autre et animées d'un mouvement de translation dans des conditions telles que les surfaces ou l'une des surfaces change constamment, l'une par rapport à l'autre de plan curviligne

ou rectiligne. Tels les mouvements des roues de voiture, de chemin de fer, etc.

Comme nous l'avons dit, le mouvement d'un tourillon dans un coussinet est un mouvement de roulement obligé de s'effectuer sur lui-même, et converti ainsi en glissement.

*Des lubrifiants.* — La résistance de frottement varie avec la nature des surfaces frottantes. Chaque corps a son coefficient de frottement.

*A priori*, la résistance de deux corps solides, frottant l'un contre l'autre, est plus grande que celle d'un solide et d'un liquide, celle-ci plus grande que celle de deux liquides, celle-ci plus grande enfin que celle de deux corps gazeux.

Qu'est-ce qu'un lubrifiant ?

Un lubrifiant est un corps interposé, plus doux, plus onctueux que les surfaces frottantes, susceptible de se substituer à ces surfaces, de s'user à leur lieu et place, et de se renouveler au fur et à mesure de cette usure.

La propriété de douceur des lubrifiants se nomme onctuosité; il doit être homogène pour qu'il y ait à la fois interposition entre les surfaces et renouvellement à un degré suffisant de fluidité.

Chaque lubrifiant a un degré ou coefficient d'onctuosité qui lui est propre; il a aussi une certaine capacité onctueuse, c'est-à-dire la propriété, à un degré qui lui est propre, de garder plus ou moins longtemps son onctuosité quand on l'interpose entre deux surfaces frottantes.

Le produit de ces deux quantités constitue le *pouvoir lubrifiant* des corps onctueux.

Le pouvoir lubrifiant des corps onctueux se mesure à l'aide des dynamomètres, leur fluidité à l'aide des fluidimètres ou ixomètres.

*Le rôle du lubrifiant est de supporter toute l'usure due au frottement, au lieu et place des surfaces.* — Puisque l'huile dans le graissage se substitue aux surfaces, elle subit l'écrasement dû au frottement: si elle ne fait pas défaut, elle supporte tout entière l'usure que subiraient les surfaces. Voilà pourquoi, quand le lubrifiant ne manque jamais, ni en quantité ni en qualité aux machines, même après dix, vingt ans et plus de service, qu'elles qu'aient été les pressions ou vitesses, on les retrouve absolument sans usure; voilà pourquoi d'un autre côté, le lubrifiant s'usant, se dénaturant constamment, et de plus en plus, son renouvellement constant s'impose comme une nécessité absolue.

Que devient l'huile usée, laminée par le frottement ?

Elle perd peu à peu de son pouvoir lubrifiant: c'est-à-dire son onctuosité, sa capacité onctueuse et sa fluidité; celles-ci, non seulement disparaissent, si l'on pousse le service d'une huile au delà d'une certaine limite, mais encore les propriétés opposées se substituent à l'onctuosité et à la fluidité; l'huile devient épaisse et siccativ; les surfaces finissent par se roder et par se gripper.

Enfin, comme une élévation de température correspond toujours à un travail résistant, à cette usure de l'huile correspond un échauffement combattu ordinairement, par le refroidissement de la masse du palier par l'air ambiant.

Un échauffement de surfaces frottantes témoigne toujours d'un manque de graissage, on peut toujours l'éviter, quelle que soit la charge ou la vitesse, en appliquant à ces surfaces toutes les conditions requises pour un parfait graissage.

Quelles sont les règles à suivre pour appliquer les lubrifiants ?

Est-ce la qualité, est-ce la quantité qui doit être recherchée de préférence pour un parfait graissage ?

Quelle influence a le degré de poli des surfaces, quelle influence a leur étendue sur la résistance de frottement ?

*L'épaisseur de la couche de lubrifiant entre les surfaces peut suppléer à sa qualité.* — Nous répondons que la quantité de lubrifiant, c'est-à-dire son épaisseur entre les surfaces suppléerait à sa qualité, au manque de poli des surfaces, à leur manque d'étendue, s'il était possible de rendre cette épaisseur assez grande.

C'est ainsi qu'un bateau par exemple glisse avec le minimum de résistance sur l'eau sur la surface de laquelle il flotte; le mouvoir sur de l'huile ne diminuerait que fort peu cette résistance. Un train de chemin de fer, glissant sur l'eau interposée entre les patins et les rails (les chemins de fer glissant ont fonctionné comme expérience à l'Exposition de 1889), n'offrirait pas une résistance beaucoup moindre si l'on remplaçait l'eau par de l'huile.

Comme exemple particulièrement intéressant, nous connaissons des tourillons de défibreurs supportant chacun un effort de plus de 100 chevaux et tournant sur de l'eau; celle-ci, sous l'énorme pression de 500 mètres de chute, est amenée par un tube sous le tourillon qu'elle maintient soulevé; de sorte que la rotation a lieu sur l'eau avec une résistance très faible de frottement; cette résistance ne serait pas sensiblement moindre si à la nappe d'eau on substituait une nappe d'huile.

C'est que, une épaisseur considérable de lubrifiant entre les surfaces, s'il est possible de l'obtenir, change les conditions du phénomène. Il y a glissement, non plus comme pour le cas d'une couche infiniment mince de lubrifiant de la surface du tourillon avec cette couche d'une part de la surface du coussinet avec cette même couche d'autre part, le degré de poli des surfaces métalliques se faisant ici sentir, et étant un facteur important dans la résistance de frottement, mais il y a glissement du tourillon sur une première couche d'huile, de cette première couche sur une seconde, de cette seconde sur une troisième, et ainsi de suite, jusqu'au coussinet, de sorte que la nappe de lubrifiant se trouvant assez épaisse, et quelle que soit la qualité de cette nappe liquide, le frot-

tement serait insignifiant, même si les surfaces offraient de grandes aspérités.

On le voit, le degré des polis des surfaces n'est facteur dans le phénomène du graissage que parce qu'il n'est pas possible d'augmenter assez la couche de lubrifiant interposée; mais, en réalité, il y a dans la pratique une très grande importance, parce qu'on ne peut obtenir qu'une couche extrêmement mince de lubrifiant entre les surfaces fortement chargées.

Au reste, le mouvement de ces surfaces elles-mêmes arrive tôt ou tard à les polir autant que le comportent les métaux dont elles sont formées, mais au prix de quelle dépense de force motrice et d'huile, et en exposant à combien d'accidents! Il n'est pas rare en effet qu'un manque d'ajustage, ou la mauvaise qualité des métaux, rende difficile la mise en marche d'un tourillon soumis à une forte charge, et quelquefois impossible sa marche normale sans échauffement ni usure, jusqu'à occasionner même des grippages et la nécessité d'un remplacement.

Quand on ne peut obtenir la quantité de lubrifiant, outre les surfaces flottantes, on doit suppléer par la qualité à ce manque de quantité.

*L'épaisseur de la couche de lubrifiant peut suppléer au manque d'étendue des surfaces.* — Pourvu que la veine liquide, supportant la charge et l'usure, soit renouvelée surabondamment, l'épaisseur de cette veine liquide suppléerait à son peu d'étendue en surface; mais, comme la difficulté est, pour les lourdes charges, d'obtenir une interposition d'huile suffisante une couche suffisamment épaisse entre les surfaces, cette difficulté d'interposition est d'autant moindre, la couche interposée d'autant plus épaisse, et le graissage d'autant plus facile et d'autant meilleur que cette charge est répartie sur un plus grand nombre de centimètres carrés.

Nous avons vu qu'il faut restreindre le plus possible le diamètre des tourillons en vue d'économiser la résistance; pour concilier l'emploi des faibles diamètres afin de diminuer la résistance et la nécessité des grandes surfaces afin de faciliter le graissage, on recourt à l'emploi des métaux les plus durs, en adoptant le diamètre suffisant suivant la charge que doivent supporter les tourillons et en augmentant le plus qu'il est possible la longueur de ces tourillons.

*Difficulté d'interposition de l'huile propriété de certaines huiles et des métaux mous antifriction d'adhérer davantage.* — Chaque métal a une structure grenue susceptible d'un degré de poli plus ou moins grand, mais chacun a en outre un pouvoir d'adhérence plus ou moins grand pour l'huile et pour chaque variété d'huile en particulier; chaque huile, de son côté, a son pouvoir d'adhérence particulier.

La viscosité des huiles est loin d'être la propriété d'adhérence dont il s'agit

ici ; ordinairement les huiles les plus adhérentes sont en même temps les plus fluides ; les huiles d'olives, de colza, par exemple, malgré leur fluidité, jouissent plus que les autres de cette propriété d'adhérer aux métaux frottant sous une lourde charge. Chaque variété d'huile conserve en outre plus ou moins son pouvoir d'adhérence quand on élève la température.

La difficulté la plus grave du graissage étant l'interposition surabondante, le choix des métaux et des huiles ayant le plus d'adhérence les uns pour les autres a une très grande importance.

Les métaux mous, antifriction, mélange d'étain, de cuivre et d'antimoine, ont la double propriété de donner des surfaces d'un poli remarquable à cause de leur compressibilité, ainsi que nous l'expliquons plus loin, et de forcer par adhérence (avec les huiles végétales surtout) une nappe plus importante d'huile à s'interposer.

Il résulte de ces deux propriétés que l'emploi des antifrictions procure un avantage au point de vue de l'économie d'usure, de force motrice et de consommation d'huile.

Pour les essieux de wagons de chemin de fer le choix des métaux et des huiles les plus adhérents a une extrême importance à cause de la très grande difficulté d'interposition de l'huile entre les surfaces. En effet, l'huile amenée sous la fusée par le tampon graisseur tend à retomber, par son propre poids, au lieu d'être entraînée. Plus l'huile est adhérente et fluide et plus abondamment elle s'insinue entre les surfaces fortement chargées du coussinet et de la fusée ; une huile épaisse et visqueuse non seulement est aspirée avec difficulté par le tampon, mais une fois sur la fusée la pression du coussinet s'oppose à son interposition en raison même de sa viscosité.

*Préjudice causé aux machines par les poussières.* — Les poussières qui atteignent constamment les mille organes des machines sont, après le défaut de graissage, une des causes de leur détérioration.

Mélangées à l'huile, elles l'empêchent de remplir un rôle qui est de préserver les surfaces frottantes de l'usure, de sorte que le graissage n'est plus une lubrification, il devient un rodage lent et incessant, déterminant, en peu de temps, du jeu dans tous les organes, la dépréciation des machines, une grande perte de force motrice et une consommation beaucoup plus grande de lubrifiant, à tel point qu'il servirait à peu de chose d'avoir obtenu que l'huile ne manquât jamais aux machines, si, par sa qualité altérée par les poussières ou autres impuretés, toutes les conséquences du défaut de graissage étaient encourues.

Préserver les surfaces de tout contact des poussières est donc une condition du problème aussi importante que le problème lui-même : obtenir une circulation et une interposition surabondantes de lubrifiant. Nous verrons comment cette condition peut être remplie.

## II. — Graissage des tourillons

*Circulation surabondante d'huile toujours pure.* — On ne saurait viser à alimenter le tourillon d'un palier de la quantité d'huile seule nécessaire, en laissant l'usure, la dénaturation de cette quantité s'effectuer jusqu'à épuisement; la perte de force motrice, l'usure des machines sont les conséquences de ce manque de quantité et de qualité du lubrifiant.

Pour obtenir à la fois cette qualité et cette quantité, il faut pour le graissage d'un tourillon :

- 1° L'alimentation surabondante de ce tourillon ;
- 2° La circulation et l'interposition surabondantes de l'huile entre les surfaces du tourillon et du coussinet ;
- 3° Son évacuation sans perte hors des paliers et sa récupération ;
- 4° Sa purification dans le palier lui-même ou hors du palier ;
- 5° Enfin la préservation des surfaces frottantes de tout contact des poussières extérieures.

Réaliser les cinq conditions, c'est appliquer la méthode du graissage par « circulation surabondante d'huile toujours pure ».

*Alimentation surabondante des tourillons.* — On doit éviter pour remonter l'huile indéfiniment aux tourillons, tout procédé qui tend à agiter, à battre l'huile; ce battage a pour résultat avec les huiles végétales ou animales, de les épaissir, de les acidifier et de les dénaturer très promptement, avec les huiles minérales, de les décomposer sous l'action de l'air et de les évaporer.

Beaucoup d'artifices ont été imaginés pour remonter l'huile aux tourillons; les anneaux, les chafnettes, les mèches métalliques, les roulettes, l'aspiration pneumatique, etc.

Satisfont-ils à cette condition essentielle de ne pas agiter l'huile? Les mèches en laine ou en coton et aux engins appliquant l'aspiration par capillarité, n'ont-ils pas le défaut de s'encrasser et de perdre leur pouvoir capillaire, de plus en plus et dès le premier jour de leur fonctionnement, cet encrassement étant la conséquence du vice même de la méthode de circulation indéfinie sans purification?

Tous les efforts se sont portés jusqu'ici dans la voie de cette solution du côté de l'alimentation indéfinie des tourillons et encore n'ont-ils abouti qu'à des résultats très imparfaits.

Quant à l'interposition surabondante de l'huile entre les surfaces, quant à son évacuation, à sa récupération, quant à sa purification automatique, quant à la préservation des surfaces du contact des poussières, tout ou presque tout restait à faire pour réaliser ces conditions essentielles du graissage rationnel.

Nous avons adopté pour l'alimentation surabondante des tourillons dans les paliers, soit des godets d'huile en charge à débit réglable à volonté, soit des mèches et tampons capillaires, mais en les préservant les uns et les autres de tout encrassement de manière à assurer indéfiniment leur fonctionnement et l'alimentation surabondante (voir plus loin description des paliers à grenaille séries A et B).

*Interposition surabondante de l'huile entre les surfaces du tourillon et du coussinet.*(1) — Pour bien graisser, en vain aurait-on obtenu qu'une grande quantité d'huile alimentât surabondamment un tourillon, si cette huile s'écoulait hors du palier sans avoir pénétré entre les surfaces qui subissent le frottement. C'est cependant ce qui se produit avec les paliers construits jusqu'à ce jour.

Presque toute l'huile s'écoule aux extrémités des coussinets sans avoir pénétré entre la partie du coussinet et du tourillon où s'exerce la charge, de sorte que la partie pressée des surfaces est mal graissée. La charge, en effet, s'oppose à l'interposition de l'huile; quand elle est excessive, cette interposition devient même très difficile.

Une disposition bien simple permet de vaincre cette difficulté. La charge étant verticale, soit le coussinet A (fig. 1), vu en coupe; nous supposons que l'huile est fournie par un godet graisseur ou encore (fig. 2) que l'alimentation a lieu par un velours V entourant le dessus du tourillon, velours qui est alimenté lui-même par les mèches M, plongeant dans le palier où l'huile est renfermée.

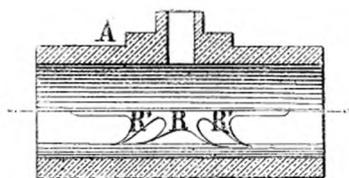


FIG. 1

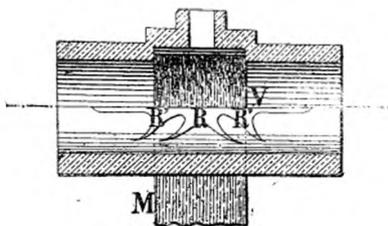


FIG. 2

Les arêtes intérieures du coussinet inférieur étant abattues sauf sur les parties extrêmes de celui-ci et les deux pièces formant les coussinets étant bien ajustées de manière à ne pas laisser s'écouler l'huile, la circulation et l'interposition surabondantes de l'huile entre le tourillon et le coussinet inférieur ont lieu grâce aux rainures R R', etc., partant du milieu de l'arête abattue et inclinée de manière à diriger l'huile à droite et à gauche aux extrémités du tourillon.

(1) Bien que donnant la description détaillée des appareils nouveaux contenus dans ce volume, l'éditeur entend réserver expressément à leurs auteurs tous les droits qu'ils peuvent avoir sur la propriété exclusive de ces appareils.

Par cette disposition, le pouvoir d'interposition est augmenté d'une charge d'huile égale à la hauteur verticale de ces rainures il est augmenté encore de l'aspiration par ces rainures due au mouvement de l'arbre.

Grâce à ces rainures, l'huile au lieu de s'écouler hors du palier par le jeu entre le chapeau et le tourillon, est forcée mécaniquement de s'insinuer entre les surfaces, de circuler et de ne sortir du palier qu'après s'être interposée entre le tourillon et le coussinet.

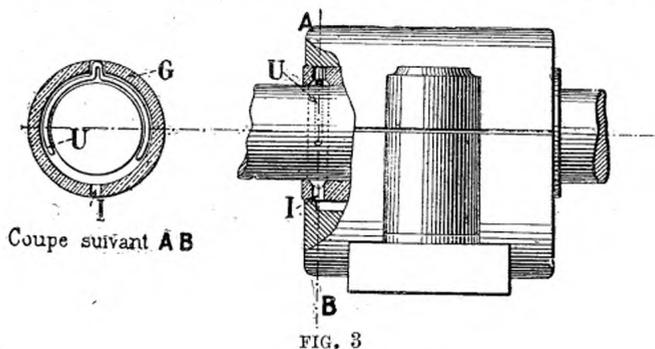
Ces rainures existent des deux côtés du coussinet de manière à agir quel que soit le sens de la rotation.

Inclinées à droite et à gauche elles éloignent l'huile de la partie du tourillon qui reçoit le contact du velours ou l'huile du godet graisseux. Ainsi se trouvent établis à la fois la circulation et l'interposition surabondantes de l'huile fournie surabondamment soit par le godet, soit par le velours. Celui-ci fournit autant d'huile que lui en prennent les rainures d'après leur inclinaison et la vitesse de l'arbre.

*Evacuation de l'huile hors des tourillons et sa récupération.* — Pour récupérer toute l'huile qui circule autour des tourillons il faut l'évacuer de telle sorte qu'aucune quantité ne se répande le long des arbres ou sous les paliers.

Cette évacuation et cette récupération nécessaires pour appliquer la circulation indéfinie et surabondante offrent par surcroît l'avantage de conserver toujours aux machines la plus grande propreté.

Dans l'épaisseur des coussinets et à chacune de leurs extrémités (fig. 3), sont



venues de fonte des gorges circulaires G autour du tourillon. Un fil de laiton U portant l'appendice N pour le maintenir est placé dans cette gorge ; ses extrémités dépassent un peu l'axe du tourillon et dirigent l'huile vers le trou évacuateur I situé à la partie inférieure de la gorge.

Dans certains cas le fil entoure complètement le tourillon et forme un anneau ;

pour les obturateurs de wagons notamment formés d'une plaque de bois, de feutre ou de cuir, ces anneaux sont munis d'un appendice P, s'engageant dans un trou percé dans le coussinet inférieur, pour les maintenir et les empêcher d'être entraînés par le mouvement du tourillon (fig. 4). Le fil de laiton

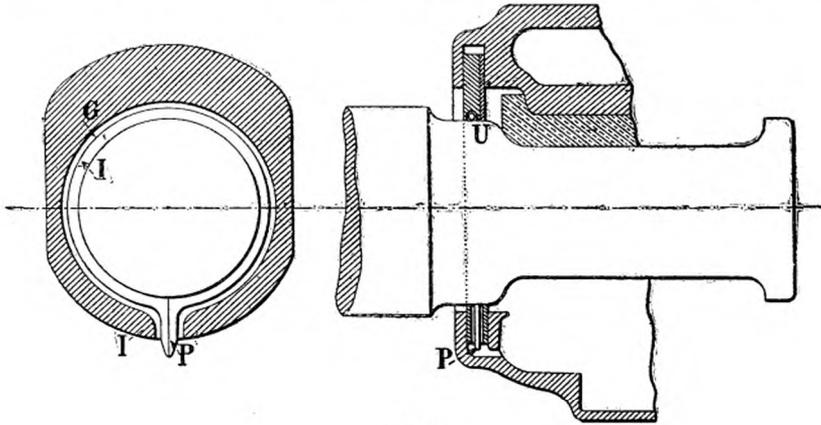


FIG. 4.

l'anneau sont libres et appuient de tout leurs poids sur le tourillon dont ils épousent la forme.

Le tremblotement et la tendance à l'entraînement qu'ils subissent les maintiennent toujours libres dans la rainure.

Un jeu considérable existe autour de l'anneau pour le passage de l'huile. Quand l'arbre tourne, celle-ci qui afflue aux extrémités des coussinets s'écoule le long du fil sans que la plus petite quantité se répande hors du palier.

L'huile éconduite se rend du trou évacuateur I soit dans un vide existant dans le palier et de là hors du palier (voir la série A décrite plus loin) soit sur le filtre contenu dans le palier lui-même série B des engins à grenaille (voir leur description).

Ce système évacuateur est appliqué non-seulement aux paliers mais encore aux têtes de bielles, aux poulies folles, fusées d'essieux, etc., etc. (Voir la description des obturateurs, pour boîtes de wagons de chemin de fer).

*Purification de l'huile.*— Pour les dispositions relatives à la purification automatique de l'huile par filtration ou à la fois par décantation et filtration, nous renvoyons à la description des appareils à grenailles, paliers, boîtes de wagons, etc.

Dans les paliers série B, et dans les boîtes de wagon, les filtres sont contenus dans les paliers ou dans les boîtes mêmes; grâce à la circulation la filtration de l'huile y est constante et automatique.

Dans les paliers série A, dans les têtes de bielle, poulies folles, etc..., l'huile est recueillie dans un godet récupérateur et portée de là dans le filtre de l'usine (voir les filtres à grenaille).

Pour les transmissions ordinaires d'usine et pour les boîtes de wagon, avec des huiles de bonne qualité, la quantité contenue dans les paliers ou les boîtes ainsi purifiée automatiquement est suffisante pour assurer le graissage des tourillons pendant plusieurs années sans qu'on ait à s'en préoccuper. La durée du service de l'huile est subordonnée d'ailleurs au plus ou moins de charge ou de vitesse des tourillons, au degré de pouvoir lubrifiant de l'huile employée enfin à a quantité de poussière contenue dans l'air ambiant.

La durée du service de la grenaille est plus longue encore et presque indéfinie, on la change toutefois par précaution quand la provision d'huile étant dénaturee, il y a lieu de la renouveler.

Cette grenaille a une valeur insignifiante de quelques centimes seulement par palier; on peut néanmoins la faire resservir indéfiniment en la faisant rougir au feu pour la purifier. Elle est elle-même lubrifiante et ne peut dans aucun cas endommager les arbres qu'elle atteindrait accidentellement.

*Préservation des surfaces frottantes de tout contact des poussières extérieures.* — La même disposition décrite ci-dessus qui sert à l'évacuation sert d'excellent obturateur contre les poussières. Ces poussières qui pénètrent par les extrémités des coussinets entre les surfaces frottantes sont arrêtées par l'huile qui circule le long de l'anneau évacuateur; elles suivent le même chemin que cette huile avec laquelle elles sont entraînées et évacuées sur le filtre intérieur du palier ou dans le godet récupérateur hors du palier.

Remarquons qu'il existe une liaison intime entre l'alimentation, l'évacuation, la purification qui constituent la circulation surabondante et la préservation des surfaces du contact des poussières extérieures; elles concourent chacune pour leur part à cette préservation et ne pourraient pas les unes sans les autres la produire.

En effet l'huile qui alimente surabondamment le tourillon, s'interpose et est dirigée grâce aux rainures de circulation jusqu'aux extrémités des coussinets; cette circulation ne permet pas aux poussières de venir en contact avec les surfaces frottantes; mais ces poussières de l'air ambiant n'en abondent pas moins à ces extrémités des coussinets, il faut qu'elles soient évacuées et c'est ce que fait l'évacuateur qui les entraîne en même temps que l'huile de circulation. A son tour cette évacuation des poussières avec l'huile implique la purification de l'huile en circulation.

Pour les boîtes de wagon de chemins de fer, l'évacuation à anneaux est, comme pour le palier, le meilleur des obturateurs.

Pour les paliers marchant ensevelis sous les poussières, comme cela a lieu dans

certaines industries, les tourillons sont complètement mis à l'abri des poussières en disposant deux évacuateurs au lieu d'un à côté l'un de l'autre à chaque extrémité des coussinets.

Quel que soit l'organe de machine, palier, boîte de wagon, poulie-folle, tête de bielle, etc., auquel cet évacuateur est appliqué, il procure le double avantage : 1° de protéger les surfaces du contact des poussières ; 2° de retenir toute l'huile sans aucune perte hors des organes.

*Economie maximum de lubrifiant.* — Quand l'huile circule indéfiniment autour d'un tourillon sans purification l'action dénaturante des impuretés de l'huile s'augmente suivant une progression géométrique, il en résulte une consommation d'huile au moins quatre fois plus grande.

Au contraire le maximum d'économie d'huile est obtenu par le graissage à « circulation surabondante d'huile toujours pure » parce que par la circulation et la purification de cette huile au fur et à mesure de l'encrassement, c'est-à-dire en prévenant cet encrassement, la dénaturation suit la marche la plus lente qu'elle puisse suivre. Cette économie est de 50 à 60 % pour les machines industrielles graissées avec circulation indéfinie de la même huile sans purification ; elle atteint 80 % pour les fusées de wagons de chemin de fer.

*De la graisse consistante employée comme lubrifiant.* — Dans le but d'obtenir par la viscosité des lubrifiants sa plus facile interposition entre les suffrages, on a essayé d'augmenter la viscosité naturelle des huiles, on est même allé jusqu'à rendre consistants des lubrifiants, pensant que cette consistance favoriserait cette interposition par adhérence, mais en réalité elle le fait avec beaucoup moins de pouvoir que l'huile qui s'interpose à la fois par adhérence, grâce à son onctuosité et par insinuation, grâce à sa fluidité.

D'ailleurs le défaut de renouvellement au fur et à mesure de leur usure autrement dit le défaut de circulation, rend les lubrifiants consistants ou trop visqueux impropres à bien graisser les machines.

A une mise en marche de tourillon, quand il s'agit d'obtenir le plus promptement possible le degré de poli maximum des surfaces, employer temporairement la graisse consistante à ce rodage, comme on le fait par exemple pour le rodage des robinets, peut-être avantageux ; mais nous ne connaissons pas en dehors de cette application un autre cas où la graisse consistante puisse être employée de préférence à l'huile pour le graissage des machines, et cela quel que soit le point de vue auquel on envisage le graissage.

La circulation indéfinie sans purification lorsqu'il s'agit du graissage à l'huile est déjà très défectueuse, mais combien plus défectueux encore est l'emploi de la graisse qui ne peut être renouvelée à cause de sa consistance.

Faute de renouvellement le graissage à la graisse est le graissage au cambouis

par excellence, cambouis qui renferme du bronze et du fer en abondance quand on le soumet à l'analyse. Ce cambouis n'est éliminé que par l'échauffement des tourillons, or c'est cet échauffement qu'il s'agit d'éviter avant tout ; il témoigne un manque de graissage et a pour résultat le rodage incessant, l'usure, la dépréciation des machines et la perte de force motrice.

Que l'on compare, nous ne dirons pas au début, alors que l'action lente mais sûre de ce rodage ne peut encore s'apercevoir, mais après quelques mois et surtout après quelques années, les machines graissées à la graisse avec celles graissées à l'huile et l'on sera fixé par la dépréciation subie par les premières par le parfait état de conservation des secondes, sur la valeur comparative du graissage à l'huile et du graissage à la graisse consistante. Pour le graissage des paliers en particulier le jeu au-dessus des tourillons faible d'abord, s'augmentant de plus en plus finit par laisser aux poussières de l'air un libre accès, alors l'usure des coussinets s'accroît dans une proportion extrêmement rapide au point de mettre les machines en quelques années complètement hors de service.

La graisse consistante a été plusieurs fois déjà essayée et abandonnée par l'industrie et cela on peut le remarquer chaque fois qu'un appareil nouveau a fait son apparition.

On ne s'est pas aperçu que ce n'est pas au vice des appareils mais au vice du principe même de la consistance du lubrifiant qu'il faut attribuer les mauvais résultats de ce graissage.

Il est du reste désavantageux au point de vue, non seulement de l'usure des machines et de la perte de force motrice, mais encore au point de vue de la main-d'œuvre et de la dépense de lubrifiant.

Comme main-d'œuvre en effet, les graisseurs à la graisse se manœuvrent à la main ; étant donné la multiplicité des trous graisseurs et la nécessité de les munir tous de leur godet graisseur pour assurer le bon graissage et éviter l'introduction des poussières, l'économie de main-d'œuvre des graisseurs automatiques à l'huile sur la manœuvre à la main des graisseurs à la graisse est loin d'être une quantité négligeable.

Enfin, la dépense du lubrifiant lui-même est moindre avec l'huile qu'avec la graisse citons cette preuve : soit un tourillon employant en 24 heures 1 gramme par exemple de graisse consistante de pouvoir lubrifiant égal à 100 pour marcher à la température ordinaire sans échauffement. Appliquant à ce tourillon un graisseur à huile réellement réglable on n'a qu'à lui faire débiter dans le même temps 1 gramme d'huile de même pouvoir lubrifiant égal à 100 pour que dans les deux cas la dépense en poids soit la même et comme à pouvoir lubrifiant égal les huiles naturelles sont meilleur marché que les graisses fabriquées, l'avantage est déjà du côté de l'huile naturelle mais cet avantage est bien plus important encore.

En effet, on reconnaît à l'essai dynamométrique des lubrifiants, que 1 gramme

de graisse ne peut graisser à beaucoup près pendant le même temps, faute du renouvellement, que 1 gramme d'huile de même pouvoir lubrifiant débitée peu à peu par un graisseur.

Il faudrait pour que le résultat fut le même non-seulement que la graisse fut évacuée comme l'huile au fur et à mesure de son usure, mais encore qu'elle fut alimentée de même ; il faudrait que la circulation fut pour la graisse comme pour l'huile *surabondante et sa qualité toujours pure autour des tourillons.*

---

### III. — Valeur commerciale et pouvoir lubrifiant des diverses huiles

*Raisons qui doivent présider au choix du lubrifiant.* — Parmi la diversité des huiles de graissage, végétales, minérales ou animales et la variété extrême que présente chacune de ces trois catégories, on ne saurait spécifier quelle est l'huile la plus avantageuse pour le graissage des machines.

Pour chaque cas particulier il faut rechercher quelles qualités doit avoir l'huile en égard aux conditions dans lesquelles doit se faire le graissage.

Chaque variété d'huile en effet a ses propriétés distinctes. En principe ce sont ces propriétés qui seules peuvent, suivant l'usage auquel on les destine, guider dans le choix des lubrifiants.

Pour machines à vapeur par exemple, il faut des huiles indécomposables aux températures de 100 à 180 degrés, et conservant à ces températures leur pouvoir lubrifiant ; il faut encore que ces huiles parfaitement désacidifiées ne puissent pas attaquer les cylindres et tiroirs ni former de dépôt solidifiable.

Pour machines industrielles et pour transmissions, certaines huiles sont plus ou moins acidifiables au contact de l'air ; d'autres s'évaporent, d'autres se résinifient et deviennent plus rapidement siccatives. Les huiles complètement neutres sont avantageuses puisque les organes des machines ne sont pas attaqués et que les huiles encrassées une fois récupérées, n'étant pas décomposées oxydées sont facilement régénérées par simple filtration.

Les huiles incongelables sont naturellement à adopter pour les machines exposées au froid en hiver.

Mais quelles que soient les propriétés particulières à chaque huile, on peut cependant pour le choix des lubrifiants poser quelques règles d'une grande importance dans la pratique de la mécanique industrielle.

1° Eu égard au degré de pouvoir lubrifiant, l'huile doit avoir un pouvoir lubrifiant d'autant plus grand que les organes qu'il s'agit de graisser subissent un plus grand effort ou sont animés d'une plus grande vitesse, car la quantité de circulation et d'interposition, quelque parfaits que soient les appareils, pourrait ne pas être assez grande pour compenser le manque de qualité du lubrifiant.

2° Eu égard à l'économie du lubrifiant, lorsque les appareils récupèrent toute l'huile et que le principe de la circulation surabondante d'huile toujours pure est appliqué, il y a grand avantage à employer les meilleures qualités d'huile.

Au contraire pour les machines où la récupération ne peut être appliquée, il y a avantage, puisque toute l'huile qu'on fait circuler autour des organes est perdue, à se servir d'huile bon marché, d'un degré lubrifiant seulement suffisant pour ne pas compromettre la sécurité du graissage.

3° Eu égard à la fluidité, les huiles les plus fluides, à pouvoir lubrifiant égal, sont les plus avantageuses.

Enfin, à tous les points de vue et dans toutes sortes de cas, quand on achète une huile de graissage, quel que soit la variété d'huile dont il s'agisse, il est indispensable de pouvoir se rendre exactement de son pouvoir lubrifiant. Or, encore aujourd'hui, l'acheteur et le vendeur lui-même achètent et vendent l'huile de graissage sans avoir aucunement établi leur pouvoir lubrifiant et sans avoir contrôlé leur valeur.

Même en admettant qu'ils soumettent les huiles à des essais, ces essais tels qu'on a coutume de les faire ne permettent pas d'établir le vrai pouvoir lubrifiant des huiles.

Comme méthode et comme appareils, voici comment s'essayent actuellement les huiles de graissage.

Un arbre A (fig. 5) portant un tambour B est animé d'une vitesse facultative qu'un compteur enregistre sur une feuille à diagramme mis en mouvement par un appareil ad-hoc.

Sur le tambour B, à l'aide d'un levier E, un coussinet exerce une pression qu'on règle à volonté en déplaçant le contrepoids placé sur ce levier. Le coussinet porte un thermomètre qui donne la température des surfaces frottantes.

Interposant entre le tambour et le coussinet une goutte de poids donné de l'huile à essayer, on met en marche l'appareil, en chargeant les surfaces frottantes de la quantité voulue, jusqu'à ce que l'huile se dénaturant de plus en plus, la température du coussinet soit élevée progressivement jusqu'à 80 degrés. On arrête alors l'opération pour éviter le grippage des surfaces.

L'expérience a fourni, grâce à l'appareil enregistrant le nombre de tours, une courbe tracée par l'expérimentateur en relevant, à l'aide de points marqués à chaque cent ou mille tours, les températures successivement accusées par le coussinet.

Le diagramme donne le nombre de tours correspondant aux diverses éléva-

tions de température jusqu'à 80 degrés et la marche suivie par cette élévation de température pour chaque qualité d'huile.

L'échelle comparative donnée par ces essais est l'échelle des pouvoirs lubrifiants cherchés.

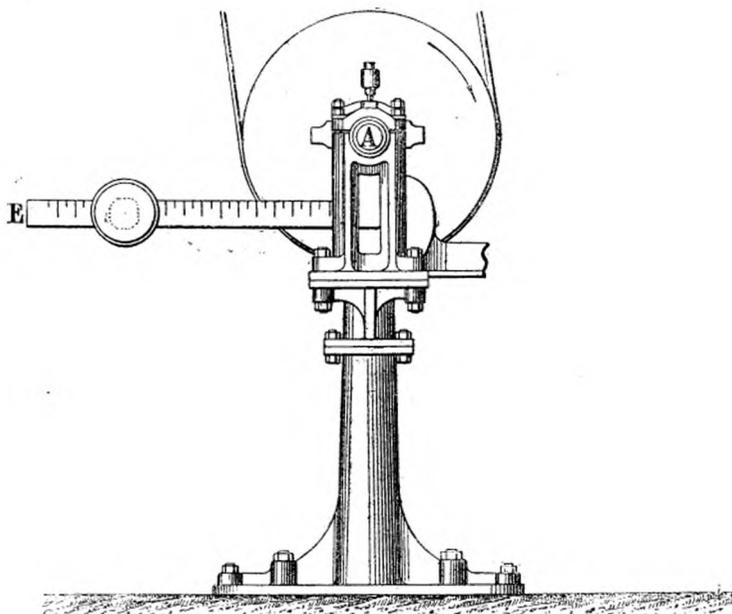


FIG. 5

Or il est aisé de démontrer le peu de valeur de ces indications.

En effet qu'est-ce que le pouvoir lubrifiant des huiles qu'il s'agit de déterminer ? Il se compose de deux facteurs :

1° Le coefficient d'onctuosité qui est la diminution de résistance que produit, au degré qui est propre à chaque lubrifiant, l'interposition de ce lubrifiant entre deux surfaces frottantes ;

2° La capacité onctueuse qui est, indépendamment du coefficient de frottement, c'est-à-dire de la résistance de frottement propre à chaque lubrifiant, la quantité ou durée de service que chaque lubrifiant fournit avant qu'il y ait élévation de température des surfaces qu'il lubrifie.

La capacité onctueuse, comme on pourrait le croire, n'est pas proportionnelle au coefficient d'onctuosité ; elle en est parfaitement indépendante et deux huiles ayant le même coefficient d'onctuosité accusent ordinairement, quand on les met dans les mêmes conditions de pression et de vitesse sur la machine à essayer

les huiles par la méthode dynamométrique, une capacité onctueuse bien différente.

Le produit du coefficient d'onctuosité par sa capacité onctueuse constitue le *pouvoir lubrifiant cherché*, la vraie valeur commerciale des huiles de graissage.

Avec les moyens actuels d'essayer les huiles on ne détermine ni l'un ni l'autre de ces deux facteurs, parce que seuls des essais dynamométriques peuvent donner l'échelle des résistances ou coefficients de frottement pour chaque lubrifiant, or les essais d'huile actuels que nous avons décrits ne sont pas dynamométriques.

Quant à la capacité onctueuse, elle n'est obtenue que d'une manière très inexacte puisque le point de départ pour toute expérience comparative ne doit varier en rien, qu'on doit toujours pouvoir le contrôler et le rétablir avec précision; or le point de départ est encore pour la capacité onctueuse des huiles, un point initial de résistance qu'on ne peut que dynamométriquement déterminer.

Les diagrammes relevés par les essais d'huile actuels donnent, avons nous dit, le nombre de tours correspondant à l'échauffement progressif des surfaces jusqu'à 80 degrés pour chaque sorte d'huile; la marche suivie par cette élévation de température peut être intéressante comme expérience de laboratoire, mais elle n'offre aucune utilité dans la pratique où les échauffements par manque d'huile sont tout à fait accidentels.

Ces essais d'élévation de température par manque d'huile donnent-ils du moins le pouvoir lubrifiant des huiles à ces températures plus élevées et peuvent-ils guider dans le choix des huiles destinées au graissage des machines à vapeur? Nullement, puisque le graissage des machines à vapeur consiste à fournir de l'huile d'excellente qualité à des organes chauffés de 100 à 180° et non pas à donner de l'huile ayant perdu à peu près tout son pouvoir lubrifiant à des surfaces sur le point de gripper.

Pour déterminer le pouvoir lubrifiant des huiles destinées aux machines à vapeur, il faut les essayer dans les conditions mêmes où elles sont appliquées à ces machines; il faut pour cela élever la température des surfaces en friction de la machine d'essai au moyen d'une source de chaleur quelconque, mais ne résultant pas du manque d'huile de ces surfaces; la température est ainsi portée au degré voulu, il faut, ensuite comme pour l'essai des huiles des machines ordinaires à l'air libre, déterminer dynamométriquement le coefficient d'onctuosité et la capacité onctueuse des huiles à essayer.

Il est indispensable de pouvoir essayer les huiles aux diverses températures, car les pouvoirs lubrifiants varient avec les diverses températures et pour chaque qualité d'huile en particulier, sans que leur pouvoir lubrifiant à la température ordinaire puisse le moins du monde faire augurer de la température plus ou moins élevée où ce pouvoir diminue ou disparaît complètement.

*Méthode dynamométrique et nouveaux appareils à essayer et à titrer les huiles de graissage.* — Par la méthode dynamométrique et grâce aux appareils que nous allons décrire on titre au degré le pouvoir lubrifiant réel des huiles et par conséquent leur vraie valeur commerciale comme on titre par exemple au degré la valeur des alcools.

Comme appareils, on se sert de la machine ordinaire à essayer les huiles décrite précédemment, en se contentant tout simplement de la faire actionner par un dynamomètre de rotation enregistrant la résistance.

### DYNAMOMÈTRE DE ROTATION DE M. LENEVEU.

Pour ces essais on a adopté le dynamomètre de rotation de M. Leneveu capitaine d'artillerie, directeur des machines aux ateliers de Puteaux.

La simplicité et la sensibilité de ce dynamomètre le rendent supérieur à tous ceux qui ont été construits jusqu'à ce jour.

Seul, il a pu satisfaire pleinement aux conditions requises pour les divers essais. Nous le décrirons en détail.

MM. Chateau père et fils à Paris, (ancienne maison Colin Wagner) dont les travaux ont une si grande réputation, en sont les constructeurs.

*A. Ses applications générales.* — Les applications générales de ce dynamomètre sont les suivantes : Il sert à déterminer la force motrice absorbée par une machine quelconque, une transmission, une usine ou partie d'usine.

Il enregistre non-seulement la force d'une machine marchant à blanc ou en travail normal, mais encore les variations de force, les chocs, les résistances brusques, les irrégularités de marche, etc.

S'il s'agit d'un outil, il permet d'évaluer la puissance courante de résistance qu'il peut supporter, le degré maximum de résistance qu'on ne pourra dépasser.

Il sert à déterminer l'adhérence des courroies, le point où elles commencent à glisser, la largeur qu'elles doivent avoir pour un travail donné.

Il sert, soit à la livraison des machines-outils, pour le constructeur, soit à leur réception, pour l'acheteur, à contrôler la perfection et le fini de leur construction, l'absence de points morts ou de chocs, enfin la force absorbée par ces machines.

Il permet de vérifier le bon montage d'une transmission, d'une machine, par la force absorbée en pure perte quand le montage est défectueux.

### *B. Description de dynamomètre.*

L'appareil comprend :

Deux plateaux circulaires A et C calés sur deux arbres B et D, indépendants l'un de l'autre, mais ayant rigoureusement le même axe de rotation et tournant

chacun dans deux paliers a, b, c, d, qui font corps avec les deux poulées E et E fixés sur le bâtis G.

L'arbre D porte deux poulies dont l'une fixe e, et l'autre folle f.

L'arbre B porte une seule poulie g, fixe de même diamètre que les poulies de l'arbre D.

La poulie e reçoit la courroie de commande de la transmission

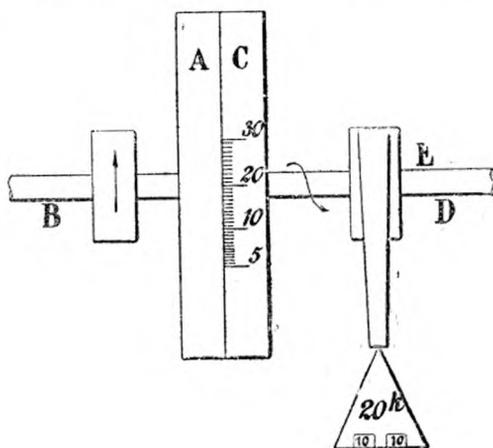


FIG. 6.

La poulie g, reçoit la courroie qui commande la machine ou l'appareil à essayer.

Les deux plateaux indépendants l'un de l'autre par construction, comme les arbres sur lesquels ils sont calés, sont rendus solidaires, dans un certain sens, au moyen d'un ressort à boudin H, fixé sur l'un des plateaux et auquel l'autre plateau est attaché par deux lames d'acier très faibles ou par deux chaînettes.

Il résulte de cette disposition que si l'on agit sur la poulie e, pour faire tourner l'arbre D et par suite le plateau C dans le sens convenable le plateau A son arbre B et sa poulie g, seront, ainsi que la machine commandée par cette dernière poulie, entraînés dans le mouvement.

Mais en raison du mode d'attelage des deux parties de l'appareil le plateau A ne sera mis en mouvement qu'au moment où la traction exercée par les chaînettes du plateau C sur le ressort H sera suffisante pour vaincre la résistance qu'oppose au mouvement, la machine commandée par la poulie g. Cette traction sur le ressort aura pour effet de le comprimer et par suite de le raccourcir, et finalement l'effort exercé sur la poulie e, se traduira par un déplacement angulaire des deux plateaux l'un par rapport à l'autre.

Si donc on connaît à l'avance l'effort auquel correspond sur la poulie *e*, un déplacement angulaire déterminé des deux plateaux, on pourra, par la connaissance de ce déplacement, déterminer la valeur de l'effort que l'on a dû exercer sur la poulie *g* pour le produire. Par suite, on connaîtra la résistance qu'oppose, au mouvement, la machine commandée par la poulie *g*, puisque cette résistance est précisément égale à l'effort exercée sur la poulie *e*, par la machine dont on veut déterminer la résistance.

Supposons que sur l'un des plateaux A se trouve un repère et que sur le deuxième plateau C se trouve une graduation dont les divisions correspondent au déplacement angulaire que déterminent successivement des charges de 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20 etc., kilogrammes sur la poulie C.

Si après avoir immobilisé l'arbre B et par suite le plateau A de manière à les empêcher de tourner, on exerce sur la poulie C un effort de 20 kilogrammes, le plateau C, subira par rapport au plateau A le déplacement correspondant à cette charge et la division 20 viendra se placer vis à vis du repère gravé sur le plateau A.

Il en sera naturellement de même pour toutes les charges que l'on fera supporter à la poulie C.

Si au lieu d'immobiliser l'arbre B et le plateau A on attèle sur la poulie *g*, une machine qui oppose au mouvement de l'arbre B, une résistance de 20 kilogrammes le déplacement des deux plateaux sera exactement le même que ci-dessus et la division 20 du plateau C viendra encore se placer en face du repère porté sur la poulie A.

Il suffit de connaître la longueur du levier à l'extrémité duquel est appliquée, dans le dynamomètre, la résistance de 20 kilogrammes, et le chemin parcouru par l'extrémité du levier dans l'unité de temps pour déterminer en kilogrammètres ou en chevaux vapeur, le travail de la machine.

Supposons que dans le cas qui nous occupe, le bras de levier à l'extrémité duquel sont appliqués les 20 kilogrammes (P) et qui dans l'espèce est déterminé par le diamètre des poulies, ait une longueur *l* de 20 centimètres et que les plateaux tournent avec une vitesse moyenne de 400 tours par minute; T le travail en kilogrammètres sera représenté pour un tour par la formule  $T = P \cdot 2 \cdot \pi \cdot l$ , en remplaçant les lettres par leurs valeurs  $T = 20 \times 2 \times 3,14 \times 0,20 = 25 \text{ kgm. } 13$ , et pour une seconde.  $T = \frac{25.13 \times 400}{60} = 167,53$  167 kgm., 53

La machine prendrait donc une force de  $\frac{167,53}{75} + 2,23$  chevaux vapeur.

Par la description sommaire qui précède, on voit que le dynamomètre système Leneveu est, comme celui du général Morin et comme celui de M. Farcot basé sur la mesure de la déformation d'un ressort par lequel doit passer l'effort produire pour actionner la machine à essayer. Toutefois au lieu d'employer

un ressort plat se déformant par flexion comme celui de l'appareil Morin dont la flexion n'est pas proportionnelle aux résistances à vaincre ou, comme le fait M. Farcot, un ressort se déformant par torsion de quantités proportionnelles aux efforts qu'il transmet, Monsieur Leneveu emploie un ressort à boudin du genre de ceux qui sont en usage dans les indicateurs de diagrammes et il dispose ce ressort de telle sorte qu'il se déforme par compression sous l'effort qu'il doit transmettre.

Or on sait que pour ces ressorts le raccourcissement dû à la compression est parfaitement proportionnel aux forces qui le produisent.

Il en résulte que si les plateaux du dynamomètre sont reliés par le ressort de telle sorte que le bras du levier à l'extrémité duquel s'exerce la traction des chaînettes soit de longueur invariable, le déplacement angulaire sur le limbe des plateaux sera lui-même proportionnel aux efforts exercés sur ce ressort.

Ce déplacement sera aussi, par rapport au raccourcissement du ressort, dans la proportion qui existe entre la longueur du rayon à l'extrémité duquel se trouve le point d'attache des chaînettes et celle du rayon des limbes des plateaux.

