

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 1900. Texte
Titre	Revue technique de l'exposition universelle de 1900
Numérotation	1, 1900 - 14, 1901
Adresse	Paris : E. Bernard et Cie, 1900-1901
Collation	14 vol. ; in-8
Nombre de volumes	14
Cote	CNAM-BIB 8 Xae 585
Sujet(s)	Exposition universelle (1900 ; Paris)
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8XAE585
LISTE DES VOLUMES	
	1. Première partie. Architecture et construction. Tome I
	2. Deuxième partie. Matériel et procédés généraux de la mécanique. Tome I
	3. Deuxième partie. Matériel et procédés généraux de la mécanique. Tome II
	4. Deuxième partie. Matériel et procédés généraux de la mécanique. Tome III
	5. Troisième partie. Électricité. Tome I
	6. Quatrième partie. Génie civil. Tome I
	7. Quatrième partie. Génie civil. Tome II
	8. Cinquième partie. Moyens de transport
	9. Sixième partie. Génie rural et industries agricoles et alimentaires. Tome I
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	10. Sixième partie. Génie rural et industries agricoles et alimentaires. Tome II
	11. Septième partie. Mines et métallurgie. Tome I
	12. Huitième partie. Industries textiles
	13. Neuvième partie. Industries chimiques et diverses
	14. Dixième partie. Armées de terre et de mer

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Titre	Revue technique de l'exposition universelle de 1900
Volume	10. Sixième partie. Génie rural et industries agricoles et alimentaires. Tome II
Adresse	Paris : E. Bernard et Cie, 1904
Nombre de vues	601
Cote	CNAM-BIB 8 Xae 585.10
Sujet(s)	Exposition universelle (1900 ; Paris) Réfrigération et appareils frigorifiques -- 19e siècle
Thématique(s)	Expositions universelles
Typologie	Revue
Langue	Français
Date de mise en ligne	06/10/2010
Date de génération du PDF	06/02/2026
Recherche plein texte	Disponible
Notice complète	https://www.sudoc.fr/154627488
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8XAE585.10

REVUE TECHNIQUE
DE
L'EXPOSITION UNIVERSELLE
DE 1900

COURBEVOIE

IMPRIMERIE E. BERNARD

14, RUE DE LA STATION

BUREAUX A PARIS : 29, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS

8^o 800 8^o 2a 585-5

Revue Technique

DE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

DE 1900

*Par un Comité d'Ingénieurs,
d'Architectes, de Professeurs et de Constructeurs*

Directeur

CH. JACOMET *

DIRECTEUR-INGÉNIEUR DES POSTES ET TÉLÉGRAPHES
DIRECTEUR
DE L'ÉCOLE PROFESSIONNELLE SUPÉRIEURE
EN RETRAITE

SIXIÈME PARTIE

Génie rural et Industries
agricoles et alimentaires

TOME II

PARIS

E. BERNARD, IMPRIMEUR-ÉDITEUR

29, Quai des Grands-Augustins, 29

1904

LES MACHINES A GLACE

A L'EXPOSITION DE 1900

La plupart des grandes fabriques d'appareils à glace ont placé tant dans la section même des machines à glace que dans les autres sections correspondantes à leurs applications, les appareils qu'elles construisent et ont cherché à mettre en valeur les différents avantages que présentent leurs appareils. Nous nous bornerons dans l'esquisse rapide que nous allons faire de cette Exposition à rappeler quelques-uns des types d'appareils exposés en renvoyant pour plus de détails aux corps de l'ouvrage dans lequel nous décrirons avec le plus de détails possibles les machines à glace actuelles et leurs applications aux différentes industries.

1° Machines à acide sulfureux

L'acide sulfureux chimiquement pur a été appliqué par Raoul Pictet à la production industrielle du froid, un certain nombre de constructeurs l'ont depuis appliqué dans des machines reposant sur ce système.

La **Compagnie industrielle des procédés Raoul Pictet** a exposé à la classe 53, en fonctionnement :

1° Un groupe, moteur et compresseur, d'une puissance de 30 000 frigories-heure, commande par contremainivelle.