Si par exemple le point d'attache est à 10 centimètres de l'axe des plateaux et que ces derniers organes aient un rayon double ou de 20 centimètres, à une flexion du ressort de 10 millimètres correspondra un déplacement angulaire des plateaux mesuré sur le limbe par une portion de circonférence de longueur double c'est-à-dire de 20 millimètres.

On verra plus loin (organisation de l'attelage des plateaux), quelles dispositions ont été prises pour assurer la proportionnalité des déplacements angulaires des plateaux.

En résumé, le dynamomètre système Leneveu se compose essentiellement

1° De deux arbres indépendants munis chacun d'une poulie de commande et d'un plateau circulaire,

2° D'un ressort à boudin servant d'intermédiaire pour transmettre à l'un des arbres la force nécessaire à la mise en mouvement du deuxième.

La valeur du travail mécanique fourni à ce deuxième est mesurée par le déplacement angulaire des deux plateaux.

Les déplacements angulaires des plateaux sont proportionnels aux efforts à transmettre.

Réduit à cette simple organisation, le dynamomètre permettrait de mesurer a force maximum prise par une transmission, une machine etc.

Il suffit en effet, dans ce cas de connaître le nombre des tours de la machine en essai et le plus grand déplacement angulaire des plateaux de l'appareil pendant l'expérience pour calculer le travail mécanique

La valeur du déplacement angulaire des plateaux est obtenue au moyen d'un index déplacé sur le limbe de l'un d'eux par rapport à une touche fixée sur limbe de l'autre.

Un dynamomètre de ce genre conviendrait par exemple très bien pour opérer la réception des machines-outils ou s'assurer qu'une transmission est convenablement montée.

Mais pour essayer les huiles et les appareils de graissage, il est nécessaire d'avoir des données plus précises.

Dans ce but le dynamomètre a été muni d'un appareil enregistreur inscrivant automatiquement.

1° Les flexions du ressort ou le déplacement angulaire des plateaux, c'est-à-dire les variations de résistance.

2° Le nombre total des révolutions.

3° La durée de l'expérience.

Décrivons les organes de l'appareil enregistreur.

C. — *Indicateur des flexions du ressort.* — On a expliqué précédemment comment les efforts transmis par l'intermédiaire du dynamomètre sont mesurés par la flexion du ressort qui relie les deux plateaux et comment cette flexion se traduit par les déplacements angulaires de ces plateaux proportionnels aux efforts transmis. Si donc on parvient malgré la rotation plus ou moins rapide des plateaux à rendre leur déplacement relatif constamment bien visible, ou si mieux encore on parvient à l'enregistrer on pourra pendant toute la durée de l'expérience, se rendre compte à tout instant de la valeur de l'effort transmis par le dynamomètre.

Ce résultat est obtenu de la manière suivante :

Le plateau C, porte un arc denté I qui engrène avec un pignon conique J monté sur un arbre K.

L'arbre K qui est fixé sur le plateau A par ses coussinets *i* et *j*, dans lesquels il ne peut que tourner sur place sans se déplacer longitudinalement, porte à l'extrémité opposée à celle qui reçoit le pignon d'angle J, une roue droite dentée L qui engrène avec une crémaillère taillée à l'une des extrémités de la tige O.

La tige O s'engage par l'une de ses extrémités dans un logement pratiqué dans l'arbre B, traverse de part en part l'arbre D, à l'extrémité duquel elle fait saillie sur une assez grande longueur et s'engage par son autre extrémité dans un support K.

La partie de la tige O qui fait saillie au dehors de l'arbre D porte elle-même une crémaillère N qui engrène avec un pignon denté P.

Le pignon P calé sur l'arbre Q qu'il commande, commande aussi la roue R, calée sur l'autre extrémité de l'arbre Q.

La roue dentée L commande à son tour la crémaillère S.

La crémaillère S porte le crayon T destiné à tracer le diagramme sur le papier enroulé autour du cylindre U, dans l'intérieur duquel se trouve un mouvement d'horlogerie, qui lui donne un mouvement de rotation continu.

En résumé quand les plateaux du dynamomètre se déplacent l'un par rapport

à l'autre, ce déplacement détermine la rotation de l'arbre K et par suite de la roue L.

La rotation de la roue L produit un déplacement longitudinal de la tige O et par suite de la crémaillère N.

Le déplacement longitudinal de la crémaillère N amène la rotation du pignon P de l'arbre Q et de la roue R.

Enfin la rotation de la roue R fait monter ou descendre la crémaillère S et par suite le crayon T.

Si bien qu'en définitive, les déplacements angulaires des plateaux du dynamomètre se traduisent par des mouvements rectilignes ascendants ou descendants du crayon qui doit les enregistrer.

Il est à peine besoin de dire que les organes destinés à produire ce résultat sont construits de telle sorte que le plus petit mouvement relatif des deux plateaux du dynamomètre détermine immédiatement un déplacement correspondant du crayon.

Le rapport entre l'amplitude des mouvements du crayon et celle des mouvements relatifs des plateaux du dynamomètre peut varier suivant le degré de précision que l'on veut obtenir en modifiant les rapports des roues et des pignons qui servent à faire mouvoir le crayon.

Dans le dynamomètre dont le dessin est représenté ci-joint, le ressort est calculé pour fléchir de 1 millimètre par kilogramme de compression.

La longueur du bras de levier à l'extrémité duquel s'exerce la traction sur le ressort est de 100 millimètres.

La longueur du bras de levier sur lequel s'exerce la traction de la courroie est de 100 millimètres (rayon des poulies *c* et *g*).

Le rayon du cercle moyen de l'arc denté étant de 148 millimètres.

Il en résulte qu'à une flexion du ressort de 1 millimètre correspond un déplacement angulaire des plateaux mesuré sur le cercle, au moyen du secteur denté, par un arc ayant une longueur de 1 mill. 48.

C'est également à la même longueur d'arc de cercle que correspond la rotation de l'arbre K déterminé par la flexion de 1 millimètre du ressort.

Le rapport entre les rayons primitifs du pignon conique J et la roue dentée K est de 12,22.

La flexion 1 millimètre du ressort correspond par conséquent à un déplacement des crémaillères M et N de 3 mill. 33.

Le rapport entre les pignons primitifs du pignon P et de la roue R est de 2.

A un déplacement longitudinal de la crémaillère correspond donc un déplacement de 6 mill. 66 sur le cercle primitif de la roue R et par suite sur le crayon T. Et en définitive, à un effort de 1 kilogramme sur le ressort du dynamomètre correspond une course du crayon de 6 mill. 66.

Mais comme le rapport du rayon d'enroulement des chaînettes et des rayons des poulies est de 0,75, à un effort de 1 kilogramme sur les poulies correspond un déplacement de  $6,66 \times 0,75 = 5$  millimètres.

La denture des roues L et P peut-être à volonté droite ou hélicoïdale, les crémaillères M et N sont taillées à la demande.

La tige O doit participer au mouvement de rotation de l'arbre D et sa crémaillère M doit conserver par rapport à la roue dentée L la position voulue pour que l'engrènement se fasse toujours dans de bonnes conditions.

A cet effet la crémaillère glisse entre trois petits galets, *l*, qui assurent sa position et lui servent de guides.

Dans le but de lui donner la plus grande légèreté possible et par conséquent de diminuer autant que faire se peut son inertie, la tige O peut-être constituée par un tube très léger sur lequel sont ajustées les crémaillères M et N.

Indépendamment des trois galets qui guident et supportent la crémaillère M, la tige O est supportée en outre par l'évidement de l'arbre B et par le support K; elle porte aussi un renflement M dont le diamètre est légèrement plus petit que celui de la partie de l'évidement de l'arbre D dans lequel elle est engagée. Cette disposition a pour but de supporter la tige O en cas de flexion.

Dans le cas où la crémaillère circulaire N est remplacée par une crémaillère plate, on dispose un second support à l'extrémité de l'arbre D, la crémaillère porte alors une tige autour de laquelle tourne la tige O qui lui sert de support d'une part, et elle est soutenue d'autre part par le support K dans lequel elle s'engage comme la tige O, d'une seule pièce.

Pour éviter les retards qu'occasionnerait dans le mouvement du crayon le jeu existant toujours entre des parties qui engrènent quelles que soient les précautions prises pour les construire, le poids du porte crayon est calculé de manière à faire opérer toujours du même côté le contact des dents d'engrenage.

Pour éviter qu'aucun mouvement longitudinal des deux arbres B et D ne vienne fausser les indications de l'appareil, ces deux arbres sont maintenus chacun dans un palier par une clef conique, *n*, qui en assurant absolument leur fixité par rapport au palier dans lequel se trouve la clef, les garantit contre tout mouvement longitudinal.

Pour faciliter le montage et la visite des organes contenus entre les deux plateaux ces derniers portent des évidements suffisants recouverts de plaques en laiton qui empêchent la poussière de pénétrer dans l'intérieur de l'appareil.

D. — *Organisation de l'attelage de plateaux.* — On a vu que les deux plateaux, indépendants l'un de l'autre par construction, sont rendus solidaires dans un certain sens au moyen d'un ressort à boudin porté par l'un des plateaux et d'un système d'attache reliant ce ressort à l'autre plateau; le mécanisme de cette organisation est le suivant.

Le ressort à boudin H, du type des ressorts employés dans les indicateurs de diagrammes pour moteurs, est fixé au plateau C, au moyen de deux supports OO' entre lesquels il est placé sans aucune compression initiale. Le support O, sur

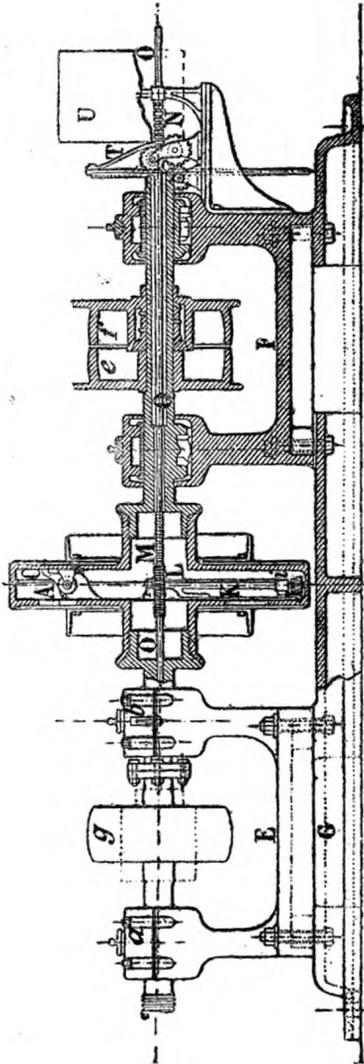


FIG. 7. — COUPE LONGITUDINALE

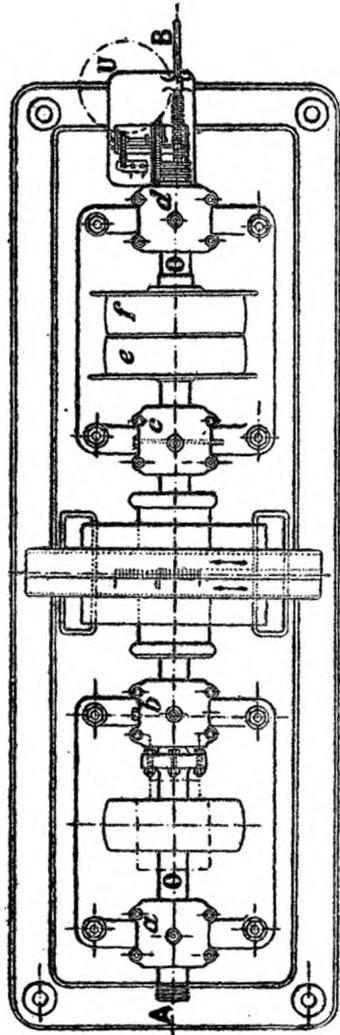


FIG. 10. — PLAN

lequel est fixé le ressort, porte une tige cylindrique P, p, qui pénètre dans l'intérieur du ressort et a pour but de l'empêcher de se déformer tant pendant les

transports, par suite de secousses accidentelles, que pendant la marche de l'appareil par l'effet de la force centrifuge.

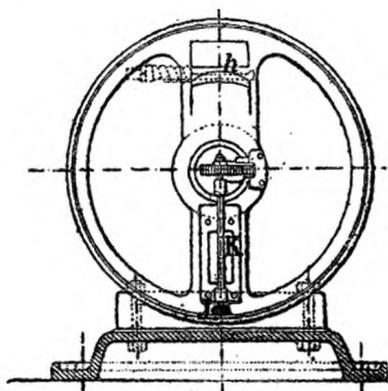


FIG. 8. — COUPE TRANSVERSALE  
PAR L'UN DES PLATEAUX

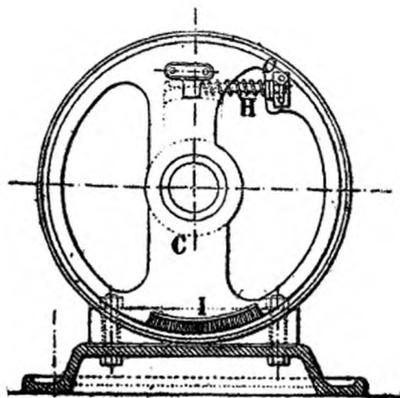


FIG. 9. — COUPE TRANSVERSALE  
PAR L'AUTRE PLATEAU.

Le ressort porte à son extrémité libre une pièce cylindrique munie de deux appendices auxquels sont fixées les chaînettes d'attelage.

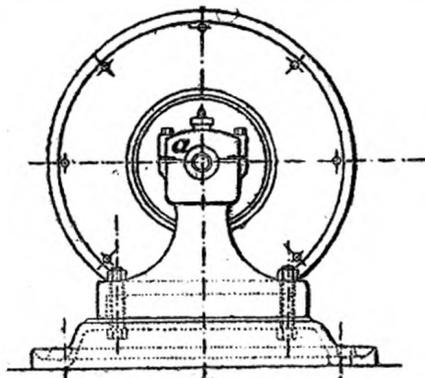


FIG. 11

VUE EN BOUT.

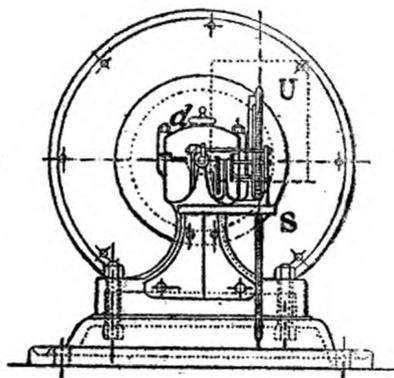


FIG. 12

Les chaînettes d'attelage, construites comme les anciennes chaînes de fusée des mouvements de montre, sont fixées d'autre part sur deux arcs de cercle ayant leur centre sur l'axe des plateaux et sur lesquels elles s'enroulent. Les arcs de cercle font partie d'une pièce *q*, fixée sur le plateau *A*, et leur rayon est calculé de telle sorte que les chaînettes en s'enroulant exercent constamment leur traction suivant une direction parallèle à l'axe du ressort.

La pièce  $q$ , est évidée de manière à livrer librement passage au ressort à boudin.

Il résulte du dispositif ci-dessus décrit que les déplacements angulaires des plateaux restent proportionnels aux charges imposées au ressort et par suite au travail transmis au moyen du dynamomètre.

Il en résulte aussi par conséquent que les déplacements du crayon sont aussi proportionnels aux forces transmises.

Par suite le diagramme tracé par le crayon pendant la marche de l'appareil, donne un tracé exact de la résistance pendant toute la durée de l'essai.

E. — *Compteurs de tours.* — Le dynamomètre est muni de deux compteurs de tours, l'un d'un système quelconque de ceux généralement employés indiquant par différence au moyen de cadrans et d'aiguilles, le nombre de tours fait par l'arbre du dynamomètre pendant l'expérience, l'autre inscrivant sur le diagramme même le nombre de tours faits.

Le premier qui n'a pas besoin d'une description particulière est disposé de façon à pouvoir être commandé par la vis sans fin qui se trouve à l'extrémité de l'arbre B.

Le deuxième spécial au dynamomètre système Leneveu est constitué de la manière suivante.

L'extrémité de l'arbre D du côté de l'enregistreur porte une vis sans fin,  $r$ , qui commande la roue  $s$ , calée sur l'arbre  $t$ , et par suite la roue  $u$ , calée sur le même arbre.

La roue  $u$ , en commandant la roue  $v$ , fait tourner l'arbre  $x$ , et par suite la roue  $y$ , et la molette  $z$ .

La roue  $y$ , donne enfin le mouvement à l'arbre 2, et à la molette 3, par l'intermédiaire de la roue 1,

Les molettes 2 et 3 ont pour mission de tracer à chacun de leurs tours un petit trait sur le papier du diagramme.

Elles sont constituées simplement par deux petits traceurs à ressort qui à chaque tour de l'arbre qui les porte, viennent rencontrer le papier du diagramme.

Comme on le voit sur le dessin, les traits ainsi tracés sont situés à des hauteurs différentes pour chacune des molettes.

Les engrenages sont combinés de telle façon que la molette 2 trace un trait par 10 tours du dynamomètre, et que la molette 3 trace un trait chaque fois que le dynamomètre a fait 100 tours.

On obtient aussi au bas des diagrammes deux lignes pointillées qui font connaître le nombre de tours faits par le dynamomètre, non seulement pendant toute la durée de l'expérience, mais encore pendant le temps qui a été employé à tracer une portion quelconque du diagramme.

Comme d'autre part, la durée du temps considéré est indiquée par les or-

données imprimées sur le papier, on se trouve en possession de tous les éléments nécessaires pour se rendre un compte bien exact de la manière dont s'est opéré le travail, et particulièrement du glissement des courroies que l'on peut facilement évaluer en fonction du travail exécuté.

*F. — Cylindre enregistreur.* — Cet organe n'offre rien de bien particulier; il est du même genre que les appareils similaires fréquemment employés à cet usage.

Nous signalerons seulement ce fait qu'il est embrayé, avec son mouvement d'horlogerie, de façon à pouvoir en être rendu très facilement indépendant pour permettre de tracer directement avec le crayon du dynamomètre les abscisses correspondant à diverses charges déterminées, et aussi de disposer l'origine du diagramme au point qui convient le mieux pour l'expérience à faire.

Le cylindre renferme un mouvement d'horlogerie qui lui communique un mouvement de rotation d'une vitesse déterminée.

La vitesse de rotation peut varier à volonté, selon la nature des expériences à faire, de façon que le cylindre accomplisse une révolution en quelques minutes ou en plusieurs heures.

*G. — Tableau donnant sans calcul le travail en chevaux.* — Le dynamomètre de rotation enregistreur, tel que nous venons de le décrire, est tout disposé pour recevoir les feuilles à diagramme servant à nos divers essais, mais l'appareil enregistreur est en outre établi en vue de fournir la résistance en chevaux de toute machine quand on désire l'évaluer.

A cet effet, le papier du diagramme est divisé à l'avance en heures, minutes et fractions de minutes, en raison de la vitesse de rotation du tambour sur lequel il doit être placé, et l'appareil enregistreur inscrit automatiquement sur un papier *ad hoc* :

1° La courbe continue des pressions exercées sur le ressort pendant la durée d'une expérience;

2° Le temps pendant lequel l'opération a été faite;

3° Le nombre de tours effectifs faits par l'appareil pendant l'essai.

La connaissance de ces éléments, essentiellement variables, jointe à celles des constantes de l'appareil, permet de calculer très facilement le travail transmis par le dynamomètre.

Il est de plus à remarquer qu'à tout instant de la marche on peut, après s'être rendu compte de la vitesse de rotation de l'appareil en essai, évaluer, avec une approximation très suffisante, le travail actuel de la machine ou de l'appareil essayé.

Le tableau suivant permet de trouver sans calculs le travail en chevaux effectué à un moment donné.

Tableau indiquant en chevaux-vapeur la force transmise par le dynamomètre (ressort de 1 kil. par cent)

$$\text{Le travail en chevaux } T_1 = \frac{P \cdot 2 \pi \cdot l \cdot n}{60 \times 75} = \frac{P n \times 2 \pi \cdot l}{60 \times 75} = P n \times 0.00013962666$$

|                    |                                                 |          |          |          |          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |                    |
|--------------------|-------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|
| Tours par minute n | PRESSIONS INDICUÉES PAR L'ENREGISTREUR (2) (P). |          |          |          |          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       | Tours par minute n |
|                    | 0 k. 01                                         | 0 k. 025 | 0 k. 050 | 0 k. 075 | 0 k. 100 | 1 k. | 2 k. | 3 k. | 4 k. | 5 k. | 6 k. | 7 k. | 8 k. | 9 k. | 10 k. | 11 k. | 12 k. | 13 k. | 14 k. |                    |

(1)

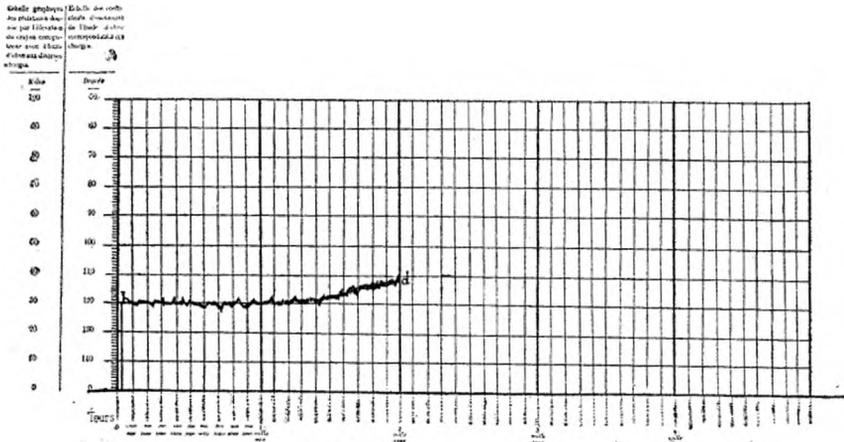
Travail en chevaux-vapeur de 75 kilogrammètres

(1)

|      |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |      |
|------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------|
| 1    | 0.00001396 | 0.00003490 | 0.00006980 | 0.00010470 | 0.00013963 | 0.00013963 | 0.00027925 | 0.00041888 | 0.00055851 | 0.00069813 | 0.00083776 | 0.00097739 | 0.00111701 | 0.00125664 | 0.00139627 | 0.00153589 | 0.00167552 | 0.00181515 | 0.00195477 | 0.00209440 | 1    |
| 2    | 0.00002790 | 0.00006980 | 0.00013963 | 0.00020940 | 0.00027925 | 0.00027925 | 0.00055851 | 0.00083776 | 0.00111701 | 0.00139627 | 0.00167552 | 0.00195477 | 0.00223402 | 0.00251328 | 0.00279253 | 0.00307178 | 0.00335104 | 0.00363029 | 0.00390955 | 0.00418880 | 2    |
| 3    | 0.00004190 | 0.00010470 | 0.00020940 | 0.00031410 | 0.00041889 | 0.00041887 | 0.00083776 | 0.00125664 | 0.00167551 | 0.00209440 | 0.00251328 | 0.00293215 | 0.00335104 | 0.00376992 | 0.00418879 | 0.00460766 | 0.00502656 | 0.00544544 | 0.00586432 | 0.00628320 | 3    |
| 4    | 0.00005580 | 0.00013960 | 0.00027920 | 0.00041880 | 0.00055850 | 0.00055851 | 0.00111701 | 0.00167552 | 0.00223402 | 0.00279253 | 0.00335104 | 0.00390954 | 0.00446805 | 0.00502656 | 0.00558507 | 0.00614373 | 0.00670208 | 0.00726058 | 0.00781901 | 0.00837760 | 4    |
| 5    | 0.00006980 | 0.00017450 | 0.00034900 | 0.00052350 | 0.00069810 | 0.00069813 | 0.00139626 | 0.00209440 | 0.00279253 | 0.00349066 | 0.00418880 | 0.00488693 | 0.00558506 | 0.00628320 | 0.00698133 | 0.00767966 | 0.00837760 | 0.00907573 | 0.00977386 | 0.01047200 | 5    |
| 6    | 0.00008370 | 0.00020940 | 0.00041880 | 0.00062830 | 0.00083770 | 0.00083776 | 0.00167551 | 0.00251328 | 0.00335104 | 0.00418880 | 0.00502655 | 0.00586432 | 0.00670207 | 0.00753984 | 0.00837759 | 0.00921560 | 0.01005312 | 0.01089088 | 0.01172864 | 0.01256640 | 6    |
| 7    | 0.00009770 | 0.00024430 | 0.00048870 | 0.00073300 | 0.00097730 | 0.00097738 | 0.00195477 | 0.00293216 | 0.00390955 | 0.00488693 | 0.00586432 | 0.00684170 | 0.00781908 | 0.00879648 | 0.00977386 | 0.01075124 | 0.01172864 | 0.01270616 | 0.01368368 | 0.01466080 | 7    |
| 8    | 0.00011170 | 0.00027920 | 0.00055850 | 0.00083770 | 0.00111700 | 0.00111701 | 0.00223402 | 0.00335104 | 0.00446805 | 0.00558507 | 0.00670208 | 0.00781908 | 0.00893610 | 0.01005312 | 0.01117012 | 0.01228716 | 0.01340416 | 0.01452117 | 0.01563818 | 0.01675520 | 8    |
| 9    | 0.00012560 | 0.00031410 | 0.00062830 | 0.00094240 | 0.00125650 | 0.00125653 | 0.00251327 | 0.00376992 | 0.00502655 | 0.00628320 | 0.00753984 | 0.00879647 | 0.01005312 | 0.01130976 | 0.01256639 | 0.01382300 | 0.01507968 | 0.01633631 | 0.01759295 | 0.01884960 | 9    |
| 10   | 0.00013960 | 0.00034900 | 0.00069810 | 0.00104720 | 0.00139630 | 0.00139627 | 0.00279253 | 0.00418880 | 0.00558507 | 0.00698133 | 0.00837760 | 0.00977387 | 0.01117013 | 0.01256640 | 0.01396267 | 0.01535893 | 0.01675520 | 0.01815147 | 0.01954773 | 0.02094400 | 10   |
| 100  | 0.00139630 | 0.00034907 | 0.00069813 | 0.00104720 | 0.00139627 | 0.01396267 | 0.02792533 | 0.04188800 | 0.05585067 | 0.06981333 | 0.08377600 | 0.09773867 | 0.11176133 | 0.12566400 | 0.13962667 | 0.15358933 | 0.16755200 | 0.18151467 | 0.19547733 | 0.20944000 | 100  |
| 200  | 0.00279260 | 0.00069813 | 0.00139626 | 0.00209439 | 0.00279253 | 0.02792533 | 0.05585069 | 0.08377600 | 0.11170133 | 0.13962667 | 0.16755200 | 0.19547733 | 0.22340267 | 0.25132800 | 0.27925333 | 0.30717866 | 0.33510400 | 0.36302933 | 0.39095466 | 0.41888000 | 200  |
| 400  | 0.00558520 | 0.00139626 | 0.00279253 | 0.00418879 | 0.00558506 | 0.05585066 | 0.11170133 | 0.16755200 | 0.23340266 | 0.27925333 | 0.33510400 | 0.39095466 | 0.44680533 | 0.50265600 | 0.55850666 | 0.61435732 | 0.67020800 | 0.72605866 | 0.78190933 | 0.83776000 | 400  |
| 600  | 0.00837780 | 0.00209440 | 0.00418879 | 0.00628319 | 0.00837760 | 0.08377600 | 0.16755199 | 0.25132800 | 0.33510400 | 0.41888000 | 0.50265600 | 0.58643199 | 0.67020799 | 0.75398400 | 0.83775999 | 0.92153598 | 1.00531200 | 1.08908800 | 1.17286398 | 1.25664000 | 600  |
| 800  | 0.00111704 | 0.00279253 | 0.00558506 | 0.00837759 | 0.01117013 | 0.11170133 | 0.22340266 | 0.33510400 | 0.44680532 | 0.55850666 | 0.67020800 | 0.78190932 | 0.89361066 | 1.00531200 | 1.11701320 | 1.22871464 | 1.34041600 | 1.45211733 | 1.56381866 | 1.67552000 | 800  |
| 1000 | 0.00139627 | 0.00349067 | 0.00698133 | 0.01047199 | 0.01396267 | 0.13962667 | 0.27925333 | 0.41888000 | 0.55850666 | 0.69813333 | 0.83776000 | 0.97738666 | 1.11701333 | 1.25664000 | 1.39626667 | 1.53589333 | 1.67552000 | 1.81514667 | 1.95477333 | 2.09440000 | 1000 |

(1) Déduit des indications du compteur de tours ou de celles de l'indicateur de vitesse.  
 (2) Lues sur le papier de l'enregistreur ou sur la graduation placée sur les plateaux.

Le diagramme représenté par la figure ci-jointe a été tiré systématiquement pour faire voir en une seule figure comment les indications du dynamomètre varient avec les conditions du travail.



Résultat :

Coefficient d'onctuosité =  $120^\circ$  }  
 Capacité onctueuse = 2000 } pouvoir lubrifiant =  $120 \times 2000 = 240$  degrés.  
 Le litre de l'échantillon est donc  $240^\circ$ , celui de l'huile d'olive étant  $100^\circ$ .

Les traits tracés au bas du diagramme sont ceux faits par les deux stylets du compteur des dizaines de tours et de celui des centaines de tours. On peut, à l'aide de ces deux indications, calculer exactement le nombre de tours faits par le dynamomètre pendant une période quelconque de l'expérience.

*Explication des diverses phases du diagramme.* 1<sup>re</sup> phase de a à b, durée une minute, marche du dynamomètre à vide. — Le dynamomètre, commandé par le renvoi de la machine est mis en marche à vide et à la vitesse de 145 tours par minute.

La mise en marche est opérée au moyen du débrayage ordinaire de la machine par le passage de la courroie de la poulie folle sur la poulie fixe.

a. — L'inertie de l'appareil mis brusquement en marche, à la vitesse moyenne de 145 tours, produit un travail qui s'élève jusqu'à la pression de 4 kil. 200.

b. — Le diagramme indique ensuite une pression moyenne de 200 grammes, traduite par un trait légèrement ondulé.

Pendant l'exécution de cette partie du diagramme, on remarque de légères

ondulations dues en partie aux passages sur les poulies de la transmission et du dynamomètre des agrafes au moyen desquelles est opérée la jonction de la courroie de commande, partie aux variations continuelles de vitesse que subit la transmission actionnant le dynamomètre, et que l'on sait avoir toujours lieu dans toutes les transmissions mécaniques actionnant de nombreuses machines, à tout instant embrayées ou déembrayées, et dont par conséquent le travail varie considérablement.

A la vitesse de 146 tours, la pression 200 grammes correspond à 0,305 kilogrammètres, ou à 0,004077 chevaux, force prise par le dynamomètre marchant à vide.

*2° phase de c à b, durée 1/2 minute, mise en place de la machine, réglage des stylets compteurs.* — On arrête le dynamomètre et on place la courroie qui doit commander la machine ; le crayon de l'enregistreur marque une pression de 7 kilogrammes, due à ce fait que l'on maintenait à la main la poulie du dynamomètre sur laquelle était la courroie de la transmission pendant que l'on plaçait la courroie de la machine sur l'autre poulie. Une fois la première poulie abandonnée, l'enregistreur revient à 0.

Le crayon de l'enregistreur est ensuite reculé et ne marque plus pendant 1/2 minute ; on opère pendant ce temps le réglage des stylets compteurs de tours.

*3° Phase de c à d, durée 45" environ, marche de la machine à vide.* —

*a.* — On fait marcher la machine à vide.

L'inertie de la machine brusquement embrayée produit un trait qui s'élève jusqu'à la pression de 9 kil. 200.

*b.* — Le diagramme indique ensuite une pression variant entre 4 et 5 kilogrammes ; les ondulations, beaucoup plus accentuées que celles obtenues avec le dynamomètre à vide, sont comme ces dernières dues au passage des coutures et des agrafes des diverses courroies et cordes de commande sur les poulies du dynamomètre et de la machine, aux légers faux ronds qui existent dans les organes mis en mouvement et qui ont pour effet de faire varier la tension des courroies et des cordes, aux variations incessantes de vitesse de la transmission, qui se produisent dans la machine en passant par le dynamomètre.

Ces diverses variations portant sur une charge beaucoup plus considérable que pendant la marche à vide du dynamomètre seul, dont l'inertie est très faible, sont naturellement beaucoup plus importantes, et par conséquent beaucoup plus accentuées.

Dans les autres phases du diagramme, elles se reproduisent continuellement pour les mêmes causes, auxquelles viennent s'en ajouter diverses autres, dues

aux conditions du travail, faux rond de la fraise, copeaux engagés sous l'outil, etc., etc.

|                                             |   |                                         |                     |            |                                             |
|---------------------------------------------|---|-----------------------------------------|---------------------|------------|---------------------------------------------|
| Travail absorbé<br>par la<br>machine à vide | } | Vitesse moyenne : 146 tours par minute. |                     |            |                                             |
|                                             |   | Pression —                              | 4 <sup>k</sup> ,380 | corresp. à | 6,7145 <sup>kgm</sup> et à 0,089527 cheval. |
|                                             |   | — maximum :                             | 4 <sup>k</sup> ,760 | —          | 7,2970 — et à 0,077294 —                    |
|                                             |   | — minimum :                             | 3 <sup>k</sup> ,500 | —          | 5,3655 — et à 0,071540 —                    |

4<sup>e</sup> Phase de *d* et *e*, durée 1' 45" environ, passe de 0<sup>mm</sup>,1.

*a.* — Au point *d*, on arrête brusquement la machine, et on la remet en marche aussitôt, ce qui occasionne la descente du rayon enregistreur à 0 kilogramme à peu près, et sa montée immédiate à 7 kilos 600; l'enregistreur revient ensuite à la pression qui existait avant ce mouvement. On règle la fraise de manière à lui faire exécuter une passe de 0 millimètre, mais elle ne commence à attaquer le métal qu'au point *d'*.

*b.* — Au point *d'* et jusqu'au point *e*, la fraise exécute une passe de 0<sup>mm</sup>,1.

La pression augmente progressivement du point *d* au point *d'*, au fur et à mesure que la fraise entame le métal de 0 à 1 dixième. A partir de ce moment, la pression varie peu; les ondulations du diagramme sont dues aux diverses causes énoncées plus haut.

|                                                                                             |   |                                         |                     |            |                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----------------------------------------|---------------------|------------|----------------------------------------|
| Evaluation du tra-<br>vail absorbé par<br>la machine pen-<br>dant la passe de<br>1 dixième. | } | Vitesse moyenne : 140 tours par minute. |                     |            |                                        |
|                                                                                             |   | Pression —                              | 4 <sup>k</sup> ,580 | corresp. à | 6,7191 <sup>kgm</sup> et à 0,089588 ch |
|                                                                                             |   | — maximum :                             | 4 <sup>k</sup> ,190 | —          | à 7,6293 — et à 0,101724 —             |
|                                                                                             |   | — minimum :                             | 4 <sup>k</sup> , »  | —          | à 5,900 — et à 0,0784 —                |

5<sup>e</sup> Phase de *e* à *f*, durée 2' passe de 0<sup>mm</sup>,2.

*a.* — Au point *e*, on recule très rapidement la fraise pour ramener le chariot de la fraiseuse au point de départ; on arrête en même temps la machine, et on la remet en marche aussitôt très rapidement; le crayon de l'enregistreur indique que le démarrage s'est fait sous une pression supérieure à 10 kilogrammes; le démarrage opéré, la pression indiquée est celle exercée par la machine marchant à vide.

*b.* — Du point *e* au point *e'*, la fraise réglée, pour exécuter une passe de 2 dixièmes, attaque progressivement le métal.

*c.* — De *e'* à *e''*, la fraise exécute la passe de deux dixièmes.

*d.* — Du point *e*, on recule la fraise sans arrêter la machine, et on la prépare pour une passe de 3 dixièmes.

De *e''* à *e'''*, la pression descend progressivement jusqu'à celle exercée par la machine à vide.

*e.* — Du point *e'''* au point *f*, on fait tourner à la main le tambour de l'in-

dicateur pour attaquer la passe de 3 dixièmes, exactement à la sixième minute. Ce mouvement produit le trait horizontal que l'on remarque dans le diagramme; pendant ce temps, la machine est arrêtée.

Evaluation du travail absorbé par la machine pendant la passe de 2/10.  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Vitesse moyenne : 140 tours par minute.} \\ \text{Pression — : } 4^k,700 \text{ corresp. à } 6,909 \text{ }^{kgm} \text{ et à } 0,09212 \text{ ch.} \\ \text{— maximum : } 5^k,370 \text{ — } 7,8339 \text{ — } 0,105252 \text{ —} \\ \text{— minimum : } 4^k,180 \text{ — } 6,14475 \text{ — } 0,08198 \text{ —} \end{array} \right.$

6<sup>e</sup> Phase de f à g, durée 98" environ, passe de 0<sup>mm</sup>,3.

Au point f, on remet la machine en marche.

L'inertie occasionne une pression brusque traduite par le trait qui monte jusqu'à 8 kil. 100.

Une fois la machine en route, la pression indiquée est celle exercée par la machine marchant à vide, jusqu'à ce que la fraise attaque le métal; la pression monte alors progressivement jusqu'au point où la fraise commence à exécuter la passe de 3 dixièmes.

b. — Du point f' au point f'', la fraise exécute la passe de 3 dixièmes.

c. — Du point f'' au point f''', on recule la fraise, qui abandonne progressivement le métal; on arrête la machine.

é. — Du point f''' au point g, on fait tourner le tambour à la main pour remettre en marche à la huitième minute.

Evaluation du travail absorbé par la machine pendant la passe de 3/10.  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Vitesse moyenne : 148 tours par minute.} \\ \text{Pression — : } 5^k,070 \text{ corresp. à } 7,87875 \text{ }^{kgm} \text{ et à } 0,10505 \text{ ch.} \\ \text{— maximum : } 5^k,770 \text{ — } 8,9550 \text{ — } 0,119439 \text{ —} \\ \text{— minimum : } 4^k,570 \text{ — } 7,1050 \text{ — } 0,09459 \text{ —} \end{array} \right.$

7<sup>e</sup> Phase de g à h durée 97" environ, passe de 0<sup>mm</sup>,4.

a. — Au point g, on remet la machine en marche.

L'inertie occasionne une pression brusque, traduite par le trait qui s'élève jusqu'à la pression de 8 kil. 300.

Une fois la machine en route, la pression indiquée est celle exercée par la machine marchant à vide jusqu'à ce que la fraise commence à exécuter la passe de 4 dixièmes.

b. — Du point g' au point h, la fraise exécute la passe de 4 dixièmes.

Evaluation du travail absorbé par la machine pendant la passe de 4/10.  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Vitesse moyenne : 148 tours par minute.} \\ \text{Pression — : } 5^k,380 \text{ corresp. à } 8,3475 \text{ }^{kgm} \text{ et à } 0,11136 \text{ ch.} \\ \text{— maximum : } 9^k, \text{ » — } 9,315 \text{ — } 0,1252 \text{ —} \\ \text{— minimum : } 4^k,750 \text{ — } 7,3725 \text{ — } 0,0983 \text{ —} \end{array} \right.$

8<sup>e</sup> phase de  $h$  à  $i$  durée 95" environ, passe de 1 millimètre.

*a.* — Sans arrêter la machine et en continuant de faire avancer le chariot de la fraiseuse, on fait enlever à l'outil le ressaut de 6 dixièmes formé par les passes précédentes, ce qui constitue par conséquent une passe de 1 millimètre.

Au point où la fraiseuse commence à attaquer le ressaut de 0<sup>mm</sup>,6, la pression monte progressivement jusqu'au point  $h'$  où la fraise exécute complètement la passe de 1 millimètre.

*b.* — Du point  $h'$  au point  $e$  la fraise exécute la passe de 10 dixièmes.

|                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Evaluation du travail absorbé par la machine pendant la passe de 10/10. | $\left\{ \begin{array}{l} \text{Vitesse moyenne : 140 tours par minute.} \\ \text{Pression — : 7,480 corresp. à 10,995}^{kgm} \text{ et à 0,146608 ch.} \\ \text{— maximum : 7,920 — 11,64 — 0,155232 —} \\ \text{— minimum : 7,080 — 10,4025 — 0,138768 —} \end{array} \right.$ |
|                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

9<sup>e</sup> phase de  $i$  à  $j$  durée 45 secondes, la machine marche à vide.

*a.* — Au point  $t$  on dégage la fraise, la machine marche ensuite à vide jusqu'au point  $j$ .

|                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Evaluation du travail absorbé par la machine pendant la marche à vide. | $\left\{ \begin{array}{l} \text{Vitesse moyenne : 146 tours par minute.} \\ \text{Pression — : 4 k. corresp. à 6,12}^{kgm} \text{ et à 0,0816 cheval.} \\ \text{— maximum : 4,500 — 6,885 — 0,0918 —} \\ \text{— minimum : 3 k. — 4,50 — 0,0612 —} \end{array} \right.$ |
|                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                         |

Le travail exigé par la marche à vide de la machine pendant la 9<sup>e</sup> phase, et qui est de 0 0816 cheval, diffère, comme on le voit, de celui indiqué pendant la marche à vide de la 3<sup>e</sup> phase, et qui est de 0 0895 cheval. On recherche la cause de cette différence, et on constate que par suite d'une légère irrégularité dans l'ajustage des chariots de la machine, conduits automatiquement par des cordes en boyau; le mouvement du chariot donnant le mouvement longitudinal est moins serré dans ses glissières et par suite moins dur qu'au point où l'on a commencé l'expérience.

*Essai des huiles.* — Le dynamomètre de M. Leneveu est employé pour ces essais, tel qu'il l'a construit et tel que nous venons de le décrire : il n'y a que les feuilles de diagrammes qui soient différentes.

Nous avons dit qu'on se contentait tout simplement de faire actionner la machine primitive d'essai déjà décrite par ce dynamomètre enregistrant la résistance.

Comme il porte en lui même ses compteurs de tours, l'ancienne machine d'essai se trouve réduite à sa plus simple expression, c'est-à-dire à l'arbre A et à l'appareil à friction disposé de telle sorte que le coussinet puisse recevoir une température donnée au moyen d'un courant de vapeur en pression qu'on peut

y faire circuler et de manière à ce que tous les genres d'alimentation et de circulation d'huile puissent être appliqués.

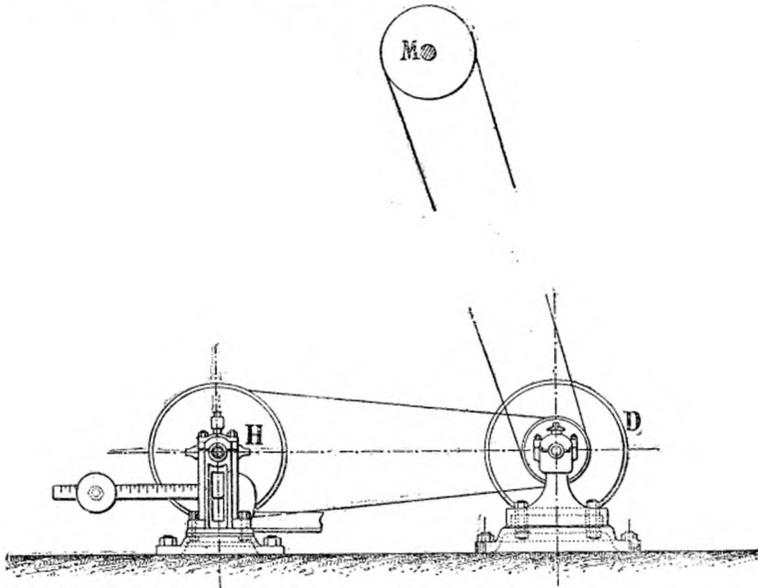


FIG. 14

Soient M la transmission quelconque à laquelle le mouvement du dynamomètre est emprunté.

Le dynamomètre D qui reçoit son mouvement de cette transmission, le transmet à la machine à essayer les huiles H en enregistrant la force prise par la machine.

A chaque essai sont déterminés sur la feuille à diagramme :

- 1° La force absorbée par la machine d'essai H,
- 2° Son nombre de tours,
- 3° La température des surfaces en friction de la machine d'essai,
- 4° La charge sur ces surfaces en friction.

Pour essayer les huiles, nous avons à déterminer soit le coefficient d'onctuosité soit la capacité onctueuse, le produit de ces deux quantités étant le pouvoir lubrifiant cherché.

Il faut que ces deux quantités soient déterminées à telle ou telle température, telle ou telle charge des surfaces frottantes ; et en effet une huile qui à la température ordinaire ou à une faible charge, accuse un pouvoir lubrifiant considérable, n'offre plus, quand il s'agit du graissage dans la vapeur ou avec une lourde charge, qu'une valeur absolument nulle.

Reproduire sur la machine d'essai, soit la charge, soit la température des machines mêmes qu'il s'agit de graisser, est donc une condition absolument nécessaire pour obtenir le pouvoir lubrifiant des huiles de graissage.

*Conduite des essais les plus usuels à 50 kilogrammes de charge par centimètre et à la température ordinaire.* — Occupons-nous du cas le plus simple et le plus usuel, celui qui se présente pour tout achat d'huile, en vue du graissage des machines.

Dans ce cas, plusieurs échantillons d'huile sont à essayer.

Nous déterminons le pouvoir lubrifiant de chacun d'eux à la température ordinaire et à la charge de 50 kilogrammes par centimètre carré ; cette température étant celle la plus ordinaire de la marche des machines, cette charge de 50 kilogrammes étant plus que suffisante pour garantir à l'usage les huiles essayées.

On produit la charge de 50 kilogrammes sur la machine d'essai, en déplaçant le contrepoids sur le levier de l'appareil à friction jusqu'à la division marquée 50 kilogrammes sur ce levier. Quant à la température, elle est celle de l'air ambiant.

On fait l'essai en interposant, à l'aide d'un compte-gouttes en verre 0 gr. 20 de l'échantillon entre le tambour et le coussinet de l'appareil à friction, nous expliquerons plus loin pourquoi nous avons adopté ce chiffre de 0 gr. 20 plutôt que tout autre quantité. Il faut soulever le coussinet et laisser tomber directement l'huile sur le tambour, il est nécessaire de vérifier pour chaque essai le poids réglementaire de l'échantillon à mettre en expérience en suspendant le compte-goutte avant et après l'expulsion de l'huile à une balance de précision.

D'ailleurs chacun peut employer tel autre moyen qu'il lui plaira de mesurer la quantité de 0 gr. 20 de l'échantillon à mettre invariablement en expérience.

Avant de commencer l'essai, on enlève un instant le contrepoids de l'appareil à friction, et en faisant marcher à blanc, on contrôle la position du crayon de l'enregistreur ; on dispose la feuille à diagramme de manière à ce que ce crayon se trouve bien en face du zéro de l'échelle ; cette marche à blanc de quelques instants sert encore à bien répartir uniformément l'huile entre les surfaces frottantes.

La feuille à diagramme (dont nous donnons ici un spécimen) porte imprimées sur le côté gauche deux colonnes verticales, l'une porte l'échelle graphique des résistances donnée par l'élévation du crayon enregistreur avec l'huile d'olive aux diverses charges de 0 à 100 kilogrammes par centimètre ; l'autre en regard de chaque charge le coefficient d'onctuosité de l'huile d'olive pour cette charge. Nous donnons plus loin la manière d'établir cette échelle des coefficients d'onctuosité de l'huile d'olive sur les feuilles à diagramme. Au bas de la feuille horizontalement, sur deux lignes (des centaines et des milles) sont enregistrés les tours faits par la machine d'essai.

Un compteur à cadran sur le dynamomètre permet de vérifier l'accord parfait

qui doit exister entre les tours inscrits sur le diagramme et ceux du dynamomètre.

Le crayon de l'enregistreur d'une part, le compteur de tours d'autre part marquant bien zéro au moment de la mise en marche de l'essai on met cet essai en marche en retabliant la charge à 50 kilogrammes, c'est-à-dire en remplaçant sur la division du levier marquée 50 kilogrammes le contrepoids qui avait été enlevé pour la vérification.