2° Un groupe, moteur et compresseur, d'une puissance de 35 000 frigories-heure, commande en tandem, avec glissière directrice des tiges.

3° Un compresseur de 30 000 frigories (non fonctionnant), qui est le plus petit type que construise la maison.

4° Un groupe d'appareils à distiller l'eau, système « Montupet ».

5° Un groupe de compresseur et vérins à air comprimé appliqué au démoulage de la glace, système « *Curtis et Co* ».

Les moteurs employés sont du type « Pignot ». On a adopté ces moteurs à cause de leur excellente construction et de leur rendement, constituant, avec les appareils à acide sulfureux, un ensemble produisant la frigorification ou la glace, à un prix de revient pratiquement aussi réduit que possible.

Le corps employé comme agent frigorifique est l'anhydride sulfureux chimiquement pur fabriqué dans l'usine d'Anthy-Suchex (Haute-Savoie), la seule fabrique de ce produit chimiquement pur.

M. **Cambier** a exposé des machines à glace utilisant elles aussi l'anhydride sulfureux. Afin de les améliorer le plus possible, le constructeur a cherché dans ces appareils à réduire l'espace mort dans le cylindre à la fin de la course du piston et a établi une valve ou soupape qui se ferme aussitôt que le piston est à bout de course.

De plus la boîte à calfat présente une disposition particulière et le refroidissement des liquides frigorifiés est obtenu par ruissellement sur des réfrigérants genre Baudelot.

MM. **Delion et Lepeu** ont exposé des machines à glace portatives de petite production, 10 à 14 kg. de glace à l'heure et actionnées par machines motrices à pétrole ou à gaz.

2° *Machines à chlorure de méthyle*

Le chlorure de méthyle est employé comme agent de réfrigération dans les appareils de la maison Douane.

L'exposition faite par la maison **Douane** a pour idée maîtresse et directrice celle de faire ressortir que le constructeur assouplit ses appareils aux diverses exigences des industries qui utilisent le froid. Ce n'est pas seulement l'exposition d'un constructeur de machines à glace, mais celle d'un ingénieur qui se spécialise dans les applications du froid et qui désire attirer l'attention des personnes que la question intéresse sur les solutions qui ont été apportées par lui aux différentes applications du froid qu'il a eu à étudier.

On ne voit donc pas dans cette exposition d'usine à glace complète où figurent des engins accessoires tels que : pont-roulant, appareils de démoulage, appareils de remplissage, etc., qui sont évidemment très intéressants, mais qui sont du domaine de spécialistes et qui n'ont que

des points de contact avec les questions du froid et de la glace. Ces engins sont du reste d'autant plus parfaits que le fabricant qui établit une fabrique de glace veut bien mettre l'argent nécessaire à la disposition du constructeur. Ces divers engins, accessoires de fabriques de glace, n'ajoutent rien à la valeur même des appareils producteurs du froid.

Une autre préoccupation de la maison Douane a été de faire voir que son système d'appareils pouvait se construire d'une façon pratique pour de toutes petites productions de froid et de glace, suivant ainsi la voie tracée par une clientèle qui demande de plus en plus de petits appareils.

La maison Douane exposait donc :

1° *Un compresseur automoteur d'appareil n° 12 pour une production de 1000 à 1200 kg. de glace à l'heure ou l'équivalent en frigories.* — Ce compresseur se compose d'une machine à vapeur verticale à tiroir à détente dont l'arbre de couche est celui du compresseur juxtaposé à cette machine à vapeur. L'ensemble constitue un groupe compact, peu encombrant, doté d'une grande stabilité, d'une surveillance et d'un entretien faciles.

Le compresseur proprement dit, construit d'après des brevets récents présente pourtant cette modification qu'il est à tiroir.

Ce tiroir cylindrique est chargé de la fonction d'aspiration, le refoulement se faisant par les clapets placés sur le dit tiroir.