Dès la mise en marche, la résistance de la machine d'essai se traduit sur le dynamomètre par l'élévation verticale sur la feuille à diagramme du crayon de l'enregistreur jusqu'à une certaine hauteur. Soit  $120^\circ$  le coefficient d'onctuosité marqué par le crayon et désignons par la lettre  $b$ , sur la feuille de diagramme ce point où le crayon s'est élevé.

Ce degré  $120$  est le coefficient d'onctuosité de l'échantillon essayé. Le crayon cependant trace peu à peu à partir du point  $b$ , une certaine ligne sur la feuille à diagramme d'autant plus courbée et s'élevant d'autant plus verticalement, que l'huile se dénaturant de plus en plus, la résistance devient plus grande.

Pendant ce temps l'expérimentateur qui ne quitte pas des yeux le thermomètre de l'appareil à friction pour saisir le moment où la température commence à s'élever, peut arrêter l'essai; aussitôt que le thermomètre lui signale un commencement d'échauffement les deux facteurs cherchés lui sont connus: le coefficient d'onctuosité  $120^\circ$  obtenu dès la mise en marche, la capacité onctueuse qui est le nombre de tours correspondant au bas de la feuille à l'extrémité de l'arc,  $b, d$ , tracé par l'enregistreur. Soit 2000 ce nombre de tours.

$$120 \times 2000 = 240\,000 \text{ ou } 240^\circ \text{ (en supprimant 3 zéros).}$$

tel est le titre du pouvoir lubrifiant de l'échantillon.

On supprime ainsi 3 zéros pour tous les essais afin de ramener aux centaines tous les chiffres de l'échelle des pouvoirs lubrifiants des huiles.

On essaye de la même manière chacun des échantillons d'huile dont il s'agit; on obtient ainsi une série de pouvoirs lubrifiants qui se rapportent tous au pouvoir lubrifiant ou au titre de l'huile d'olive égal à 100, pris pour base de l'échelle des pouvoirs lubrifiants de toutes sortes d'huiles.

Nous expliquons plus loin comment le pouvoir lubrifiant de l'huile d'olive pris pour base de notre échelle des pouvoirs lubrifiants des autres huiles a été ramené au titre 100 sur cette échelle.

Pour l'échantillon que nous venons d'essayer, le titre fourni par notre essai étant  $240^\circ$  cela veut dire que son pouvoir lubrifiant est supérieur à celui de l'huile d'olive dans le rapport de 240 à 100.

*Conduite des essais aux diverses charges et à la température ordinaire.*

— Nous venons d'essayer un échantillon à 50 kilogrammes de charge, autrement dit, nous venons de rechercher lubrifiant de cet échantillon à 50 kilogrammes de charge, on conçoit qu'il n'y aurait eu rien de changé s'il eut fallu déterminer son pouvoir lubrifiant à 80 kilogrammes par exemple de charge par centimètre.

Il nous eut suffi de produire pour l'essai la charge de 83 kilogrammes sur l'appareil à friction de la machine d'essai.

La marche de l'essai eût été identiquement la même et le rapport entre le pouvoir lubrifiant de l'échantillon à 84 kilogrammes et le pouvoir lubrifiant de l'huile d'olive à cette charge de 84 k. nous eût été fourni de la même manière sur la feuille à diagramme.

Dans le cas où l'on veut obtenir une échelle à 84 kilogrammes de charge des diverses huiles naturelles ou mélangées, il suffit de construire l'échelle des coefficients d'onctuosité de l'huile d'olive à 84 kilogrammes sur une feuille à diagramme établie en suivant la même marche que celle que nous avons suivie pour l'établissement de cette échelle à 54 kilogrammes (voir plus loin cette marche à suivre) ; on détermine ensuite de la même manière à 82 kilogrammes le pouvoir lubrifiant des diverses huiles et l'échelle à 80 kilogrammes de ces pouvoirs lubrifiants, l'huile d'olive restant toujours le terme de comparaison auquel se rapportent les autres pouvoirs lubrifiants.

Ces essais établissant le pouvoir lubrifiant des diverses huiles aux diverses charges sont nécessaires aux marchands d'huiles, aux compagnies de chemins de fer, aux industriels, à tous ceux enfin qui ont des machines à graisser sous ces fortes charges.

*Conduite des essais à la charge de 50 kilogrammes par centimètre et aux diverses températures. Essais des huiles pour machines à vapeur.* — Au lieu d'avoir à établir l'échelle des pouvoirs lubrifiants aux diverses charges pour une température donnée, il s'agit ici d'établir l'échelle des pouvoirs lubrifiants des huiles aux diverses températures pour une charge donnée.

C'est le cas des essais d'huiles pour machines à vapeur. Pour ces machines les organes à lubrifier ne supportent pas une charge considérable, aussi faisons nous ces essais à 56 kilogrammes de charge par centimètre invariablement. Quant à la température, il convient de faire les essais soit à 163°, chaleur de la vapeur à 6 atmosphères de pression, soit à 189°, chaleur de la vapeur à 9 atmosphères, suivant la pression à laquelle marchent les machines qu'il s'agit de graisser.

Pour obtenir cette température des surfaces frottantes, le coussinet de l'appareil à friction porte des tubulures permettant d'y faire circuler de la vapeur en pression. Le voisinage d'une chaudière fournissant de la vapeur à 7 ou 9 atmosphères est donc nécessaire pour ces essais.

La chaleur étant obtenue pour les surfaces frottantes par ce procédé, les essais s'effectuent avec nos appareils exactement comme ceux que nous avons déjà décrits et l'échelle des pouvoirs lubrifiants des diverses huiles s'établit d'une façon identique.

On doit toutefois procéder avec une grande prudence à cause de la plus

grande facilité avec laquelle les surfaces peuvent être endommagées accidentellement.

Le dynamomètre dans ces essais doit être surveillé avec le plus grand soin ; c'est lui qui par une brusque indication d'augmentation de résistance avertit autant que le thermomètre lui-même, du moment où la capacité onctueuse de l'échantillon commence à diminuer ou est épuisée.

Pour faciliter la marche de l'essai on peut doubler, quintupler et décupler même la quantité d'huile réglementaire fixée pour les essais, c'est-à-dire opérer avec 0 gr. 40 ou 1 gr. ou 2 gr. de l'échantillon au lieu de 0 gr. 20 ; on introduit cette quantité d'huile sur les surfaces pendant les premières minutes de l'expérience. On n'aura évidemment pour ramener la capacité onctueuse ainsi doublée, quintuplée ou décuplée, quant aux indications de l'appareil, à la capacité onctueuse vraie, qu'à diviser par 2, par 5, ou par 18 le nombre de tours enregistrés sur la feuille à diagramme.

*Conduite des essais dans le cas de fortes charges et de hautes températures simultanées.* — Dans le cas où il s'agit du graissage des machines fonctionnant avec forte charge et haute température simultanées, on procède encore aux essais d'huile de la même manière que pour les cas déjà mentionnés en chargeant l'appareil à friction et en échauffant les surfaces frottantes de la quantité voulue. Cependant une plus grande habileté et une plus grande prudence sont requises de la part de l'expérimentateur pour ces essais afin de ne pas endommager les surfaces.

*Manière d'établir l'échelle des coefficients d'onctuosité de l'huile d'olive sur les feuilles à diagrammes.* — Nous avons décrit la manière pratique de faire les divers essais d'huile par cette méthode dynamométrique. Il nous reste à prouver la justesse de cette méthode et l'exactitude rigoureuse de ses résultats.

Tout d'abord comment l'échelle des coefficients d'onctuosité de l'huile d'olive a-t-elle été établie sur nos feuilles à diagrammes ? Cette échelle est-elle toujours vraie et susceptible de vérification ?

Elle est susceptible de vérification ; elle peut être contrôlée et rétablie avec la plus grande précision et nous ajouterons avec la plus grande facilité.

Il fallait pour point de départ une qualité d'huile dont l'onctuosité invariable et égale à elle-même put toujours se retrouver et put par conséquent servir de base à l'échelle comparative des pouvoirs lubrifiants des autres huiles. L'huile d'olive jouit de cette propriété de présenter toujours une onctuosité identique pourvu qu'elle soit naturelle et le produit d'une récolte d'olives arrivée convenablement à maturité.

Aussi a-t-elle été adoptée pour établir l'échelle des coefficients d'onctuosité à laquelle doivent être rapportés les coefficients d'onctuosité des autres huiles.

A la température moyenne de 14 degrés elle est l'étalon des pouvoirs lubrifiants comparatifs des huiles comme l'eau distillée à 4° est l'étalon adopté pour mesurer par comparaison la densité de tous les corps, le poids du gramme sans l'unité de volume, etc.



Pour l'établissement de notre échelle sur les feuilles à diagrammes, soit maintenant une quantité quelconque mais surabondante d'huile d'olive interposée entre les surfaces de l'appareil à friction chargé d'une façon insignifiante, le poids du coussinet et du levier représentant par exemple 10 grammes par unité de surface d'un centimètre carré. Si nous mettons en marche la machine d'essai dans ces conditions, c'est ce que nous appelons la marche à blanc. Le dynamomètre ne supporte qu'une résistance négligeable et, serait-elle considérable, le point rencontré dans ces conditions de marche à blanc sur la feuille à diagrammes par le crayon de l'enregistreur n'en serait pas moins le zéro de l'échelle, zéro tout à fait invariable et que le dynamomètre marchant à blanc indique toujours.

Pour mettre notre feuille de diagramme à zéro, il nous suffit donc de faire coïncider la pointe du crayon avec le point marqué zéro sur notre feuille. C'est ce que nous avons recommandé de faire avant la mise en train de tout essai.

Chargeant ensuite à 50 kilogrammes le levier de l'appareil à friction de la machine d'essai et la quantité d'huile d'olive interposée étant toujours surabondante entre les surfaces, la résistance à vaincre par le dynamomètre est proportionnelle à 50 kilogrammes de charge par centimètre ; elle se traduit par une élévation du crayon de l'enregistreur au-dessus de zéro de l'échelle.

Marquons ce point 50 kilogrammes sur notre échelle. Nous voilà en possession de deux points invariables : zéro et 50 kilogrammes, que le dynamomètre doit nous donner toujours avec la plus grande précision.

Il nous donnera et marquera toujours de même invariablement les autres points que nous obtenons de la même manière en chargeant progressivement de 10 en 10 kilogrammes l'appareil à friction et en renouvelant l'huile entre les surfaces pour qu'elle soit toujours surabondante et parfaitement pure. Ces points de notre échelle correspondent à 60, 70, 100 kilogrammes de charge de l'appareil à friction.

De même au-dessous de 50 kilogrammes de charge, nous obtenons les points de notre échelle correspondant à 40 à 30 kilogrammes, etc., jusqu'à 10 et 0 kilogrammes enfin, point où nous retombons dans la marche à blanc et dans le zéro de l'échelle.

Remarquons que lorsqu'il ne s'agit que des coefficients d'onctuosité, l'huile à fournir aux surfaces doit toujours être surabondante, mais l'emploi de la quantité réglementaire est au contraire rigoureusement à observer lorsque c'est la capacité onctueuse qu'il faut établir. Pour construire l'échelle qui nous occupe nous

devons faire en sorte avec le plus grand soin que l'huile soit non seulement surabondante, mais toujours parfaitement pure entre les surfaces et l'appareil à friction.

Notre échelle de résistance aux diverses charges de 0 à 100 kilogrammes pour l'huile d'olive étant tracée graphiquement avec une rigoureuse exactitude, ainsi que nous venons de l'expliquer, par l'appareil dynamométrique lui-même, si maintenant au lieu d'huile d'olive nous interposons une autre huile entre les surfaces de l'appareil à friction, le crayon de l'enregistreur pour une charge de 50 kilogrammes s'élèvera au-dessus du point marqué 50 kilogrammes sur notre échelle graphique des résistances, si le degré d'onctuosité de cette huile est moindre que celui de l'huile d'olive : au-dessous s'il est plus élevé, et le coefficient d'onctuosité pour cette huile sera le degré de l'échelle ainsi indiqué.

Pour supprimer tout calcul de proportion et afin de pouvoir lire directement sur la feuille à diagrammes les coefficients d'onctuosité des huiles soumises à l'essai, on a établi sur la colonne voisine de l'échelle graphique des résistances aux diverses charges, l'échelle correspondante des coefficients d'onctuosité.

*Vérification des indications de l'appareil.* — On peut toujours et l'on doit même de temps à autre vérifier les indications de l'appareil ; on le fait avec la plus grande facilité en se servant d'huile d'olive bien naturelle dont l'onctuosité comme nous l'avons dit est invariable.

On produit la marche à blanc en interposant l'huile surabondamment entre les surfaces et en disposant le zéro de la feuille à diagramme en face du crayon de l'enregistreur. Chargeant alors à 10, 20 kilogrammes ou aux autres charges l'appareil à friction, il faut que le crayon enregistreur indique exactement ces charges sur l'échelle du diagramme.

Si l'on constatait un écart, cet écart viendrait ou bien des surfaces de l'appareil à friction qui auraient été endommagées, ou bien du ressort du dynamomètre dont la force aurait varié. On changerait ce ressort en augmentant ou en diminuant son élasticité jusqu'à ce que la régularité de ses indications soit établie ; mais non sans s'être assuré au préalable que l'écart n'est pas dû à une atteinte qu'auraient subi les surfaces de l'appareil à friction. Il faudrait dans ce cas rétablir le bon état de ces surfaces.

Cette vérification permet de compter absolument sur l'exactitude des indications de notre méthode dynamométrique d'essai des lubrifiants.

*Justification de la quantité d'huile de 0 gr. 20 adoptée comme quantité réglementaire pour les essais.* — En adoptant cette quantité de 0 gr. 20 comme quantité réglementaire pour tous les essais, alors que l'adoption de tout autre quantité n'eut rien changé aux résultats comparatifs fournis par ces essais, on a eu en vue une simplification.

Il fallait d'abord que la quantité de 0 gr. 20 fut assez grande pour être surabondante au début de tout essai et quelle que soit la charge à laquelle s'effectue cet essai, cela est évident : pour que la résistance marquée par le dynamomètre soit le coefficient d'onctuosité, il est indispensable qu'à la mise en marche la lubrification des surfaces soit effectuée avec surabondance, pureté parfaite de l'huile et non avec manque d'huile.

Il fallait ensuite choisir une quantité qui pour mesurer la capacité onctueuse de l'huile d'olive aboutit à un nombre de tours multiple de 10 pour que (le coefficient d'onctuosité de cette huile étant lui-même égal à 100 c'est-à-dire un multiple de 10) le produit de ce coefficient par la capacité onctueuse autrement dit le pouvoir lubrifiant de l'huile d'olive fut lui-même un multiple de 10.

$100 \times 10\ 000 = 1\ 000\ 000 = 100^0$  (en supprimant 4 zéros pour ramener ce produit aux centaines.)

A cette condition le titre de pouvoir lubrifiant de l'huile d'olive étant ainsi ramené à un multiple de 10, l'huile d'olive se trouve occuper dans l'échelle des pouvoirs lubrifiants des huiles le titre 100 au-dessus et au-dessous duquel se range le pouvoir lubrifiant des autres huiles.

C'est donc pour assigner le titre 100 à l'huile d'olive dans l'échelle des pouvoirs lubrifiants, que la quantité de 0 gr. 20 a été cherchée par tâtonnement et adoptée pour les essais. On peut dans certains cas avoir à doubler, quintupler, décupler cette quantité pour opérer avec plus de facilité ou avec un surcroît de précision.

On conçoit qu'en vue de rendre facile la lecture et la mémoire du titre des huiles autant que pour donner à tout le monde le moyen de s'entendre sans équivoque sur ces titres, on ait été amené à cette simplification.

#### IV. — Autres applications de la méthode dynamométrique

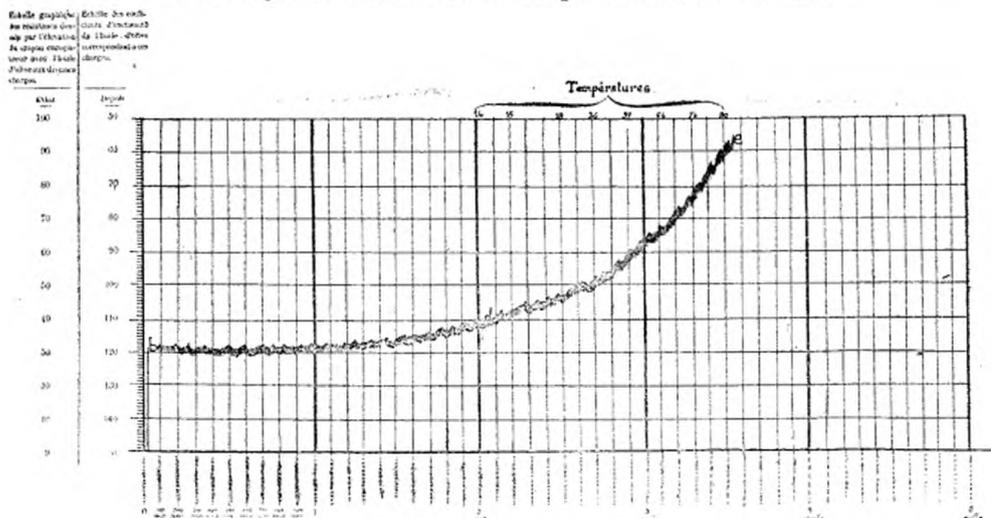
La même méthode et les mêmes appareils permettent de déterminer avec exactitude la perte de force occasionnée par l'usure des tourillons et coussinets insuffisamment graissés ; les coefficients de frottement et le degré de poli maximum des divers métaux, d'établir la valeur comparative des diverses méthodes et des divers appareils de graissage, les quantités de force motrice et de lubrifiant que les uns ou les autres font dépenser ; elle permet donc pour toutes sortes de cas d'élucider d'une façon certaine quelle est la meilleure méthode et quels sont les meilleurs appareils de graissage à employer.

*Perte de force correspondant à l'usure des tourillons et coussinets*

*insuffisamment graissés. Perte de combustible sur les locomotives correspondant à l'usure courante des coussinets et fusée de wagon. —*

Quand il n'y a défaut de lubrifiant ni en quantité ni en qualité, l'usure est nulle et la force prise par une machine ou par une usine entière est réduite au minimum ; du parfait graissage en effet dépendent non seulement la conservation du matériel, mais encore une diminution de frais généraux très importante, une économie de charbon, si l'on emploie la vapeur comme force motrice, un plus grand rendement si la force motrice étant hydraulique est limitée, un rendement supérieur en qualité et enfin une économie de main-d'œuvre puisque les machines gardent leur précision, ne se détériorent pas, ne sont pas soumises à des arrêts et à des réparations fréquentes et ne nécessitent pas une attention et des soins continuels qui se traduisent par des frais de main-d'œuvre plus onéreux.

*Diagramme obtenu avec un échantillon d'huile essayé à 50 kilogrammes de charge avec élévation de température de 14° à 80°.*



Il était d'une grande importance de pouvoir déterminer d'une façon précise la perte de force correspondant à l'usure des machines faute de graissage ; la méthode et les appareils dynamométriques nous permettent d'atteindre ce résultat avec une grande exactitude.

Pour les fusées des wagons de chemin de fer notamment (1), les statistiques accusent de 6 à 8 millimètres d'usure courante des coussinets en deux années pour les voitures à voyageurs correspondant environ à un parcours de 90 000 kilomètres et de 4 à 7 millimètres pour les voitures à marchandises.

1. Page 27, Note sur l'emploi comparé des huiles pour le graissage du matériel roulant (parue dans les numéros d'avril, juillet et octobre 1885 de la *Revue générale des chemins de fer*) par M. Salomon, ingénieur en chef du matériel roulant de la Compagnie de l'Est. Dunod, éditeur.

Cette insuffisance de lubrification transforme les coussinets de wagons en des freins véritables, dont la puissance croît en progression très rapide avec la charge, témoins les essieux de locomotives pour lesquels le graissage en dessus s'impose.

Avant de nous livrer à des expériences dynamométriques, nous soupçonnions l'importance de la perte de force motrice, qu'offre la traction des trains de chemins de fer en songeant à la force qu'il faut produire pour qu'une surface aussi unie, aussi lisse que celle d'une fusée de wagon parvienne à user en une année (en s'usant du reste elle-même) 4 à 8 millimètres du bronze ou de l'alliage des coussinets.

Depuis, nous avons obtenu avec ces appareils l'évaluation de la perte correspondante à l'usure des surfaces en frottement en dressant l'échelle pour les divers alliages des coefficients de frottement correspondant aux divers degrés d'usure de ces surfaces pour une charge donnée.

A cet effet l'appareil à friction de la machine d'essai est disposé de telle sorte que les surfaces frottantes soit du tambour, soit du coussinet, puissent être enlevées et chargées à volonté.

Nous avons adopté pour cette échelle la charge de 50 kilogrammes par centimètre qui est la charge maximum que supportent les coussinets de wagons.

Pour la construire nous procédons comme pour un essai ordinaire mais au lieu d'interrompre cet essai au moment où les surfaces commencent à s'échauffer nous relevons, en le continuant, une courbe *d, c*, donnant le nombre de tours correspondant aux diverses élévations de température jusqu'à 80 degrés; nous avons le soin de les noter avec précision sur la feuille à diagramme de 10 en 10 degrés par exemple ainsi que le montre la feuille à diagramme ici reproduite.

Enfin nous continuons l'essai au-delà de 80° pour déterminer la marche suivie par la résistance quand il y a, soit un léger, soit un grave endommagement des surfaces par manque d'huile.

La mobilité de ces surfaces sur notre appareil à friction rend aisée leur réparation ultérieure.

Cette recherche des coefficients de frottement des divers métaux ou alliages suivant la surabondance ou l'insuffisance plus ou moins grande de graissage nous a conduit à des résultats inattendus que nous pouvons exprimer ainsi :

1° Quand la lubrification est parfaite, surabondante et à l'huile pure, un alliage mou ou un alliage dur employés comme coussinet donnent le maximum de résistance l'un comme l'autre quelle que soit la charge (étant donné cependant que l'un et l'autre soient assez durs pour ne pas s'écraser sous cette charge).

2° Quand la lubrification est insuffisante la résistance est plus grande avec les alliages mous qu'avec les alliages durs, si la charge n'est pas trop forte; dans ces conditions plus la lubrification est imparfaite plus les alliages mous font perdre de force.

3° Quand la lubrification est insuffisante, à la condition qu'elle ne soit pas

trop insuffisante, les alliages mous font perdre moins de force que les alliages durs, quand la charge est considérable mais ne dépassant pas toutefois un certain point de compressibilité de l'alliage.

4° Enfin pour les charges excessives les alliages mous ne sauraient résister à l'écrasement : on peut toutefois toujours les employer en répartissant cette charge sur une plus grande surface de manière à ne pas dépasser 50 à 70 kilogrammes environ par centimètre.

D'autre part si l'on considère les coefficients de frottement des alliages mous et des alliages durs, les premiers sont bien plus élevés que les seconds.

Que conclure de cet ensemble de faits en quelque sorte contradictoires, quelle explication peut-on donner ?

Nous pensons que lorsque l'interposition de l'huile est surabondante entre les surfaces du tourillon et du coussinet, il n'y a plus lieu de tenir compte du coefficient de frottement des surfaces métalliques ; lorsque la qualité et le coefficient du lubrifiant lui-même déterminent seuls la résistance, il est évident que dans ce cas contraire, c'est-à-dire lorsque l'huile manque entre les surfaces, les coefficients de frottement des métaux dont elles sont formées se substituent d'autant plus au coefficient de frottement de l'huile, que l'insuffisance de lubrification est plus grande ou que l'on augmente davantage la charge.

Les choses se passent ainsi si les métaux ou alliages des coussinets sont assez durs pour ne subir aucun effet de cette augmentation de charge ; mais s'il s'agit d'alliages mous, à mesure que la charge augmente, un autre facteur intervient, croyons-nous, avec lequel il faut compter : l'écrasement de l'alliage.

Si la compression est suffisante, cet écrasement a pour résultat d'établir un contact plus parfait des surfaces et de répartir la charge plus uniformément sur tous les points de ces surfaces. Dans ces conditions si l'on se rappelle d'autre part la plus grande adhérence des huiles pour ces alliages mous, en supposant que l'insuffisance de lubrification ne soit pas trop grande (et c'est le cas pour les fusées de wagon graissées à l'huile) il s'ensuit une usure sans doute assez rapide de l'alliage mou, mais une usure adoucie en raison du parfait poli et de la parfaite répartition de la charge dus à la compressibilité de l'alliage.

La confirmation de cette opinion nous semble fournie par ce fait, qu'il suffit que l'insuffisance de lubrification devienne plus grande et un peu exagérée, ou bien que la charge trop forte dépasse la résistance de compressibilité de l'alliage pour que son usure ait lieu (et c'est bien ce qu'on observe dans la pratique avec une extrême rapidité).

S'il en est ainsi, le plus ou moins de dureté de l'alliage en raison de la charge serait donc un facteur important pour diminuer la résistance.

D'ailleurs c'est à tort qu'on admet en principe qu'une usure courante des coussinets doit se produire sur les chemins de fer ; pour les wagons ou les locomotives comme pour tout autre machine il est possible d'améliorer assez le grais-

sage pour rendre surabondantes l'alimentation et l'interposition de l'huile entre les surfaces des fusées et des coussinets, pour empêcher l'encrassement de l'huile et celui des tampons, pour mettre complètement à l'abri les surfaces frottantes et l'huile elle-même du contact désastreux des poussières; c'est à ce point de vue qu'il faut étudier le problème du graissage des fusées de wagons et lui apporter une solution définitive.

Pour le graissage du matériel roulant des chemins de fer comme pour celui des machines ordinaires, on doit prendre le mal dans sa racine; il ne s'agit pas d'apporter seulement par la composition des alliages un remède à la perte de force motrice, il faut s'attaquer au graissage lui-même et d'insuffisant le rendre parfait en quantité et en qualité, on ne peut en effet que par le graissage avec surabondance et pureté parfaite du lubrifiant réduire à leur maximum la perte de combustible, la dépense d'huile et de main d'œuvre, enfin faire cesser l'usure du matériel condamné dans l'état actuel à un remplacement à brève échéance.

Nous donnons plus loin la description des nouvelles boîtes de wagon à circulation surabondante d'huile toujours pure qui réalisent ces conditions.

*Comparaison des diverses méthodes et des divers appareils de graissage. Evaluation du préjudice causé par les poussières.* — Il était nécessaire de pouvoir comparer entre elles les diverses méthodes et les divers appareils de graissage afin d'élucider d'une façon sûre au milieu de leur variété sans nombre quelle méthode et quels appareils appliquant cette méthode procuraient la plus grande économie d'usure, de force motrice, de lubrifiant et de main d'œuvre.

De même il était nécessaire de connaître l'augmentation de résistance produite par l'action des poussières extérieures sur les surfaces ainsi que, pour chaque sorte d'huile, la marche de leur dénaturation en présence de ces poussières et de telle qualité de poussière en particulier.

A la détermination de ces quantités non évaluées jusqu'ici a été appliquée la méthode d'essais directs dynamométriques.

Il suffit pour évaluer avec exactitude les quantités d'usure, de force motrice, de lubrifiant, dépensée par chaque méthode ou par chaque appareil ou par telle abondance ou telle quantité de poussières, de reproduire sur la machine d'essai cette méthode ou cet appareil, cette abondance ou cette qualité de poussière.

C'est ainsi que se démontre péremptoirement le préjudice énorme causé par les poussières, ainsi que l'infériorité considérable de la méthode de graissage par la graisse consistante, sur la circulation indéfinie de la même huile sans purification et à son tour, l'infériorité de celle-ci sur la méthode de circulation surabondante à l'huile toujours pure avec laquelle on supprime (on le démontre expérimentalement et dynamométriquement) toute usure, toute perte de force et toute perte de lubrifiant.

C'est seulement en reproduisant ainsi, les conditions même de la marche des

machines, c'est seulement en mesurant directement la résistance et la consommation de lubrifiant pour chaque cas, que les résultats d'un essai peuvent offrir une garantie d'exactitude indiscutable.

## V. — Engins graisseurs à grenaille appliquant le principe de la circulation surabondante d'huile toujours pure autour des tourillons.

Le nom d'engins graisseurs à grenaille a été donné à ces engins parce que la grenaille joue un rôle important dans l'application de la méthode de graissage par circulation surabondante d'huile toujours pure ; mais d'autres particularités essentielles concourent avec elle à réaliser cette application.

Le rôle de la grenaille est de faciliter et de rendre rapide le réglage des godets graisseurs quelque faible et infinitésimal, en quelque sorte, que soit le débit, d'assurer la continuité et la régularité indéfinies de ces débits ; malgré les impuretés de l'air ou de l'huile, dans les paliers, boîtes de wagon de chemin de fer, etc., de filtrer l'huile automatiquement, de la conserver indéfiniment à l'état de pureté parfaite, de mettre les mèches ou tampons alimentant les tourillons complètement à l'abri de l'encrassement et d'assurer indéfiniment ainsi l'alimentation surabondante de ces tourillons.

Les particularités qui concourent avec la grenaille à l'application de cette méthode sont :

Les rainures spéciales creusées dans la partie du coussinet subissant l'effort, rainures qui produisent la circulation et l'interposition surabondantes entre les surfaces, les évacuateurs à anneaux qui recueillent toute l'huile dans la boîte filtrante ou dans le godet récupérateur sans qu'aucune quantité se répande et se perde hors des paliers ; enfin ces mêmes évacuateurs constituent d'excellents obturateurs contre toute atteinte des surfaces frottantes ou de l'huile en circulation de la part des poussières venant de l'extérieur.

Il semble que des appareils compliqués et coûteux pouvaient seuls donner de tels résultats ; il n'en est rien cependant. Il suffit de jeter les yeux sur les figures descriptives de ces appareils pour se convaincre de leur simplicité et la plus probante de toutes, d'examiner leur prix de vente, inférieur quel que soit le genre d'appareil dont il s'agisse, aux prix des autres systèmes.

Ces appareils ont été appliqués aux formes les plus courantes de mouvement et aux cas les plus usuels de la mécanique générale, résolvant même beaucoup de difficultés de graissage qui n'avaient pu être vaincues ou qui n'avaient été que bien qu'imparfaitement surmontées jusqu'à ce jour.

*Propriétés de la grenaille.* — Deux sortes de grenaille sont employées; dans certains cas, la grenaille de plombagine; dans d'autres, la grenaille de plomb de chasse d'un numéro beaucoup plus fin que celui que l'on trouve dans le commerce.

L'une et l'autre ralentissent le débit de l'huile en charge qui les traverse; l'une et l'autre assurent la régularité et la continuité indéfinies de ce débit, mais la première à cause de sa propriété éminemment filtrante due à la forme aplatie de ses grains sert à la purification de l'huile dans les appareils mêmes (paliers graisseurs, godets graisseurs, boîtes de wagon, etc.), ou hors des appareils (filtres à grenaille de plombagine); la seconde peu filtrante à cause de la forme arrondie de ses grains n'est appelée qu'à retenir à sa surface les grosses impuretés empêchant ainsi l'obstruction de l'orifice d'écoulement qu'il s'agit d'ouvrir ou de fermer à volonté au sein de la grenaille pour varier ou interrompre facultativement le débit de l'huile dans certains appareils.

Les appareils à grenaille de plombagine sont seuls employés quand les organes à graisser doivent fonctionner au sein des poussières intenses; dans les industries ordinaires où les poussières ne sont pas exagérées, ceux à grenaille de plomb et ceux à grenaille de plombagine sont appliqués indifféremment.

Le ralentissement de l'écoulement est dû ainsi que la régularité des débits à ce que l'huile en charge est obligée de circuler à travers l'infinité de canaux brisés en tous sens qui existent entre les grains; la continuité des débits est due aux innombrables points de tangence des grains entre eux et qui ont pour effet une imbibition invincible de proche en proche de toute la masse des grains.

Les appareils à grenaille sont, toutes proportions gardées, ce que sont dans la nature les sources prenant naissance sous un amoncellement de sable ou de gravier, sources qui sourdent depuis la formation de ces amoncellements, c'est-à-dire depuis des milliers d'années avec une régularité parfaite et rigoureusement proportionnelle à l'abondance des pluies qui les alimentent.

La régularité et la continuité des débits sont dues encore à la surface de surface de filtration qui retient toutes les impuretés contenues dans l'huile ou apportées par l'air ambiant.

La lenteur de l'encrassement de la grenaille, peut être retardée autant qu'on désire en augmentant le rapport entre la surface protectrice et la section de l'orifice d'écoulement.

Reproduisant en réduction ce que la nature nous met sous les yeux, il a suffi de porter dans les moindres godets graisseurs à 1000 ce rapport; c'est-à-dire que dans ceux des appareils où la surface de la grenaille est la plus petite, elle se trouve cependant mille fois plus grande que l'orifice d'écoulement; il n'a pas été nécessaire pour cela d'agrandir les formes et dimensions ordinaires des appareils.

Avec ce rapport égal au moins à mille, au plus à cinq ou six mille, l'expérience

a montré que dans les usines où la poussière n'est pas exagérée cette surface de filtration était assez grande pour que l'encrassement fut insensible. Après trois années de marche il n'est pas possible en effet de constater une variation appréciable dans les débits.

Pour les industries qui développent le plus de poussières, les fabriques de chaux, de ciment par exemple, les salles contenant les machines sont inaccessibles aux ouvriers quand ces machines sont en mouvement, l'atmosphère étant si chargée de poussières que le sol est recouvert d'une couche de matière en poudre de 20 à 30 centimètres d'épaisseur; les appareils graisseurs, on le conçoit, sont promptement ensevelis sous cette matière; ils fonctionnent cependant plusieurs années avec la même grenaille, et ce n'est que tous les deux ans environ qu'il faut la remplacer.

Il est nécessaire dans ces usines de nettoyer chaque jour le trou qui dans le couvercle de chaque appareil permet à la pression atmosphérique de s'exercer.

Le remplacement de la grenaille à de tels intervalles est une dépense insignifiante car il n'en rentre dans chaque appareil que pour quelques centimes seulement. A ce prix le graissage est assuré, ce qui pour ces industries équivaut à des économies d'usure des machines, de force motrice, de lubrifiant, d'augmentation de rendement, qui abaissent le prix de revient des produits fabriqués dans une proportion très considérable.

La sécurité qu'offrent les appareils à grenaille même au milieu des poussières exagérées, est rendu tout à fait complète par ce fait que jamais l'arrêt du débit de l'huile ne peut être brusque et instantané, on le conçoit, puisque l'encrassement ne s'accomplit qu'avec une extrême lenteur et parce que par le remplacement de la grenaille ou par son nettoyage on est assuré de voir les appareils donner indéfiniment de parfaits résultats.

La grenaille de plomb a été adoptée plutôt que de la grenaille en tout autre matière parce que le plomb réunit toutes les qualités requises pour l'usage dont il s'agit ici; il n'est pas attaqué par les acides gras ou si faiblement que cette action est tout à fait négligeable, il ne risque pas d'endommager les organes de machines qu'il atteindrait accidentellement, enfin son prix est moins élevé que celui des autres métaux mous.

Quant à la plombagine elle est encore plus que le plomb inoffensive puisqu'elle est lubrifiante, plus que le plomb elle est d'un prix modéré; enfin elle jouit de la propriété de rougir au feu indéfiniment sans inconvénient (on sait qu'elle sert à faire les creusets de fonderie), cette propriété est précieuse car servant à filtrer les huiles, il suffit de la faire rougir pour la purifier indéfiniment.

*Moyen de régler les débits de l'huile circulant à travers la grenaille quelle que soit la qualité d'huile employée.* — Quelle que soit la qualité de

l'huile employée et pour quelque liquide que ce soit d'ailleurs, on peut régler son débit au travers de la grenaille.

1° Par le numéro de la grenaille. Dans ce cas la section de l'orifice d'écoulement est invariable, les débits sont d'autant plus petits que les numéros sont plus fins ; le nombre de ces numéros étant illimité, comme le sont les numéros des toiles servant à les tamiser, on obtient absolument tous les débits et les plus invraisemblablement petits avec autant de facilité que les plus grands, c'est ainsi que l'on obtient (résultat à peine croyable et qu'inutilement croyons-nous on déferait par quelque autre moyen de reproduire) la formation et l'écoulement d'une goutte, soit la 20<sup>e</sup> partie d'un gramme en 24 heures et cela avec une régularité tout à fait chronométrique et indéfiniment pendant un nombre d'années qu'il est permis de croire illimité puisqu'après trois ans aucune variation de débit ne s'est encore produite.

2° En adoptant un numéro unique de grenaille et en ouvrant plus ou moins au sein de cette grenaille un orifice d'écoulement de manière à varier ainsi à volonté le débit.

A cet effet comme registres, deux tubes (fig. 14) minces coulisent l'un dans l'autre à frottement dur, l'un découvrant plus ou moins dans son mouvement l'ouverture longitudinale dont l'autre est muni.

Soit le godet en verre ou en métal G ; au-dessus et en prolongement du tube d'écoulement de l'huile T, est fixé le tube mince E portant une fente ou trait de scie F, située dans sa partie la plus inférieure au fond du godet. Le tube registre I manœuvré par pas de vis, coulisse à l'intérieur du tube E.

En enfonçant ce tube registre à fond de course, la fente F est formée complètement et le débit cesse ; en le soulevant plus ou moins, on découvre plus ou moins la fente, c'est-à-dire l'orifice par où l'huile coule ; on règle ainsi le débit à volonté.

Un frottement dur des tubes, qui assure la position d'ouverture invariable du registre a été obtenu en faisant dans la partie supérieure du tube E, un autre trait de scie de longueur déterminée suivant le frottement plus ou moins dur qu'on veut établir.

La grenaille que contient le godet jusqu'au 1/4 ou au 1/3 de sa hauteur recouvre la fente du débit et l'huile la traverse pour arriver à l'ouverture de cette fente qui se fait au plus bas du godet. Il est à remarquer que la tangence des

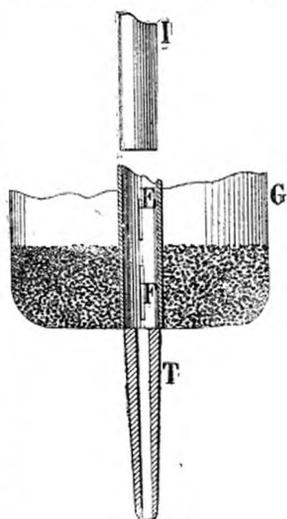


FIG 14

grains avec les deux arêtes de la fente est exactement semblable à celle des grains entre eux ; il en résulte le même phénomène de cheminement, par points de tangence, de l'huile, la même régularité et la même continuité de débit.

Suivant le genre d'appareil l'un ou l'autre de ces deux moyens de régler les graisseurs a été mis en pratique.

Le plus ou moins d'épaisseur de la couche de grenaille pourrait faire également varier les débits, aussi y a-t-il toujours à peu près la même épaisseur de grains dans les appareils quelle que soit leur taille. Quant à l'influence sur la quantité d'écoulement du plus ou moins de hauteur de la colonne d'huile au-dessus de la grenaille, elle serait sans doute appréciable s'il s'agissait de hauteurs importantes ; dans les appareils, la hauteur de cette colonne d'huile, variant de 5 à 8 centimètres seulement, la variation du débit de l'huile qui en résulte est tout à fait négligeable.

*Propriétés de la plombagine qui la rendent éminemment propre à la filtration; filtre à grenaille de plombagine.* — Si à la constitution grenue de la grenaille, quelle que soit sa composition chimique et la forme arrondie, plate ou allongée de ses grains, sont dues les propriétés ralentissantes et régulatrices d'écoulement des liquides en charge qui la traversent, par contre c'est à la forme aplatie des grains de la plombagine qu'est dû son pouvoir remarquable de filtration.

Une matière est d'autant plus filtrante qu'elle retient davantage à sa surface tout en laissant passer les liquides, les impuretés que contiennent ces liquides quelque tenues qu'elles puissent être, et qu'elle se laisse moins profondément pénétrer par elles, or les grains arrondies en forme de sphères se laissent pénétrer par les impuretés des liquides à filtrer à cause de la forme des interstices entre leurs grains, beaucoup plus que les grains allongés en forme de cylindre ou de prismes longs, ceux-ci à leur tour beaucoup plus que les grains aplatis ; aussi le sable est-il beaucoup moins filtrant que les poudres d'os, celles-ci beaucoup moins filtrantes que la plombagine, la première de ces trois grenailles étant le type des grains ronds, la seconde le type des grains allongés, la troisième le type des grains plats.

L'expérience démonstrative de ces trois degrés de pouvoir de filtration est facile à reproduire. Qu'on mette en présence trois filtres, identiques, contenant comme matière filtrante les trois corps que nous venons de citer tamisés à l'aide des deux mêmes toiles, afin que la grosseur des grains soit bien la même ; qu'on leur donne la même quantité du liquide à filtrer en prenant toutes les précautions nécessaires pour que l'homogénéité de ce liquide soit bien la même pour les trois filtres ; qu'on vérifie d'ailleurs les résultats par des expériences répétées et contradictoires, les opérations étant prolongées jusqu'à un degré convenu d'encrassement. Que trouve-t-on ?

On trouve 1° Que les grains ronds opèrent plus vite au début la filtration mais qu'ils sont cependant le plus vite encrassés; 2° que la quantité de liquide filtré produite par les grains ronds est bien inférieure, à poids égal de matière filtrante à celle des deux autres filtres; 3° Enfin que la qualité c'est-à-dire le degré de purification du liquide obtenu avec ces grains est incomparablement inférieure à celui atteint avec les autres filtres. On reconnaît que la plombagine est celle des trois matières filtrantes qui donne de beaucoup les meilleurs résultats soit comme durée de service de la grenaille, soit comme qualité et perfection de l'épuration.

En outre la plombagine jouit d'autres privilèges d'une grande importance; on la purifie en la faisant rougir au feu et elle ressert d'autant plus souvent que des crasses sont davantage détruites par l'action du feu (et pour les huiles les crasses sont presque complètement brûlées), à sa qualité éminemment filtrante la plombagine joint donc l'avantage de donner une filtration très économique: elle est inattaquable par la plupart des réactifs acides ou basiques, aussi convient-elle pour la filtration non-seulement des huiles encrassées mais encore pour l'épuration de beaucoup d'autres liquides.

En décrivant ici les filtres à grenaille de plombagine, nous appelons l'attention sur la disposition de la filtration de bas en haut qui a été adoptée et sur la facilité de régler la lenteur de la filtration.

La filtration de bas en haut a une grande importance car elle oblige la plus grande partie des impuretés contenues dans les liquides à s'accumuler sous le filtre et à s'en détacher pour tomber au fond du vase par décantation au lieu de pénétrer la matière filtrante. Il s'ensuit que presque toutes les impuretés sont éliminées par décantation, les rendements sont énormément accrus de cette manière.

Quant à la facilité de régler la lenteur de la filtration, réglage que l'on obtient en faisant varier la position plus ou moins enfoncée du flotteur au sein du liquide à filtrer, elle a aussi une grande importance et une grande influence soit sur la perfection de la filtration, soit sur le rendement; il est essentiel, en effet, de pouvoir ralentir l'opération d'autant plus que le liquide à filtrer est plus encrassé et d'autant plus qu'il doit être plus parfaitement épuré.

L'huile versée dans le réservoir A (fig. 15) s'y décante pendant la filtration. Une bonde permet de soutirer les dépôts.

Le flotteur F est terminé à sa partie inférieure par la boîte démontable I, dans laquelle se trouve la grenaille filtrante disposée entre les toiles métalliques T.T'. Le poids du flotteur est équilibré par les contrepoids P.P'.

Le couvercle U du flotteur est creux. En le chargeant plus ou moins d'un corps lourd quelconque celui-ci s'enfonce plus ou moins au sein de l'huile à filtrer.

La filtration a lieu de bas en haut à travers la grenaille, par la charge du

flotteur on règle la lenteur de la filtration à volonté. Il importe de l'effectuer d'autant plus lentement que l'huile à filtrer est plus encrassée.

On puise l'huile pure dans le flotteur journallement au fur et à mesure de sa production. Pour les grands filtres, un siphon ou une pompe sont disposés à cet effet.

Le filtre doit être placé à l'abri du froid, autant que possible dans un local chauffé en hiver.

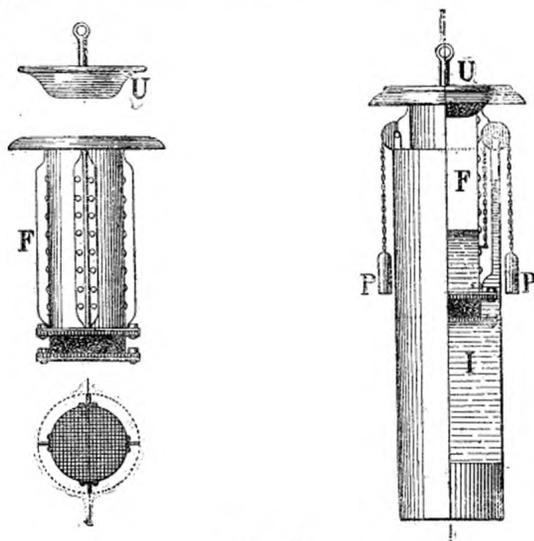


FIG. 15

Comme nous l'avons déjà dit la grenaille de plombagine ressort indéfiniment. Il suffit de la faire rougir au feu sur de la tôle pour brûler la crasse et la nettoyer complètement.

Le graissage par godets graisseurs s'impose pour les organes secondaires et pour les mille trous graisseurs d'une machine ainsi que pour ses organes principaux ou pour les transmissions pour lesquelles le graissage, plus parfait par paliers graisseurs, ne serait pas encore appliqué.

Ce mode de graissage est bon en principe à la condition que toute l'huile soit recueillie sans perte et à l'abri de l'air pour la filtrer et la faire réserver après purification ; on conçoit que si l'huile est ainsi récupérée et filtrée, on puisse la faire circuler en quantité surabondante, ce qui revient à appliquer la méthode de circulation surabondante et à l'huile pure.

Mais si le graissage par godets graisseurs ainsi effectué est bon en principe ce n'est qu'autant toutefois, que les godets réunissent les conditions de réglage facile, de continuité, de régularité et de sécurité de fonctionnement.

Nous croyons que le défaut de réglage facultatif et de sécurité de fonctionnement est commun à tous les godets employés jusqu'ici.

Ces godets en effet ne varient que par le moyen plus ou moins ingénieux de régler les débits ; ils s'appliquent à ouvrir ou à fermer plus ou moins un orifice tout à fait microscopique, or il est impossible de régler une ouverture aussi petite, parce qu'elle est soumise à des phénomènes de capillarité et d'influences atmosphériques qu'on ne peut prévoir dans la pratique, ensuite parce qu'il n'existe pas de moyen mécanique, si ingénieux soit-il, d'ouvrir ou de fermer insensiblement une ouverture microscopique, enfin parce que ce réglage fut-il obtenu, une impureté elle-même microscopique ne tarde pas à obstruer cette ouverture.

Nous avons souvent constaté qu'il était impossible de satisfaire avec un seul type d'appareils aux conditions si diverses de formes et aux dispositions si différentes qui se rencontrent dans la pratique pour l'innombrable variété des machines à graisser, et en effet ce n'est pas aux machines à se plier aux formes et aux dispositions des graisseurs. Aussi nous décrirons les trois catégories de godets graisseurs à grenaille qui répondent à tous les besoins.

Des trois séries A, AR, et D, la série A à grenaille de plombagine doit être seule employée pour les industries très poussiéreuses ; pour tous les autres cas les trois séries conviennent indifféremment. Les séries AR et D à grenaille de plomb sont munies d'un registre qui permet de régler et de varier à volonté les débits ou de les interrompre, tandis que les godets de la série A à plombagine n'étant réglés qu'une fois pour toutes par le numéro de la plombagine, ont un débit continu.

Quand les débits doivent être faibles, de peu de grammes ou de fractions de grammes en 24 heures, la continuité de ces débits ne constitue pas un défaut ; elle est même avantageuse car les quelques gouttes accumulées la nuit sur les tourillons servent le matin, à la mise en marche, à graisser, plus abondamment au départ et après repos de la machine que pendant sa marche normale ainsi qu'il convient.