L'étanchéité de la tige du piston compresseur et de celle des tiroirs s'obtient au moyen d'une chambre à glycérine (telle qu'elle est décrite dans le brevet n° 253.933).

2° *Un appareil à glacer les liquides incongelables se troublant par le froid et filtration à froid de ces liquides.* — L'appareil se compose essentiellement de serpentins constituant un frigorifère (sur le principe de ceux décrits dans le brevet 253.933) permettant d'obtenir un développement considérable de nappes d'évaporation pour le liquide frigorifique, ce frigorifère est constitué par des anneaux incomplets de tube en cuivre qui sont reliés les uns aux autres par des liaisons verticales ces liaisons pénètrent d'une légère hauteur dans l'anneau supérieur, de telle sorte que le liquide coule de l'anneau supérieur à l'anneau inférieur lorsqu'il a déjà atteint un certain niveau dans cet anneau supérieur.

Le frigorifère est monté sur un plateau qui porte un agitateur central,

un thermomètre, une tubulure pour le tuyau d'extraction et une tubulure de remplissage, le plateau est monté sur 2 pieds qui servent de guide au récipient dans lequel on verse le liquide à glacer.

En fonctionnement normal ce récipient est fixé au plateau supérieur par des serre-joints qui permettent d'avoir un joint suffisamment étanche lorsqu'on veut extraire le liquide glacé pour qu'on puisse le faire au moyen de la pression d'air qui force le liquide à se rendre dans un filtre en passant par un tuyau plongeur allant jusqu'au fond.

Le reste de l'appareil est constitué par le compresseur liquéfacteur permettant de régénérer à l'état liquide les vapeurs du liquide réfrigérant provenant du frigorigère qui vient d'être décrit.

3° *Un appareil liquéfacteur automoteur d'appareil n° 5.*

4° *Un appareil n° 2 électromoteur pour une production de 10 à 12 kg. de glace à l'heure.* — Ce petit appareil est un de ceux qui sont les plus appréciés du public ; il permet d'obtenir, pour une marche de dix heures, 120 kg. de glace, soit en blocs, soit en carafes frappées.

Le groupement de cet appareil avec un électromoteur prend un emplacement relativement réduit, et permet de présenter à la clientèle des cafés et hôtels, aux hôpitaux, lycées, collèges, etc., le moyen de fabriquer eux-mêmes la glace et les carafes frappées, grâce au courant électrique qui se développe tous les jours de plus en plus jusque dans les plus petits centres.

6° *Un appareil n° 1. Automoteur à vapeur, type Marin.* — Ce petit appareil permet, en marchant jour et nuit comme il est facile de le faire sur les bateaux d'obtenir 100 à 120 kg. par jour. Il possède un petit moteur à vapeur qu'il suffit de relier à la conduite de vapeur du bateau.

Cet appareil ne diffère du type ordinaire que par les précautions qui ont été prises pour empêcher le liquide de s'épandre par le roulis et le tangage.

7° *Un appareil n° 0 produisant 2 kg. de glace à l'heure qui se construit sous 4 types différents :*

1. Avec frigorigère contenant la production de 5 heures, c'est-à-dire environ 10 kg. de glace en formation ;

2. Avec cartouche à glace instantanée.

3. Avec moteur à vapeur, frigorigère de 5 heures et cartouche à glace instantanée ;

4. Avec frigorigère à saumure ne contenant que la production d'une heure. (Ce type était exposé à la Classe 37.)

8° *Un appareil n° 1 avec cartouche instantanée.*

9° *Un appareil à dégorgier les vins de Champagne.* — Cet appareil a été établi spécialement pour montrer comment le constructeur a résolu le problème d'un petit appareil transportable dans les caves pour le dégorgement des vins de Champagne. Cette opération consiste, comme l'on sait, à geler le vin dans les goulots des bouteilles de Champagne dans la région où se forme le dépôt qu'il faut extraire lorsqu'on veut livrer le vin à la consommation.

L'appareil exposé est la combinaison du compresseur-liquéfacteur d'un appareil n° 0 avec un frigorigère spécial (du type de ceux décrits dans le brevet Douane n° 293.744).

10° *Un appareil n° 00.* — Une des dernières constructions de la maison Douane est celle du petit appareil à bras qu'elle a construit spécialement sur la demande du Ministère des Colonies; il est d'un type transportable et il permet à des troupes en marche, à des explorateurs, à des hôpitaux de campagne, etc. d'obtenir rapidement à bras d'homme de l'eau fraîche ou une certaine quantité de glace.

Ce petit appareil est intéressant par le groupement du compresseur avec son serpentín liquéfacteur combiné à un frigorigère (faisant l'objet du brevet n° 293.744).

Avec ce petit appareil la maison Douane livre des cartouches ou cylindres contenant 300 grammes de chlorure de méthyle. On peut avoir en réserve une certaine quantité de ces bouteilles formant un colis peu encombrant, ce qui permet de reconstituer très rapidement et très aisément la charge. En effet, il suffit de visser le bouchon écrou d'une de ces bouteilles au robinet spécial prévu pour défoncer une petite gouttelette d'étain qui bouche l'orifice d'écoulement, ce qui permet à cette bouteille ou cartouche de se vider immédiatement dans l'appareil.

On peut enlever facilement l'arbre des manivelles, l'engrenage et le volant, de façon à n'avoir que des colis très légers. Le poids de l'appareil n'atteint pas 60 kg.

Le même appareil peut être mù par courroie, et pour cela il suffit de supprimer l'arbre à manivelles et les engrenages et l'actionner directement par le volant du petit compresseur.

11° *Un appareil à distiller dans le vide.* — Cet appareil est destiné à la distillation de l'eau dans le vide en supprimant le contact de l'eau

distillée au moment de sa formation avec les gaz incondensables qui se dégagent de l'eau en ébullition dans un bouilleur.

On sait en effet qu'avec les appareils à distiller ordinaires, même dans le vide, il reste toujours une certaine quantité d'air qui se forme en petits tubes irradiants du centre dans les blocs obtenus. Ces petits tubes offrent l'inconvénient à la glace exposée à la fonte de multiplier les contacts avec l'air, et les fabricants de glace ont tout intérêt à supprimer ou à diminuer l'importance de ces petits tubes à air.

L'appareil exposé permet au mélange de vapeur et d'air sortant du bouilleur de se séparer par ordre de densité dans un séparateur placé à la suite du bouilleur et formant comme expansion de la conduite par laquelle les vapeurs se rendent au condenseur-réfrigérant de l'appareil à distiller.

A la partie basse du séparateur se trouve une aspiration de la pompe à vide, aspiration qui permet d'extraire la plus grande partie des gaz incondensables (tout au moins ceux qui sont plus lourds que la vapeur, notamment l'air) avant que cette vapeur ne se rende au condenseur réfrigérant.

Ce condenseur réfrigérant est constitué par un corps tubulaire vertical dont la partie haute sert de condenseur et la partie basse de réfrigérant.

Il est évident qu'un appareil à distiller de l'eau destinée à faire de la glace doit prévoir une réfrigération exceptionnelle de cette eau distillée, de façon à ne pas introduire dans les mouleaux de l'eau trop chaude. Grâce à la disposition adoptée dans ces appareils, disposition qui fait couler l'eau condensée à la partie basse du corps tubulaire par un tuyau formant siphon, on obtient en permanence à cette partie basse du corps tubulaire une certaine colonne d'eau distillée qui est réfrigérée par l'eau de condensation à basse température arrivant par le bas du corps tubulaire.

L'appareil se complète d'un réservoir à eau distillée et d'un appareil de remplissage fort simple qui permet de remplir les mouleaux sans mettre la totalité de l'eau distillée en contact avec l'air.

Enfin dans les autres classes la maison Douane exposait un certain nombre d'applications de ces machines au démoulage du chocolat (Cl. 53) à la laiterie et à la conservation des denrées alimentaires (Cl. 37), etc.