La plombagine qui est une matière friable n'offre pas d'inconvénient du fait de cette friabilité, car une fois imbibée d'huile, la masse compacte ainsi formée ne subit aucun changement ni dans le nombre ni dans la grosseur de ses grains.

Comme pose des godets sur les chapeaux de paliers ou autres organes à graisser il est important de faire en sorte que les trous destinés à les recevoir ne soient pas plus grands que la tige tubulaire du godet entrant dans ces trous, d'abord pour que le godet soit fixé solidement, ensuite afin d'éviter que les poussières puissent s'introduire sur le tourillon par ce jeu entre les pièces.

A cet effet, si les trous existent déjà, on emploie (fig. 16) des bouts de tube en bois B, entrant juste dans ces trous, et dans lesquels la tige du godet s'ajuste exactement.

On peut avoir à graisser à distance, soit pour placer les godets dans une position abritée, où il y ait moins de danger qu'ils ne soient heurtés et brisés accidentellement, soit parce que l'organe à graisser est inaccessible.

Dans ce cas, on se sert d'un tube contourné suivant les sinuosités de la distance à franchir; son extrémité supérieure est ajustée au godet, son extrémité inférieure à l'organe qu'il s'agit de graisser.

Enfin, si accidentellement il était nécessaire à une mise en marche, par exemple de donner plus d'huile à un tourillon que n'en débitent les godets, ceux-ci étant mobiles, on peut sans les dérégler, en les soulevant un instant, verser avec la burette le supplément d'huile nécessaire.

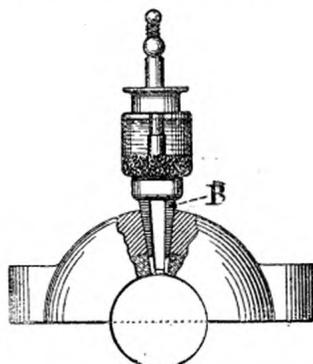


FIG. 16.

Le tube d'écoulement T (dont la section est invariablement de 3 millimètres de diamètre, quelle que soit la taille du graisseur, pour que les débits ne varient que selon le numéro de la grenaille), porte (fig. 17), au sommet, en contact avec la grenaille, un obturateur formé d'une petite bande de toile métallique pliée sur elle-même (fig. 18), qui laisse passer librement l'huile et retient la grenaille. Cet obturateur est maintenu et ne peut glisser à l'intérieur du tube d'écoulement, grâce à un épaulement.

*Description des godets graisseurs à grenaille de plombagine, série A.*

Ces graisseurs sont de simples godets en verre, montés en cuivre solidement. Ils sont munis d'un couvercle dans lequel un trou a été percé pour que la pression atmosphérique puisse s'exercer.

Le tube d'écoulement T (dont la section est invariablement de 3 millimètres de diamètre, quelle que soit la taille du graisseur, pour que les débits ne varient que selon le numéro de la grenaille), porte (fig. 17), au sommet, en contact avec la grenaille, un obturateur formé d'une petite bande de toile métallique pliée sur elle-même (fig. 18), qui laisse passer librement l'huile et retient la grenaille. Cet obturateur est maintenu et ne peut glisser à l'intérieur du tube d'écoulement, grâce à un épaulement.

S'agit-il de remplacer la grenaille, on nettoie le godet et l'obturateur qui s'enlève facilement en le refoulant à l'intérieur du godet : on se sert pour ce nettoyage d'une lessive chaude, rendue légèrement alcaline avec de la soude ou de la potasse.

| Nos          | Débit                                             |                                                    |
|--------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|              | en 24 heures<br>d'huile d'olive<br>Fluidité 0,815 | en 24 heures<br>d'huile minérale<br>Fluidité 0,817 |
| 164. . . . . | 0 gr. 5                                           | 0 gr. 1                                            |
| 154. . . . . | 1 »                                               | 0 5                                                |
| 143. . . . . | 2 »                                               | 1 »                                                |
| 132. . . . . | 4 »                                               | 2 »                                                |
| 121. . . . . | 6 »                                               | 3 »                                                |
| 111. . . . . | 6 »                                               | 5 »                                                |
| 91. . . . .  | 15 »                                              | 8 »                                                |
| 89. . . . .  | . . . . .                                         | 12 »                                               |
| 77. . . . .  | . . . . .                                         | 16 »                                               |

Pour les autres qualités d'huile naturelle ou mélangée, on connaîtra leur débit en faisant le calcul de proportion d'après leur fluide.

L'échelle des fluidités ou viscosités des huiles s'obtient à l'aide des ixomètres. Nous décrivons plus loin les ixomètres à grenailles simples et très bon marché.

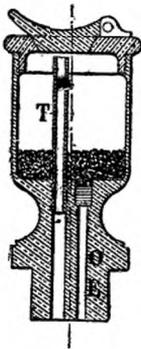


FIG. 17.

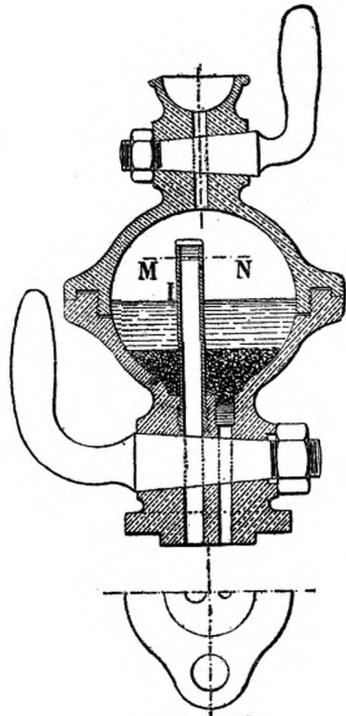


FIG. 18.

*Description des godets à grenaille de plomb, séries AR et D.*

Les godets de ces deux séries sont à réglage et à arrêt facultatif du débit à l'aide d'un registre ouvrant ou fermant plus ou moins un orifice d'écoulement au sein de la grenaille, registre formé de deux tubes que nous avons décrits précédemment.

Quant à la manœuvre de ce registre, elle est bien simple.

Le tube registre (fig. 19) se meut verticalement, en appuyant sur la tête H, et en enfonçant le registre à fond pour interrompre le débit, en le soulevant à

fond jusqu'à butter dans le couvercle pour le rétablir. Comme le talon de butée N se manœuvre par pas de vis, la course d'ouverture du registre, autrement dit le débit, est réglé à volonté suivant la position que l'on donne à ce talon de butée.



FIG. 19.



FIG. 20.

Une fois réglé, on peut ouvrir ou fermer indéfiniment le débit. Il reste invariable.

Les godets de la série D (fig. 20) sont identiques aux godets de la série AR comme fonctionnement; ils sont munis d'un compte-goutte démontable B, afin de visiter au besoin le verre du compte-goutte; celui-ci est interchangeable pour n'avoir qu'à remplacer la partie en verre si par accident on venait à la briser. On file à la filière le bas de ces compte-gouttes, et on les fixe solidement à l'excentrique, glissière, etc., qu'il s'agit de graisser.

Étant donné la nécessité de n'alimenter que surabondamment et à l'huile toujours parfaitement pure, les tourillons des paliers, deux moyens peuvent être employés pour obtenir ce double résultat : le premier est d'alimenter le tourillon à l'aide d'un godet graisseur placé sur le chapiteau de chaque palier ou à proximité, et de recueillir l'huile pour la filtrer dans un filtre unique dont chaque usine peut être pourvue; le second est de mettre en circulation et en filtration indéfinies dans les paliers eux-mêmes une certaine quantité d'huile.

Le premier de ces deux moyens nécessite un peu plus de main-d'œuvre de la part de l'ouvrier chargé d'une usine; il doit, tous les huit ou quinze jours, ou tous les mois, suivant le genre d'industrie et de machines, faire la tournée des paliers, remplir les godets et vider, s'il y a lieu, l'huile encrassée qu'ils contiennent. Cette opération s'effectue pendant la marche, et l'augmentation de main-d'œuvre qu'elle entraîne est de peu d'importance; une visite régulière et méthodique des machines est d'ailleurs le meilleur moyen d'éviter les accidents. En outre, un directeur d'usine, un patron, peuvent en un coup d'œil, grâce à ce que les godets s'aperçoivent de loin ordinairement, surveiller le graissage, et directement s'assurer par eux-mêmes du bon entretien de leurs machines. En est-il ainsi avec les paliers à circulation indéfinie? Le fait de n'avoir à renouveler l'huile dans les paliers que tous les six mois, ou tous les ans même constitue-t-il un avantage ou un inconvénient? Cette longue durée de service n'entraîne-t-elle pas des oublis et des accidents?

Les opinions peuvent être divisées à cet égard; aussi décrivons-nous deux séries de paliers donnant satisfaction à l'une et à l'autre opinion. L'une, la série A, est munie d'un godet graisseur à grenaille, et l'huile est récupérée dans le palier fondu creux à cet effet, ou dans un godet sous le palier; l'autre, la série B, qui, à cause de la plus grande surabondance de circulation, convient spécialement pour les vitesses excessives et pour les usines poussiéreuses à l'excès, est à circulation et à filtration à l'intérieur des paliers.

*Paliers graisseurs, série A, à récupération d'huile hors des paliers.*  
— Le tourillon, à l'aide du godet à grenaille G, est alimenté à l'huile; on règle le débit de ce graisseur de façon à ce que la quantité d'alimentation soit surabondante; l'huile est récupérée puis filtrée hors des paliers. Le principe de graissage par circulation surabondante et à l'huile toujours pure est encore appliqué.

Les dispositions que nous avons décrites pour l'évacuation et la récupération se retrouvent dans ces paliers.

L'huile fournie par le godet G (fig. 21) s'interpose en quantité surabondante entre le tourillon et le coussinet, grâce aux rainures RR'; l'arrêt de l'huile aux extrémités des coussinets et son évacuation ont lieu au moyen des anneaux évacuateurs I. L'huile, à sa sortie des coussinets par les trous d'évacuation U, se rend, sans que la plus petite quantité se perde le long de l'arbre, ou se répand à l'extérieur du palier, dans le réservoir disposé à cet effet pour la recevoir.

Comme réservoir récupérateur, deux dispositions sont appliquées suivant l'état des lieux, le genre de machines ou de transmissions dont il s'agit; ou bien le palier sert lui-même de vase récupérateur; dans ce cas, un tube nouveau indique constamment la hauteur de l'huile récupérée dans le palier; ou bien, sans y séjourner, l'huile se rend hors du palier dans le godet récupérateur E, d'où on

la retire avec facilité. Ce godet peut être placé à n'importe quelle distance du palier si l'on donne au tube T la longueur et la forme convenables.

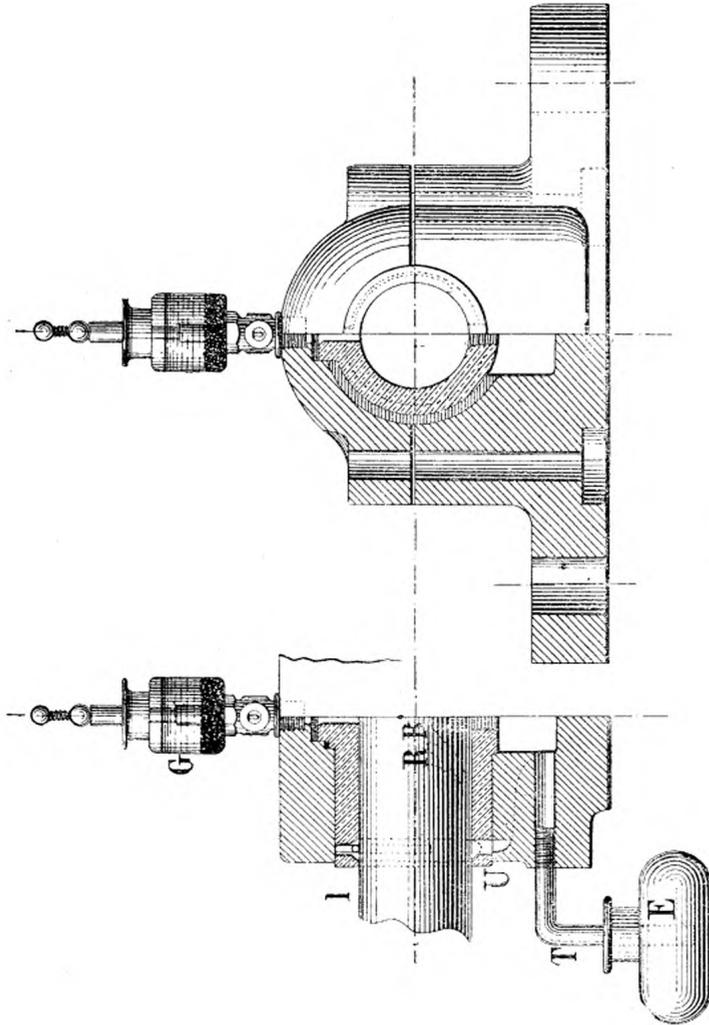


FIG. 21

L'huile ainsi recueillie est ensuite portée au filtre de l'usine.

Ces paliers, quoique moins parfaits que ceux de la série B, que nous allons décrire, au point de vue de l'abondance d'alimentation, suffisent dans beaucoup

de cas; comme pour la série B, les surfaces frottantes y sont complètement à l'abri des poussières extérieures, celles-ci ne pouvant entrer par le godet à graine d'alimentation, et celles qui se présentent aux extrémités des coussinets étant entraînées avec l'huile de circulation dans le vase récupérateur.

*Paliers graisseurs série B, à circulation d'huile et à filtration automatique.*— Les paliers de cette série (fig. 22) contiennent l'huile de circulation M; les

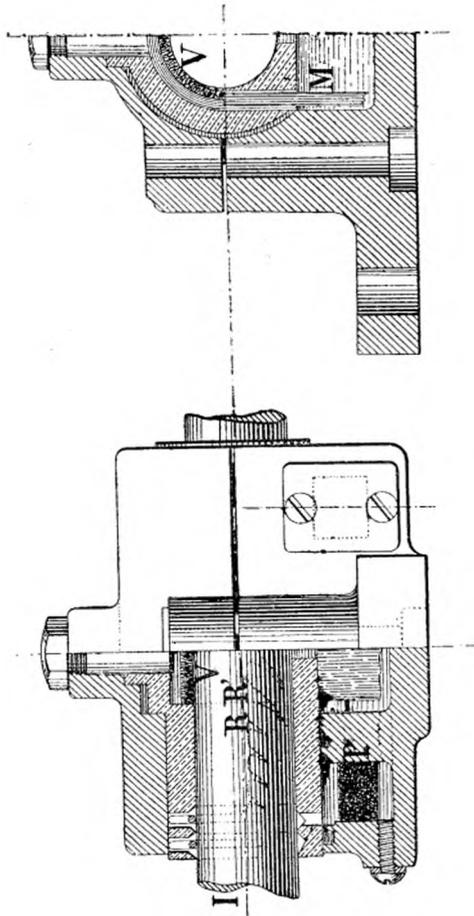


FIG. 22.

mèches M puisent cette huile par capillarité et en alimentent le velours V qui entoure le dessus du tourillon. A son tour, le velours humecte surabondamment

le tourillon, et la circulation avec interposition surabondante entre les surfaces s'établit par les rainures RR' et les évacuateurs I.

L'huile au travers des filtres à plombagine P, retourne aux mèches M, pour être indéfiniment remontée au tourillon après purification.

Dans les paliers, aucune impureté ne produit l'encrassement des mèches et des velours, et leur pouvoir capillaire d'absorption, toujours le même, assure indéfiniment l'alimentation surabondante du tourillon. Néanmoins, ces mèches peuvent être au besoin remplacées aisément : il suffit, pour les retirer, d'enlever le chapeau du palier.

Ces paliers donnent les résultats les plus satisfaisants, quelque grande que soit la vitesse du tourillon, et quelle que soit l'abondance des poussières au milieu desquelles ils sont appelés à fonctionner.

Quelque grande que soit la vitesse du tourillon, l'huile, au lieu d'être projetée violemment au dehors, comme cela a lieu avec les vitesses excessives, reste toujours en circulation normale dans le palier. Même où ces paliers sont ensevelis sous un amas de matière en poudre, très peu de cette matière pénètre par les extrémités des coussinets à l'intérieur du palier ; le peu qui pénètre, sans atteindre jamais les surfaces frottantes, est obligé, grâce aux évacuateurs successifs II, de se rendre sur les filtres avec l'huile de circulation. La plombagine de ces filtres se remplace de temps à autre, opération qui s'exécute en quelques instants.

C'est afin d'éviter les nettoyages, qui presque toujours ne peuvent se faire qu'en démontant les paliers, que la filtration de haut en bas au travers de la grenaille, et non de bas en haut avec décantation préalable a été adoptée. Avec cette disposition, la grenaille des filtres demande à être changée plus souvent il est vrai, mais les nettoyages du palier, qui offrent bien des difficultés et des frais, sont évités.

*Poulies folles.* — Le graissage des poulies folles a été l'objet de nombreuses tentatives réitérées pour la plupart sans résultat ; le moyen que nous allons décrire n'est pas applicable ordinairement aux machines existantes, ou du moins il occasionne une transformation assez coûteuse ; mais, pour les machines à construire, il n'entraîne à peu près aucun supplément de dépense et donne un résultat complètement satisfaisant.

Pour toute poulie folle construite avec soin, il est d'usage de ne pas la faire tourner directement sur l'arbre qui la porte, mais de se servir d'une douille intermédiaire clavetée sur l'arbre ; c'est autour de cette douille que tourne la poulie folle. Cette douille porte un épaulement pour maintenir la poulie, épaulement qui remplace la bague à vis du serrage de l'ancienne construction.

Le nouveau procédé consiste tout simplement, au lieu de claveter cette douille D (fig. 23 et 24), à la laisser entièrement libre autour de l'arbre, tout en la

maintenant immobile à l'aide d'un contrepoids, ou mieux à l'aide d'un bras rigide la reliant à un point fixe quelconque situé au-dessus, au-dessous ou par côté.

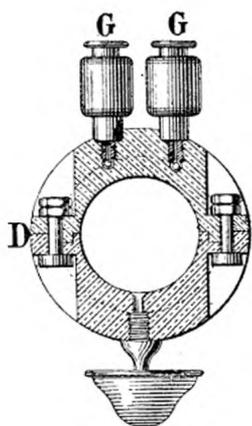


FIG. 23.

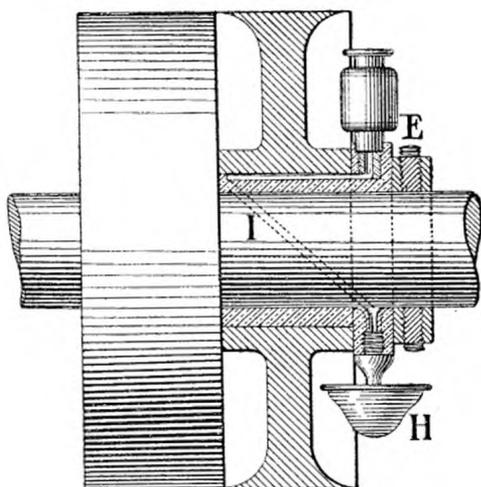


FIG. 24.

Dans ces conditions la poulie folle tourne à l'extérieur, et l'arbre à l'intérieur de cette douille, et deux graisseurs GG' graissent l'un et l'autre la douille et l'arbre, l'autre entre la douille et la poulie folle.

Les godets GG' sont fixés sur l'épaulement E, ou à distance à volonté pourvu que l'huile soit amenée au moyen de tubes aux trous graisseurs situés sur cet épaulement.

Les rainures évacuatrices I, ramènent et récupèrent l'huile dans un godet H, sous la poulie.

Une fois la courroie sur la poulie folle, il n'est pas à craindre un entraînement, les embrayages ou débrayages accidentels et souvent dangereux ne sont plus possibles.

Les godets GG' se règlent comme des graisseurs ordinaires puisqu'ils sont immobiles ; la circulation de l'huile est surabondante puisqu'on la récupère, enfin la plus grande propreté est obtenue pour le mouvement des poulies folles comme pour tous les autres organes de machines.

*Têtes de bielles.* — Un godet à grenaille D, (fig. 25) à compte goutte est vissé au-dessus du tourillon.

A l'aide des anneaux évacuateurs l'huile est évacuée et récupérée aux extré-

mités des coussinets du bouton de manivelle comme pour les tourillons des paliers ordinaires.

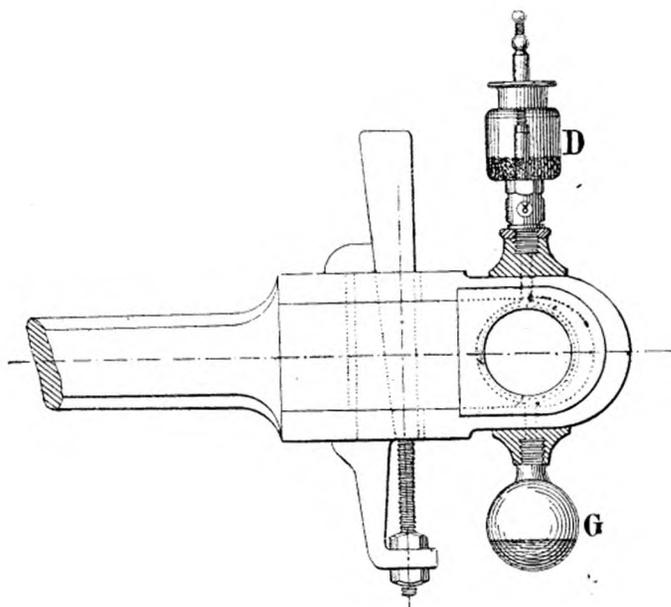


FIG. 25.

L'huile évacuée se rend dans le godet G' sous le bouton de manivelle et est recueillie journellement pour être filtrée.

Ici se trouve appliqué la circulation surabondante et à l'huile toujours pure.

*Glissières excentriques, etc.* — Pour les excentriques, glissières, pivots, etc., et pour tous autres organes de machines, les godets graisseurs à grenaille sont appliqués; la récupération l'est également, à moins qu'il s'agisse d'organes si peu importants que la surabondance d'huile s'entende de fractions de grammes en 24 heures et que cette perte d'huile puisse être considérée comme négligeable.

*Graisseurs à grenaille à débit continu et réglable à volonté.* — La forme des graisseurs de cette série est différente, mais la construction et le fonctionnement sont les mêmes, que ceux des antiques graisseurs dits à boule à

double robinet, dont l'usage à cause de leur simplicité et malgré leur imperfection est encore si général.

Tout en conservant à ces graisseurs leur simplicité il s'agit de remédier à la perte de combustible et d'huile qu'ils occasionnent, toute la charge après chaque remplissage étant entraînée à l'échappement avec une perte de 90 à 95 % de l'effet utile ainsi qu'à la fréquence exagérée du graissage qui expose à des accidents en cas d'oubli et nécessite une main d'œuvre et des soins assidus et coûteux. Quant à la perte de combustible, elle provient de l'augmentation de résistance et peut aller jusqu'à 20 % pour les machines sans condensation. Pour ces machines en effet à chaque échappement, la vapeur sortant avec une extrême violence purge le cylindre de toute trace d'huile, de sorte que ces machines graissées par intermittence fonctionnent en réalité sans graissage, si ce n'est celui que produit naturellement la vapeur; le graissage par la vapeur est suffisant pour éviter le grippage, étant donné surtout que tous les 1/4 ou 1/2 heure une quantité d'huile vient adoucir les surfaces.

Le préjudice causé par le graissage intermittent est moins grand pour les machines à condensation, parce que la condensation n'est plus la purge violente de l'échappement à l'air libre; cette condensation à chaque coup de piston n'expulse qu'incomplètement l'huile du cylindre.

Comme preuve de la perte de force considérable que subissent les machines graissées par intermittence surtout celle à condensation on observe que l'usure des segments et des cylindres pour ces machines est incomparablement plus grande que lorsque le graissage est continu: comme on est obligé pour toute machine, afin que les segments du piston soient étanches à la vapeur, de produire un serrage de ces segments contre les parois du cylindre, ce serrage s'ajoute au défaut de graissage pour produire usure et perte de force dans une proportion considérable, étant donné que le mouvement moteur du piston est un mouvement alternatif, lequel oppose à la loi d'inertie un si grand obstacle qu'on évalue à 16 % du rendement théorique la perte pour frottement du mécanisme des machines à vapeur.

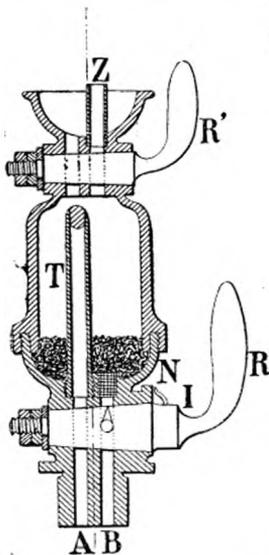


FIG. 26.

Pour rendre le débit de ces anciens graisseurs continu et réglable à volonté, le robinet inférieur R (fig. 26) est à double conduit A et B. Le conduit A est prolongé par le tube T fermé à son sommet de manière à ce que la grenaille que contient le graisseur ne puisse passer dans aucun cas tandis que la vapeur à son

libre accès par les traits de scie ou F,F'. C'est par ce conduit que la pression de la vapeur s'établit dans le graisseur.

L'écoulement de l'huile et de l'eau de condensation a lieu par le conduit B, muni à un sommet d'un obturateur formé d'une bande de toile métallique roulée qui laisse passer librement l'huile et retient la grenaille. L'huile et l'eau s'écoulent par leur propre poids régulièrement en s'alternant une goutte, deux gouttes d'eau suivant que la vapeur est à une température plus ou moins élevée ou qu'elle est plus ou moins sèche. Avec le compte-goutte des graisseurs de la série A cette marche des liquides est visible.

L'eau de condensation plus lourde s'écoule la première et il est remarquable qu'aucun arrêt dans le graissage ne puisse avoir lieu, même si l'orifice du débit était insuffisamment ouvert. En effet le graisseur dans ce cas se remplit d'eau et l'huile à mesure qu'il se remplit s'écoule par le sommet du tube T le graisseur fonctionnant alors comme les graisseurs ordinaires à condensation bien connus.

Le réglage du débit est obtenu en ouvrant plus ou moins le conduit B, à l'aide du robinet R, ainsi construit que la pression pénètre librement dans les graisseurs par le conduit A et le tube T quelque faible soit l'ouverture du conduit du débit B.

La grenaille qui remplit le cinquième environ de la capacité du graisseur est en plomb de numéro très fin. Elle est là pour assurer la continuité et la régularité du débit grâce aux propriétés qu'elle possède aussi bien dans la vapeur qu'à l'air libre. Sans cette grenaille on retombe dans la difficulté de réglage dont nous avons parlé, des orifices microscopiques et dans l'obstruction continuelle de ces orifices. La grenaille est en outre d'une grande utilité pour les locomotives, locomobiles, machines agricoles etc., qui fonctionnent en plein air et reçoivent des foyers à vapeur et des routes des grains de charbon ou de sable qu'endommagent les tiroirs cylindres et pistons; elle les préserve de toutes ces impuretés qui restent à sa surface dans le graisseur.

Le cadran N et l'aiguille I sur la clef du robinet R, permettent de régler sans tâtonnement le débit du graisseur une fois qu'on est familiarisé avec la rapidité d'écoulement qui correspond aux divers degrés d'ouverture marqués sur le cadran.

On reconnaît que le débit est mal réglé lorsqu'au remplissage du graisseur on le retrouve plein. Dans ce cas on le purge de l'eau qu'il contient en ouvrant un instant le robinet R; on le remplit ensuite d'huile et on le règle à nouveau.

Les deux conduits du robinet supérieur R' et le bout Z ont pour but de rendre le remplissage instantané et d'empêcher toute projection d'huile.

Il est à remarquer qu'à chaque remplissage la quantité d'huile au-dessus des fentes du tube T coule directement par ce tube et la fois, de sorte qu'aux mises en marche la machine est graissée abondamment et que par intermittence elle reçoit une petite quantité d'huile supplémentaire qui ajoute à la sécurité et à la perfection du graissage.

*Série A à débit continu réglable à volonté et à compte-gouttes.* — Les graisseurs de cette série sont identiques à ceux de la série D comme fonctionnement. L'écoulement de l'huile et de l'eau de condensation s'aperçoit par la lunette U (fig. 27).

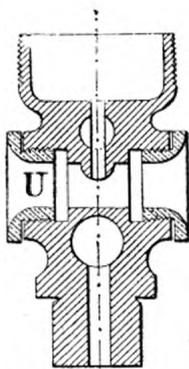


FIG. 27.

L'avantage de cette lunette compte-gouttes est d'éviter les tâtonnements d'un premier réglage et la nécessité pour un conducteur de machine d'être familiarisé avec son appareil. Elle permet de s'apercevoir de l'accumulation accidentelle de l'eau de condensation dans le graisseur, de la faire égoutter en ouvrant complètement le robinet R et de rétablir en un instant le débit normal.

*Série H à tube niveau extérieur.* — Pour les grandes machines pour lesquelles il s'agit de fournir de grandes quantités d'huile, les lunettes compte-gouttes n'ont plus leur raison d'être pour des débits ne s'effectuant plus goutte à goutte, mais à filet d'huile continu ; ces lunettes sont remplacées par des tubes-niveau comparables exactement aux tubes-niveau des chaudières à vapeur par exemple.

Un index *k* (fig. 28) se manœuvre à la main le long de ce tube niveau ; il sert de point de repère qui permet de juger de l'écoulement de l'huile et de le régler.

On manœuvre pour ouvrir ou fermer plus ou moins le débit la valve V.

L'eau de condensation qui tendait accidentellement à s'accumuler dans le graisseur s'aperçoit au tube niveau ; on l'évacue en un instant en ouvrant davantage la valve V.

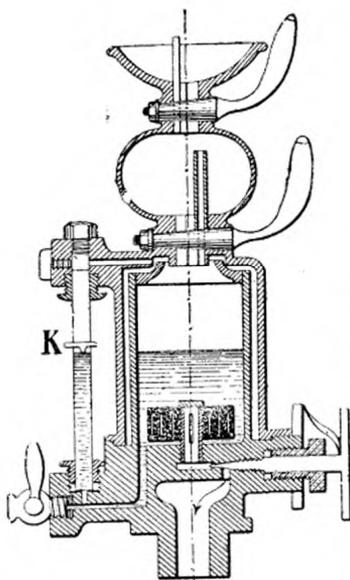


FIG. 28.

Le graissage des roues de voitures, chars, camions et autres véhicules dont les roues sont en mouvement autour de l'essieu immobile, n'a guère été perfectionné que pour les voitures de luxe auxquelles ont été appliqués plusieurs systèmes dits : essieux, patente ou demi-patente (du mot anglais, patent qui signifie brevet) ; mais pour les véhicules plus lourds on ne connaît encore d'autre manière de

les graisser que de démonter leurs roues et de recouvrir les fusées de graisse consistante.

On ne saurait imaginer le préjudice occasionné par ce mode de graissage soit comme usure des essieux et des roues, soit surtout comme dépense en chevaux à cause de l'augmentation considérable de résistance qu'entraîne l'influence de cette lubrification que la présence des poussières des routes en contact avec la graisse consistante achève de rendre défectueux.

Nous allons en décrivant l'application qui a été faite des godets graisseurs à grenaille aux roues d'artillerie, donner un exemple des cent formes diverses qui peuvent être créées suivant la nature, les proportions et l'usage des véhicules à graisser.

*Graisseurs pour roues d'artillerie.* — Les roues d'artillerie sont habituellement munies d'un marche-pied A (fig. 29) emmanché dans le bout de la fusée

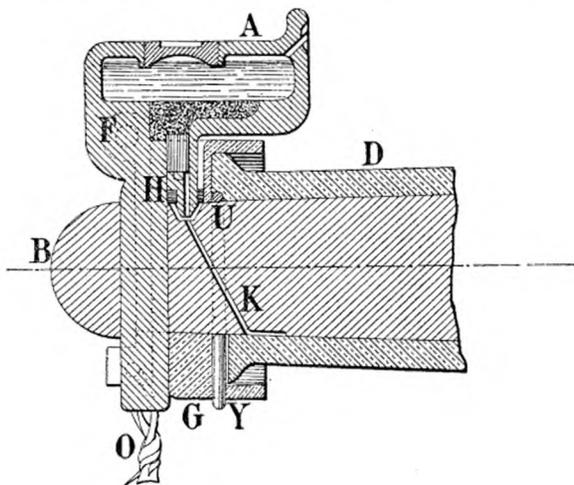


FIG. 29.

B; la boîte en bronze G, butte contre la clef du marche-pied; c'est contre cette boîte que tourne le moyeu D de la roue. L'étrier annulaire (ou l'esse) qui s'ouvre en décrivant un arc de cercle autour de l'axe F, et la lanière O qui le relie au marche-pied servent à empêcher que celui-ci ne se soulève et puisse se perdre.

La transformation qui a été appliquée consiste à fondre le marche-pied creux et à en faire un godet du genre de ceux de la série A à grenaille de plombagine dont le débit est réglé par le numéro de la grenaille.

Grâce à la rondelle en cuir H dont est muni le téton qui amène l'huile au conduit L, ces godets marche-pied peuvent avoir un jeu vertical et tous sens de quelques millimètres ce qui leur donne l'avantage d'être interchangeables.

La rondelle H sert de joint empêchant la poussière de s'introduire avec l'huile dans le conduit K. Le conduit K amène celle-ci sous la fusée; en temps d'arrêt il se remplit d'huile et à chaque départ la roue se trouve graissée surabondamment par cette quantité accumulée, tandis qu'en marche normale le graissage est celui que produit le numéro de grenaille adopté.

L'huile arrivée sous la fusée, la graisse d'un bout à l'autre par la seule forme conique qu'ont ces fusées; pour les fusées qui n'ont pas cette conicité on se contente de creuser une petite rainure R en hélice sur la fusée, partant au-dessus

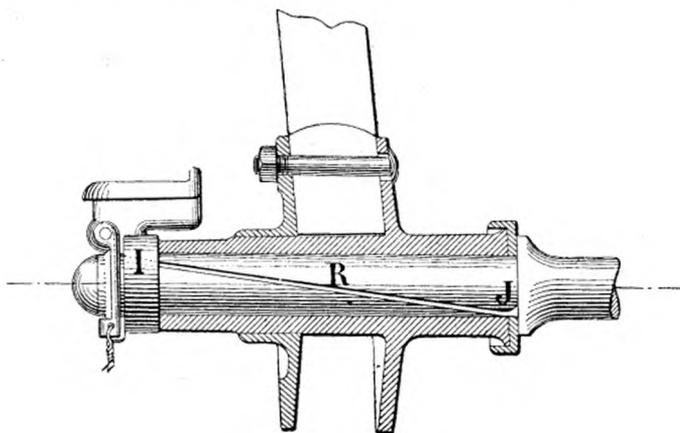


FIG. 30.

et de l'avant I et aboutissant en J au-dessous et à l'arrière de cette fusée (fig. 30).

A ces roues il est utile d'appliquer l'évacuateur à anneau, tellement il est simple et efficace pour protéger les fusées et moyeux de l'action des poussières. Il consiste en un anneau U entourant la fusée contre la boîte G. Il est muni de l'appendice Y, qui l'empêche de tourner et sert de guide à l'évacuation de la poussière qui tend à pénétrer le long de la fusée.

Grâce à un petit plat fait sur le dessus de la fusée près de la boîte G, on obtient qu'un faible partie de l'huile débitée par le godet, atteigne l'anneau évacuateur; cette huile suffit pour arrêter les poussières et les forcer à s'évacuer avec elle en suivant l'anneau évacuateur.

Le moins de jeu possible doit-être laissé entre la fusée et le moyeu de la roue, longitudinalement et en tout sens.

Le bon graissage obtenu à l'aide de ces graisseurs à grenaille supprime l'usure ou tout au moins la rend très faible; on peut d'ailleurs annuler le jeu qui peut

se produire à la longue en interposant une rondelle entre la boîte G et l'extrémité du moyeu, c'est alors entre cette rondelle et le moyeu que doit se trouver l'anneau évacuateur.

Puisque les coussinets et fusées de wagons s'usent constamment, c'est qu'ils sont insuffisamment graissés. La perte de combustible sur les locomotives, la dénaturation et la perte d'huile qui sont conséquence de cette usure, les accidents qui peuvent en résulter dans l'avenir et qui nécessitent le remplacement des essieux alors que la durée de leur service devrait être indéfinie, toutes ces raisons font de la question du graissage du matériel roulant des chemins de fer une question capitale pour les Compagnies.

Tout d'abord pourquoi cette anomalie ? Pourquoi une fusée de wagon, le wagon étant à sa vitesse normale pour les trains à marchandises s'use-t-elle (1), tandis que pour une machine ordinaire, un tourillon subissant la même charge et animée de la même vitesse, ou même subissant une charge ou une vitesse incomparablement plus grandes, fonctionne sans usure et avec une dépense minimum d'entretien, de force motrice, de lubrifiant ?

C'est que celui-ci ne présente aucune difficulté de graissage, tandis que pour la fusée de wagon les conditions requises pour un graissage irréprochable en quantité et en qualité du lubrifiant, n'ont pu être appliquées, quelque efforts, et ils sont nombreux, qui aient été tentés à cet effet.

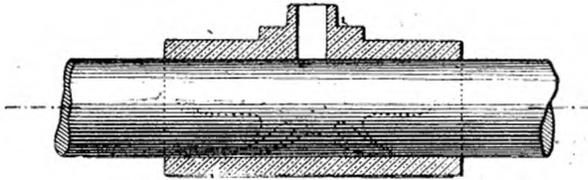


FIG. 31.

Et en effet un tourillon de palier ordinaire (fig. 31) reçoit l'huile, qu'elle soit fournie par un graisseur ou par un système d'aspiration capillaire, en quantité surabondante. Elle arrive en charge sur le tourillon, dès lors non seulement l'alimentation, mais encore l'interposition entre les surfaces sont, nous l'avons vu, facilement obtenues surabondantes. L'huile, quelque grande que soit la charge sur le tourillon par son propre poids s'insinue entre les surfaces ; grâce à ce qu'elle est charge, le mouvement de rotation ajoute son effet d'aspiration analogue à l'aspiration d'une pompe rotative ; enfin, par des rainures spéciales

(1) Nous avons déjà cité la Note parue dans la *Revue générale des Chemins de Fer*, numéros d'avril, juillet et octobre, par M. L. Salomon, ingénieur en chef de la Compagnie de l'Est, mentionnant, page 37, que l'usure courante des coussinets de wagons varie de 6 à 8 millimètres par deux années de marche pour les voitures à voyageurs et de 4 à 6 pour les voitures à marchandises.

comme nous l'avons fait, on aide puissamment à la surabondance de cette interposition ; mais, avec la fusée de wagon, les conditions sont bien différentes.

Cette fusée (fig. 32) est graissée par le contact d'un tampon graisseur, formé du velours V, imbibé de l'huile que contient le dessous de boîte A et que lui

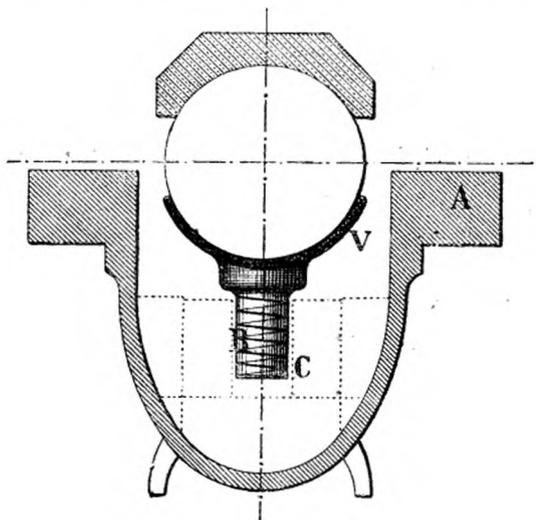


FIG. 32.

amène par capillarité les mèches plongeantes B, tampon que des ressorts C maintiennent pressé contre le dessous de la fusée. L'huile ici, au lieu de s'insinuer par sa charge entre le coussinet et la fusée, tend, au contraire, par cette charge à retomber dans le dessous de boîte sans graisser les surfaces ; l'effet d'aspiration n'existe pas ; enfin l'arête du coussinet, véritable racloir, bien qu'elle soit arrondie ordinairement, élimine l'huile et l'empêche de s'interposer. L'interposition au lieu d'être surabondante est donc insuffisante.

Mais elle-même, cette alimentation par humectation du dessous de la fusée est-elle surabondante ? Elle l'est au début quand le tampon est neuf, mais elle devient peu à peu insuffisante, le tampon perdant de plus en plus et dès le premier jour de son fonctionnement sa capillarité. Et, en effet, les mèches du tampon graisseur s'encrassent dans l'huile de plus en plus impure et dénaturée du dessous de boîte ; de leur côté les soies du velours qui touchent la fusée s'encrassent de plus en plus, de ce fait que la quantité d'huile qu'elles mettent en contact et en frottement autour de la fusée et que celle-ci leur prend et leur

redonne indéfiniment est toujours la même sans renouvellement. L'encrassement a donc lieu à la fois par le bas et par le haut du tampon et cela beaucoup plus rapidement qu'on ne serait porté à le croire.

Il en est d'un tampon comme d'une mèche de lampe à huile qui charbone pour peu que celle-ci ait été mal épurée ou soit restée soumise quelque temps aux poussières des appartements; l'encrassement de cette mèche se produit alors même que la limpidité de l'huile ne paraisse à l'œil nullement altérée; or l'huile s'a'tère dans les dessous de boîte non seulement du fait de la dénaturation due au frottement, qui ne peut être évitée, mais encore et surtout du fait de l'usure des surfaces que nous savons être constantes, du fait enfin des poussières qui pénètrent dans la boîte.

Remarquons que pour qu'il y ait encrassement du tampon il faut qu'il y ait obstruction des conduits tubulaires microscopiques qui constituent la structure capillaire des fibres; l'encrassement d'une fibre dépend de l'état physique du liquide qu'elle aspire et non de sa composition chimique qui peut être quelconque sans aucunement modifier son pouvoir capillaire d'aspiration. Les deux états physiques qui influent directement sur ce pouvoir capillaire d'aspiration et sur la durée ou continuité de ce pouvoir sont pour l'huile: son degré de fluidité et la quantité plus ou moins grande ainsi que la quantité plus ou moins tenue des impuretés solides qu'elle contient en suspension; plus la fluidité et la volatilité d'un liquide sont grandes et plus grande et plus rapide est son absorption capillaire par les fibres; c'est ainsi qu'en un instant une essence s'élève dans la mèche d'une lampe à pétrole par exemple; pour l'huile, la viscosité est un obstacle à la rapidité et à la quantité d'aspiration des tampons; quant aux impuretés contenues dans l'huile, plus ces impuretés sont tenues et plus vite les tampons graisseurs sont encrassés et perdent leur capillarité.

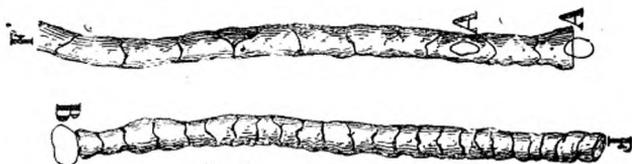


FIG. 33

Soit F, F', fig. 33 deux fibres du tampon et A, B, deux impuretés, la plus grosse B, si elle se présente à l'orifice de la fibre, ne peut entrer et retombe dans le dessous de boîte où elle a chance de se déposer par décantation tandis qu'il suffit de quelques impuretés, comme l'impureté A moins grosse, qui pénètre dans les conduits capillaires pour les boucher étant donné surtout les angles, les sinuosités, les étranglements de ces conduits, enfin, leur longueur insuffisante qui fait que les fibres au lieu d'amener directement l'huile des dessous de boîte à la

fusée, ne peuvent que se la passer de l'une à l'autre et de proche en proche, jusqu'au sommet du tampon.

Ce sont les impuretés les plus tenues qui encrassent le plus vite les boîtes, les tampons, et ce sont justement celles qui pénètrent le plus facilement dans les boîtes, ce sont des particules infiniment petites que l'usure du bronze et du fer envoie dans l'huile.

L'encrassement constant des tampons et le défaut d'alimentation entraînent le défaut d'interposition et réciproquement le défaut d'interposition entraîne le défaut d'alimentation ; le défaut enfin d'obturation des boîtes entraîne et l'insuffisance d'alimentation et l'insuffisance d'interposition. Ce sont là des difficultés qui s'enchaînent et qui montrent qu'à moins de tomber dans un cercle vicieux, on ne peut les résoudre l'une sans l'autre, qu'il faut que la surabondance d'alimentation, la surabondance d'interposition et la complète obturation des boîtes soient obtenues simultanément.

Cette obturation, dont nous n'avons pas encore parlé est insuffisante avec les boîtes actuelles. Comme obturateur on se sert de rondelles en bois, en cuir ou en feutre, logées dans un évidement de la boîte à l'arrière de la fusée, tout autour de l'essieu. Elles ne suffisent pas à bien obturer les boîtes, car ou bien elles sont promptement usées par la rotation de l'essieu et le jeu qu'elles laissent autour de lui malgré les ressorts dont on les munit, augmente de plus en plus ; ou bien on les laisse s'imbiber de l'huile du dessous de boîte et dans ce cas on tombe dans un autre inconvénient non moins grand que le premier ; l'essieu qui s'imprègne constamment de l'huile du dessous de boîte l'évacue, de sorte que celui-ci se vide peu à peu de sa provision d'huile.

En résumé produire l'alimentation et l'interposition surabondante sans encrassement du tampon, obtenir la parfaite obturation des boîtes, telle est la triple difficulté qu'il s'agit de résoudre ; on conçoit qu'elle n'est pu être surmontée sans beaucoup d'études et beaucoup d'essais et sans un travail et des efforts persévérants.

En province des étonnants résultats qu'on donné les appareils et la méthode que nous avons décrits partout où des difficultés de graissage se sont présentées, les mêmes procédés ont été appliqués à résoudre le problème de graissage des fusées de wagon ; à cet effet ont été réalisés dans les boîtes :

1° L'alimentation surabondante, en empêchant par la filtration automatique de l'huile tout encrassement des mèches plongeantes des tampons, en maintenant par conséquent toujours leur pouvoir d'absorption capillaire.

2° L'interposition surabondante de l'huile entre la fusée et le coussinet, par la forme de ce coussinet.

3° La circulation et le renouvellement de l'huile à travers le tampon et autour de la fusée, afin d'éviter la dénaturation de l'huile faute de renouvellement et l'encrassement des fibres du velours en contact avec la fusée, et parce que la

filtration de l'huile ne peut avoir lieu dans le dessous de boîte qu'autant qu'elle est en circulation, en évacuant l'huile automatiquement et constamment hors de la fusée, comme nous l'avons vu pour les tourillons des paliers ordinaires.

4<sup>e</sup> Enfin l'obturation complète des boîtes, par les obturateurs à anneau. Ces obturateurs rendent insignifiantes la quantité de poussière qui pénètre dans les boîtes ; en outre ils obligent cette poussière à ne pénétrer que dans la partie la plus basse du dessous de boîte et en se décantant, de sorte qu'elle tend à ne jamais encrasser la masse de l'huile ; d'ailleurs les filtres à plombagine sont là qui opposent une barrière infranchissable à toute impureté qui tendrait à atteindre les mèches plongeantes du tampon.

Avant de lire la description des boîtes transformées on est en droit, en face de si multiples résultats de douter *a priori* que leur réalisation soit possible ; tout au moins est-on fondé de croire qu'elle ne saurait être simple et pratique. Ici, comme nous l'avons fait déjà au sujet des appareils à grenaille en général, nous nous contenterons pour prouver que cette réalisation est simple et pratique d'en appeler au vrai et sûr baromètre de la simplicité : le bon marché.