3° *Machines à ammoniacque*

Les machines à ammoniacque peuvent utiliser deux systèmes : soit employant l'ammoniacque anhydre et se servant de ce gaz comme dans toute autre machine de l'anhydride sulfureux ou de l'anhydride carbonique, soit utilisant la très grande solubilité de l'ammoniacque dans l'eau et se servant de cette propriété pour supprimer le compresseur et fabriquer des machines présentant un dispositif tout spécial. Cette forme particulière n'est d'ailleurs utilisée que dans un nombre très restreint de systèmes.

M. Henri Rouart, de Montluçon, successeur de *Mignon et Rouart* et de *Rouart frères* est en effet le seul constructeur qui ait exposé des machines à affinité. C'est ainsi que l'on pouvait voir parmi ses appareils une machine à affinité produisant 200 kg. de glace à l'heure ou 20 000 frigories.

M. H. Rouart construit aussi des appareils à compression d'ammoniacque. C'est ainsi que son exposition de la classe 55 comprenait en outre de la machine que nous venons de signaler : 1° Une machine à compression actionnée par courroie d'une production de 200 à 250 kg. de glace à l'heure (20 000 à 25 000 frigories).

2° Une machine à compression type marine produisant 2 500 à 3 000 frigories actionnée directement par une machine à vapeur.

3° Un coagulateur à glace transparente avec agitation dans les vases.

4° Une enseigne givrée obtenue par détente directe du gaz ammoniac.

5° Une caisse disposée pour la conservation de la viande et dont la température peut être fortement abaissée par l'emploi d'un mélange de glace et de sel.

6° Enfin de petits appareils domestiques (à affinité) d'une production de 1 à 2 kg. par opération.

MM. Roussel et Duponchelle, de Lille, construisent des machines à compression à ammoniacque et leur exposition comprenait :

1° Une machine frigorifique de 50 000 frigories à l'heure fonctionnant par détente directe.

2° Deux pompes Greindl de 400 et 200 litres de débit par minute avec élévation de l'eau à 25 m.

Le compresseur de la machine à glace est particulièrement intéressant

par la suppression du bourrage de la tige du piston dont l'étanchéité, jamais certaine, est la plus grande cause de pertes.

A ce sujet le rapport du jury international de l'Exposition de 1900 s'exprime ainsi :