A vrai dire rien n'est changé aux anciennes boîtes, rien ou presque rien ne leur est ajouté ; la forme des coussinets un peu modifiée ; l'adjonction d'une boîte en fer blanc contenant de la grenaille de plombagine, voilà à quoi se borne une transformation appelée à donner de si grands avantages.

Si nous comparons ces avantages aux frais de transformation, nous avons : d'un côté une forme un peu différente du coussinet obtenue sans frais supplémentaires au moulage, l'adjonction dans le dessous de boîte d'une boîte-filtre en fer blanc d'une très faible valeur, enfin 1 à 2 centimes de plombagine à renouveler tous les deux à cinq ans dans ces boîtes. De l'autre côté la boîte quelle que soit sa forme, restant la même, le tampon ne changeant pas et pouvant même être réduit comme poids et dimensions, la durée de ces tampons triple ou quadruple de celle des anciens tampons, la visite des boîtes n'ayant plus lieu qu'à des intervalles trois ou quatre fois plus grands ; l'usure des coussinets et des fusées, leur remplacement supprimés ; les causes d'accidents dans l'avenir écartées ; les frais d'entretien, la dépréciation du matériel, les visites et les nettoyages des boîtes, les frais d'approvisionnement, de manutention de l'huile et des tampons, la surveillance et le contrôle, enfin les frais généraux considérablement diminués, une économie considérable de charbon et d'huile, l'économie maximum qu'il soit possible d'obtenir de l'un et de l'autre, devrions nous dire, tel est dans le bilan qui nous occupe le passif et l'actif qu'on peut mettre en parallèle ; nous laisserons les statistiques officielles des compagnies fournir des chiffres exacts pour toutes ces quantités que nous ne pouvons ici qu'indiquer.

*Description des boîtes transformées à circulation surabondante d'huile toujours pure.* — Les résultats que donne l'emploi de la plombagine comme

préservation des mèches du tampon de l'encrassement sont dus aux propriétés étonnamment filtrantes qu'elle possède. Une couche de plombagine de 15 millimètres seulement est plus que suffisante pour assurer la filtration et la purification de l'huile des boîtes de wagon de la manière la plus satisfaisante.

Il est vrai de dire que dans ces boîtes la décantation a lieu préalablement à la filtration et que les filtres sont établis dans les conditions les plus favorables à cette décantation préalable ; il est vrai encore que les causes de l'encrassement de l'huile ayant presque complètement disparu, puisque l'usure des surfaces et l'introduction des poussières sont évitées, la dénaturation de cette huile se trouve réduite au minimum. C'est à cette absence complète de tout corps étranger entre les surfaces frottantes qu'il faut attribuer l'économie d'huile extraordinaire que procurent tous les engins à circulation surabondante auxquels la purification de l'huile au fur et à mesure de son encrassement est appliquée. Et en effet quand on laisse la même quantité d'huile circuler indéfiniment sans purification sa dénaturation a lieu en suivant une progression géométrique, c'est-à-dire quatre fois au moins plus coûteuse (1).

Dans la boîte de wagon (fig. 34 et 35) se trouve installée de façon à pouvoir se déplacer latéralement la boîte-filtre A divisée en trois compartiments S I T séparés les uns des autres par les cloisons P P', en toile métallique. Les cloisons extérieures P'' P''' sont aussi en toile métallique. Dans le compartiment central I plongent les mèches du tampon et contre le fond de ce compartiment appuient les ressorts R R' qui le pressent contre la fusée ; dans les compartiments latéraux S T, se trouve la grenaille de plombagine. L'huile qui se décante à son aise tout autour de la boîte, pénètre latéralement la grenaille pour atteindre les mèches du tampon, son niveau est égal partout dans le dessous de boîte, dans la boîte-filtre comme hors de cette boîte, les surfaces filtrantes ayant une étendue suffisante pour livrer instantanément passage à l'huile en circulation qui s'écoule dans le dessous de boîte par les orifices H H, du coussinet.

La circulation est environ de 1 litre à 2 litres en 24 heures de marche de l'essieu suivant sa vitesse, c'est-à-dire que la quantité d'huile de 1 litre que contient ordinairement un dessous de boîte se renouvelle une à deux fois en 24 heures. Le tampon fournit autant d'huile que lui en prend la fusée, ce n'est pas lui qui limite la circulation ; elle dépend de la position plus ou moins surélevée au-dessus du fond des évidements K K' des orifices évacuateurs H H' du coussinet.

Voici comment se produisent soit l'évacuation, soit l'interposition surabondantes par la seule forme donnée au coussinet. Les évidements K K' sont laissés

1. Cette économie d'huile avec les engins à purification automatique de l'huile est de 50 à 60 % pour les machines industrielles ; elle est de 60 à 80 % pour les fusées de wagon.

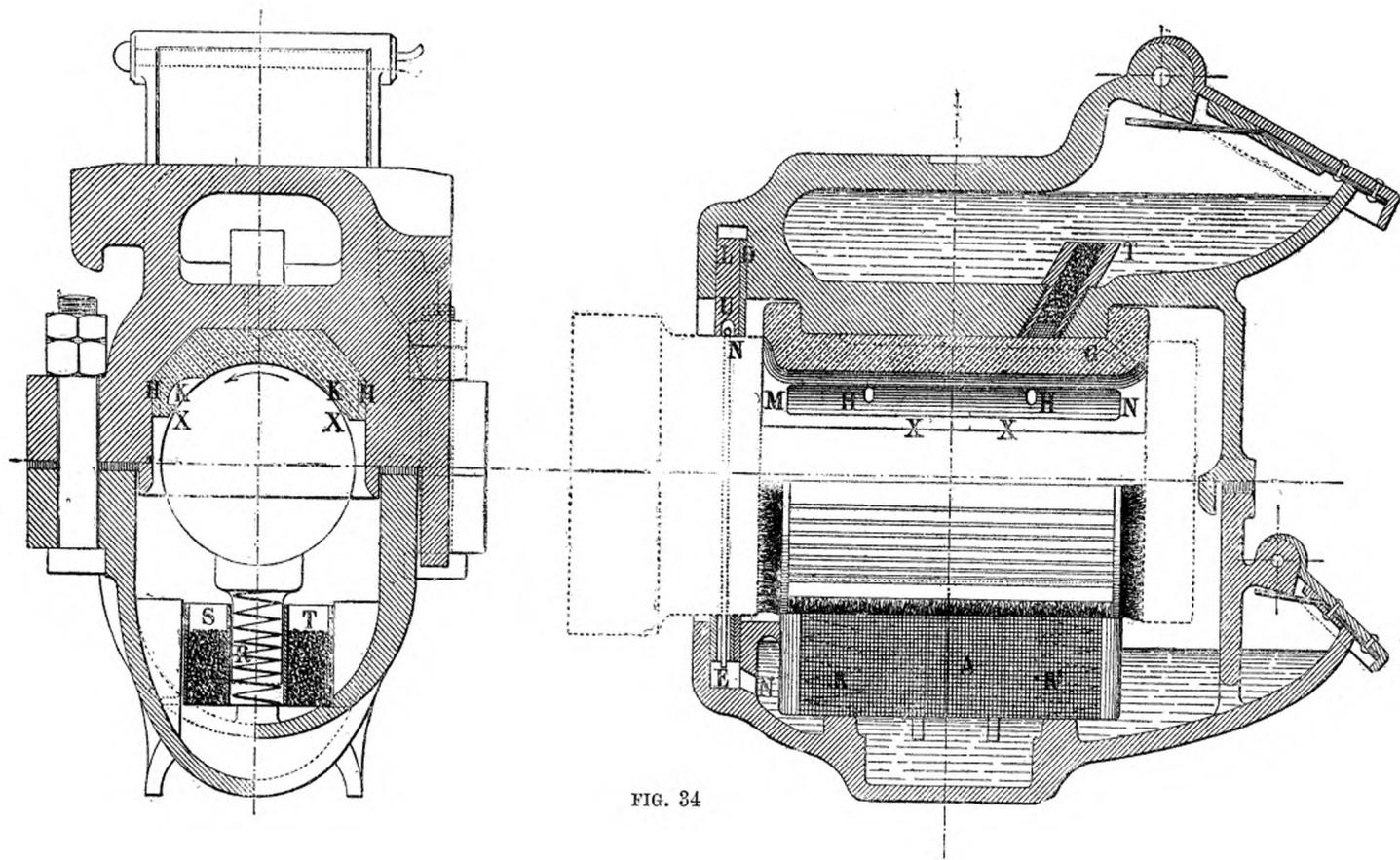


FIG. 34

au moulage le long du coussinet sur presque toute la longueur de la fusée mais n'atteignent pas toutefois les points extrêmes MN où commencent les épaulements. Ces évidements formes des chambres qui seraient entièrement closes si elles ne communiquaient avec l'extérieur du coussinet par un ou deux orifices H H'. L'évidement K, à l'avant du coussinet regorge d'huile ; celle-ci s'échappe en déversoir par les orifices évacuateurs H H', qui débouchent entre la paroi

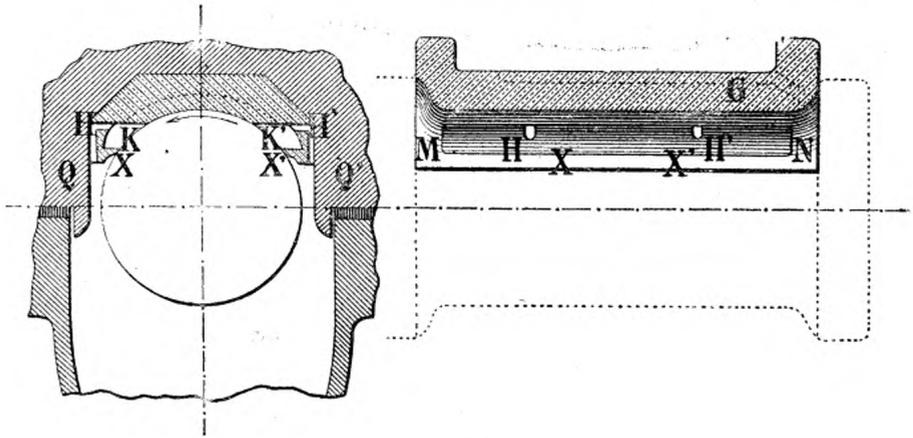


FIG. 35

intérieure Q, de la boîte de wagon, de sorte que l'huile évacuée suit cette paroi en s'écoulant dans le dessous de boîte sans risquer d'atteindre le tampon. Ainsi se trouve établie la circulation de l'huile plus ou moins abondamment suivant que les orifices H H', étant plus ou moins surélevés au-dessus du fond de l'évidement K, l'huile se déverse plus ou moins rapidement par ces orifices.

L'interposition surabondante de son côté est obtenue grâce à ces mêmes évidements K K'. L'évidement K' à l'arrière, du côté de l'alimentation, est un introducteur de l'huile du tampon que lui apporte la fusée. Cette huile pénètre facilement dans cet évidement malgré la bande du coussinet x' qu'elle a à franchir à cause de la pression minimum qui s'exerce sur les côtés du coussinet (1) c'est-à-dire sur la longueur de cette bande. Une fois arrivée à l'évidement K' elle est forcée de s'insinuer entre les surfaces qu'il s'agit de graisser à cause du mouvement de rotation de l'essieu. En effet, l'arête à l'intérieur de cet évidement sur la ligne d'introduction de l'huile entre les surfaces, supporte une forte pression ; elle tend bien à former racloir et à s'opposer à l'interposition de l'huile et cependant celle-ci ne peut ni revenir en arrière, ni foisonner à l'intérieur de

1. Voir page 511, *Note sur l'emploi comparé des huiles pour le graissage du matériel roulant*, par M. Salomon déjà citée.

l'évidement K', ni s'échapper par les orifices H' comme cela aurait lieu si cet évidement regorgeait d'huile. Pourquoi? parce qu'à cause du mouvement en avant de la fusée il se produit un effet d'aspiration pneumatique très énergique qui fait le vide dans la chambre K'. La forme de cette chambre offre un angle aigu sur la ligne d'interposition de l'huile entre les surfaces; ce biseau facilite encore l'aspiration pneumatique.

Ainsi se trouve réalisé l'interposition surabondante de l'huile fournie par le tampon entre les surfaces qu'il s'agit de graisser.

Remarquons que les surfaces frottantes restent dans ces coussinets entièrement exemptes de pattes d'araignées sur toute la longueur de la fusée; les compagnies ont été amenées à les supprimer après un grand nombre d'expériences qui ont démontré leurs inconvénients (1). On ne peut assimiler les chambres K K' à des pattes d'araignées puisqu'elles existent en dehors des surfaces flottantes du coussinet; celles-ci continuant à être égales au tiers de la circonférence de la fusée, de l'évidement K à l'évidement K', arc qu'il a été reconnu avantageux de laisser comme surfaces; quant aux bandes de coussinet  $\alpha x'$  elles ne peuvent être considérées comme surfaces frottantes proprement dites à cause de la faible pression qu'elles supportent. Dans la construction de ces coussinets on peut bénéficier des avantages des métaux mous meilleurs répartiteurs de la charge que le bronze, et pour cela fondre en bronze le corps du coussinet y compris les bandes  $\alpha x'$  et en métal blanc le milieu de l'arc central qui supporte la pression et le frottement.

Nous n'avons pas besoin d'ajouter que le wagon peut rouler dans un sens ou dans l'autre, les deux côtés des coussinets étant symétriques.

*Description des obturateurs à anneaux.* — Pour obturer parfaitement une boîte d'essieu, il s'agit d'éviter l'une ou l'autre alternative dont nous avons parlé plus haut qui sont: ou d'obturer à sec et de voir l'obtuteur s'user rapidement et d'ailleurs mal obturer à tous les points de vue,

1. Cette explication de la façon dont s'opère l'interposition, nous la croyons juste; nous pouvons cependant nous tromper comme il arrive si souvent chaque fois qu'il faut remonter des effets aux causes; ce que nous retiendrons donc seulement ce sont ces effets, c'est le résultat obtenu d'interposition surabondante de l'huile entre la fusée et son coussinet. Ce résultat est observé expérimentalement en faisant tourner à nu une fusée et en reproduisant toutes les conditions de forme et de dimensions de charge et de vitesse des essieux de wagons.

Ce que nous n'avons pu reproduire ce sont les chocs, les trépidations et les balancements verticaux des wagons sur les fusées, mais ces déplacements, loin d'ajouter à la difficulté d'interposition de l'huile la facilitent énormément et nous doutons que, sans les ressorts de suspension des voitures auxquels sont dû ces déplacements et si l'on essayait de supprimer toute élasticité de la charge sur les fusées, le graissage des wagons fut possible; la résistance, l'usure des fusées et des coussinets seraient si grandes qu'il serait probablement impossible ou tout au moins très difficile de faire rouler le matériel des chemins de fer.

ou d'obturer avec une matière spongieuse s'imbibant de l'huile du dessous de boîte, et dans ce cas l'obturation est sans doute bien meilleure mais elle occasionne l'entraînement rapide de la provision d'huile hors de la boîte.

Pour obtenir cette obturation par rondelles spongieuses gonflées d'huile du dessous de boîte et cependant sans perte d'huile, nous employons : trois rondelles clouées les unes aux autres, l'une en feutre du côté de l'intérieur de la boîte, l'autre en cuir naturel ou artificiel du côté de l'extérieur, la troisième au centre entre les deux premières est en bois, ou encore : deux rondelles seulement, l'une en feutre du côté de l'intérieur, l'autre en bas. Elles plongent dans

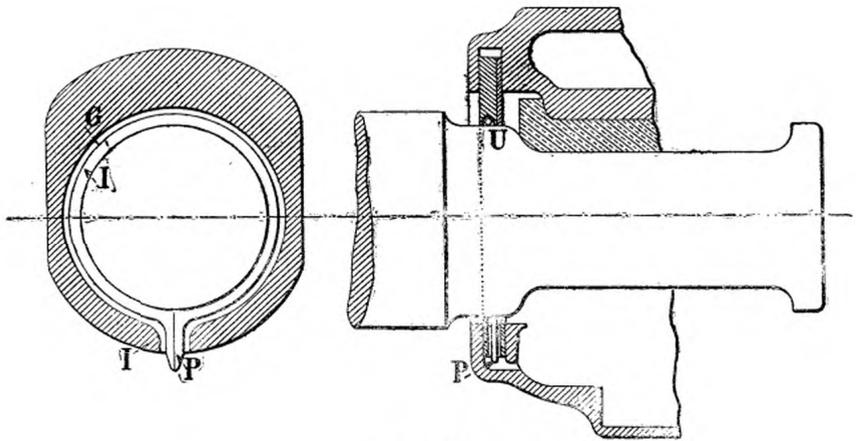


FIG. 36.

l'huile du dessous de boîte grâce à ce que le logement de l'obturateur communique avec celui-ci par l'ouverture L (fig. 36). La rondelle en bois porte la gorge U, creusée dans son épaisseur tout autour de l'essieu et dans cette gorge se trouve l'anneau évacuateur ordinaire N formé simplement d'un fil de laiton de 3 à 4 millimètres de diamètre entourant l'essieu ; ses deux extrémités recourbées s'engagent dans le trou évacuateur E situé à la partie inférieure de la rondelle centrale ; elles évacuent l'huile et empêchent l'anneau de tourner. Voici ce qui se produit à la marche : la rondelle en bois ou en cuir L, se gonfle d'huile ; mais n'étant pas capillaire elle se contente d'obturer sans entraîner l'huile hors de la boîte ; au contraire la rondelle intérieure en feutre D étant spongieuse et capillaire, monte l'huile à l'essieu, mais cette huile ne sort pas de la boîte grâce à l'anneau évacuateur qui l'oblige à redescendre dans le dessous de boîte. La rondelle en bois ou en cuir de l'extérieur étant gonflée d'huile obture très bien ; quant au peu de poussière qui pénètre malgré l'obs-

taele qu'elle oppose, il rencontre l'anneau chargé d'huile et est forcé de descendre avec cette huile dans le dessous de boîte sans avoir pu atteindre les surfaces frottantes, ces surfaces étant protégées doublement, par l'anneau évacuateur d'abord, ensuite par la rondelle en feutre intérieure, qui fait un joint hermétique. Cette poussière arrive toute décantée au fond du dessous de boîte et s'y dépose sans risquer d'encrasser les mèches du tampon protégées du reste par le filtre à plombagine.

En résumé l'évacuateur à anneau et la rondelle intérieure en feutre ont pour résultat : de maintenir gras et gonflé d'huile l'obturateur de façon à produire une obturation parfaite, d'empêcher que les grains de sable ou de poussière n'atteignent jamais les surfaces frottantes, d'empêcher toute perte d'huile hors de la boîte, enfin de forcer le peu de poussière qui pénètre à se décanter en pénétrant dans la partie la plus basse du dessous de boîte et de rester ainsi éloignées des mèches du tampon qu'elles ne peuvent encrasser.

*Graisseurs à grenaille spéciaux pour locomotives, perte de combustible, en hiver surtout, due au graissage intermittent actuellement en usage.*

— On peut quand il s'agit d'organes à graisser, comme les glissières, bielles, excentriques, etc., des locomotives, qui demandent toujours le même graissage, se servir utilement de nos graisseurs série A, à débit fixe réglés par le numéro de la grenaille, tel le type en bronze à fermeture système Rous, dont nous donnons le dessin, tel encore le graisseur pour tiroirs et cylindres de locomotives qui diffère de nos séries courantes précédemment décrites en ceci que le réglage du débit n'est plus à faire par le conducteur de la machine, mais qu'il est établi d'avance par le numéro de la grenaille et la section de l'obturateur.

Ces graisseurs offrent le grand avantage d'une grande invariabilité et d'une grande sécurité de débit et ils empêchent en outre les grains de sable ou de charbon de pénétrer avec l'huile sur les tourillons ou dans les cylindres et tiroirs auxquels ils causent un dommage considérable.

Au sujet du graissage des cylindres de locomotives, ainsi que nous l'avons dit précédemment, l'augmentation de résistance et la perte de combustible occasionnés par le graissage intermittent pour les machines sans condensation sont dus à ce qu'à chaque échappement, la purge des cylindres s'effectue avec une telle violence que toute trace d'huile disparaît de ces cylindres. C'est ce qui a lieu si l'on purge le fond du graisseur lui-même, en ouvrant le robinet du haut brusquement après fermeture du robinet inférieur ; si, comme on le constate, toute l'huile est violemment projetée avec combien plus d'énergie a lieu à chaque échappement l'expulsion de toute l'huile contenue dans le cylindre d'une machine.

On peut conclure que les cylindres de locomotives graissés avec le graisseur intermittent ordinaire à double robinet, fonctionnent en réalité sans graissage,

l'introduction de 30 à 40 grammes d'huile tous les  $1/4$  ou  $1/2$  heure du système actuel, ayant surtout pour résultat utile d'adoucir périodiquement les surfaces, de prévenir un grippage qui sans cela finirait par se produire à la longue. Nous lisons, tome IV page 33 de la *Revue générale des chemins de fer*, ce fait inconcevable qu'à la Compagnie de Lyon, un écart de 20 % entre la dépense de combustible des meilleurs mécaniciens et celle des moins bons est constaté.

Il est impossible qu'un tel écart dépende uniquement de la manière de conduire le feu, et en effet, c'est dans la proportion de 5 à 10 % seulement, que pour les machines fixes à *condensation*, les soins et l'habileté du chauffeur font ordinairement économiser le charbon ; l'écart dont il s'agit nous l'attribuons à la fréquence et à l'intelligence avec laquelle est effectué le graissage, d'autant plus que certains mécaniciens savent se servir de leur graisseur à double robinet, de manière, sinon à rendre le débit de l'huile continu, du moins à éviter qu'il ne se vide d'un seul coup. Comme confirmation nous rappellerons la rapidité avec laquelle s'usent les segments des pistons, alors que leur durée en parfaite conservation devrait être indéfinie si le graissage était surabondant. On peut d'ailleurs en comparant l'usure des cylindres et pistons de locomotives des mécaniciens faisant dépense 20 % de plus de combustible à celle qui se produit quand les machines sont conduites par les meilleurs mécaniciens, reconnaître que cette usure est d'autant plus forte que la dépense de charbon a été plus grande ; il faut bien en conclure que l'écart dans la dépense de charbon a pour point de départ le bon ou le mauvais graissage des cylindres.

Nous évaluons à 10 ou 15 % la perte de charbon pour les locomotives graissées par intermittence ; cette perte s'ajoute à la différence entre le rendement théorique et le rendement pratique des machines à vapeur en général. Cette différence quelle est-elle ? Pour quelle part les frottements entrent-ils dans cette différence et peut-on la diminuer ?

En un tableau synoptique, M. G. Marié, à la fin d'un remarquable travail sur les *Progrès futurs de la locomotive* (1), résumait les causes de l'écart entre les rendements théorique et pratique des machines à vapeur ainsi que les remèdes qui pourraient être apportés pour les faire disparaître. Comparées aux machines fixes les plus remarquables, celles de MM. Farcot ou Weyher et Richmond par exemple, les machines locomotives ont un rendement à peine inférieur ; pour les unes comme pour les autres, le rendement pratique du générateur est le 65 % du rendement théorique et le rendement pratique du mécanisme de la machine est le 62 % du rendement théorique. Pour le mécanisme, la perte est donc de 38 %, tant pour les machines Weyher et Richmond ou Farcot que pour les ma-

(1) Page 35, tome IV de la *Revue Générale des Chemins de fer*.

chines locomotives. M. G. Marié décompose ainsi cette perte : 22 % dit-il, doivent être attribués à l'insuffisance de la détente, à la contrepression, à l'étranglement de l'admission à l'eau entraînée, à la condensation, à l'imperfection de la distribution, etc., et 16 % aux frottements et à la résistance du mécanisme. Il cherche par quel moyen on peut réduire cette dernière perte, il n'en trouve pas d'autre que d'améliorer le graissage, il est vrai qu'il ne croit pas possible cette amélioration, puisqu'il conclut en disant qu'il y a bien peu à espérer de ce côté là.

Et cependant pourquoi le mécanisme d'une machine à vapeur offre-t-il en frottements plus de perte qu'une machine quelconque. Les machines industrielles ne perdent en résistance de frottement lorsqu'elles sont bien graissées que 5 % en moyenne ; d'autre part ces mêmes machines, quand elles sont mal construites comme graissage ou mal entretenues, voient cette résistance de frottement, doubler, tripler et décupler, enfin au point qu'elles ne peuvent plus démarrer lorsque le défaut de graissage est exagéré.

Il faut donc *a priori* que ce soit pour les machines à vapeur comme pour les machines industrielles, le défaut de graissage qui élève ainsi cette perte au-dessus de 5 % et qui la porte à 16 %. Le mouvement du piston moteur est alternatif dans la machine à vapeur, et de toutes les formes de mouvement, le mouvement alternatif est celui qui présente le plus grand obstacle à la loi d'inertie ; or le piston, (en négligeant les autres points d'application de la résistance, le bouton de manivelle et les glissières, parce qu'ils sont d'ailleurs bien graissés et entrent pour bien peu de chose dans cette résistance) non seulement est alternatif comme mouvement, mais il reçoit en outre une résistance inusitée et considérable augmentant énormément l'obstacle à la loi d'inertie ; cette résistance est la pression nécessitée pour rendre parfaitement étanches à la vapeur les surfaces, sur toute l'étendue de leur frottement, soit du piston et du cylindre, soit de la tige du piston et de la garniture de son presse-étoupe.

Telle est la cause de la plus grande résistance du mécanisme des machines à vapeur, telle est l'explication, soit de l'écart de 16 % entre leur rendement théorique et leur rendement pratique du fait des frottements, soit de celui de 5 à 16 % entre la perte en frottement pour les machines industrielles et pour les machines à vapeur. Peut-on les diminuer ?

Nous savons qu'une interposition surabondante de lubrifiant entre les surfaces frottantes, quelles qu'elles soient, annule presque complètement la résistance de frottement ; s'il est évident, à cause des joints à maintenir étanches à la vapeur, qu'on ne saurait en pratique réaliser cette interposition entre les surfaces du piston et du cylindre des machines à vapeur, il n'en est pas moins vrai que ces surfaces doivent être maintenues graissées le plus possible, que l'admission de l'huile doit être contenue et très abondante. Faute de graissage (et le défaut de graissage est révélé pour les locomotives du fait de l'usure rapide des garnitures

de pistons) les segments des pistons et des presse-étoupes constituent de véritables freins d'une grande énergie, ajoutant au mouvement alternatif, déjà si défectueux, un accroissement de résistance bien supérieur dans la pratique aux 16 % admis comme minimum.

Il résulte de cette discussion :

1° Que l'interposition du lubrifiant entre les surfaces du piston et du cylindre, si on pouvait l'obtenir surabondante, annulerait presque complètement la différence de 16 %, due aux frottements, entre le rendement théorique et le rendement pratique des machines à vapeur ;

2° Qu'en pratique à cause des joints à maintenir étanches à la vapeur, sur toute l'étendue de ces surfaces, et à cause d'ailleurs de la forme de ces surfaces, l'interposition surabondante ne peut être obtenue, mais que la continuité et l'abondance du graissage réduisent cette perte ;

3° Que le graissage par intermittence augmente beaucoup cette perte, et que le plus ou moins de continuité que chaque mécanicien de locomotive applique au graissage de sa machine, explique l'écart de 20 % constaté dans la consommation du charbon, suivant le plus ou moins d'habileté du mécanicien, étant donné que sa manière de conduire le feu n'entre comme pour les machines fixes que pour 5 à 10 % tout au plus dans cet écart ;

4° Enfin qu'avec les graisseurs intermittents il se produit, même avec les meilleurs mécaniciens, une perte de force motrice et partant de combustible, qui doit être considérable que l'usure des garnitures du piston révèle et que la continuité et une plus grande abondance de graissage peuvent seules faire cesser.

*Utilité d'un réservoir d'huile dans le dessus de boîte pour les locomotives.*

— Pour le graissage des essieux de locomotives, qui supportent une charge beaucoup plus forte que les essieux de wagon, les mêmes perfectionnements que nous venons de décrire assureraient probablement le bon graissage et le graissage actuel en dessus pourrait être évité. Toutefois le réservoir du dessus de boîte peut être utilisé.

Si les trous graisseurs de ces dessus de boîte, ont le tort d'occasionner l'introduction des graviers ou des grains de charbon sur les fusées, malgré les mèches qui les garnissent, (et peut être à cause de ces mèches) on remédie à ce défaut en remplaçant la mèche en coton ou en laine par des mèches à grenaille ; elles ont l'avantage de donner exactement le débit qu'on souhaite et elles s'opposent absolument à toute introduction de sable, charbon ou autres impuretés sur les fusées.

Dans ces conditions, le réservoir des dessus de boîte pour locomotives, sinon pour les wagons, peut être utilisé à deux fins : à graisser jusqu'à la gare de visite en cas de chauffage accidentel ; à cet effet le tube siphon T qui débouche au

milieu du réservoir permet de graisser à l'aide d'une mèche agissant en siphon sur la quantité d'huile que contient toujours le dessus de boîte au dessous du niveau du tube T, et qu'on peut alimenter jusqu'à la gare de visite, aussi abondamment qu'on voudra (on peut encore en ayant ces mèches en grenaille fusible prévenir un accident, l'huile du dessus de boîte venant d'elle-même par la fusion de l'alliage, remplacer dans le dessous de boîte la provision de l'huile absente) à alimenter constamment le dessous de boîte d'huile fraîche, que l'on dirige dans ce cas par le canal C obtenu au moulage, sur la joue du coussinet du côté extérieur à la voie, cette joue supportant tout le frottement dû au déplacement latéral des véhicules ; cette alimentation d'huile fraîche de 1/2 gramme à 1 gramme par jour, remplace la petite quantité d'huile qui s'évapore (huile minérale) ou qui s'use, la dénaturation de l'huile ayant pour résultat en l'épaississant de réduire son volume.

*Défaut de graissage en hiver, dû à l'épaississement de l'huile des boîtes ; augmentation de résistance à la traction et perte de combustible en hiver sur les locomotives due à cette augmentation de résistance ; ixomètres à grenaille.*— M. Marié signalait d'après les statistiques (1), une augmentation de 15 à 30 % de consommation de charbon sur les locomotives en hiver, et observait avec raison qu'un pareil écart ne saurait être attribué à l'abaissement de la température agissant sur l'extérieur des locomotives. Il ne saurait être attribué non plus à l'obstacle plus grand, qui résulte pour la traction de l'effet du vent qui souffle plus souvent en hiver qu'en été, ni à la moindre adhérence des roues aux rails à cause de l'humidité ou de la neige, car cette résistance se traduirait sans doute par une plus grande dépense de charbon, mais non par une plus grande usure des coussinets, ces causes de résistance n'ajoutant rien à la charge sur les coussinets, quelle est donc la cause de cette plus grande résistance à la traction et de l'usure plus grande des coussinets et fusées en hiver, sinon un plus grand défaut de graissage, et à quoi attribuer ce plus grand défaut de graissage si ce n'est à l'épaississement des huiles dû à la basse température qui produit une alimentation plus insuffisante des fusées par les tampons graisseurs.

Et en effet l'épaississement de l'huile des boîtes par le froid, n'est pas celui que donnent les essais à l'ixomètre pour l'huile fraîche ; quand on étudie pour les basses températures de l'hiver, l'augmentation de viscosité correspondant aux états plus ou moins encrassés, plus ou moins dénaturés d'une huile, on reconnaît que, pour un abaissement de température donné, son épaississement croît avec son degré d'encrassement suivant une progression rapide, de même si l'on étudie le degré de pouvoir d'aspiration des fibres des tampons correspondants au degré d'encrassement de l'huile et à leur propre degré d'encrassement,

1. Tome IO, page 22 de la *Revue Générale des Chemins de fer.*

dans le cas des basses températures de l'hiver, on constate une diminution très grande de ce pouvoir d'aspiration ; or l'état moyen soit de l'huile des boîtes, soit des fibres des tampons est un état d'encrassement ; il résulte donc de la basse température de l'hiver, un épaissement exagéré de l'huile, d'une part un défaut d'aspiration des fibres du tampon, d'autre part qui expliquent ce plus grand défaut de graissage en hiver, d'où l'augmentation d'usure des fusées et coussinets, de résistance et de dépense de combustible que signalent les statistiques.

De ce que, d'après les mêmes statistiques, les chauffages de boîtes sont plus nombreux en été qu'en hiver, il ne faudrait pas conclure que le graissage est meilleur en hiver. Ces chauffages, autrement dit ces grippages, impliquent plus que de l'insuffisance de graissage, ils n'ont lieu que par défaut total de lubrification.

En hiver, pour les causes que nous venons de signaler ayant leur point de départ dans l'abaissement de la température, il ne résulte pas un manque complet de graissage, mais une insuffisance plus grande d'alimentation des fusées par les tampons ; n'était le froid extérieur qui, par la masse des essieux et des boîtes, est combattu, on constaterait sans doute un échauffement général des fusées des wagons ; un tel état ne peut que se traduire par une plus grande usure des surfaces, une augmentation de la résistance et de la dépense de combustible sur les locomotives. Pourquoi d'autre part les échauffements sont-ils plus nombreux en été ? Il est à présumer que l'époque où ils ont lieu surtout, sont le printemps et l'automne, lorsque le froid cesse ou commence parce qu'alors, au printemps, la grande usure des bronzes et des fusées de quelques boîtes qui a lieu en hiver, a tellement accumulé les particules solides sur le velours des tampons, que l'huile redevenant tout à coup plus fluide, du fait de la chaleur extérieure, ces particules se répandent par tout le tampon et jusqu'aux mèches d'aspiration pour les encrasser brusquement et occasionner un manque complet de graissage ; en automne, les tampons qui au printemps ont été encrassés ainsi mais pas au point de produire un manque complet de graissage, cessent brusquement d'aspirer et entraînent encore des échauffements.

Enfin en hiver le fait même de l'augmentation générale de résistance et d'usure des surfaces à cause de l'aspiration moins abondante des tampons due à l'épaississement de l'huile explique la rareté des grippages puisque, lorsque le tiédissement devient exagéré, l'huile redevient plus fluide et qu'alors l'aspiration du tampon redevient plus abondante.

De ces phénomènes qui sont certainement la cause principale de cette augmentation de dépense du combustible en hiver, on peut tirer les conclusions suivantes :

1° Qu'il est nécessaire pour éviter l'usure et la perte de charbon en hiver de

conserver en tous temps l'huile des boîtes et les tampons dans l'état le plus parfait possible de pureté et d'obtenir la parfaite obturation des boîtes ;

2° D'attacher une importance extrême à se servir pour le graissage des wagons, des huiles s'épaississant le moins aux températures de l'hiver.

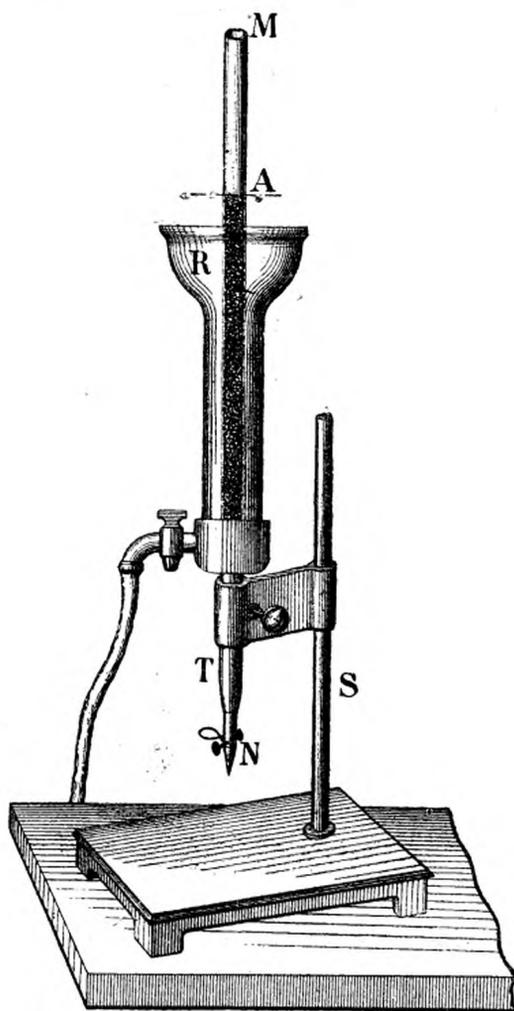


FIG. 37

Pour se rendre compte de l'augmentation de viscosité correspondant aux diverses températures et aux divers états d'encrassement des huiles on se sert

d'instruments appelés ixomètres. Nous décrivons les ixomètres à grenaille que les godets graisseurs à grenaille, excellents ixomètres d'ailleurs, ont donné l'idée de construire en apportant les dispositions spéciales et les soins de fabrication requis pour tout appareil d'essais.

Un support S (fig. 37) soutient un tube calibre T, portant en A une division; il se termine à sa partie inférieure par une tubulure N pouvant être ouverte ou fermée à volonté. Un poids invariable de grenaille de plomb très fine, à grains ronds et réguliers, est introduit dans le tube; on opère à petits coups son tassement et on l'arrête lorsque le niveau de la grenaille est exactement à la division A. Pour que la température voulue soit obtenue, on introduit dans le récipient concentrique R, soit un mélange réfrigérant, soit un bain de sable porté à la température voulue; on verse l'huile, elle même portée au préalable à la température convenable jusqu'à ce qu'elle remplisse ce tube T. Ce remplissage doit être effectué de bas en haut à l'aide d'un tube spécial; autrement, c'est-à-dire en remplissant de haut en bas, l'air ne serait pas expulsé complètement hors de la grenaille.

Il faut, avant d'ouvrir l'orifice N de débit, veiller à ce que le tube soit complètement plein jusqu'à son sommet M. Alors ouvrant cet orifice de débit, il ne s'agit plus que de peser pendant un temps donné la quantité d'huile fournie par l'appareil ou de compter le nombre de gouttes. En opérant ainsi avec les diverses huiles dont on désire titrer la viscosité, on dresse l'échelle des viscosités pour les diverses huiles ou pour la même huile aux diverses températures ou aux divers degrés d'encrassement.

Il convient de ramener l'échelle des viscosités des huiles à celle de l'huile d'olive à 15° centigrade; on n'a pour cela qu'à commencer par un premier essai de cette huile bien naturelle à la température de 15°.

Une précaution essentielle à prendre pour faire les essais avec cet appareil est, avant d'opérer un essai, pour chaque huile nouvelle à essayer, de bien nettoyer le tube et la grenaille; on essuie intérieurement celui-ci avec du coton, le bas du tube est démontable pour rendre aisé ce nettoyage. Quant à la grenaille on la retire du tube, on l'essuie entre les plis d'un linge, on la lave avec un peu d'eau de soude ou d'ammoniaque puis à l'eau et à l'alcool; on la sèche finalement bien complètement en l'exposant à la chaleur douce d'une lampe dans une tasse en porcelaine par exemple.

Il importe de ne rien perdre de cette grenaille; il suffit de s'assurer pour cela de temps à autre, du poids réglementaire qu'elle doit avoir. Pour éviter l'assujettissement de nettoyer chaque fois la même grenaille, on peut se servir d'une provision de grenaille et peser chaque fois le poids à mettre dans l'appareil, ainsi le nettoyage de toute la provision, lorsqu'elle est épuisée, se fait en une seule opération. Il est toujours nécessaire de nettoyer intérieurement le tube

avec du coton pour chaque huile nouvelle à essayer ; mais ce nettoyage est l'affaire d'un instant.

Il importe enfin de ne pas oublier, avant le remplissage du tube, de tasser la grenaille jusqu'à ce que son niveau atteigne la graduation A.

Pour ces essais, au lieu de peser la quantité d'huile donnée par l'appareil, ou de compter le nombre de gouttes avec chaque huile pendant un temps donné de 5,15, ou 60 minutes par exemple, on aurait pu dresser l'échelle d'après le temps mis par le liquide à s'abaisser dans le tube d'une hauteur donnée; le même résultat comparatif des viscosités des diverses huiles eut été ainsi déterminé.

Quand une huile à essayer est encrassée, on peut opérer autrement : l'huile à essayer étant maintenue bien homogène par agitation, on en remplit le tube, mais en mesurant pour chaque huile le temps qu'il met à se remplir, au lieu de mesurer le temps qu'il met à se vider. Le tube de remplissage est disposé spécialement à cet effet, gradué et calibré. On a noté la minute où a commencé le remplissage, on note celle où l'huile arrive au sommet M. Le temps écoulé pour chaque huile essayée sert à construire l'échelle des viscosités de ces huiles. On ramène toujours cette échelle à la viscosité de l'huile d'olive, et, pour cela, on commence à essayer cette huile de la même manière que nous venons d'indiquer. Les nettoyages avant chaque essai se font comme précédemment.

Ces deux manières, également bonnes, d'essayer la viscosité des huiles, peuvent se contrôler l'une par l'autre.

Pour l'essai des huiles encrassées, ces ixomètres à grenaille ont le privilège de reproduire ce qui a lieu dans la pratique lorsqu'une mèche est soumise à l'absorption d'une huile encrassée. En effet, exactement comme pour une mèche en service, le temps que met l'huile encrassée à traverser la grenaille dépend du degré d'encrassement de l'huile, et, comme pour les mèches, une partie de l'impureté qu'elle contient reste dans les vides entre les grains.

Par ces essais, on a donc du même coup déterminé le degré de viscosité des huiles et la diminution du pouvoir d'absorption des mèches correspondant, soit au degré d'encrassement des huiles, soit aux divers abaissements de température.

L'usure des coussinets de wagons à voyageurs varie de 6 à 8 millimètres ; celle des coussinets de wagons à marchandise de 4 à 6 millimètres par 90 000 kilomètres, c'est-à-dire par deux années de marche environ. Elle est beaucoup plus grande en hiver qu'en été, et les  $\frac{2}{3}$  environ de l'augmentation de 15 à 30 % dans la dépense du combustible en hiver, signalée par M. G. Marié, d'après les statistiques, doivent être attribués à cette usure, et par conséquent au défaut de graissage qui existe d'ailleurs toute l'année, quoique plus faiblement en été. Cette perte, confirmée par les essais directs dynamométriques est de 20 à 25 % pour la moyenne de l'année ; si elle augmente dans une proportion très forte en hiver, c'est à cause de l'épaississement de l'huile encrassée des boîtes,

dû à l'abaissement de la température, qui rend beaucoup plus insuffisante l'alimentation des fusées par les tampons graisseurs. Ce défaut de graissage des fusées, plus ou moins grand selon la saison de l'année, a pour causes :

- 1° Le défaut d'aspiration des fibres encrassées des tampons ;
- 2° Le manque de circulation et de renouvellement de l'huile autour des fusées, qui produit l'encrassement des velours en contact avec elles ;
- 3° Le manque d'interposition de l'huile montée par les tampons entre les surfaces des coussinets et des fusées ; il résulte de l'alimentation par humectation du dessous des fusées que l'huile avec ce mode d'alimentation n'étant pas entraînée par aspiration pneumatique, mais retombant au contraire par son propre poids dans le dessous de boîte ne s'insinue pas entre les surfaces ;
- 4° Le défaut d'obturation suffisante des boîtes contre les poussières extérieures.

D'un autre côté, sur l'écart de 20 %, signalé par M. Marié, dans la dépense de combustible, selon le plus ou moins d'habileté du mécanicien, 5 à 10 % tout au plus peuvent être attribués, comme pour les autres machines à vapeur, à la manière de conduire le feu, et le reste, c'est-à-dire 10 à 15 %, à la manière plus ou moins intermittente et plus ou moins abondante de graisser les cylindres. L'usure des garnitures des pistons atteste ce défaut de graissage des locomotives, et les meilleurs mécaniciens eux-mêmes avec le graissage intermittent ne peuvent que l'atténuer.

En additionnant ces deux pertes provenant du défaut du graissage, soit des fusées de wagon, soit des cylindres des locomotives graissés avec les graisseurs intermittents, on a un minimum de 30 % de perte totale de charbon, que l'amélioration du graissage actuel de ces organes, qui sont les points principaux de toute la résistance à la traction du matériel roulant des chemins de fer, doit faire éviter.

En Angleterre et en Amérique surtout, au lieu d'améliorer le graissage, le progrès paraît avoir été dirigé dans la voie du démontage rapide et presque instantané des boîtes, en vue de faciliter le remplacement des coussinets ; il n'est pas besoin d'insister sur le vice d'une pareille méthode qui consiste à tourner la difficulté au prix d'un sacrifice énorme de combustible, de dépréciation et d'entretien du matériel, d'huile, de main-d'œuvre et des autres frais généraux. Rouler coûte que coûte, marcher quand même semble être la devise des ingénieurs de là-bas. Elle aboutit à des résultats désastreux comme frais de traction ; encore si la sécurité des voyageurs et la marche quand même devait y gagner ! Mais, il n'en est pas ainsi ; de plus en plus, en effet, il devient impossible de faire un long parcours en Amérique sans avoir à subir plusieurs arrêts du train pour changement des coussinets des boîtes. C'est que tel est le principe, et telles, les conséquences en toutes choses : or, s'habituer à un défaut constant de lubrification des fusées et à un fréquent remplacement des coussinets, en-

traîne forcément une indifférence de plus en plus grande de la part du personnel, et, en dehors des pertes de toute nature qui en résultent, à l'impossibilité même de rouler, et non pas à rouler quand même.

Nos ingénieurs français travaillent au contraire à perfectionner sans cesse le graissage du matériel roulant des chemins de fer, et, sans parler du bénéfice qu'en retirent les compagnies et leurs actionnaires, la sécurité des voyageurs, de plus en plus compromise en Amérique, y trouve chez nous de plus en plus son compte.

---



## NOTE

SUR UNE

# Disposition de Machine à Glace

PAR

M. B. LEBRUN

---

Tous les ingénieurs qui ont été conduits à étudier la construction des machines à glace se sont heurtés à une très grande difficulté : celle d'établir des garnitures étanches pour les tiges des pistons des compresseurs. Le plus grand nombre des dispositions proposées ont eu pour but de résoudre ce problème, et des deux savantes communications faites au Congrès par M. G. Richard et par M. Diesel, ainsi que de la discussion qui les a suivies, il résulte que c'est toujours là le point délicat des machines frigorifiques construites jusqu'à ce jour. Le mouvement alternatif des tiges des pistons rend leur usure inégale, plus considérable au milieu de la course qu'aux extrémités, et cette usure inégale rend inefficaces les dispositions proposées.

Il y a deux ans et demi, lorsque des circonstances particulières m'amènèrent à m'occuper de la construction des machines à glace, l'étude que je dus faire tout d'abord des divers systèmes les plus connus me conduisit de suite à chercher une solution de cette question des garnitures des presse-étoupe, et je crois intéresser le Congrès en lui donnant la description de la disposition à laquelle je me suis arrêté.

Ayant d'abord fixé mon choix sur l'ammoniaque anhydre comme agent frigorifique, j'ai combiné un compresseur dans lequel il n'y a plus de mouvement alternatif *extérieur* des tiges des pistons, et où je n'ai plus qu'un seul presse-étoupe placé sur un arbre animé d'un mouvement rotatif et n'ayant plus à s'opposer qu'à l'échappement de l'huile dans laquelle cet arbre tourne, huile qui n'est elle-même soumise qu'à la pression d'aspiration de la machine. soit 1 à 2 kilogrammes.

Les figures 1 et 2 donnent deux coupes perpendiculaires l'une à l'autre, et dans le sens vertical, de ma pompe de compression.

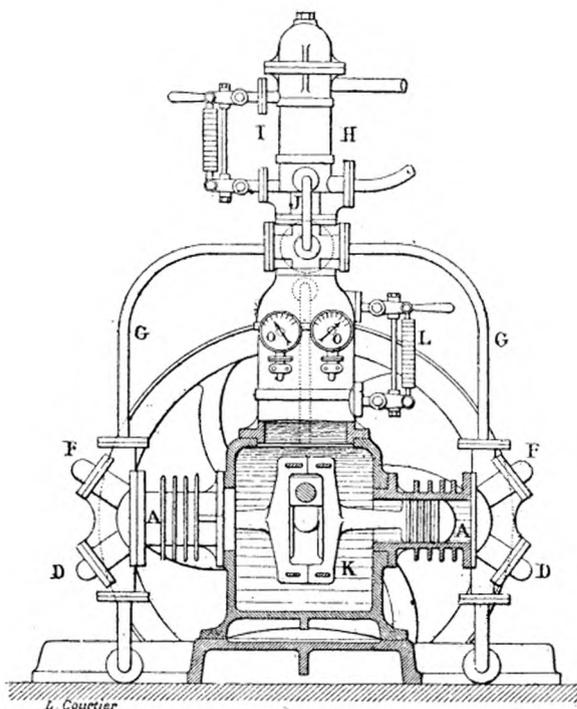


FIG. 1.