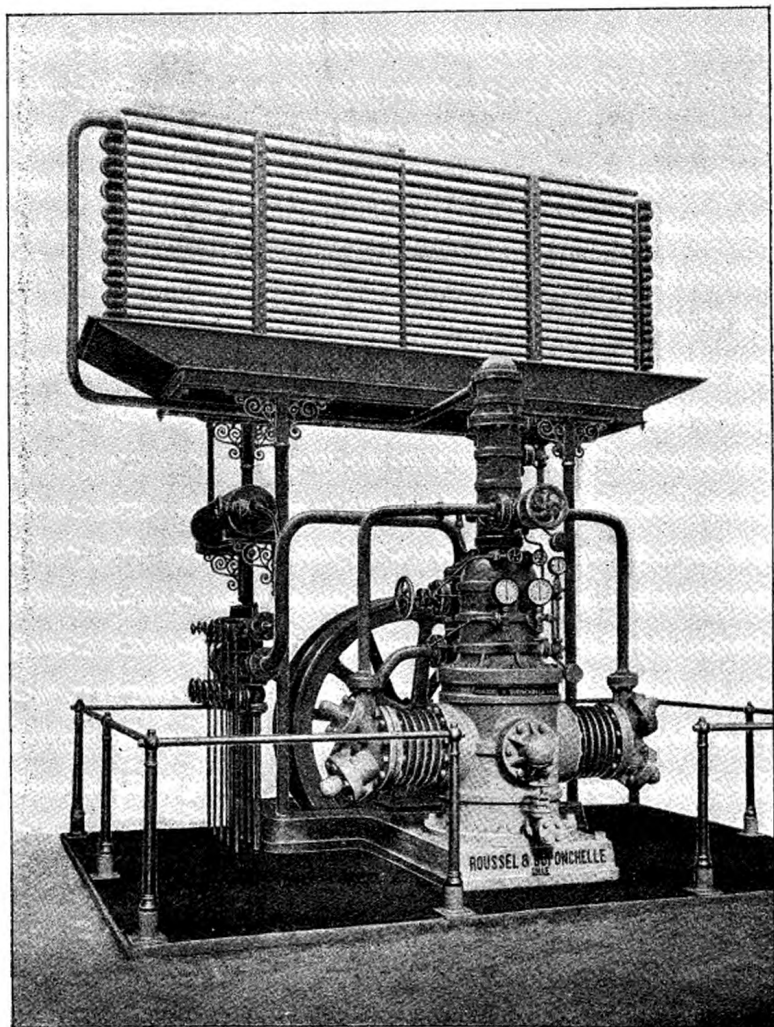
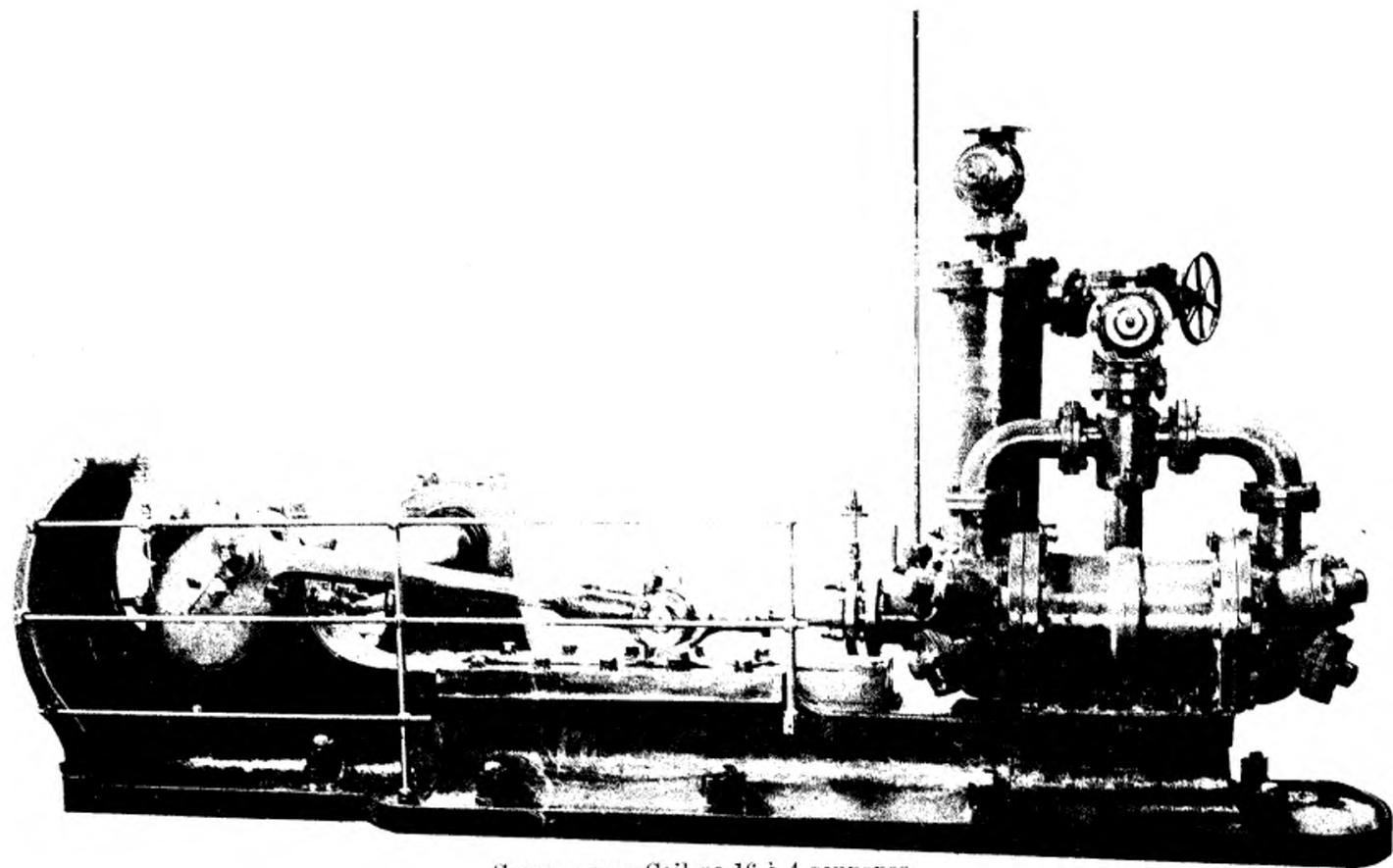