Le compresseur se compose de deux corps de pompe A à simple effet montés dans le prolongement l'un de l'autre, et séparés par un récipient K formant bâti; ce récipient est surmonté d'une cloche O. Les deux pistons sont réunis par leurs tiges à un cadre dans lequel glissent dans le sens vertical les coussinets d'un arbre coudé. Cet arbre coudé, commandé extérieurement au bâti K par des poulies ou par le moteur, traverse une boîte à garniture *m* et commande le cadre et les pistons auxquels il donne un mouvement alternatif.

Ce genre de commande a déjà été appliqué à diverses machines, mais il n'a pas donné de bons résultats alors que le cadre était moteur et l'arbre coudé récepteur. Il n'en est pas de même dans le cas présent où l'arbre coudé est moteur et le cadre récepteur : la transmission se fait avec beaucoup de douceur et les deux pistons opposés forment un guide parfait.

Le récipient K et la cloche O qui le surmonte sont remplis d'huile jusqu'à la moitié de la hauteur de celle-ci, toutes les pièces frottantes sont donc constam-

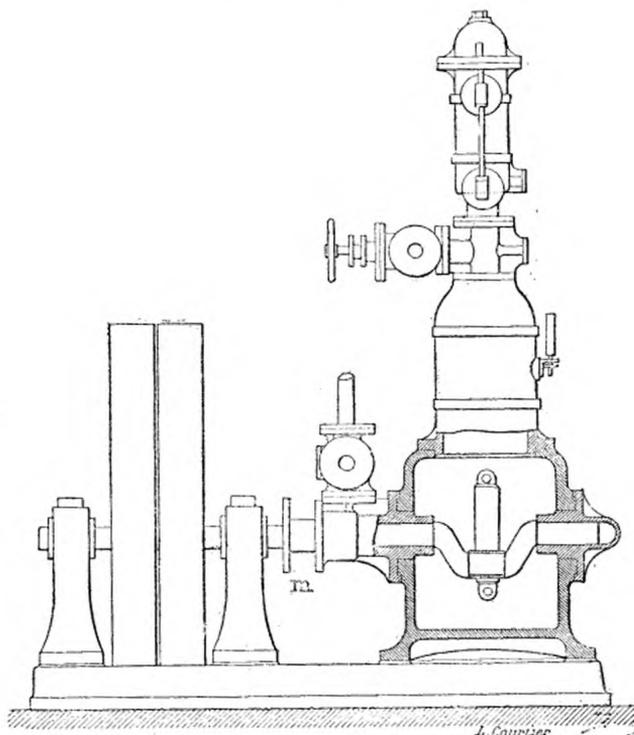


FIG. 2.

ment lubrifiées. L'huile qui peut passer par les fuites aux segments des pistons, lors de l'aspiration, remplit les espaces nuisibles, rendant ainsi plus parfait le fonctionnement du compresseur; elle se trouve alors entraînée avec l'ammoniacque comprimée et est recueillie dans un séparateur d'huile d'où on la renvoie de temps à autre dans la cloche O par simple aspiration. La cloche O communique par sa partie supérieure avec la tuyauterie d'aspiration des pompes, de telle sorte que l'ammoniacque qui a pu fuir aux pistons lors de la compression, se trouve aspirée de suite, et que la pression qui règne sur l'huile de la cloche et par suite sur le presse-étoupe *m* de l'arbre coudé, n'est jamais que celle de l'aspiration de la machine.

On m'a souvent objecté que tout le mouvement des pompes se trouvant renfermé dans le récipient K, il devait être très difficile de régler la glissière du cadre des pistons et de parer à l'usure des coussinets de l'arbre coudé : il n'y a

là aucune difficulté. Après avoir isolé le compresseur du restant de l'appareil frigorifique au moyen d'un robinet qui se trouve sur l'aspiration et d'un autre robinet qui se trouve sur le refoulement des pompes, on fait écouler l'huile que contiennent la cloche et le bâti, on ouvre les plaques des regards situés sur le bâti, et on fait au cadre et aux coussinets toutes les retouches nécessaires. Refermer les regards et remettre l'huile sont l'affaire de quelques instants, et le compresseur est de nouveau prêt à fonctionner. La perte d'ammoniaque est insignifiante, et bien des personnes devant qui nous avons fait cette opération, ont convenu qu'elle était plus simple, plus facile et même plus rapide que le rechargement des garnitures des autres compresseurs usités à mouvement alternatif extérieur. Si, d'autre part, on considère les précautions prises à la construction :

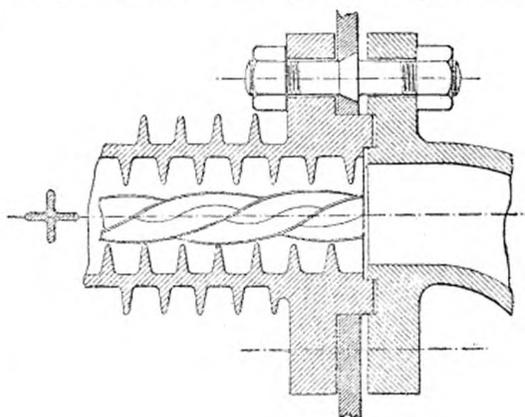


FIG. 3.

glissière et arbre en acier, coussinets en bronze phosphoreux, larges surfaces de frottement, et aussi en raison du graissage constant, on comprendra facilement qu'il est bien rarement nécessaire de toucher à la glissière et aux coussinets. Des machines très chargées ont fonctionné sans aucun arrêt pendant plus d'un an sans avoir eu besoin d'aucun serrage, et je ne crois pas qu'aucune garniture de presse-étoupe puisse tenir ce temps sans avoir besoin d'être refaite ou rechargée.

Les corps des pompes portent extérieurement des ailettes qui tout en leur donnant plus de solidité ont pour but de les refroidir. Grâce à la surface assez considérable de ces ailettes, j'ai pu supprimer complètement la circulation d'eau froide usitée dans tous les compresseurs pour parer à l'échauffement que produit la compression.

Nous avons d'ailleurs généralisé l'application des ailettes à toutes les parties de notre appareil frigorifique, et ainsi se trouve réalisée depuis bientôt trois ans l'application signalée comme peut-être possible par M. Richard (page 80, ligne 2 de son rapport), des tubes à ailerons ou à rondelles.

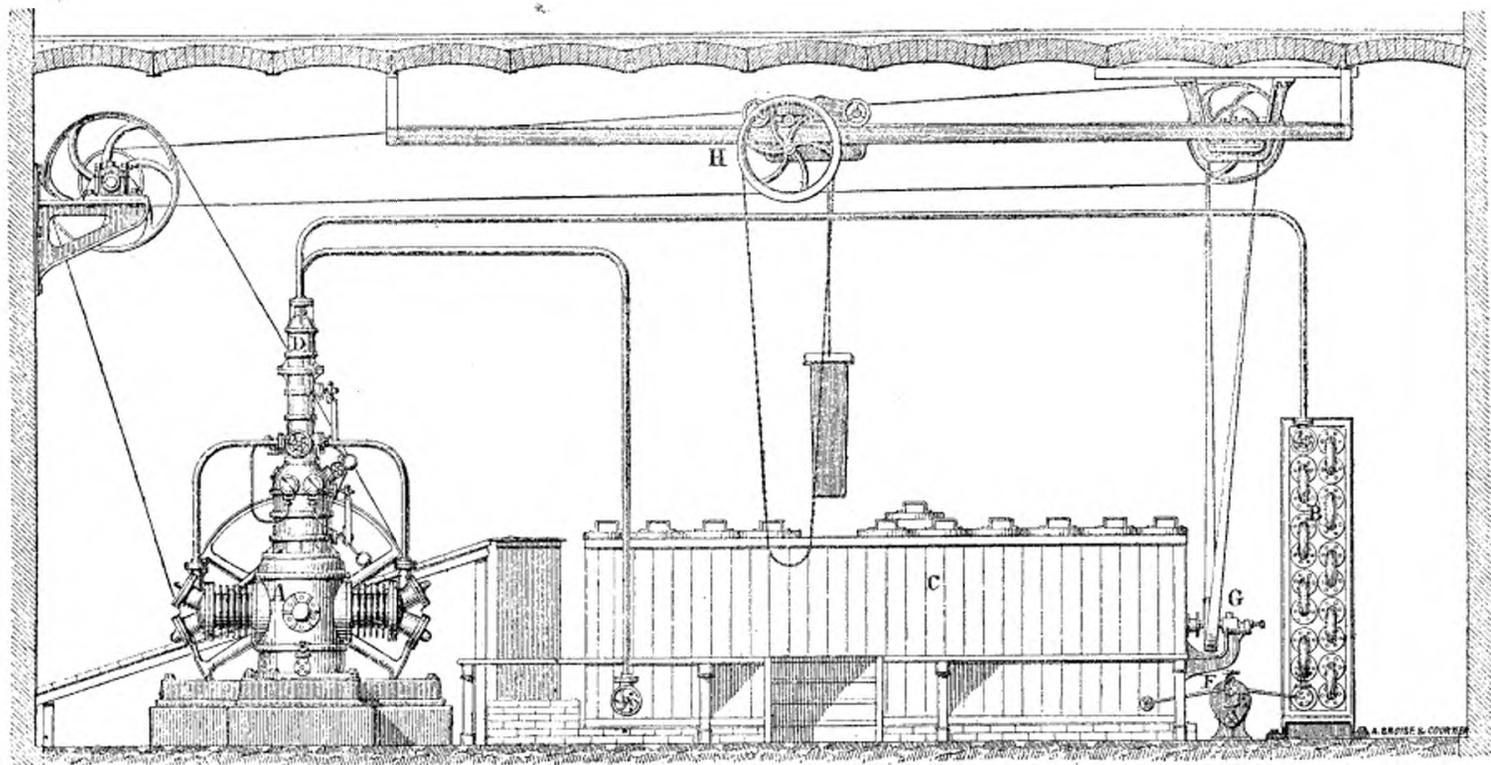


FIG. 4

En effet, le condenseur à ammoniac se compose d'un nombre (variable suivant la force de la machine) de tuyaux en fonte avec ailettes en hélice intérieures et extérieures donnant une surface considérable sous un petit volume et formant un échangeur de température très puissant et très efficace. Ce sont des tubes semblables qui constituent le serpentín où se produit la détente de l'ammoniac et qui est situé au fond de la cuve du congélateur contenant le bain d'eau salée. La figure 3 donne un tracé de ces tuyaux en fonte à ailettes.

La machine comporte encore bien des dispositions de détail, telles que niveaux d'huile et d'ammoniac, réservoir d'ammoniac anhydre, séparateurs d'huile, robinets, etc., etc., tous de construction spéciale, mais qu'il serait trop long de décrire ici.

J'ai voulu seulement appeler l'attention des membres du Congrès sur les dispositions spéciales du compresseur, et sur l'application des tuyaux à ailettes, dispositions signalées par les orateurs précédents comme des desiderata, alors que ces dispositions ont été brevetées par moi en France depuis plus de deux ans et ont été consacrées par plus de vingt applications importantes dès la première année de la construction industrielle de la machine.

Je joins encore ici un dessin, figure 4, qui donne l'ensemble d'une machine n° 4 produisant 25 000 calories négatives à l'heure, et disposées pour la fabrication de la glace.

---

# Détermination des constantes physiques

DES

## GAZ AMMONIAC

PAR LE

DR HANS von STROMBECK

---

TRADUIT DE L'ALLEMAND

PAR

G. RICHARD

INGÉNIEUR CIVIL

---

On sait combien les gaz les plus fréquemment employés pour la production du froid sont peu connus, au point que l'on ignore leurs principales constantes physiques entre les limites de températures et de pressions où ils fonctionnent dans les appareils industriels. La connaissance des principales propriétés de ces gaz serait évidemment, comme l'a d'ailleurs exprimé un vœu du Congrès international de mécanique (1), de la plus haute importance pour l'étude des machines frigorifiques, dont il est, jusqu'à présent, impossible de formuler, faute de ces données fondamentales, une théorie véritablement exacte et utile, analogue à la théorie expérimentale établie par Hirn pour les machines à vapeur. La théorie rationnelle des machines à froid en est aujourd'hui à peu près où l'on s'imagine que serait celle des machines à vapeur sans les expériences de Regnault.

C'est en raison de l'extrême importance de ces résultats que j'ai cru utile de traduire, comme complément de mon rapport au Congrès de mécanique sur la production mécanique du froid (2), le beau travail que M. Hans von Strombeck vient de publier, dans les numéros du *Journal of the Franklin Institute* de décembre 1890 de janvier et de juin 1891, sur les constantes de l'ammoniac.

Ces constantes ont été déterminées par M. Strombeck avec une grande exac-

1. *Congrès de mécanique*, vol. 1, p. 131, et vol. IV, p. 206.

2. *Congrès de mécanique*, vol. IV.

titude, mais malheureusement pour une seule température :  $+17^{\circ}$ , de sorte que l'on ne connaît pas encore expérimentalement la loi des chaleurs de vaporisation de l'ammoniac. Néanmoins, les travaux de M. de Strombeck, tels qu'ils sont, ont fourni sur l'ammoniac qui est, comme on le sait, le gaz de beaucoup le plus employé, des données nouvelles extrêmement importantes, plus que suffisantes pour justifier la publication de son mémoire dans cette encyclopédie.

Je citerai aussi, à côté du travail de M. de Strombeck, la continuation des recherches de M. E. Mathias sur l'acide sulfureux et l'acide carbonique (\*) et la détermination, par M. Hirsch, des constantes physiques des dissolutions de chlorure de calcium, presque toujours employé comme véhicule du froid (\*).

D'après M. Mathias, la chaleur de vaporisation  $\lambda$  de l'acide sulfureux liquide serait représentée, avec une exactitude suffisante entre  $+6$  et  $+20^{\circ}$ , par la formule

$$\lambda = 91 \text{ cal. } 87 - 0 \text{ } 384 t^{\circ}$$

et celle de l'acide carbonique — entre  $6$  et  $30^{\circ}$  — par

$$\lambda = 118.485 (31 - t) - 0.4707 (31 - t^2),$$

s'annulant au point critique  $t = 31^{\circ}$ .

M. de Strombeck n'a déterminé la chaleur de vaporisation qu'à une seule température :  $+17^{\circ}$ , et l'a trouvée égale à 297 calories. On peut, en attendant de nouvelles expériences, la représenter avec une approximation grossière par l'expression simplifiée

$$\lambda = 310 - 0.7 t$$

plausible entre  $+25$  et  $-15^{\circ}$ , et déduite de la formule de Clapeyron.

On trouverait ainsi à une même température de  $+10^{\circ}$

|                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| pour l'acide sulfurique | $\lambda = 87$ calories |
| l'acide carbonique      | 45 »                    |
| l'ammoniac              | 303 »                   |

On voit donc que l'ammoniac présente à *poids égal*, une énergie frigorifique plus de trois fois plus grande que celle de l'acide sulfureux et près de sept fois plus grande que celle de l'acide carbonique, mais cela ne veut pas dire, qu'à dimensions égales, la machine à acide carbonique ne sera pas plus puissante que

1. Journal de Physique, octobre 1890, p. 449.

2. Annales du Conservatoire des Arts et Métiers, 2<sup>me</sup> série, vol. II, 1890.

la machine à ammoniac, car l'acide carbonique, aspiré à  $-20^{\circ}$  et à 20 atmosphères environ, pèse à peu près 30 fois plus que le même volume d'ammoniac, aspiré aussi à  $-20^{\circ}$  et sous une pression d'une atmosphère et demie environ.

Quant aux travaux de M. Hirsh sur les dissolutions de chlorure de calcium, leurs principaux résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

| Degrés<br>Baumé | Densité | Teneur en sel                     |                    | Chaleur<br>spécifique |
|-----------------|---------|-----------------------------------|--------------------|-----------------------|
|                 |         | pour cent<br>de la<br>dissolution | pour cent<br>d'eau |                       |
| 10°             | 1.074   | 8.65                              | 9.47               | 0.889                 |
| 20              | 1.161   | 17.85                             | 21.73              | 0.781                 |
| 30              | 1.262   | 27.65                             | 38.22              | 0.685 (1)             |
| 40              | 1.383   | 38.35                             | 62.21              | 0.647                 |

Il est inutile d'insister sur l'utilité de ces données rigoureusement exactes, pour l'établissement des installations frigorifiques et l'étude de leur rendement.

1. D'après *Schroter* (nouveaux essais de Munich, 1890) la chaleur spécifique d'une dissolution de chlorure de calcium de densité 1.25 serait de 0.850 environ *par litre*; ce qui concorde parfaitement avec les valeurs données par M. Hirsh.

## Expériences du D<sup>r</sup> von Strombeck

Il est nécessaire, pour pouvoir calculer les dimensions des machines frigorifiques, de connaître exactement la chaleur de vaporisation — chaleur latente — du gaz liquifié au moyen duquel elle produit son froid. — On admet ordinairement 300 calories pour la chaleur de vaporisation du gaz ammoniac liquéfié, mais un grand nombre de constructeurs l'évaluent à 500 calories. Cette dernière évaluation est exagérée, et tient à ce que l'ammoniac expérimenté renfermait beaucoup d'eau. Dans une détermination faite avec de l'ammoniac tout à fait anhydre, Regnault trouva 294 cal. 2 pour la chaleur de vaporisation exacte du gaz ammoniac. Afin de vérifier encore une fois cette donnée, et d'établir quelques autres constantes de l'ammoniac, j'ai exécuté, à l'instigation de M. Louis Block, ingénieur en chef de la « De La Vergne Refrigerating Machine Co » les déterminations suivantes :

- (1) Chaleur spécifique du gaz ammoniac liquéfié.
- (2) Chaleur totale de vaporisation et chaleur du liquide de l'ammoniac.
- (3) Chaleur d'absorption de l'ammoniac.
- (4) Chaleur de combinaison de l'ammoniac liquide et de l'eau.

### DÉTERMINATION DE LA CHALEUR SPÉCIFIQUE DU GAZ AMMONIAC LIQUÉFIÉ.

On opéra cette détermination par les méthodes habituelles. Un cylindre d'acier de poids  $\mu_3$ , renfermant M grammes d'ammoniac liquide, fut suspendu dans un récipient à enveloppe, et porté à  $(T + \delta_1)^\circ$  par une circulation de vapeur d'alcool méthylique bouillant dans l'enveloppe. Au bout de six heures environ, lorsque l'ammoniac atteignait cette température constante, on le transportait dans un calorimètre en laiton pesant  $\mu$  grammes, et renfermant  $m$  grammes d'eau distillée à  $t^\circ$ . La chaleur cédée par l'ammoniac et sa bonbonne portait cette eau à  $(\tau + \delta)^\circ$ , ce qui permettait de calculer la chaleur spécifique de l'ammoniac.

Cet ammoniac, fabriqué par un procédé breveté de la Compagnie Lavergne, renfermait 0,055 % d'huile minérale, 0,019 % d'eau et 99,926 % d'ammoniac.

Les notations employées sont les suivantes :

**M** Poids en grammes de l'ammoniac gazeux et liquide et de ses impuretés renfermées dans les bonbonnes en acier.

**M**— $\mu_3$ — $\mu_4$ — $\mu_6$  poids de l'ammoniac liquide.

**m** poids de l'eau du calorimètre.

- $\mu$  poids du laiton du calorimètre et de la partie métallique de l'agitateur.  
 $\sigma$  sa chaleur spécifique.  
 $\mu\sigma$  son équivalent en eau.  
 $\mu_1\sigma_1$  valeur en eau du thermomètre du calorimètre.  
 $\mu_2$  poids de la bonbonne en acier.  
 $\sigma_2$  sa chaleur spécifique.  
 $\mu_2\sigma_2$  sa valeur en eau.  
 $v$  le contenu de la bonbonne en centimètres cubes.  
 $\varepsilon (T + \delta_1)$  la densité de l'ammoniac liquide à  $(\tau + \delta_1)^0$ .  
 $\varphi (T + \delta_1)$  la pression en atmosphères de l'ammoniac gazeux à  $(\tau + \delta_1)^0$ .  
 $\mu_3$  le poids de l'ammoniac gazeux surmontant l'ammoniac liquide à  $(\tau + \delta_1)^0$  et à la pression correspondante.  
 $\sigma_3$  sa chaleur spécifique à volume constant.  
 $\mu_3\sigma_3$  sa valeur en eau.  
 $\mu_4$  le poids de l'huile minérale contenu dans  $M - \mu_3$  grammes d'ammoniac liquide.  
 $\sigma_4$  sa chaleur spécifique.  
 $\mu_4\sigma_4$  sa valeur en eau.  
 $\mu_6$  le poids d'eau enfermé dans  $M - \mu_3$  grammes d'ammoniac liquide.  
 $\varepsilon (\tau + \delta)$  la chaleur spécifique de l'ammoniac liquide à  $(\tau + \delta)^0$ .  
 $\varphi (\tau + \delta)$  la pression en atmosphères de l'ammoniac gazeux à  $(\tau + \delta)^0$ .  
 $\mu_3$  le poids de l'ammoniac gazeux surmontant l'ammoniac liquide à  $(\tau + \delta)^0$  et à la pression correspondante.  
 $\mu_3 - \mu_5$  le poids de l'ammoniac qui se liquéfie quand la température baisse de  $(\nu + \delta_1)^0$  à  $(\tau + \delta)^0$ .  
 $r$ . chaleur latente de vaporation de l'ammoniac liquide en calories.  
 $(\mu_3 - \mu_5)r$ , calories développées par la liquéfaction ou chaleur de liquéfaction de  $\mu_3 - \mu_5$  grammes de l'ammoniac gazeux.  
 $t$  et  $\tau$ , températures de l'eau du calorimètre au commencement et à la fin de l'expérience indiquées par son thermomètre.  
 $\delta$ , la fraction de degré à ajouter à  $\tau$  pour obtenir la température  $\tau + \delta$ , que l'eau du calorimètre aurait eue sans pertes par rayonnement et par l'action refroidissante de l'eau.  
 $\tau + \delta - t$ . échauffement vrai de l'eau du calorimètre.  
 $T$  température de l'ammoniac et de sa bonbonne indiquée par son thermomètre.  
 $\delta_1$  correction ajoutée à  $T$  pour obtenir la température  $(\tau + \delta_1)$  que ce thermomètre aurait indiqué si la colonne de mercure n'était pas sortie de l'enveloppe de la bonbonne.  
 $T + \delta_1 - (\tau + \delta)$  abaissement vrai de la température de l'ammoniac et de sa bonbonne.  
 et chaleur spécifique de de l'ammoniac liquide ; à déterminer

La chaleur spécifique du gaz ammoniac liquide est donnée par la formule,

$$x = \frac{m + \mu\sigma + \mu_1\sigma_1 (\tau + \delta - t) - \mu_2\sigma_2 + \mu_3\sigma_3 + \mu_4\sigma_4 + \mu_6 (T + \delta_1 - (\tau + \delta)) - (\mu_3 - \mu_5)r}{(M - \mu_3 - \mu_4 - \mu_6) (T + \delta_1 - (\tau + \delta))}$$

La moyenne des expériences dont les données figurent au tableau A, page 556, a conduit pour  $x$  à la valeur

$$x = 1.229,$$

plus élevée que celle de l'eau.

Frappé de ce résultat inattendu, j'ai renouvelé mes expériences en remplaçant l'ammoniac liquéfié par de l'eau distillée, pour laquelle j'ai trouvé une chaleur spécifique de 0,993 : ce qui confirme l'exactitude de ma méthode.

Les valeurs de  $\mu_3$  et de  $\mu_4$  ont été calculées comme il suit, en prenant pour type l'expérience n° 6 du tableau A.

Pour  $\mu_3$ , on avait, dans l'expérience (6).

$$\begin{aligned} T + \delta_1 &= 62.338^\circ. & \varepsilon(T + \delta_1) &= 0.5469. & \varphi(T + \delta_1) &= 27.13 \text{ atm.} \\ M &= 128 \text{ grammes.} & v &= 262.75 \text{ cent. cubes.} \end{aligned}$$

Un centimètre cube d'ammoniac gazeux pèse, à 0° et à la pression atmosphérique de 760 m/m, 0 000 7614 grammes. Le contenu  $v$  de la bonbonne entièrement remplie d'ammoniac liquide aurait donc pesé  $262.75 \times 0.546 \text{ gr.} = 143.68 \text{ gr.}$  comme il ne pesait que 128 grammes, on en déduit, pour le volume  $v'$ , réellement rempli d'ammoniac liquide, la valeur

$$v' = 262.75 \frac{128}{143.68} = 234.04 \text{ cent. cubes,}$$

de sorte qu'il y avait un volume de

$$262.75 - 234.04 = 28.71 \text{ centimètres cubes,}$$

rempli d'ammoniac gazeux pesant

$$\mu_3 = 28.71 \times \frac{0.0007614 \times 27.13 \times 273}{273 + 62.338} = 0.4744 \text{ grammes.}$$

Pour  $\mu_4$ , avec

$$\begin{aligned} \tau + \delta &= 31.539^\circ & \varepsilon(\tau + \delta) &= 0.5892 \\ \varphi(\tau + \delta) &= 12.23 \text{ atm.,} \end{aligned}$$

on trouve, en faisant les mêmes calculs que pour  $\mu_3$ ,

$$\begin{aligned} v^1 &= 217.43 \text{ cent. cubes} \\ v - v^1 &= 45.32 \text{ » »} \\ \text{pesant } \mu_4 &= 0.3784 \text{ grammes.} \end{aligned}$$

*Détermination de la chaleur totale de la chaleur de vaporisation et de la chaleur du liquide du gaz ammoniac liquéfié.*

J'ai employé pour ces déterminations les méthodes de Regnault avec les deux additions suivantes :

1° Remplacement de la valeur 0,799, admise par Regnault pour la chaleur

spécifique de l'ammoniac liquéfié, par la chaleur spécifique réelle, précédemment déterminée.

$$C = 1,22876 = 1,229.$$

2° Détermination de la chute de température définie plus haut.

L'appareil employé comprenait (fig. 1) deux calorimètres (ABCD) (EFGH) renfermant respectivement, dans chaque expérience, 4300 et 600 grammes d'eau. On plongeait dans le premier calorimètre trois récipients (IKL), (MNO), (PQR), reliés par le bloc de bronze (*abcd*).

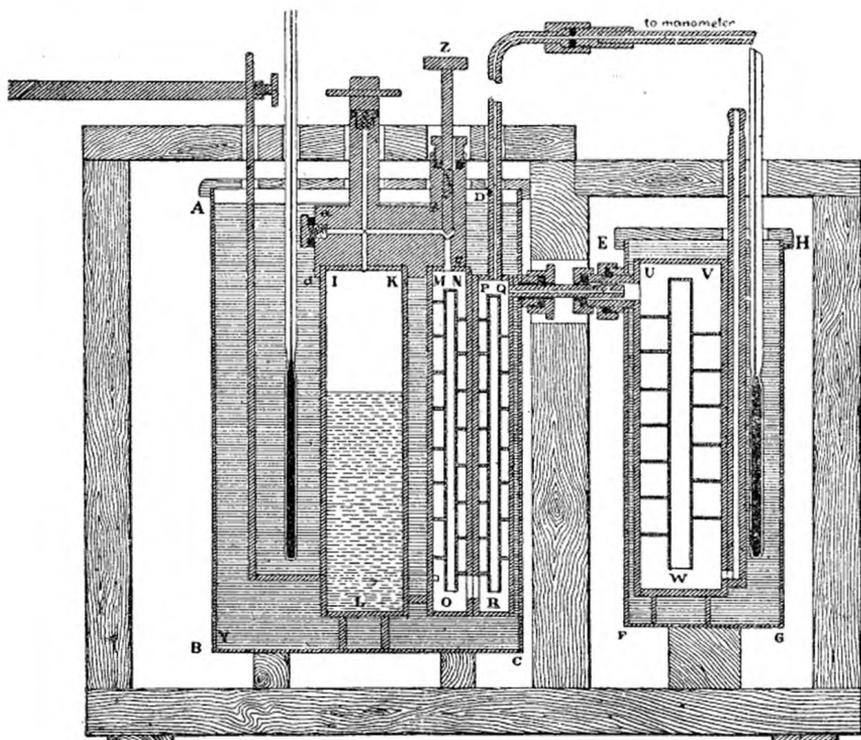


Fig. 1. — Détermination de la chaleur latente de l'ammoniac.

Le récipient (IKL) est rempli d'un poids  $P$  d'ammoniac liquide  $q$  que la pointe  $r$  rigoureusement réglée, laisse échapper dans le second récipient (MNO), d'où il passe au troisième (PQR), puis au récipient (UVW) du second calorimètre, et enfin dans l'atmosphère. Ces récipients sont remplis de chicanes semi-circulaires en tôle, destinées à y égaliser la température. Un manomètre à mercure donne à chaque instant la pression en (PQR). On égalisait la température de l'eau par un agitateur  $y$ . Tout l'appareil était renfermé dans une caisse en bois, afin de

diminuer le plus possible les perturbations dues au rayonnement et à l'influence de l'air.

Le premier calorimètre et ses trois réservoirs pesaient 3800 grammes et le second 1579 grammes. La chaleur spécifique de leur laiton étant de 0,0939, leurs valeurs en eau étaient respectivement de 356,8 grammes et 148,3 grammes, de sorte que le poids calorimétrique total de l'eau était de  $M = 4656,8$  grammes pour le premier calorimètre et de  $M_1 = 748,3$  grammes pour le second.

Nous reportant encore à l'expérience n° 6, on a calculé comme pour  $\mu_3$ , le poids  $P_1 = 114,63$  grammes d'ammoniac liquide et le poids  $(P - P_1) = 0^{\circ},32$  d'ammoniac gazeux renfermée dans le récipient IKL, de 242,05 centimètres cubes.

Désignons, en nous reportant pour les nombres à l'expérience C, par :

$T$  et  $T_1$  la température de l'eau du premier calorimètre au commencement et à la fin de l'expérience.  $\tau = 20^{\circ},69$  (expérience 6) et  $\tau_1 = 13^{\circ},82$ .

$T_1 + \delta$  la température finale corrigée  $\tau_1 + \delta_1 = 13^{\circ},5725$ .

$T - (T_1 + \delta)$  le refroidissement du premier calorimètre ( $7^{\circ},1175$ ).

$\frac{T+T_1}{2}$  sa température moyenne ( $17^{\circ},255$ ).

$\varphi T$  la tension de vapeur de l'ammoniac à  $\tau^{\circ}$  (6643 m/m).

$\varphi T_1$  la tension de vapeur de l'ammoniac à  $T_1^{\circ}$  (5252 m/m).

$\varphi \frac{T+T_1}{2}$  la moyenne de ces deux tensions (5947 m/m).

$\tau_1$  et  $\tau_1$  les températures ( $19^{\circ},11$ ) et ( $18^{\circ},83$ ) initiales et finales au deuxième calorimètre.

$\tau_1 + \delta_1$  la température finale corrigée ( $18^{\circ},9816$ ).

$\tau - (\tau_1 + \delta_1)$  le refroidissement du second calorimètre ( $0^{\circ},1284$ ).

$\frac{\tau+\tau_1}{2}$  sa température moyenne ( $18^{\circ},97$ ).

$\epsilon$  l'équivalent mécanique de la chaleur absorbée par l'ammoniac pour sa détente dans les circonstances actuelles (317,4).

$c$  la chaleur spécifique de l'ammoniac gazeux (0,5084).

C » » » » » liquide (1,228,76).

La chaleur perdue par les deux calorimètres est de :

$M(T - (T_1 + \delta)) + M(\tau - \tau_1 + \delta_1) = -33144,8 - 96,8 = -33241,6$  calories, mais il faut, comme correction, en retrancher :

( $\alpha$ ), la chaleur  $s$  nécessaire pour abaisser de  $(T - \tau)^{\circ}$  la température de  $(P - P_1)$  grammes d'ammoniac liquide :

$$s = (P - P_1)c(T - \tau) = -0^{\circ},2.$$

( $\beta$ ), la chaleur  $q_1$ , nécessaire pour détendre  $(P - P_1)$  jusqu'à la pression atmosphérique de 10333 kilogrammes par mètre carré :

$$q_1 = \frac{10333(P - P_1)(273 + T)}{0,7614 \cdot \epsilon \cdot 273} = -9,3 \text{ calories}$$

( $\gamma$ ), la chaleur  $s_1$  nécessaire pour faire passer  $P_1$  de  $\frac{T+T_1}{2}$  à  $\frac{\tau+\tau_1}{2}$  après sa gazéification :

$$s_1 = P_1 c \left( \frac{\tau + \tau_1}{2} - \frac{T + T_1}{2} \right) = -100 \text{ calories.}$$

( $\delta$ ), la chaleur  $s_2$  qu'aurait absorbé  $P_1$  s'il avait été mis à la température  $\frac{T+T_1}{2}$  dans le récipient (IKL) :

$$s_2 = P_1 C \left( T - \frac{T + T_1}{2} \right) = -387.6$$

( $\varepsilon$ ), la chaleur  $q_2$  cédée par  $P_1$  pour se refroidir à la température  $T$  sous laquelle il se vaporise en réalité dans le récipient (IKL).

Depuis le commencement de la vaporisation jusqu'à celui de la détente, la pression du réservoir tombe au-dessous de celle qui correspond à  $\frac{T+T_1}{2}$ , et la température de la vapeur d'ammoniac saturée doit aussi s'abaisser. Regnault a, en déterminant la chaleur de vaporisation de l'acide carbonique liquide, mesuré

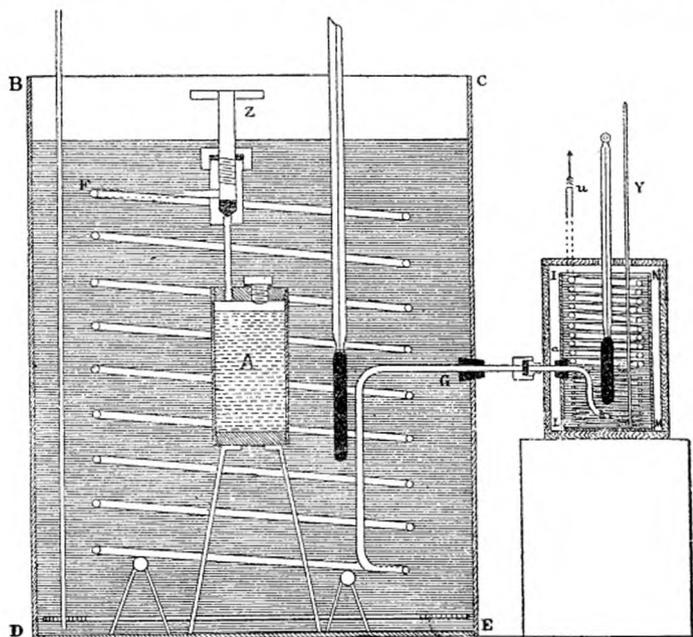


Fig. 2. — Détermination de  $\gamma_1$ .

l'abaissement de température  $\gamma_1$  que l'acide carbonique doit subir pour produire le froid qu'il donne en s'abaissant d'une pression effective de 1000 millimètres

de mercure à celle de l'atmosphère. Cette chute de température  $\gamma_1$  n'a pas été encore déterminée pour l'ammoniac. Je l'ai déterminé en suivant la même méthode que Regnault pour l'acide carbonique.

Déterminons d'abord l'abaissement de température  $\gamma$  du gramme d'ammoniac gazeux, nécessaire pour produire un froid équivalent à celui que donne sa détente de  $\varphi$  à la pression atmosphérique. On en déduira  $\gamma_1$  par la formule  $\gamma_1 = \gamma \frac{1000}{\varphi}$ .

L'ammoniac se dégage de son gaz liquéfié en A, (fig. 2) traverse à l'état gazeux le serpentín FG, plongé dans une grande masse d'eau (BCDE), puis entre en *a* dans le calorimètre (IKLM). En *n*, le tube du serpentín de ce calorimètre passe tout à coup de 5 millimètres à un diamètre capillaire, pour reprendre brusquement en *o* son diamètre primitif. Un agitateur Y égalise la température de l'eau. L'ammoniac *a*, lorsqu'elle pénètre dans la partie capillaire *n* du tube, la pression correspondant à la température de l'eau autour de A. Lorsqu'il passe en *o*, cet ammoniac se détend jusqu'à la pression atmosphérique: nous admettons qu'il y soit à la température de l'eau du calorimètre.

Désignons par :

M le poids de l'eau totale du calorimètre (767 à 768 grammes d'eau + 104 grammes, valeur en eau du calorimètre).

$\varphi$  la pression effective, en m/m de mercure, sous laquelle a lieu la vaporisation de l'ammoniac.

$\pi$  le poids de l'ammoniac.

$\delta$  la température moyenne de l'ammoniac à l'entrée du calorimètre.

$\delta_1$  la température moyenne de l'eau du calorimètre.

$\theta$  la chute de température de l'eau dans le calorimètre.

$\omega$  la chaleur de dilatation de l'ammoniac de  $\varphi$  à la pression atmosphérique H.

*c* la chaleur spécifique sous pression constante de l'ammoniac gazeux  $c = 0.5084$ .

En passant de  $\delta$  à  $\delta_1$ , le poids  $\pi$  d'ammoniac subit une variation de chaleur  $\pi c (\delta - \delta_1)$ , positive ou négative suivant que  $\delta$  est  $>$  ou  $<$   $\delta_1$ , et emprunte ou cède au calorimètre une chaleur  $M\theta$ , telle que :

$$\omega = M\theta - \pi c (\delta - \delta_1).$$

Or, on a d'après la définition de  $\gamma$ , l'équation :

$$\omega = \pi c \gamma, \text{ d'où } \gamma = \frac{\omega}{\pi c} = \frac{M\theta - \pi c (\delta - \delta_1)}{\pi c},$$

et, pour  $\gamma_1$

$$\gamma_1 = \gamma \frac{1000}{\varphi} = \frac{(M\theta - \pi c (\delta - \delta_1)) 1000}{\pi c \varphi}$$

Les essais ont donné les résultats consignés au tableau ci-dessous, qui donne, pour  $\gamma_1$  la valeur moyenne de

$$\gamma_1 = -1.453.$$

|                                         | 1.          | 2.       | 3.       | 4.       |
|-----------------------------------------|-------------|----------|----------|----------|
| $\Phi$ , . . . . .                      | 5274.4 mm.  | 5259.2   | 5285.8   | 5441.6   |
| $\pi$ , . . . . .                       | 367.8 grs.  | 387.1    | 163.0    | 169.1    |
| $M$ , . . . . .                         | 871.0 grs.  | 871.0    | 872.0    | 872.0    |
| $\hat{\alpha}$ , . . . . .              | 18.563°     | 18.496   | 18.585   | 19.485   |
| $\delta_1$ , . . . . .                  | 17.654°     | 14.996   | 19.325   | 18.871   |
| $\delta - \delta_1$ , . . . . .         | 0.909°      | 3.500    | - 0.840  | 0.614    |
| $\Theta$ , . . . . .                    | - 1.538°    | - 0.9887 | - 0.7403 | - 0.7303 |
| $M \Theta$ , . . . . .                  | - 1339.6 c. | - 861.2  | - 645.3  | - 636.6  |
| $\pi c (\delta - \delta_1)$ , . . . . . | 170.0 c.    | 688.8    | - 69.6   | 52.7     |
| $\omega$ , . . . . .                    | - 1509.6 c. | - 1550.0 | - 575.7  | - 689.3  |
| $\gamma$ , . . . . .                    | - 8.07°     | - 7.86   | - 6.95   | - 8.02   |
| $\gamma_1$ , . . . . .                  | - 1.530°    | - 1.494  | - 1.315  | - 1.473  |

Cherchons maintenant la quantité (2), page 545.

Nous ne pouvons pas encore déterminer directement T, mais nous pouvons déterminer la pression  $f$  de vaporisation de l'ammoniac dans le récipient IKL, et en déduire la température correspondante T.

L'ammoniac gazeux P, aussi bien le gaz sorti du liquide P, que celui non liquéfié P—P<sub>1</sub>, se détend de la pression inconnue  $f$  à la pression atmosphérique H ce qui exige une chaleur  $q_0$ .

$$q_0 = P c \gamma_1 \frac{f - H}{1000} \quad (1)$$

En allant au second calorimètre, sous la pression H, ce gaz absorbe M  $(\tau - (\tau_1 + \delta_1))$  calories, et passe de  $\frac{T + T_1}{2}$  à  $\frac{\tau + \tau_1}{2}$  ce qui exige  $P c \left( \frac{T + T_1}{2} - \frac{\tau + \tau_1}{2} \right)$  calories, de sorte que, si le gaz entrainé au second calorimètre et en sortait avec la même température  $\frac{\tau + \tau_1}{2}$ , la chaleur  $q_0$  serait donnée par l'expression ;

$$q_0 = M_1 (\tau - (\tau_1 + \delta_1)) + P c \frac{T + T_1}{2} - \frac{\tau + \tau_1}{2} \quad (2)$$

Si la pression était bien égale à la moyenne calculée

$$q = \frac{T + T_1}{2}$$

on aurait  $\varphi \frac{T + T_1}{2} = f$ , de sorte que l'on devrait obtenir la même valeur pour  $q_0$  d'après l'équation (2) et en remplaçant  $f$  par  $\varphi \frac{T_1 + T}{2}$  dans l'équation (1).

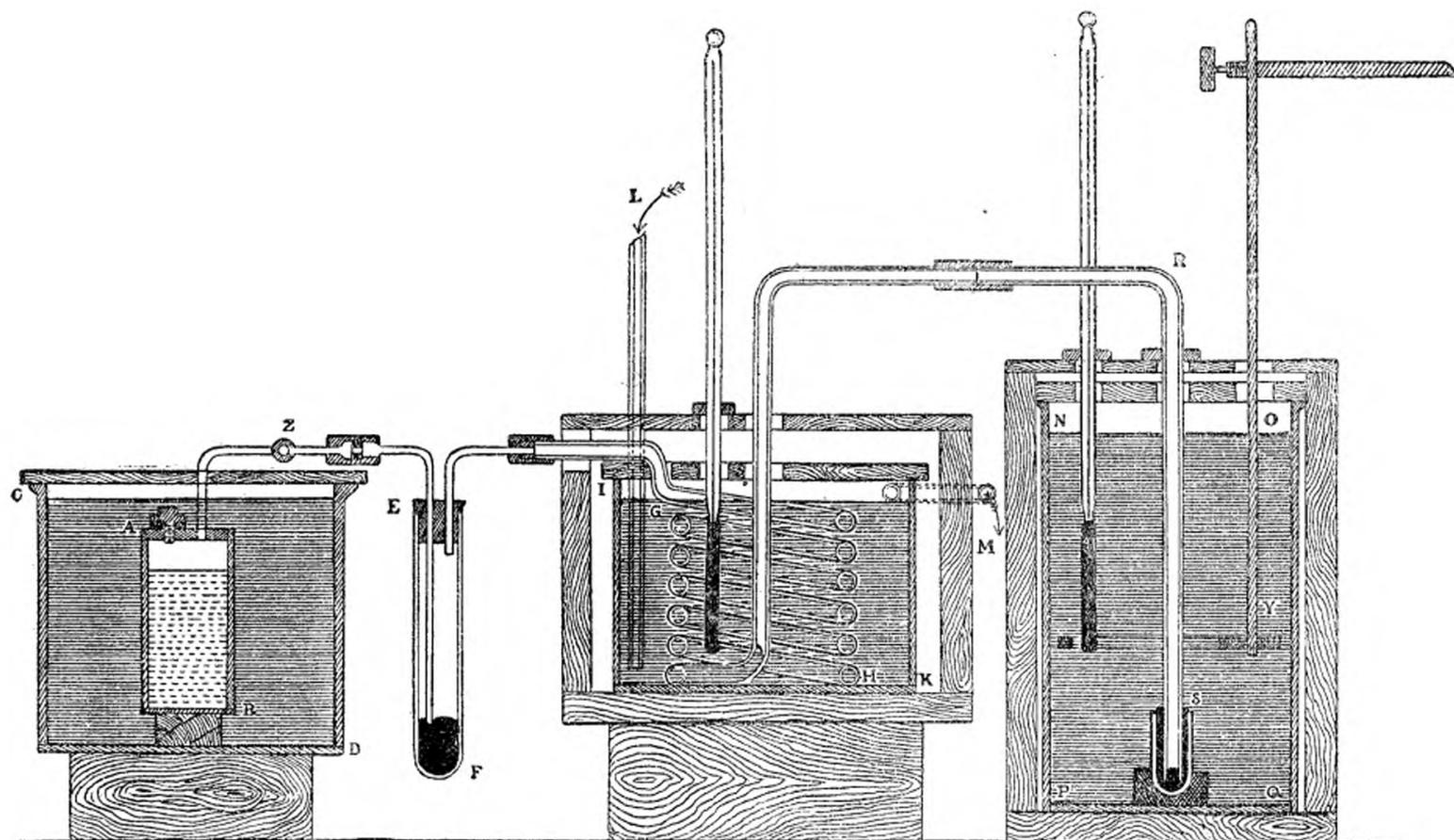


Fig. 3. — Détermination de la chaleur d'absorption de l'ammoniac.

Or, on trouve ainsi, toujours suivant l'expérience 6 :

D'après l'équation (1)  $q_0 = -433,3$

D'après l'équation (2)  $q_0 = -191,4$

de sorte que  $f$  est en réalité  $< \varphi \frac{T+T_1}{2}$ .

Remplaçant dans l'équation (1)  $q_0$  par  $-191,4$  il vient

$$f = \frac{1000}{\gamma_1} \frac{z_0}{Pc} + H = 3018 \text{ m/m}$$

ce qui est la véritable pression de vaporisation du gaz liquéfié en IK L.

Le point d'ébullition correspondant à cette pression est de  $-0^{\circ},03$ ; d'où :

$$q_2 = PC \left( \frac{T+T_1}{2} - T_0 \right) = -2446,1$$

La chaleur totale Q, absorbée par le poids P d'ammoniac à  $\frac{T+T_1}{2}$  est donc de

$$Q = M((T - (T_1 + \delta)) + M(\tau - (\tau_1 + \delta_1)) - s - q - s_1 + s_2 + q_2 = -35965,8$$

La chaleur totale  $\lambda$ , absorbée par l'unité de poids, est de

$$\lambda = \frac{Q}{P} = -313,7 \text{ calories.}$$

La chaleur du liquide  $q$  est de

$$\frac{q_2}{P} = -21,3 \text{ calories,}$$

et la chaleur de vaporisation  $r$  de

$$r = \frac{Q - q_2}{P} = -292,4 \text{ calories.}$$

#### CHALEUR D'ABSORPTION DE L'AMMONIAC

On détermine comme il suit la chaleur d'absorption de l'ammoniac. Le gaz provient d'un récipient AB (fig. 3), plein de gaz liquéfié, renfermé dans un grand volume d'eau CD, afin de rendre aussi constant que possible le débit du gaz réglé par un robinet  $r$ . Ce gaz traverse d'abord une mince couche de mercure au bas de l'éprouvette EF, de manière que l'on puisse contrôler exactement sa vitesse, puis les serpentins en verre GH, baignés par une circulation d'eau IK, de manière qu'il arrive au réservoir d'absorption NOPQ (fig. 3) à une température sensiblement invariable. L'ammoniac débouche au fond de ce récipient par un tube RS,

au travers d'une couche de mercure qui empêche l'eau de se précipiter dans ce tube RS.

Dans chacune des expériences, le réservoir d'absorption renfermait 11 kilogrammes d'eau : sa valeur en eau était de 245 grammes, de sorte que l'ensemble équivalait à une masse d'eau M de 11 kil. 245. On mesurait le poids P d'ammoniac absorbé en multipliant par 110 le poids d'ammoniac dosé sur 100 centimètres cubes de l'eau d'absorption, à la fin de l'expérience.

Ceci posé, soient, par exemple, pour la deuxième expérience du tableau C, page 560.

P le poids d'ammoniac absorbé (108.67 grammes).

$\theta$  la température de l'eau dans le réservoir d'absorption au commencement de l'expérience (15°88).

$\theta_1 + \delta$  sa température à la fin de l'expérience (20°79).

$\frac{\theta + \theta_1}{2}$  sa température moyenne pendant l'essai (17°84).

$\frac{\tau + \tau_1}{2}$  la température moyenne de l'ammoniac à l'entrée du réservoir d'absorption (17°31).

$\frac{\theta + \theta_1}{2} - \frac{\tau + \tau_1}{2}$  la différence des températures moyennes de l'eau d'absorption et de l'ammoniac (0°53).

$\theta - (\theta_1 + \delta)$  l'échauffement de l'eau totale M (4°88).

c la chaleur spécifique de l'ammoniac gazeux (0.5084).

La chaleur Q, développée par l'absorption de P, est de

$$Q = M (\theta - (\theta_1 + \delta)) = 54875,6 \text{ calories,}$$

mais il faut y ajouter la chaleur s nécessaire pour chauffer P de  $\frac{\tau + \tau_1}{2}$  à  $\frac{\theta + \theta_1}{2}$

$$s = P c \left( \frac{\theta + \theta_1}{2} - \frac{\tau + \tau_1}{2} \right) = 29,3,$$

d'où

$$Q = 54875,6 + 29,3 = 54904,9,$$

et, pour la chaleur d'absorption  $\mu$ ,

$$\mu = \frac{Q}{P} = 505,3 \text{ calories par kilogramme d'ammoniac absorbé.}$$

La moyenne des huit expériences, relatées au tableau ci-contre, a donné

$$\mu = 502,3 \text{ calories.}$$

#### CHALEUR DE COMBINAISON DU GAZ AMMONIAC LIQUÉFIÉ ET DE L'EAU

On employa, pour déterminer la chaleur de combinaison de gaz ammoniac liquéfié avec de l'eau, l'appareil représenté par la figure 4. L'ammoniac liquéfié

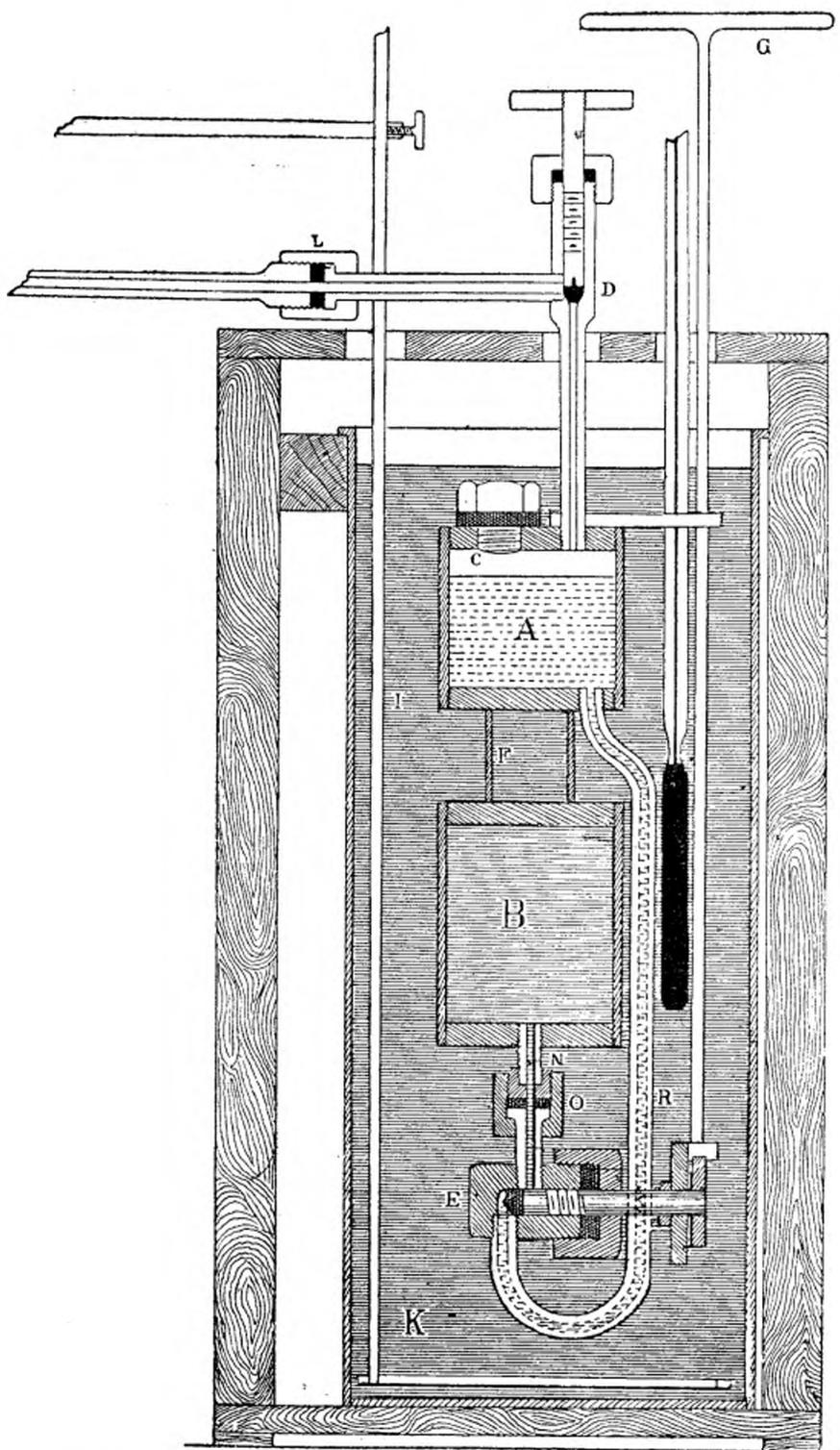


Fig. 4. — Détermination de la chaleur de combinaison de l'ammoniac.

renfermé par  $c$  dans le récipient A, communique par REON (fig. 4) avec un second récipient B, rempli d'eau. L'ensemble des deux récipients est supporté par une assise E. Dans un premier appareil, les deux récipients communiquaient par un tube droit, allant du fond de A en haut de B, et pourvu d'un robinet en son milieu; mais il se produisait alors, au contact de l'eau et de l'ammoniac, une couche d'ammoniac saturé d'eau, plus lourde que l'ammoniac pur, et plus légère que l'eau, qui ne descendait pas, et obstruait le tube en arrêtant le mélange. D'autre part, il ne fallait pas songer à placer le récipient d'ammoniac liquide au-dessous de l'eau, car l'impossibilité de remplir exactement un récipient avec un liquide aussi volatil fait qu'il y entre toujours, à sa partie supérieure, un peu d'ammoniac gazeux qui, dans ce cas, serait arrivé immédiatement au contact de l'eau, de sorte que l'on aurait ainsi mesuré non pas la chaleur de combinaison, mais la chaleur d'absorption de l'ammoniac.

On pèse le récipient A d'abord vide : ED et L étant fermés, puis aussi rempli que possible d'ammoniac liquide. La différence de ces pesées donne le poids P d'ammoniac liquide : 53 gr. 7, par exemple, pour la cinquième expérience du tableau... A la fin de l'expérience, il reste en A ( $P - P_1$ ) d'ammoniac gazeux à la pression atmosphérique. Le volume de A, étant de 160 centimètres cubes,  $P - P_1 = 160 \times 0,0007614 = 0,1218$  grammes, d'où :  $P_1 = 53$  gr. 58. Une fois A rempli, on le plonge, ainsi que B, dans une grandecuve d'eau; on remplit d'eau (BNO), puis on relie L à un manomètre, et on agite l'eau de K pour en uniformiser la température. Lorsque la température et la pression sont devenues constantes, au bout de 5 minutes environ, on ouvre le robinet E, qui fait communiquer A et B. La pression tombe rapidement à celle de l'atmosphère, et la température monte, puis s'arrête à un degré constant.

Dans chacun des essais, la masse d'eau totale se composait de :

|                                                                                                    |          |   |              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---|--------------|
| L'équivalent en eau de l'appareil . . . . .                                                        | 567 gr.4 | } | $M = 9070.2$ |
| L'eau de B . . . . .                                                                               | 237      |   |              |
| L'eau de K . . . . .                                                                               | 8200     |   |              |
| Le produit du poids de l'ammoniac en A par sa<br>chaleur spécifique $53.58 \times 1.22876$ . . . = | 65.8     |   |              |

Soient :

$\theta$  la température de l'eau en K au commencement de l'expérience (20°60 pour la 5<sup>me</sup> expérience).

$\theta_1$  la température de l'eau en K à la fin de l'expérience (21°77).

$\theta - \theta_1 = 1°170$ .

$p^0 p^{\theta_1}$  les pressions absolues au commencement (8°69) et à la fin de l'expérience (1 k.).

La chaleur développée par la combinaison de  $P_1$  (53,58 grammes) d'ammoniac liquéfié avec de l'eau est de

$$Q = M (\theta - \theta_1) = 10612,1 \text{ calories,}$$

d'où, pour la chaleur de combinaison,

$$\varphi = \frac{Q}{P_1} = 198,1 \text{ calories.}$$

La moyenne des cinq expériences du tableau ci-dessous a donné

$$\varphi = 200,3 \text{ calories.}$$

|                                         | 2.                  | 3.      | 4.      | 5.      | MOYENNE<br>des 5 expériences |
|-----------------------------------------|---------------------|---------|---------|---------|------------------------------|
| P, . . . . .                            | 59·7 grs            | 60·22   | 55·12   | 60·20   |                              |
| P <sub>1</sub> , . . . . .              | 59·08grs            | 60·10   | 55·00   | 60·08   |                              |
| P - P <sub>1</sub> , . . . . .          | 0·12grs             | 0·12    | 0·12    | 0·12    |                              |
| M, . . . . .                            | 9276·5 grs          | 9277·7  | 9271·1  | 9277·7  |                              |
| θ, . . . . .                            | 21°·29              | 23°·94  | 19°·62  | 21°·16  |                              |
| θ <sub>1</sub> , . . . . .              | 22°·48              | 25°·29  | 20°·84  | 22°·47  |                              |
| θ - θ <sub>1</sub> , . . . . .          | 1°·19               | 1°·35   | 1°·22   | 1°·31   |                              |
| M (θ - θ <sub>1</sub> ), . . . . .      | 11039·0             | 12524·6 | 11310·7 | 12152·9 |                              |
| p <sup>0</sup> , . . . . .              | 8·75 <sup>at.</sup> | 9·68    | 8·39    | 8·52    |                              |
| p <sup>0</sup> <sub>1</sub> , . . . . . | 1                   | 1       | 1       | 1       |                              |
| Φ, . . . . .                            | 186·9               | 208·4   | 205·6   | 202·3   | 200·3 calor.                 |

On a négligé la très faible influence de la différence du poids d'ammoniac gazeux surmontant le liquide à p<sup>0</sup>, au commencement de l'expérience, puis remplissant les 160 centimètres cubes de A à p<sup>0</sup><sub>1</sub>, à la fin de l'expérience.

D'après leurs équivalents, 17 grammes d'ammoniac se saturent de 18 grammes d'eau pour former 35 grammes d'ammoniaque (AzH<sup>3</sup>O), de sorte que, théoriquement, les poids d'ammoniac en A et d'eau en B auraient dû être dans le rapport de 17 à 18. Mais, comme la surface de contact de l'ammoniac avec l'eau était, pour des raisons de construction, peu étendue, de sorte qu'il fallait, pour en provoquer une diffusion rapide, que la densité de l'ammoniaque aqueuse résultant de la combinaison fut notablement plus élevée que celle de l'ammoniac liquide montant par le fond de B, on a déterminé les dimensions de A et de B, de manière qu'il y eût, en A, 8 d'ammoniac pour 18 d'eau en B.

Le tableau ci-dessous donne l'analyse thermique des changements d'état du kilogramme d'ammoniac, d'après les déterminations précédentes :

|                                                                                                                             |   | Se décompose en :                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Chaleur totale nécessaire pour transformer 1 kil. d'ammoniac liquéfié à 17° en vapeur saturée: point d'ébullition — 0°86    | } | — 296.8 cal., chaleur de vaporisation.                                                                                  |
|                                                                                                                             | } | — 22°, chaleur du liquide.                                                                                              |
| — 318.8 cal.                                                                                                                | } | + 318.8, chaleur de liquéfaction à — 0°86.                                                                              |
|                                                                                                                             | } | + 46.2, refroidissement du gaz de — 0.86 à son point d'ébullition à la pression atmosphérique — 38°5 = 37.64 × 1.22879. |
| Chaleur d'absorption du kil. d'ammoniac gazeux par l'eau à la pression atmosphérique et à la température résultante de 16°5 | } | — 67.6 pour l'élever de — 38°5 à 16°6 = 55°1 × 1.22876.                                                                 |
| + 502.3 cal.                                                                                                                | } | + 200.3 chaleur de combinaison du gaz liquéfié avec l'eau.                                                              |
|                                                                                                                             |   | + 497 <sup>cal.</sup> 7.                                                                                                |

TABLEAU A

Détermination de la chaleur spécifique  $c$  de l'ammoniac liquide.

|                                          | 1.       | 2.       | 3.       | 4.       | 5.       | 6.       | 7.       | 8.       |
|------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $M$ , . . . . .                          | 128·3    | 128·1    | 128·1    | 128·1    | 128·1    | 128·0    | 128·0    | 128·0    |
| $M - \mu_3 - \mu_4 - \mu_6$              | 127·7516 | 127·5313 | 127·5313 | 127·5146 | 127·5237 | 127·4266 | 127·4262 | 127·4206 |
| $m_3$ , . . . . .                        | 980·0    |          |          |          |          |          |          |          |
| $\mu_3$ , . . . . .                      | 261·2    |          |          |          |          |          |          |          |
| $\sigma_3$ , . . . . .                   | 0·0939   |          |          |          |          |          |          |          |
| $\mu\sigma_3$ , . . . . .                | 20·30    |          |          |          |          |          |          |          |
| $\mu_1\sigma_1$ , . . . . .              | 6·37     |          |          |          |          |          |          |          |
| $\mu_2$ , . . . . .                      | 1357·6   |          |          |          |          |          |          |          |
| $\sigma_2$ , . . . . .                   | 0·117687 |          |          |          |          |          |          |          |
| $\mu_2\sigma_2$ , . . . . .              | 159·77   |          |          |          |          |          |          |          |
| $v_3$ , . . . . .                        | 262·75   |          |          |          |          |          |          |          |
| $\mu_4$ , . . . . .                      | 0·071    |          |          |          |          |          |          |          |
| $\sigma_4$ , . . . . .                   | 0·4618   |          |          |          |          |          |          |          |
| $\mu_4\sigma_4$ , . . . . .              | 0·033    |          |          |          |          |          |          |          |
| $\mu_6$ , . . . . .                      | 0·024    |          |          |          |          |          |          |          |
| $r_3$ , . . . . .                        | 294·2    |          |          |          |          |          |          |          |
| $\varepsilon\tau + \delta_1$ , . . . . . | 0·5470   | 0·5466   | 0·5471   | 0·5473   | 0·5462   | 0·5469   | 0·5457   | 0·5454   |
| $\Phi\tau + \delta_1$ , . . . . .        | 27·06    | 27·21    | 26·98    | 26·92    | 27·41    | 27·13    | 27·55    | 27·69    |
| $\mu_3$ , . . . . .                      | 0·4734   | 0·4737   | 0·4774   | 0·4904   | 0·4813   | 0·4784   | 0·4788   | 0·4844   |
| $\sigma_3$ , . . . . .                   | 0·3606   | 0·3606   | 0·3606   | 0·3606   | 0·3606   | 0·3606   | 0·3606   | 0·3606   |
| $\mu_3\sigma_3$ , . . . . .              | 0·1707   | 0·1718   | 0·1721   | 0·1769   | 0·1735   | 0·1795   | 0·1737   | 0·1747   |
| $\varepsilon(\tau + \delta)$ , . . . . . | 0·5895   | 0·5929   | 0·5926   | 0·5907   | 0·5965   | 0·5892   | 0·5886   | 0·5893   |
| $\Phi(\tau + \delta)$ , . . . . .        | 12·15    | 11·27    | 11·35    | 11·79    | 11·24    | 12·23    | 12·45    | 12·19    |
| $\mu_5$ , . . . . .                      | 0·3317   | 0·3606   | 0·3624   | 0·3704   | 0·3854   | 0·3784   | 0·3833   | 0·3788   |
| $\mu_3 - \mu_5$ , . . . . .              | 0·1417   | 0·1101   | 0·1150   | 0·1200   | 0·0959   | 0·1000   | 0·0955   | 0·1056   |
| $(\mu_3 - \mu_5) r_3$ , . . . . .        | 41·68    | 32·66    | 33·84    | 35·30    | 28·21    | 29·42    | 28·10    | 31·06    |
| $t_3$ , . . . . .                        | 21·50    | 18·25    | 18·64    | 20·40    | 18·00    | 21·83    | 22·20    | 21·39    |
| $\tau_3$ , . . . . .                     | 31·15    | 28·71    | 28·93    | 30·28    | 28·67    | 31·42    | 32·00    | 31·38    |
| $\delta_3$ , . . . . .                   | 0·139    | 0·092    | 0·09     | 0·114    | 0·054    | 0·119    | 0·073    | 0·095    |
| $\tau + \delta_3$ , . . . . .            | 31·289   | 28·802   | 29·02    | 30·394   | 28·724   | 31·539   | 32·073   | 31·475   |
| $\tau + \delta - t_3$ , . . . . .        | 9·789    | 10·552   | 10·38    | 9·994    | 10·724   | 9·709    | 9·873    | 10·085   |
| $T_3$ , . . . . .                        | 62·17    | 62·45    | 62·05    | 61·97    | 62·70    | 62·26    | 63·02    | 63·14    |
| $\delta_1$ , . . . . .                   | 0·075    | 0·077    | 0·075    | 0·069    | 0·073    | 0·078    | 0·07     | 0·073    |
| $T + \delta_1$ , . . . . .               | 62·245   | 62·527   | 62·125   | 62·039   | 62·773   | 62·338   | 63·09    | 63·213   |
| $T + \delta_1 - \tau(+\delta)$           | 30·956   | 33·725   | 33·105   | 31·645   | 34·049   | 30·799   | 30·017   | 31·738   |
| $z_3$ , . . . . .                        | 1·22888  | 1·20757  | 1·21242  | 1·22941  | 1·22563  | 1·22720  | 1·25191  | 1·24707  |
| Moyenne de $c$ , . . . . .               |          |          |          |          |          |          | 1·22876  |          |

Ces valeurs sont les mêmes pour toutes les expériences.

TABLEAU  $\beta$   
 Détermination de la chaleur de vaporisation de l'ammoniac liquide

|                                                                                                             | 1.        | 2.        | 3.        | 4.        | 5.        | 6.        | MOYENNES                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------------------------------------|
| P, . . . . .                                                                                                | 31·39     | 55·88     | 116·05    | 116·4     | 115·3     | 114·95    |                                                |
| P - P <sub>1</sub> , . . . . .                                                                              | 1·04      | 0·92      | 0·28      | 0·30      | 0·32      | 0·32      |                                                |
| P <sub>1</sub> , . . . . .                                                                                  | 30·35     | 54·91     | 115·76    | 116·10    | 114·98    | 114·63    |                                                |
| M <sub>1</sub> , . . . . .                                                                                  | 4656·8    | 4656·8    | 4656·8    | 4656·8    | 4656·8    | 4656·8    |                                                |
| $\Phi T$ , . . . . .                                                                                        | 5848      | 6506      | 6620      | 6313      | 6634      | 6643      |                                                |
| $\Phi T_1$ , . . . . .                                                                                      | 5525      | 5848      | 5264      | 4983      | 5135      | 5252      |                                                |
| $\Phi \frac{T + T_1}{2}$ , . . . . .                                                                        | 5686      | 6177      | 5924      | 5648      | 5885      | 5947      | 5863 <sup>mm</sup> .ou 7·71 <sup>mm</sup> abs. |
| f, . . . . .                                                                                                | 2524      | 3374      | 2732      | 2989      | 3365      | 3018      | 2987 <sup>mm</sup> .ou 3·93 <sup>mm</sup> abs. |
| T <sub>0</sub> , . . . . .                                                                                  | - 5·88    | 2·56      | - 3·78    | - 0·43    | 2·43      | - 0·06    | - 0·86°                                        |
| T, . . . . .                                                                                                | 17·19     | 20·13     | 20·64     | 19·30     | 20·68     | 20·69     |                                                |
| T <sub>1</sub> , . . . . .                                                                                  | 15·20     | 16·60     | 13·70     | 12·31     | 13·74     | 13·82     |                                                |
| T <sub>1</sub> + $\delta_1$ , . . . . .                                                                     | 15·19     | 16·5143   | 13·3755   | 12·15536  | 13·40     | 13·5725   |                                                |
| T - (T <sub>1</sub> + $\delta_1$ ), . . . . .                                                               | - 2·00    | - 3·6157  | - 7·2645  | - 7·14464 | - 7·28    | - 7·1175  |                                                |
| $\frac{T + T_1}{2}$ , . . . . .                                                                             | 16·195    | 18·365    | 17·10     | 15·805    | 17·210    | 17·255    | 17·00                                          |
| M [T - (T <sub>1</sub> + $\delta_1$ )], . . . . .                                                           | - 9313·6  | - 16837·6 | - 33829·3 | - 33271·1 | - 33901·5 | - 33144·8 |                                                |
| $\varepsilon_1$ , . . . . .                                                                                 | 317·4     | 317·4     | 317·4     | 317·4     | 317·4     | 317·4     |                                                |
| c, . . . . .                                                                                                | 0·5084    | 0·5084    | 0·5084    | 0·5084    | 0·5084    | 0·5084    |                                                |
| C, . . . . .                                                                                                | 1·22876   | 1·22876   | 1·22876   | 1·22876   | 1·22876   | 1·22876   |                                                |
| M <sub>1</sub> , . . . . .                                                                                  | 748·3     | 748·3     | 748·2     | 748·3     | 748·3     | 748·3     |                                                |
| $\tau_1$ , . . . . .                                                                                        | 18·25     | 20·75     | 20·36     | 18·44     | 20·21     | 19·11     |                                                |
| $\tau_2$ , . . . . .                                                                                        | 18·13     | 20·55     | 29·17     | 18·43     | 20·08     | 18·83     |                                                |
| $\tau_1 + \delta_1$ , . . . . .                                                                             | 18·249    | 20·6882   | 20·2762   | 18·3849   | 20·13078  | 18·9816   |                                                |
| $\tau - (\tau_1 + \delta_1)$ , . . . . .                                                                    | - 0·001   | - 0·0618  | - 0·0838  | - 0·0551  | - 0·07922 | - 0·1284  |                                                |
| M <sub>1</sub> ( $\tau - [\tau_1 + \delta_1]$ ), . . . . .                                                  | - 7·5     | - 46·2    | - 62·7    | - 41·3    | - 59·6    | - 96·8    |                                                |
| M <sub>1</sub> [ $\tau - (\tau_1 + \delta_1)$ ] + Pc ( $\frac{T+T}{2} - \frac{\tau+\tau_1}{2}$ ), . . . . . | - 40·9    | - 107·8   | - 168·2   | - 191·3   | - 221·9   | - 191·7   |                                                |
| M [T - (T <sub>1</sub> + $\delta_1$ )] + M <sub>1</sub> [ $\tau - (\tau_1 + \delta_1)$ ], . . . . .         | - 9321·1  | - 16883·8 | - 33892·0 | - 33312·4 | - 33961·1 | - 33241·9 |                                                |
| s <sub>1</sub> , . . . . .                                                                                  | - 0·6     | - 0·3     | - 1·0     | - 0·1     | - 0·04    | - 0·2     |                                                |
| q <sub>1</sub> , . . . . .                                                                                  | - 47·2    | - 40·6    | - 13·0    | - 13·5    | - 14·4    | - 9·3     |                                                |
| s <sub>2</sub> , . . . . .                                                                                  | - 30·8    | - 63·1    | - 181·7   | - 153·2   | - 169·6   | - 100·0   |                                                |
| s <sub>3</sub> , . . . . .                                                                                  | - 29·7    | - 95·3    | - 394·3   | - 399·5   | - 391·4   | - 387·6   |                                                |
| $\gamma_1$ , . . . . .                                                                                      | - 1·453   | - 1·453   | - 1·453   | - 1·453   | - 1·453   | - 1·453   |                                                |
| q <sub>2</sub> , . . . . .                                                                                  | - 823·1   | - 1339·2  | - 2986·6  | - 2322·2  | - 2093·8  | - 2446·1  |                                                |
| Q, . . . . .                                                                                                | - 10095·3 | - 18214·3 | - 37077·2 | - 35867·3 | - 35867·3 | - 35963·8 |                                                |
| $\lambda = Q/P$ , . . . . .                                                                                 | - 332·6   | - 331·6   | - 310·8   | - 308·6   | - 315·1   | - 313·7   | - 318·8 calories.                              |
| $q = q_2/P_1$ , . . . . .                                                                                   | - 27·1    | - 19·4    | - 25·8    | - 20·0    | - 18·2    | - 21·3    | - 22·0                                         |
| $r = \frac{Q - q_2}{P_1}$ , . . . . .                                                                       | - 305·5]  | - 312·2   | - 285·0   | - 288·9   | - 296·9   | - 292·4   | - 296·8                                        |

TABLEAU C  
Détermination de la chaleur d'absorption de l'ammoniac

|                                                                   | 1.      | 2.      | 3.      | 4.      | 5.      | 6.      | 7.      | 8.      | MOYENNES        |
|-------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------------|
| P, . . . . .                                                      | 112·25  | 108·67  | 110.1   | 148·5   | 134·0   | 100·54  | 152·2   | 170·5   |                 |
| M, . . . . .                                                      | 11245·0 | 11245·0 | 11245·0 | 11245·0 | 11245·0 | 11245·0 | 11245·0 | 11245·0 |                 |
| $\theta_1$ , . . . . .                                            | 13·89   | 15·88   | 15·33   | 12·88   | 13·83   | 15·91   | 12·66   | 12·58   |                 |
| $\theta_1 + \delta$ , . . . . .                                   | 19·20   | 20·79   | 20·31   | 19·68   | 20·06   | 20·61   | 19·80   | 20·65   |                 |
| $\frac{\theta + \theta_1}{2}$ . . . . .                           | 15·52   | 17·84   | 16·75   | 15·55   | 17·01   | 18·09   | 15·91   | 16·23   | 16·61           |
| $\frac{\tau + \tau_1}{2}$ . . . . .                               | 14·693  | 17·31   | 15·59   | 14·96   | 15·85   | 16·06   | 15·27   | 16·00   |                 |
| $\frac{\theta - \theta_1}{2} - \frac{\tau + \tau_1}{2}$ . . . . . | 0.827   | 0·53    | 1·16    | 0.59    | 1·26    | 2·03    | 0·64    | 0·23    |                 |
| $\theta - (\theta_1 + \delta)$ , . . . . .                        | 5.175   | 4·88    | 4·7009  | 6·6315  | 5·944   | 5·5281  | 6·6704  | 7·4446  |                 |
| M ( $\theta - (\theta_1 + \delta)$ ), . . . . .                   | 58192·9 | 54875.6 | 55110·6 | 74571·2 | 66840·3 | 50918·5 | 75008·6 | 83714·5 |                 |
| s, . . . . .                                                      | 47·3    | 29·3    | 66·3    | 46·1    | 87·7    | 104·1   | 47·7    | 18.6    |                 |
| Q, . . . . .                                                      | 58241·4 | 54904·9 | 55177·9 | 74618·7 | 66928.6 | 51023·6 | 75057.7 | 83734·4 |                 |
| $\mu = \frac{Q}{T}$ . . . . .                                     | 518·8   | 505·3   | 501·1   | 502·3   | 499·1   | 507·7   | 493·1   | 491·1   | 402·3 calories. |

**ADDITION**

A

**L'AIR COMPRIMÉ**

## ADDITION A L'AIR COMPRIMÉ

La figure 324 représente schématiquement l'ensemble de la disposition des nouveaux compresseurs *Riedler*, cités dans la note de la page 363.

Chaque compresseur comprend trois cylindres : deux de basse pression C et C<sub>2</sub>, aspirant l'air en *d* et le refoulant à 2 atmosphères environ dans le réservoir *m*, où il est refroidi par des injections d'eau *n*<sub>2</sub>, et d'où il passe par *o* au cylindre de haute pression C<sub>1</sub>, qui le comprime à 6 atmosphères.

Cette disposition, connue depuis longtemps, ne paraît pas devoir procurer de grands avantages. Théoriquement, le rendement est le plus grand possible quand la température finale est la même dans les trois cylindres et quand la pression *p'* du réservoir intermédiaire *m* est la moyenne géométrique des pressions initiale et finale *p*<sub>1</sub> et *p*<sub>2</sub> :

$$p' = \sqrt{p_1 p_2}$$

Mais même dans ce cas, l'économie de travail serait théoriquement très faible : de 13 % environ, pour une compression à 6 atmosphères : économie que l'on considère, en général, comme insuffisante pour compenser le travail à dépenser pour l'injection de l'eau dans le réservoir *m* et l'augmentation des frais d'établissement et d'entretien des compresseurs compound à d'aussi faibles pressions.

Il est possible, qu'en pratique, on obtienne une augmentation de rendement un peu plus forte par l'amélioration du jeu des soupapes. M. Riedler fait, en effet, remarquer que, dans un compresseur à cylindre unique comprimant à 6 atmosphères, par exemple, les clapets de refoulement ne peuvent guère s'ouvrir qu'aux 0,8 environ de la course de compression, tandis qu'avec le compresseur compound les valves de refoulement de basse pression pourront s'ouvrir dès à peu près les 0,6 de la course, de sorte que l'on perd moins par l'étranglement de leurs orifices.

On améliore encore le rendement de ces soupapes en les faisant les plus légères possibles. M. Riedler constitue à cet effet ses soupapes d'obturateurs creux très légers *x*... (fig. 325 et 326) fixés à des lames de caoutchouc ou d'acier, pincées et courbées en *t* de manière qu'elles tendent à s'ouvrir par leur élasticité même, ainsi qu'on le voit plus clairement sur la figure 327, qui représente le fond d'un compresseur Riedler horizontal. Lorsque le clapet de refoulement *d* est ouvert, appuyé sur sa butée *f*, sa lame *g*, droite et sans tension, n'oppose aucune résistance au passage de l'air, et il en est de même du clapet d'aspiration. Le rappel de ces clapets sur leurs sièges s'opère desmodromiquement par la poussée du levier *h* ou la traction d'une chaînette *h*<sub>1</sub>.

On pourrait, d'après M. Riedler, comprimer, avec les appareils compound, environ 10 mètres cubes d'air à 6 atmosphères par cheval indiqué aux compresseurs. D'autre part, il faudrait, d'après ce même ingénieur, environ 20 mètres cubes d'air — pris à 5 atmosphères et ramenés à la pression atmosphérique — par cheval-heure, pour un moteur compound de 10 chevaux (p. 377), tandis qu'avec les moteurs les plus perfectionnés de 1 cheval à 1/2 cheval, cette dépense

s'élèverait à 30 et 40 mètres cubes, soit à au moins 7 ou 10 mètres cubes comprimés à 5 atmosphères à la station centrale (1).

Fig. 324. Compresseur compound Riedler, de 1890, type vertical.

$C_1 C_2$  cylindres de basse pression, aspirant l'air en  $dd$  et le refoulant dans le réservoir  $m$ , d'où il passe, après avoir été rafraîchi par une injection d'eau  $ww$ , au cylindre de haute pression  $C$ .

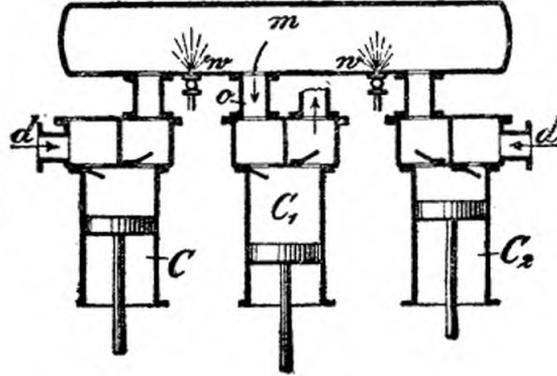
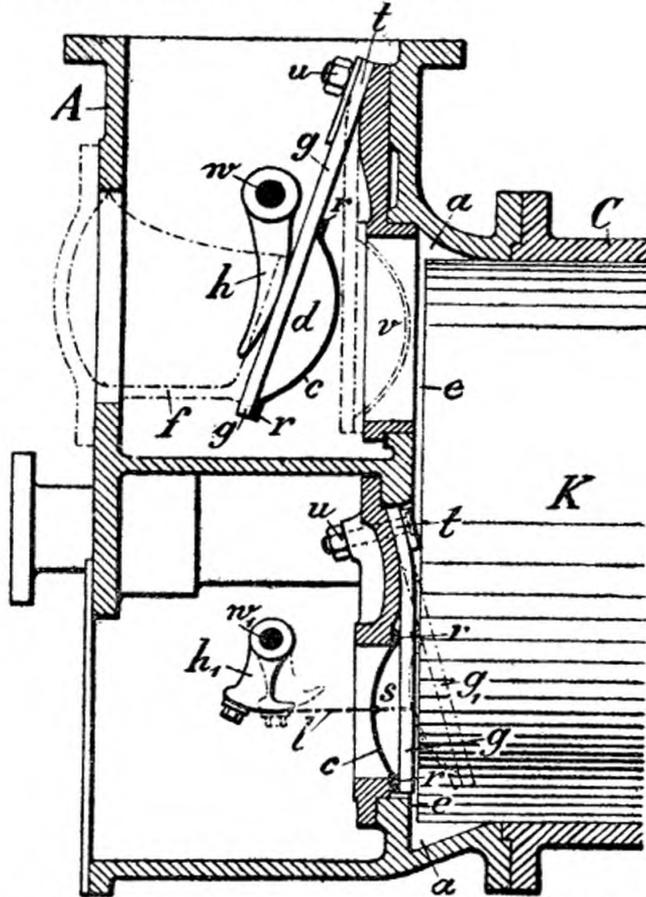


Fig. 325 et 326. Clapets du compresseur vertical Riedler.

Fig. 327. Compresseur Riedler de 1890, détail d'un fond de cylindre horizontal.  $g$  clapets à garniture légère  $dc$ , attachés, en  $tu$  de manière qu'ils soient maintenus ouverts par leur élasticité seule.  $f$  butée du clapet de refoulement.  $h$  et  $h'$  leviers mûs par les axes  $w$  et  $w'$ , et rappelant les clapets, l'un directement et l'autre par une chaînette  $l$ .  $e$  Sièges des soupapes, agrandis le plus possible par l'élargissement  $a$  du cylindre.



1. Riedler. Distribution de la force par l'air comprimé dans Paris. 1 vol., Bernard, 1891, Voir aussi le brevet américain de Sergeant, n° 456165, 17 septembre 1890.

Fig. 328 à 331. Moteur Popp à détente variable de 1891.

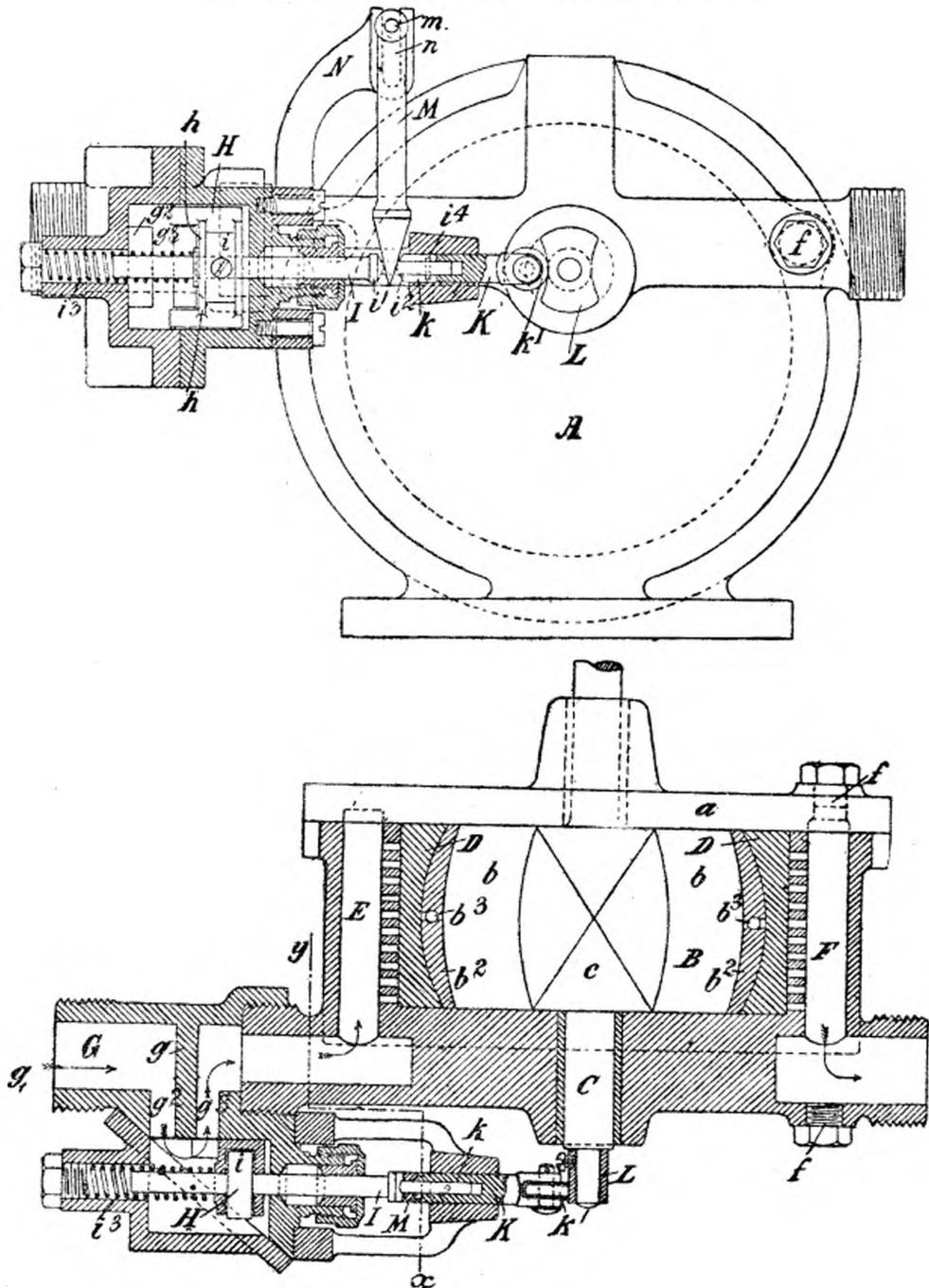


Fig. 328 et 329. Vue de faces, et coupe diamétrale par le régulateur.

La came L calée sur l'arbre moteur C actionnant la tige I du régulateur par le galet  $k_1$ , la tige K, le coin M et les butées  $i' i_2$ , la tige I est toujours poussée sur le coin M par le ressort  $i_3$ , et commande par  $i$  le tiroir H, qui règle la détente de l'air admis en E deux fois par tour, suivant le trajet  $G g g_2 g_3$ .

Fig. 328 à 331. Moteur Popp à détente variable de 1891.

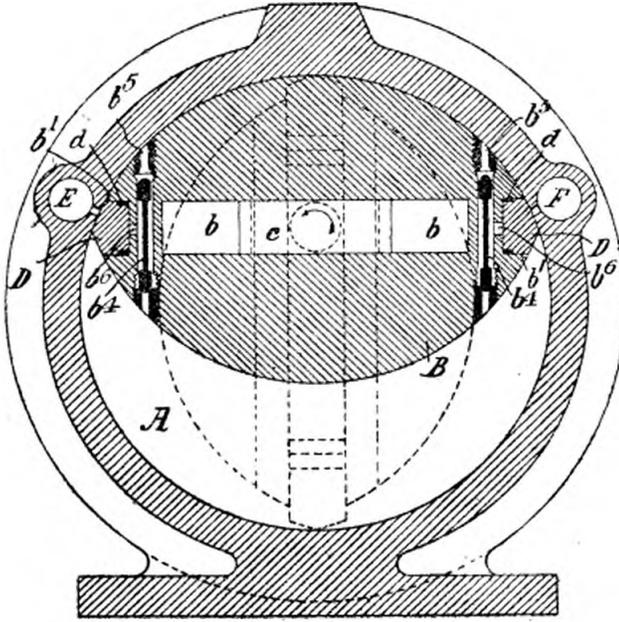


Fig. 330. Coupe verticale diamétrale.

B piston tournant en entraînant l'arbre C (fig. 329) par un carret c, sur lequel il coulisse par les glissières bb, et pourvu de garnitures en cuir D. E admission de l'air comprimé, F échappement, b<sub>4</sub> soupapes admettant par b<sub>5</sub> l'air comprimé de E en b<sub>3</sub>, derrière les garnitures D, ainsi serrées automatiquement. A cylindre moteur.

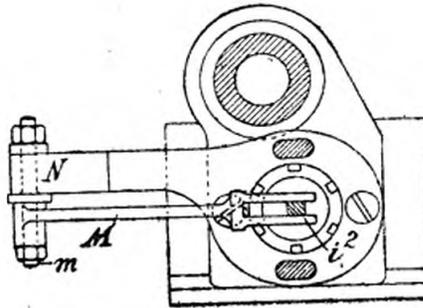


Fig. 331. Détail de la levée du coin M (coup *x y*, fig. 329). N bras portant l'axe de rotation *m*, qui peut se fixer à une hauteur variable à volonté dans la fourche *n* (fig. 328) de N.

Nous avons vu aux pages 351 et 377 quel rôle important le réchauffage de l'air joue dans le fonctionnement des moteurs à air comprimé. MM. *Proell* et *Fischinger* viennent de proposer (1) d'effectuer ce réchauffage en accouplant à la machine à air comprimé proprement dite un moteur à gaz dont la chaleur de combustion serait en partie transmise à l'air comprimé par les parois de son cylindre et par l'injection des gaz brûlés dans le cylindre de la machine. Le moteur à gaz, alimenté d'air par la canalisation même, n'aurait à comprimer que son gaz. Il est possible que l'on améliore aussi le rendement de la machine à air comprimé, mais il n'en paraît pas moins illogique de lui accoupler un moteur à gaz qui, pris isolément, consomme moins de charbon qu'elle. Nous citerons encore, dans le même ordre d'idées, la proposition faite par MM. *Mannesmann* (2) : de doubler la canalisation d'air d'une canalisation de pétrole ou de gaz combustible comprimé, mélangé à l'air au point d'utilisation et brûlé sous pression constante soit dans le cylindre même de la machine à air, soit dans une chambre de combustion isolée, pouvant fournir ainsi de la chaleur au moteur à air ou pour tout autre usage.

Dans quelques cas, très rares il est vrai, on ne cherche pas à réchauffer l'air, dont on utilise la basse température d'échappement pour certaines applications frigorifiques. La petite machine rotative représentée par les figures 328 à 331 est précisément pourvue d'un mécanisme de détente destiné à régler non pas sa puissance, mais la température de son échappement.

Cette machine, analogue à celle décrite à la page 370, est pourvue du piston B, formé par le raccordement de deux arcs de même rayon que celui du cylindre A, et pouvant coulisser en  $bb$  sur le carreau  $c$  de l'arbre moteur C. L'air comprimé admis par E s'échappe par F, en faisant tourner le piston dans le sens de la flèche fig. 326. La garniture du piston est formée de segments D, à cuirs  $d$ , communiquant par des ouvertures  $b_6$  avec la chambre  $b_3$  d'une soupape  $b_4$ . Lorsque l'orifice  $b_5$  de cette chambre vient devant E, l'air comprimé repousse la soupape sur son siège  $b_4$ , et pénètre par  $b_5$ ,  $b_3$ ,  $b_6$  sur le dos de la garniture D, qu'il serre automatiquement.

La détente est commandée par un tiroir H, que l'air comprimé traverse en allant de G à E par  $g_1$ ,  $g_2$ ,  $g_3$  (fig. 329). Ce tiroir, constamment ramené vers la droite par un ressort  $i_3$ , est commandé par le galet  $k$  et la came L au moyen d'une tige rompue en  $i' i''$  par un coin M, dont la position permet de régler à volonté la détente, qui augmente à mesure qu'on l'abaisse (3).

Les figures 332 et 333 représentent le modèle de poêle à gaz récemment proposé par M. Popp pour le réchauffage des moteurs à air comprimé.

Ces poêles sont pourvus de deux rangées de tubes verticaux H et H<sub>1</sub>, séparés

1. Brevet anglais 7177 de 1890.

2. Brevet anglais 837, de 1890.

3. Brevet anglais 167 de 1891.

au bas par des cloisonnements N, et surmontés de couvercles cloisonnés M<sub>1</sub> M<sub>2</sub>....  
 Les gaz du foyer F s'échappent par la cheminée f', après avoir léché de haut

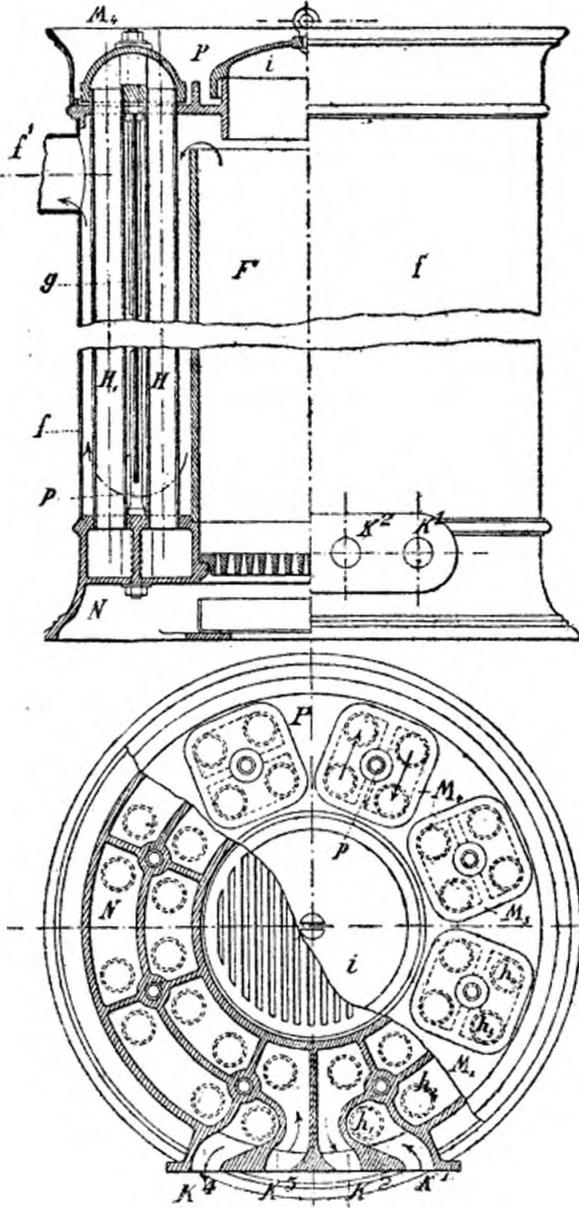


Fig. 332 et 333. Poêle Popp de 1891 pour moteurs compound.

F foyer, f enveloppe du poêle, H, H<sub>1</sub> tubes parcourus par l'air, p boulons de fixation des couvercles M... N Socle, K<sub>1</sub> entrée de l'air aspiré au petit cylindre, K<sub>2</sub> sorti de l'air allant du poêle au petit cylindre C (fig. 334), K<sub>3</sub> entrée de l'air du petit cylindre, K<sub>4</sub> sorti de l'air du petit au grand cylindre D, g cloison déviant les gaz du foyer le long des tubes H.

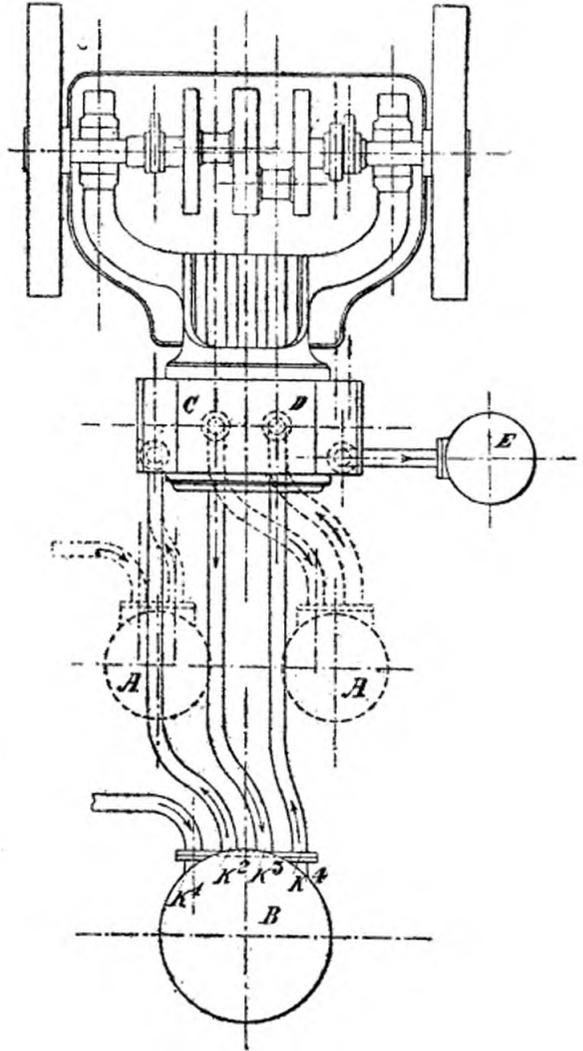


Fig. 334. Installation d'un moteur compound avec un seul poêle B, comme celui des figures 332 et 333, ou avec deux poeles A et B: même légende qu'aux figures 332 et 333. E échappement final de l'air du grand cylindre D.

en bas les tubes intérieurs H, puis de bas en haut, autour de la cloison verticale  $g$ , les tubes extérieurs  $H_1$ .

Dans l'état figuré, l'air destiné au petit cylindre C de la machine compound (fig. 334) entre dans le réchauffeur par  $K_1$ , traverse de bas en haut le tube  $h_1$ , puis de haut en bas le tube  $h_2$ , et ainsi de suite, jusqu'au premier tube extérieur du couvercle  $M_1$ , dont la cloison, orientée radialement, dévie l'air sur les tubes intérieurs, qu'il parcourt de même, de  $M_1$  au conduit  $K_2$ , d'où il passe au cylindre C.

Après avoir travaillé dans le petit cylindre du moteur, l'air qui s'en échappe

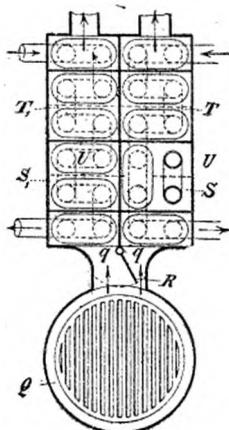


Fig. 335. Poêle pour grands moteurs.

rentre dans le poêle par  $K_3$ , et s'en va à l'admission du grand cylindre après avoir traversé les tubes de gauche du poêle suivant le trajet  $K_3M_4K_4$ . L'échappement final a lieu dans l'atmosphère par E (fig. 334).

On voit que l'on peut, en orientant radialement l'une ou l'autre des plaques M, faire varier à volonté le nombre des tubes du premier et du second réchauffage suivant la détente et la charge du moteur.

Pour les grands appareils, le foyer Q est (fig. 335) séparé des tubes SS. Les tubes T T<sub>1</sub>, que traverse l'air comprimé des cylindres C et D, peuvent être groupés et répartis entre ces cylindres à volonté par leurs couvercles U. Les gaz du foyer sont répartis autour de ces tubes par le registre R.  $q$ .

# TABLE DES MATIÈRES

11<sup>me</sup> partie. — Tome I

## INDUSTRIES CHIMIQUES

**Le caoutchouc à l'Exposition par RENÉ BOBET.**

### PREMIÈRE PARTIE

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Preliminaires</i> . . . . .                                         | 3  |
| Caoutchoucs bruts. . . . .                                             | 4  |
| Nature du caoutchouc . . . . .                                         | 4  |
| Végétaux producteurs. — Pays de production. . . . .                    | 4  |
| Extraction du lait de caoutchouc. — Composition . . . . .              | 5  |
| Coagulation du caoutchouc. . . . .                                     | 7  |
| Culture des arbres à caoutchouc. . . . .                               | 8  |
| Composition et propriétés . . . . .                                    | 9  |
| Influence de la température. — Propriété soudante ou adhésive. . . . . | 10 |
| Action de l'eau . . . . .                                              | 10 |
| Action de l'air et de la lumière . . . . .                             | 11 |
| Dissolvants du caoutchouc. . . . .                                     | 11 |
| Action des acides et des alcalis . . . . .                             | 11 |

### CLASSIFICATION DES CAOUTCHOUCS

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Les caoutchoucs bruts à l'Exposition universelle.</i> . . . . | 12 |
| Exposition du Brésil. . . . .                                    | 13 |
| Exposition des Républiques de l'Amérique Centrale. . . . .       | 14 |
| Salvador. . . . .                                                | 15 |
| Nicaragua . . . . .                                              | 15 |
| Guatemala . . . . .                                              | 16 |
| Exposition du Venezuela . . . . .                                | 16 |
| Exposition de l'Équateur . . . . .                               | 16 |
| Exposition du Mexique. . . . .                                   | 16 |
| Exposition de la Bolivie . . . . .                               | 17 |
| Exposition des Colonies françaises . . . . .                     | 17 |
| Colonie de Nossi-Bé. . . . .                                     | 17 |
| Colonie de Mayotte . . . . .                                     | 18 |

|                                                                                                    | Pages     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Colonie de la Réunion . . . . .                                                                    | 18        |
| Madagascar. . . . .                                                                                | 18        |
| Gabon et Assynie. . . . .                                                                          | 19        |
| Congo français. . . . .                                                                            | 19        |
| Sénégal . . . . .                                                                                  | 20        |
| <i>Considérations relatives aux caoutchoucs des Colonies françaises . .</i>                        | <i>20</i> |
| Tableau des renseignements concernant l'exportation des caoutchoucs bruts de nos Colonies. . . . . | 22        |
| Colombie. . . . .                                                                                  | 22        |
| Pérou. . . . .                                                                                     | 22        |
| Mozambique . . . . .                                                                               | 23        |
| Loanda . . . . .                                                                                   | 23        |
| Thimbles. . . . .                                                                                  | 23        |
| Boules d'Afrique . . . . .                                                                         | 23        |
| Java . . . . .                                                                                     | 23        |
| Bornéo. . . . .                                                                                    | 23        |
| Assam. . . . .                                                                                     | 23        |
| <i>Valeur commerciale des caoutchoucs bruts . . . . .</i>                                          | <i>24</i> |

## DEUXIÈME PARTIE

|                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| Caoutchoucs manufactures . . . . .                                  | 25        |
| Épuration du caoutchouc brut . . . . .                              | 25        |
| Ramollissage . . . . .                                              | 25        |
| Découpage . . . . .                                                 | 25        |
| Lavage . . . . .                                                    | 26        |
| Séchage . . . . .                                                   | 27        |
| Perte au lavage . . . . .                                           | 28        |
| Caoutchouc mastiqué . . . . .                                       | 28        |
| Masticateur. . . . .                                                | 29        |
| Malaxeur à deux cylindres . . . . .                                 | 30        |
| Feuilles sciées. . . . .                                            | 30        |
| Données générales . . . . .                                         | 31        |
| Caoutchouc mélangé. . . . .                                         | 33        |
| Mélangeur ou broyeur . . . . .                                      | 33        |
| Mélangeur automatique . . . . .                                     | 35        |
| Théorie du fonctionnement. . . . .                                  | 36        |
| Caoutchouc vulcanisé . . . . .                                      | 37        |
| Procédé Goodyear . . . . .                                          | 37        |
| Procédé Hancock. . . . .                                            | 37        |
| Procédé Parkes . . . . .                                            | 38        |
| Propriétés du caoutchouc vulcanisé . . . . .                        | 38        |
| Le caoutchouc dans la classe 45 et dans les classes 52, 61, 62. . . | 39        |
| <i>Section française . . . . .</i>                                  | <i>39</i> |
| Préliminaires . . . . .                                             | 40        |

|                                                                                                             | Pages |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| MM. Cassasa fils et C <sup>o</sup> . . . . .                                                                | 40    |
| MM. Decourdemanche et C <sup>o</sup> . . . . .                                                              | 41    |
| MM. Bognier et Burnet. . . . .                                                                              | 41    |
| M. Berguerand . . . . .                                                                                     | 41    |
| M. Mercier . . . . .                                                                                        | 41    |
| M. Le Renard. . . . .                                                                                       | 41    |
| M. Ménier . . . . .                                                                                         | 41    |
| MM. A. Hutchinson et C <sup>o</sup> . . . . .                                                               | 41    |
| The India-Rubber, gutta-percha and telegraph Works C <sup>o</sup> . . . . .                                 | 42    |
| M. Guibal . . . . .                                                                                         | 42    |
| Société générale des téléphones . . . . .                                                                   | 42    |
| MM. Thorilhon et C <sup>o</sup> . . . . .                                                                   | 43    |
| MM. François Grellou et C <sup>o</sup> . . . . .                                                            | 43    |
| MM. Bapst et Hamet . . . . .                                                                                | 43    |
| <i>Section anglaise.</i> . . . . .                                                                          | 44    |
| Vorth British Rubber Company . . . . .                                                                      | 44    |
| MM. William Curie et C <sup>o</sup> . . . . .                                                               | 45    |
| MM. Mandeberg et C <sup>o</sup> . . . . .                                                                   | 45    |
| MM. Lee Brothers — M. Geo Carding. — MM. Birnbaum et Son.<br>MM. Barthum Harvey et C <sup>o</sup> . . . . . | 45    |
| MM. Angus et C <sup>o</sup> . . . . .                                                                       | 45    |
| <i>Section belge.</i> . . . . .                                                                             | 45    |
| L. Pol de Schamphelaere. . . . .                                                                            | 45    |
| <i>Section Néerlandaise</i> . . . . .                                                                       | 45    |
| M. Bakker en Zoon . . . . .                                                                                 | 45    |
| <i>Section américaine.</i> . . . . .                                                                        | 46    |
| Boston Rubber Shoe C <sup>o</sup> . . . . .                                                                 | 46    |
| Brook Haven Rubber Shoe C <sup>o</sup> . . . . .                                                            | 46    |
| C. J. Bailey et C <sup>o</sup> . . . . .                                                                    | 46    |
| Revere Rubber C <sup>o</sup> . . . . .                                                                      | 46    |
| <i>Matériel et procédés pour la fabrication des articles techniques</i> . . . . .                           | 46    |
| Considérations générales . . . . .                                                                          | 46    |
| Réchauffeur. . . . .                                                                                        | 47    |
| Laminoir . . . . .                                                                                          | 47    |
| Calandres . . . . .                                                                                         | 48    |
| Calandre à friction . . . . .                                                                               | 48    |
| Machine à doubler . . . . .                                                                                 | 50    |
| Presses à vulcaniser. . . . .                                                                               | 50    |
| Presses à vis . . . . .                                                                                     | 50    |
| Presses à vis et leviers articulés . . . . .                                                                | 52    |
| Presses hydrauliques . . . . .                                                                              | 53    |
| Presse à cylindre-guide . . . . .                                                                           | 54    |
| Vulcaniseurs à vapeur. — Vulcaniseurs à eau . . . . .                                                       | 54    |
| Vulcaniseurs à air. — Étuves . . . . .                                                                      | 55    |
| Machine à tuyaux . . . . .                                                                                  | 56    |

|                                                                                             | Pages |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <i>Caoutchouc durci</i> . . . . .                                                           | 57    |
| Données générales . . . . .                                                                 | 57    |
| <i>Courroies de transmission</i> . . . . .                                                  | 57    |
| Confection des courroies . . . . .                                                          | 57    |
| Vulcanisation des courroies . . . . .                                                       | 58    |
| Résistance des courroies en caoutchouc, comparaison avec les<br>courroies en cuir . . . . . | 59    |
| Expérience de M. Tresea . . . . .                                                           | 59    |
| Expérience de M. L. Ogier . . . . .                                                         | 60    |
| Tableau récapitulatif des expériences . . . . .                                             | 61    |
| Calcul des courroies en caoutchouc . . . . .                                                | 62    |
| Coefficient . . . . .                                                                       | 63    |
| Remarque . . . . .                                                                          | 64    |
| Applications . . . . .                                                                      | 66    |
| <i>Tissus imperméables</i> . . . . .                                                        |       |
| Les tissus imperméables à l'Exposition . . . . .                                            | 68    |
| Données générales . . . . .                                                                 | 68    |
| Tissus calandrés . . . . .                                                                  | 69    |
| Tissus solutionnés . . . . .                                                                | 70    |
| <i>Préparation des dissolutions de caoutchouc</i> . . . . .                                 | 70    |
| Choix du dissolvant . . . . .                                                               | 71    |
| Dissolutions . . . . .                                                                      | 71    |
| Appareils pour préparer les solutions . . . . .                                             | 71    |
| Broyeur à dissolution à deux cylindres . . . . .                                            | 72    |
| Broyeur à dissolution à trois cylindres . . . . .                                           | 73    |
| Caisse de dissolution . . . . .                                                             | 73    |
| Tamiseur . . . . .                                                                          | 74    |
| <i>Enduisage des tissus</i> . . . . .                                                       | 74    |
| Machine à étendre . . . . .                                                                 | 74    |
| Vulcanisation des tissus solutionnés simples . . . . .                                      | 76    |
| Appareil à vulcaniser les tissus . . . . .                                                  | 77    |
| Fabrication des tissus doubles . . . . .                                                    | 77    |
| Fabrication des tissus à surfaces modifiées . . . . .                                       | 79    |
| Tissus veloutés . . . . .                                                                   | 79    |
| Tissus transparents . . . . .                                                               | 79    |

### **La Gutta-Percha à l'Exposition, PAR RÉNÉ BOBET.**

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>La gutta-percha dans les classes 39, 45, 62</i> . . . . .                          | 81 |
| Noms des Exposants . . . . .                                                          | 81 |
| Nature de la gutta-percha. — Lieux de production. — Végétaux<br>producteurs . . . . . | 82 |
| Données générales . . . . .                                                           | 82 |
| Différentes variétés de gutta-perchas commerciales . . . . .                          | 81 |

|                                                                            | Pages |
|----------------------------------------------------------------------------|-------|
| Extraction de la gutta-percha . . . . .                                    | 85    |
| Commerce de la gutta-percha brute . . . . .                                | 86    |
| Importation de la gutta-percha en Angleterre . . . . .                     | 88    |
| Gutta-percha épurée . . . . .                                              | 88    |
| Composition et propriétés de la gutta-percha . . . . .                     | 88    |
| Composition. . . . .                                                       | 88    |
| Propriétés de la gutta-percha . . . . .                                    | 91    |
| Épuration. . . . .                                                         | 93    |
| Équation par le sulfure de carbone . . . . .                               | 93    |
| Épuration par rapes mécaniques . . . . .                                   | 93    |
| Disposition schématique de l'épuration . . . . .                           | 94    |
| Procédé d'épuration par lavage. — Filtration. . . . .                      | 94    |
| Mastication ou agglomération de la gutta-percha . . . . .                  | 96    |
| Pétrisseur . . . . .                                                       | 96    |
| Gutta-percha mélangée . . . . .                                            | 97    |
| <i>Applications de la gutta-percha.</i> . . . .                            |       |
| Objets divers . . . . .                                                    | 98    |
| Propriétés . . . . .                                                       | 98    |
| Feuilles . . . . .                                                         | 98    |
| Cordes et tubes . . . . .                                                  | 99    |
| Courroies de transmission . . . . .                                        | 99    |
| Gutta-percha vulcanisée souple et durcie . . . . .                         | 99    |
| Données générales . . . . .                                                | 100   |
| Conducteurs électriques isolés à la gutta-percha et au caoutchouc. . . . . | 100   |
| Données générales . . . . .                                                | 101   |
| Fabrication des câbles isolés à la gutta-percha . . . . .                  | 103   |
| Conducteur . . . . .                                                       | 103   |
| Enveloppe isolante . . . . .                                               | 104   |
| Enveloppes protectrices. . . . .                                           | 106   |
| Câbles isolés au caoutchouc . . . . .                                      | 107   |
| Leur fabrication . . . . .                                                 | 107   |

## Les machines frigorifiques et leurs applications à l'Exposition universelle de 1889,

PAR GUSTAVE RICHARD, Ingénieur des Mines.

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| Preliminaires . . . . .                                              | 109 |
| <i>Machines à air</i> . . . . .                                      | 110 |
| Considérations générales . . . . .                                   | 110 |
| Courbes réelles de compression et de détente. . . . .                | 113 |
| Refroidissement complémentaire. — Emploi des régénérateurs . . . . . | 114 |
| Régénérateur Kirk . . . . .                                          | 116 |
| <i>Principaux organes des machines à air</i> . . . . .               | 117 |
| Compresseur . . . . .                                                | 118 |
| Refroidisseur, sécheur. . . . .                                      | 121 |

|                                                                                                                | Pages |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Détendeur . . . . .                                                                                            | 123   |
| Réfrigérant . . . . .                                                                                          | 125   |
| <i>Principaux types de machines à air</i> . . . . .                                                            | 125   |
| Description de la machine Windhausen . . . . .                                                                 | 125   |
| Machines Giffard . . . . .                                                                                     | 129   |
| — verticale . . . . .                                                                                          | 129   |
| Soupape de refoulement . . . . .                                                                               | 129   |
| Soupape d'aspiration du compresseur . . . . .                                                                  | 129   |
| Piston Giffard . . . . .                                                                                       | 130   |
| Tableau des rendements théoriques établi par M. Ledoux . . . . .                                               | 131   |
| Machine type symétrique . . . . .                                                                              | 131   |
| » type marin de 140 mètres cubes . . . . .                                                                     | 132   |
| »       »       200       »       . . . . .                                                                    | 132   |
| « horizontale de 100       »       . . . . .                                                                   | 133   |
| » de 60 m . . . . .                                                                                            | 133   |
| <i>Machines Bell et Coleman</i> . . . . .                                                                      | 134   |
| Description . . . . .                                                                                          | 134   |
| Ensemble de la machine et détail d'un compresseur . . . . .                                                    | 135   |
| Détail du refroidisseur-sécheur . . . . .                                                                      | 136   |
| Petite machine actionnée par un moteur à gaz . . . . .                                                         | 137   |
| Machine du type marin de 1883 . . . . .                                                                        | 138   |
| » de Hall . . . . .                                                                                            | 139   |
| Description . . . . .                                                                                          | 139   |
| Machine verticale. Ensemble, détails du refroidisseur et des soupapes du compresseur et du détendeur . . . . . | 140   |
| Diagrammes du compresseur et du détendeur à l'échelle 0 k 5 par division. . . . .                              | 141   |
| Machine verticale symétrique . . . . .                                                                         | 142   |
| Machines à cylindres inclinés . . . . .                                                                        | 144   |
| Diagrammes du compresseur et des deux détendeurs. Machines Hall . . . . .                                      | 145   |
| Machine de 2.000 m <sup>3</sup> à l'heure . . . . .                                                            | 145   |
| » de 50 m <sup>3</sup> . . . . .                                                                               | 146   |
| <i>Machines Lighfoot.</i> . . . .                                                                              | 147   |
| Description . . . . .                                                                                          | 147   |
| Machine de 600 à 1.700 m <sup>3</sup> . . . . .                                                                | 148   |
| » horizontale à moteur Compound . . . . .                                                                      | 149   |
| Détail du compresseur et du détendeur des machines de 600 m <sup>3</sup> . . . . .                             | 149   |
| Machines verticales avec et sans moteur à vapeur conjugué . . . . .                                            | 150   |
| Machines de Hargreaves et Inglis . . . . .                                                                     | 151   |
| Description . . . . .                                                                                          | 152   |
| Machine verticale. . . . .                                                                                     | 152   |
| Ensemble d'une machine horizontale . . . . .                                                                   | 153   |
| Machines de Haslam. . . . .                                                                                    | 154   |
| Description . . . . .                                                                                          | 154   |
| Machine horizontale à moteur Compound . . . . .                                                                | 155   |
| Détail du détendeur . . . . .                                                                                  | 156   |

|                                                                                         | Pages |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Refroidisseur Haslam. Elévation et plans-coupes . . . . .                               | 157   |
| Machine double horizontale . . . . .                                                    | 158   |
| Machine de M. Matthews . . . . .                                                        | 158   |
| Fonctionnement . . . . .                                                                | 158   |
| Machine horizontale simple . . . . .                                                    | 159   |
| Robinets de distribution des détenteurs . . . . .                                       | 160   |
| Mécanisme de distribution . . . . .                                                     | 160   |
| Détail des clapets-disques d'aspiration et de refoulement du com-<br>presseur . . . . . | 161   |
| Machine de grande puissance. . . . .                                                    | 162   |
| <i>Machines à gaz liquéfiés par compression</i> . . . . .                               | 163   |
| Considérations générales . . . . .                                                      | 163   |
| Gaz simples. . . . .                                                                    | 166   |
| Éther sulfurique . . . . .                                                              | 166   |
| Acide sulfureux . . . . .                                                               | 166   |
| Ether méthylique . . . . .                                                              | 167   |
| Chlorure de méthyle . . . . .                                                           | 168   |
| Acide carbonique . . . . .                                                              | 169   |
| <i>Les liquides mixtes</i> . . . . .                                                    | 171   |
| Machines à liquides binaires. . . . .                                                   | 171   |
| Données générales . . . . .                                                             | 171   |
| Exemples. . . . .                                                                       | 173   |
| Courbes des pressions de liquéfaction en fonction des tempé-<br>ratures . . . . .       | 175   |
| Fabrication du liquide Pietet . . . . .                                                 | 176   |
| <i>Principaux organes des machines à gaz liquéfiés par compression</i> . . . . .        | 177   |
| Compresseur . . . . .                                                                   | 178   |
| Soupapes. . . . .                                                                       | 178   |
| » d'aspiration et de refoulement du compresseur vertical<br>Wood . . . . .              | 179   |
| Stuffing-Box. . . . .                                                                   | 180   |
| Joint pâteux Fixary . . . . .                                                           | 180   |
| Pistons . . . . .                                                                       | 181   |
| Compresseur Lavergne. . . . .                                                           | 182   |
| Refroidissement . . . . .                                                               | 183   |
| Espaces nuisibles. . . . .                                                              | 183   |
| Condenseur ou liquéfacteur . . . . .                                                    | 184   |
| Joint des serpentins de Kilbourn . . . . .                                              | 184   |
| Détendeur . . . . .                                                                     | 186   |
| Robinetterie, tuyauterie . . . . .                                                      | 186   |
| Graissage . . . . .                                                                     | 187   |
| Robinet Wood avec garniture d'huile . . . . .                                           | 187   |
| Réfrigérant. . . . .                                                                    | 187   |
| Machines Puplett. . . . .                                                               | 209   |
| Fonctionnement . . . . .                                                                | 209   |
| Machines Fixary . . . . .                                                               | 210   |
| Description . . . . .                                                                   | 210   |

|                                                                                                      | Pages      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Machine Fixary de 300 kilos de glace à l'heure . . . . .                                             | 211        |
| Principe de la machine. . . . .                                                                      | 212        |
| Organes secondaires. . . . .                                                                         | 213        |
| Montage de la machine. . . . .                                                                       | 214        |
| Soins spéciaux. . . . .                                                                              | 214        |
| Essai de la machine à la pression d'air avant son chargement. . . . .                                | 214        |
| Introduction de l'huile . . . . .                                                                    | 215        |
| Circulation d'eau froide au condenseur . . . . .                                                     | 215        |
| Préparation du bain incongelable . . . . .                                                           | 215        |
| Introduction du gaz dans la machine. . . . .                                                         | 216        |
| Tableau des charges de gaz ammoniac et de chlorure pour les machines à glace Fixary. . . . .         | 217        |
| Niveau. . . . .                                                                                      | 217        |
| Démontage de la bonbonne . . . . .                                                                   | 217        |
| Purge d'air . . . . .                                                                                | 218        |
| Mise en marche régulière. . . . .                                                                    | 218        |
| Congélation de l'huile qui entoure les presse-étoupes. . . . .                                       | 218        |
| Graissage en marche . . . . .                                                                        | 219        |
| Pression normale à la compression . . . . .                                                          | 219        |
| Production de la glace . . . . .                                                                     | 219        |
| Tableau de la température de congélation pour divers degrés de salure du bain incongelable . . . . . | 220        |
| Résumé des manœuvres pour la conduite régulière . . . . .                                            | 220        |
| Machine Fixary de 10 kilogrammes de glace à l'heure. . . . .                                         | 221        |
| Moyen de découvrir les fuites de gaz. . . . .                                                        | 221        |
| Observation . . . . .                                                                                | 222        |
| Machine Fixary, type horizontal. . . . .                                                             | 223        |
| Machines à acide carbonique. . . . .                                                                 | 224        |
| Machine de Raydt . . . . .                                                                           | 224        |
| Ensemble de la machine Raydt . . . . .                                                               | 224        |
| Compresseur Raydt . . . . .                                                                          | 225        |
| Liquéfacteur Raydt . . . . .                                                                         | 225        |
| Machines de Windhausen. . . . .                                                                      | 226        |
| Machine à acide carbonique verticale . . . . .                                                       | 226        |
| Compresseur compound . . . . .                                                                       | 227        |
| Compresseur vertical compound . . . . .                                                              | 229        |
| Machine Windhausen à détenteur. . . . .                                                              | 230        |
| Machine compound horizontale à détenteur . . . . .                                                   | 231        |
| <b>Machines à absorption ou à affinité . . . . .</b>                                                 | <b>232</b> |
| Principe général . . . . .                                                                           | 232        |
| Théorie . . . . .                                                                                    | 233        |
| <b>Principaux organes des machines à affinité. . . . .</b>                                           | <b>234</b> |
| Vaporisateur . . . . .                                                                               | 234        |
| Analyseur . . . . .                                                                                  | 234        |
| Rectificateur . . . . .                                                                              | 234        |
| Condenseur . . . . .                                                                                 | 235        |
| Absorbeur . . . . .                                                                                  | 235        |
| Echangeur de températures . . . . .                                                                  | 235        |



|                                                                                                                | Pages |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Frigorifère Fixary à trois compartiments . . . . .                                                             | 285   |
| Résumé des expériences . . . . .                                                                               | 290   |
| Frigorifère Fixary de Crefeld . . . . .                                                                        | 293   |
| Frigorifère de Crefeld . . . . .                                                                               | 294   |
| Frigorifère Fixary de Crefeld, installation du bac à glace . . . . .                                           | 295   |
| Wagons pour le transport des viandes gelées . . . . .                                                          | 296   |
| Poissons . . . . .                                                                                             | 297   |
| Lait . . . . .                                                                                                 | 297   |
| <i>Résumé et conclusions</i> . . . . .                                                                         | 298   |
| <i>Observations sur la communication précédente de M. G. Richard, relative aux machines à froid.</i> . . . . . | 301   |
| <i>Observation de M. Diesel, ingénieur civil.</i> . . . . .                                                    | 301   |
| <i>Conclusion</i> . . . . .                                                                                    | 303   |
| <i>Observation de M. Hirsch.</i> . . . . .                                                                     | 314   |
| <i>Réponse de M. Richard</i> . . . . .                                                                         | 314   |
| <i>Légende des planches</i> . . . . .                                                                          | 319   |

## La Sucrierie et la distillerie à l'Exposition universelle de 1889.

PAR PAUL HORSIN-DÉON, INGÉNIEUR.

|                                                    |     |
|----------------------------------------------------|-----|
| Avant-propos . . . . .                             | 321 |
| <i>Sucrierie</i> . . . . .                         | 323 |
| Considérations générales . . . . .                 | 323 |
| <i>Réception des racines à l'usine</i>             |     |
| Transport des betteraves à l'usine . . . . .       | 325 |
| Transporteur hydraulique . . . . .                 | 325 |
| Elévateurs . . . . .                               | 326 |
| Laveurs . . . . .                                  | 329 |
| Sécheur . . . . .                                  | 329 |
| Bascule . . . . .                                  | 330 |
| Exposition Maguin . . . . .                        | 331 |
| Exposition Montauban et Marchandier . . . . .      | 332 |
| Exposition des usines de la Mulatière . . . . .    | 333 |
| Exposition de M. Gallois . . . . .                 | 334 |
| Étude de la betterave . . . . .                    | 334 |
| La betterave riche . . . . .                       | 334 |
| Formation du sucre dans la betterave . . . . .     | 336 |
| Préparation de la terre-engrais . . . . .          | 338 |
| Semaille-graine de betterave. Sa culture . . . . . | 339 |
| Espèces de betteraves . . . . .                    | 342 |
| Exposition Vilmorin-Andrieux . . . . .             | 342 |
| Expositions diverses . . . . .                     | 344 |
| Coupe-racines . . . . .                            | 345 |
| Plateau et Trémie . . . . .                        | 346 |

|                                                                                             | Pages |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Exposition de M. Maguin . . . . .                                                           | 346   |
| » des Anciens Établissements Cail . . . . .                                                 | 348   |
| Couteaux . . . . .                                                                          | 348   |
| Exposition de M. Maguin . . . . .                                                           | 349   |
| <i>Diffusion</i> . . . . .                                                                  | 353   |
| Considérations générales . . . . .                                                          | 353   |
| Calorisateurs . . . . .                                                                     | 354   |
| Circulation . . . . .                                                                       | 355   |
| Presses à cossettes . . . . .                                                               | 356   |
| <i>Rentrées de liquides sucrés dans la batterie de diffusion</i> . . . . .                  | 356   |
| Fonctionnement du système Mariolle-Pinguet . . . . .                                        | 356   |
| Bac-mesureur . . . . .                                                                      | 358   |
| Exposition de M. Horsin-Déon . . . . .                                                      | 358   |
| Données générales . . . . .                                                                 | 358   |
| Contrôleur-mesureur automatique . . . . .                                                   | 359   |
| Densimètre enregistreur . . . . .                                                           | 362   |
| Echantillonneur automatique . . . . .                                                       | 363   |
| Indicateur de niveau à cadran . . . . .                                                     | 364   |
| Carbonisation . . . . .                                                                     | 365   |
| Données générales . . . . .                                                                 | 365   |
| Exposition de M. Horsin-Déon . . . . .                                                      | 366   |
| Carbonateur continu de M. Horsin-Déon . . . . .                                             | 366   |
| Exposition L. Fontaine . . . . .                                                            | 368   |
| Carbonateur Crepelle . . . . .                                                              | 368   |
| Fours à chaux . . . . .                                                                     | 368   |
| Chaux et gaz carbonique . . . . .                                                           | 368   |
| Méthodes diverses de travail . . . . .                                                      | 369   |
| Exposition Manoury . . . . .                                                                | 369   |
| <i>Filtres-presses</i> . . . . .                                                            | 370   |
| Exposition de M. Mariolle-Pinguet . . . . .                                                 | 371   |
| Description . . . . .                                                                       | 371   |
| Filtre-presse exposé par les anciens Etablissements Cail . . . . .                          | 374   |
| » Kroog, par la Société anonyme de constructions mé-<br>caniques de Saint-Quentin . . . . . | 374   |
| » Villette, par la maison Montauban et Marchandier . . . . .                                | 375   |
| Exposition E. et J. Halot et Cie, de Bruxelles . . . . .                                    | 375   |
| Description du filtre Cizek . . . . .                                                       | 375   |
| Filtre Cizek . . . . .                                                                      | 377   |
| Pompes à écumes . . . . .                                                                   | 378   |
| Régulateur de pression D. Legat . . . . .                                                   | 379   |
| <i>Filtration mécanique</i> . . . . .                                                       | 380   |
| Exposition Maguin . . . . .                                                                 | 381   |
| » de Fives-Lille et de MM. E. et J. Halot et Cie . . . . .                                  | 381   |
| Evaporation . . . . .                                                                       | 383   |
| Système de M. Rillieux . . . . .                                                            | 383   |
| Exposition de MM. E. et J. Halot et Cie, de Bruxelles . . . . .                             | 384   |

|                                                                                                              | Pages |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Exposition de Mariolle-Pinguet . . . . .                                                                     | 386   |
| Description d'un appareil à triple effet . . . . .                                                           | 386   |
| Exposition des anciens Établissements Cail . . . . .                                                         | 389   |
| » de la Compagnie de Fives-Lilles . . . . .                                                                  | 389   |
| » Chenailier . . . . .                                                                                       | 390   |
| » Horsin-Déon . . . . .                                                                                      | 390   |
| <b>Moulins à masse cuite</b> . . . . .                                                                       | 392   |
| Données générales . . . . .                                                                                  | 392   |
| <b>Turbinage</b> . . . . .                                                                                   | 393   |
| Exposition A. Thomas . . . . .                                                                               | 393   |
| Légende de la figure 35. — Salle de la cuite. — Magasin à sucre.<br>— Salle des turbines. — Emplis . . . . . | 395   |
| Exposition Van Gœthem, de Bruxelles . . . . .                                                                | 396   |
| <b>Extraction du sucre des mélasses</b> . . . . .                                                            | 396   |
| Considérations générales . . . . .                                                                           | 397   |
| Exposition de M. Manoury . . . . .                                                                           | 398   |
| » des anciens Établissements Cail . . . . .                                                                  | 399   |
| <b>Raffinage</b> . . . . .                                                                                   | 399   |
| Données générales . . . . .                                                                                  | 400   |
| <b>Casseries de sucre</b> . . . . .                                                                          | 402   |
| Données générales . . . . .                                                                                  | 402   |
| <b>Analyses</b> . . . . .                                                                                    | 403   |
| Remarques . . . . .                                                                                          | 404   |
| Appareil Hanriot . . . . .                                                                                   | 405   |
| Procédé Pellet . . . . .                                                                                     | 406   |
| Appareil Vivien . . . . .                                                                                    | 410   |
| Saccharimètres . . . . .                                                                                     | 413   |
| Exposition de M. Léon Laurent, à Paris . . . . .                                                             | 413   |
| Saccharimètre Laurent . . . . .                                                                              | 414   |
| » à lumière blanche . . . . .                                                                                | 415   |
| Colorimètre . . . . .                                                                                        | 417   |
| Exposition de la maison J. Duboscq, Ph. Pellin, successeur . . . . .                                         | 418   |
| Grand saccharimètre Soleil-Duboscq . . . . .                                                                 | 418   |
| Colorimètre . . . . .                                                                                        | 420   |
| Sucrerie de canne . . . . .                                                                                  | 420   |
| Données générales . . . . .                                                                                  | 421   |
| Exposition de la Compagnie de Fives-Lille . . . . .                                                          | 423   |
| Coupe cannes . . . . .                                                                                       | 423   |
| Diffuseurs . . . . .                                                                                         | 423   |
| Exposition des anciens établissements Cail . . . . .                                                         | 424   |
| » de M. Faure . . . . .                                                                                      | 424   |
| » Brissonneau, Derouable et Lotz . . . . .                                                                   | 424   |
| <b>Complément au matériel de sucrerie</b> . . . . .                                                          | 425   |
| Générateurs-machines. — Tuyauterie . . . . .                                                                 | 425   |
| Préliminaires . . . . .                                                                                      | 425   |

|                                                                                                                                     | Pages      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Robinet détendeur automatique, régulateur de pression (système D. Legat). . . . .                                                   | 425        |
| Clapet de la maison Montauban et Marchandier . . . . .                                                                              | 427        |
| Robinetterie . . . . .                                                                                                              | 428        |
| Scoupape allemande . . . . .                                                                                                        | 428        |
| Pompes . . . . .                                                                                                                    | 430        |
| Pompes de la Compagnie de Fives-Lille. . . . .                                                                                      | 430        |
| Pompes de la Société de constructions mécaniques de Saint-Quentin. . . . .                                                          | 430        |
| <i>Exposition des sucreries.</i> . . . .                                                                                            | 431        |
| France. . . . .                                                                                                                     | 431        |
| Arrondissement de Cambrai . . . . .                                                                                                 | 432        |
| Sucrerie de Bourdon. . . . .                                                                                                        | 432        |
| Sucrerie d'Escaudœuvre . . . . .                                                                                                    | 432        |
| Raffinerie Say . . . . .                                                                                                            | 433        |
| Raffinerie Parisienne . . . . .                                                                                                     | 433        |
| Maison Cossé-Duval de Nantes. . . . .                                                                                               | 433        |
| Russie. . . . .                                                                                                                     | 433        |
| Exposition de la maison J.-G. Kharitonenko et fils, à Soumy . . . . .                                                               | 434        |
| Exposition de la Raffinerie de Kiew . . . . .                                                                                       | 435        |
| Pays divers . . . . .                                                                                                               | 437        |
| Sucrerie de Canne . . . . .                                                                                                         | 437        |
| Expositions diverses. . . . .                                                                                                       | 437        |
| Conclusion . . . . .                                                                                                                | 437        |
| <br>                                                                                                                                |            |
| <b>Monographie du graissage des machines et du matériel roulant des chemins de fer, par M. Et. VERNY . . . . .</b>                  | <b>439</b> |
| <i>Introduction.</i> . . . .                                                                                                        | 439        |
| Analyse du phénomène du graissage; nature et cause du frottement en mécanique. . . . .                                              | 442        |
| Définition du frottement. . . . .                                                                                                   | 443        |
| »          »      de glissement . . . . .                                                                                           | 443        |
| »          »      de roulement . . . . .                                                                                            | 443        |
| Des lubrifiants. . . . .                                                                                                            | 444        |
| Le rôle du lubrifiant est de supporter toute l'usure due au frottement, au lieu et place des surfaces . . . . .                     | 444        |
| L'épaisseur de la couche du lubrifiant entre les surfaces peut suppléer à sa qualité . . . . .                                      | 445        |
| L'épaisseur de la couche du lubrifiant peut suppléer au manque d'étendue des surfaces . . . . .                                     | 446        |
| Difficulté d'interposition de l'huile, propriété de certaines huiles et des métaux mous antifricition d'adhérer davantage . . . . . | 446        |
| Préjudice causé aux machines par les poussières . . . . .                                                                           | 447        |
| <i>Graissage des tourillons</i> . . . . .                                                                                           | 448        |
| Circulation surabondante d'huile toujours pure . . . . .                                                                            | 448        |

|                                                                                                                                                   | Pages      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Alimentation surabondante des tourillons . . . . .                                                                                                | 448        |
| Interposition surabondante de l'huile entre les surfaces du tourillon et du coussinet. . . . .                                                    | 449        |
| Evacuation de l'huile hors des tourillons et sa récupération . . . . .                                                                            | 450        |
| Purification de l'huile . . . . .                                                                                                                 | 450        |
| Préservation des surfaces frottantes de tout contact des poussières extérieures . . . . .                                                         | 452        |
| Economie maximum de lubrifiant . . . . .                                                                                                          | 453        |
| De la graisse consistante employée comme lubrifiant. . . . .                                                                                      | 453        |
| <i>Valeur commerciale et pouvoir lubrifiant des diverses huiles . . . . .</i>                                                                     | <i>455</i> |
| Raisons qui doivent présider au choix du lubrifiant. . . . .                                                                                      | 455        |
| Méthode dynamométrique et nouveaux appareils à essayer et à titrer les huiles de graissage . . . . .                                              | 459        |
| <i>Dynamomètre de rotation de M. Leneveu . . . . .</i>                                                                                            | <i>459</i> |
| Ses applications générales . . . . .                                                                                                              | 459        |
| Description de dynamomètre. . . . .                                                                                                               | 459        |
| Indicateur des flexions du ressort . . . . .                                                                                                      | 463        |
| Organisation de l'attelage de plateaux . . . . .                                                                                                  | 465        |
| Compteurs de tours . . . . .                                                                                                                      | 468        |
| Cylindre enregistreur . . . . .                                                                                                                   | 469        |
| Tableau donnant sans calcul le travail en chevaux. . . . .                                                                                        | 470        |
| Diagramme . . . . .                                                                                                                               | 471        |
| Explication des diverses phases du diagramme: 1 <sup>re</sup> phase, marche du dynamomètre à vide. . . . .                                        | 472        |
| Deuxième phase, réglage des stylets compteurs . . . . .                                                                                           | 473        |
| Troisième phase, marche de la machine à vide . . . . .                                                                                            | 473        |
| Quatrième phase, durée de 1'45" environ, passe de 0 mm. 1. . . . .                                                                                | 473        |
| Cinquième phase, durée de 2', passe de 0 mm. 2. . . . .                                                                                           | 474        |
| Sixième phase, durée de 98" environ, passe de 0 mm. 3 . . . . .                                                                                   | 475        |
| Septième phase, durée 99" environ, passe 0 mm. 4 . . . . .                                                                                        | 475        |
| Huitième phase, durée 95" environ, passe de 1 millimètre. . . . .                                                                                 | 476        |
| Neuvième phase, durée 45", la machine marche à vide . . . . .                                                                                     | 476        |
| Essai des huiles . . . . .                                                                                                                        | 476        |
| Conduite des essais les plus usuels à 50 kilogrammes de charge par centimètre et à la température ordinaire . . . . .                             | 478        |
| Conduite des essais aux diverses charges et à la température ordinaire . . . . .                                                                  | 479        |
| Conduite des essais à la charge de 50 kilogrammes par centimètre et aux diverses températures. Essais des huiles pour machines à vapeur . . . . . | 480        |
| Conduites des essais dans le cas de fortes charges et de hautes températures simultanées . . . . .                                                | 481        |
| Manière d'établir l'échelle des coefficients d'onctuosité de l'huile d'olive sur les feuilles à diagrammes. . . . .                               | 481        |
| Vérification des indications de l'appareil. . . . .                                                                                               | 483        |
| Justification de la quantité d'huile de 0 gr. 20 adoptée comme quantité réglementaire pour les essais . . . . .                                   | 483        |

|                                                                                                                                                                                                                                                 | Pages |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <i>Autres applications de la méthode dynamométrique</i> . . . . .                                                                                                                                                                               | 484   |
| Perte de force correspondant à l'usure des tourillons et coussinets insuffisamment graissés. Perte de combustible sur les locomotives correspondant à l'usure courante des coussinets et fusée de wagon . . . . .                               | 485   |
| Diagramme obtenu avec un échantillon d'huile essayé à 50 kilogrammes de charge avec élévation de température de 14° à 80°. . . . .                                                                                                              | 485   |
| Comparaison des diverses méthodes et des divers appareils de graissage. Evaluation du préjudice causé par les poussières . . . . .                                                                                                              | 488   |
| <br><i>Engins graisseurs à grenaille appliquant le principe de la circulation surabondante d'huile toujours pure autour des tourillons</i> . . . . .                                                                                            |       |
| Données générales. . . . .                                                                                                                                                                                                                      | 489   |
| Propriétés de la grenaille . . . . .                                                                                                                                                                                                            | 490   |
| Moyen de régler les débits de l'huile circulant à travers la grenaille quelle que soit la qualité d'huile employée . . . . .                                                                                                                    | 490   |
| Propriétés de la plombagine qui la rendent éminemment propre à la filtration; filtre à grenaille de plombagine . . . . .                                                                                                                        | 493   |
| Description des godets graisseurs à grenaille de plombagine. . . . .                                                                                                                                                                            | 497   |
| Description des godets à grenaille de plomb . . . . .                                                                                                                                                                                           | 498   |
| Paliers graisseurs, série A, à récupération d'huile hors des paliers . . . . .                                                                                                                                                                  | 500   |
| »           »           » B, à circulation d'huile et à filtre automatique. . . . .                                                                                                                                                             | 502   |
| Poulies folles . . . . .                                                                                                                                                                                                                        | 503   |
| Têtes de bielles . . . . .                                                                                                                                                                                                                      | 504   |
| Glissières excentriques. . . . .                                                                                                                                                                                                                | 505   |
| Graisseurs à grenaille à débit continu et réglable à volonté . . . . .                                                                                                                                                                          | 505   |
| Série A à débit continu réglable à volonté et à compte-gouttes . . . . .                                                                                                                                                                        | 508   |
| Série H à tube niveau extérieur . . . . .                                                                                                                                                                                                       | 508   |
| Graisseurs pour roues d'artillerie. . . . .                                                                                                                                                                                                     | 509   |
| Description des boîtes transformées à circulation surabondante d'huile toujours pure. . . . .                                                                                                                                                   | 515   |
| Description des obturateurs à anneaux. . . . .                                                                                                                                                                                                  | 519   |
| Graisseurs à grenaille spéciaux pour locomotives, perte de combustible, en hiver surtout, due au graissage intermittent actuellement en usage. . . . .                                                                                          | 521   |
| Utilité d'un réservoir d'huile dans le dessus de boîte pour les locomotives . . . . .                                                                                                                                                           | 524   |
| Défaut de graissage en hiver, dû à l'épaississement de l'huile des boîtes; augmentation de résistance à la traction et perte de combustible en hiver sur les locomotives due à cette augmentation de résistance; ixomètres à grenaille. . . . . | 525   |
| <br><b>Note sur une disposition de machine à glace</b> par M. B. LEBRUN                                                                                                                                                                         |       |
| Préliminaires . . . . .                                                                                                                                                                                                                         | 533   |
| Pompe de compression. . . . .                                                                                                                                                                                                                   | 534   |
| Détermination des constantes physiques des gaz ammoniac par                                                                                                                                                                                     |       |

|                                                                                                                                     | Pages |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| le docteur Hans von Strombeck, traduit de l'allemand par<br>G. Richard, ingénieur civil. . . . .                                    | 539   |
| Introduction. . . . .                                                                                                               | 539   |
| Données générales . . . . .                                                                                                         | 540   |
| Expériences du Docteur von Strombeck. . . . .                                                                                       | 542   |
| Détermination de la chaleur spécifique du gaz ammoniac liquéfié                                                                     | 542   |
| Détermination de la chaleur totale, de la chaleur de vaporisation<br>et de la chaleur du liquide du gaz ammoniac liquéfié . . . . . | 544   |
| Tableau des résultats . . . . .                                                                                                     | 549   |
| Chaleur d'absorption de l'ammoniac . . . . .                                                                                        | 551   |
| Chaleur de combinaison du gaz ammoniac liquéfié et de l'eau . . . . .                                                               | 552   |
| Tableau d'expériences . . . . .                                                                                                     | 555   |
| Détermination de la chaleur spécifique C de l'ammoniac liquide . . . . .                                                            | 557   |
| »                    »                    de vaporisation de l'ammoniac liquide . . . . .                                           | 558   |
| »                    »                    d'absorption de l'ammoniac . . . . .                                                      | 560   |
| <i>Addition à l'air comprimé</i> . . . . .                                                                                          | 562   |
| Compresseur compound Riedler, type vertical . . . . .                                                                               | 563   |
| Clapets du compresseur vertical Riedler . . . . .                                                                                   | 563   |
| Compresseur Riedler, détail d'un fond de cylindre horizontal . . . . .                                                              | 563   |
| Moteur Popp à détente variable . . . . .                                                                                            | 564   |
| Vues de faces et coupe diamétrale par le régulateur . . . . .                                                                       | 564   |
| Coupe verticale diamétrale . . . . .                                                                                                | 565   |
| Détail de la levée du coin. . . . .                                                                                                 | 565   |
| Poêle Popp pour moteurs compound . . . . .                                                                                          | 567   |
| Installation d'un moteur compound avec un seul poêle . . . . .                                                                      | 567   |
| Poêle pour grands moteurs . . . . .                                                                                                 | 568   |