Fig. 1. — Exposition de la maison Roussel et Duponchelle.

« Au lieu d'un compresseur à double effet, celui-ci a été transformé en deux corps de pompe à simple effet dont les deux pistons opposés sont



Compresseur Cail n° 16 à 4 soupapes.

réunis en leur milieu par une coulisse verticale dans laquelle fonctionne le coulisseau du tourillon central d'un arbre coudé dont les tourillons d'appui tournent d'un côté dans une boîte fermée, de l'autre dans un presse-étoupe d'une grande longueur. L'extrémité extérieure de l'arbre

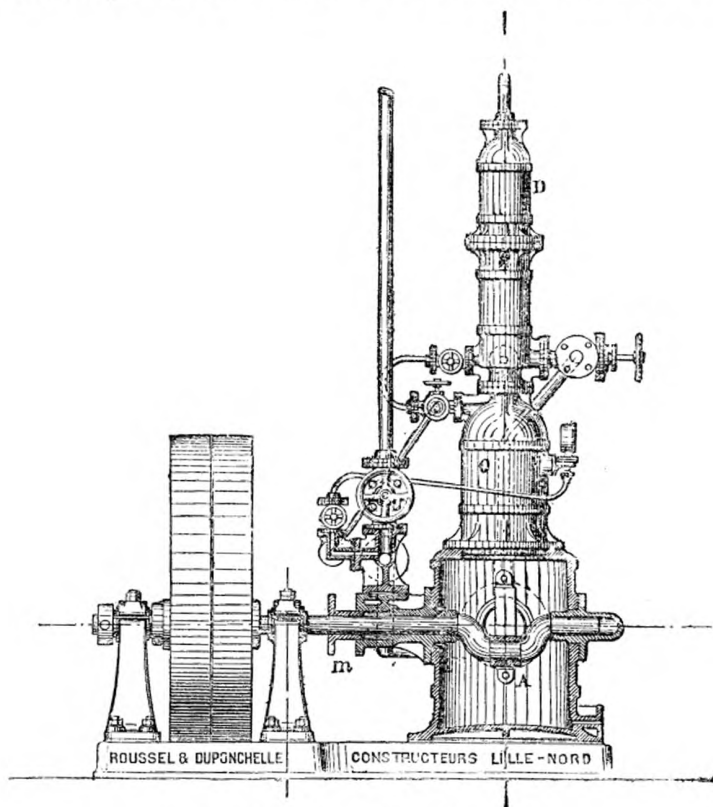


Fig. 2. — Coupe suivant l'axe de l'arbre couché.

est portée par deux supports à coussinets en bronze entre lesquels tournent deux poulies, l'une, poulie volant fixe, l'autre poulie volant folle pour l'arrêt de l'appareil.

« L'intérieur du bâti réunissant les deux cylindres à simple effet est rempli d'huile. Cette huile a le double avantage d'assurer le parfait fonctionnement de l'articulation de l'arbre coudé avec les pistons, tout en donnant à ceux-ci une étanchéité parfaite; de plus le peu d'huile qui

peut s'introduire dans les cylindres pendant la période d'aspiration remplit les espaces nuisibles compris entre les fonds des cylindres et l'extrémité des pistons.

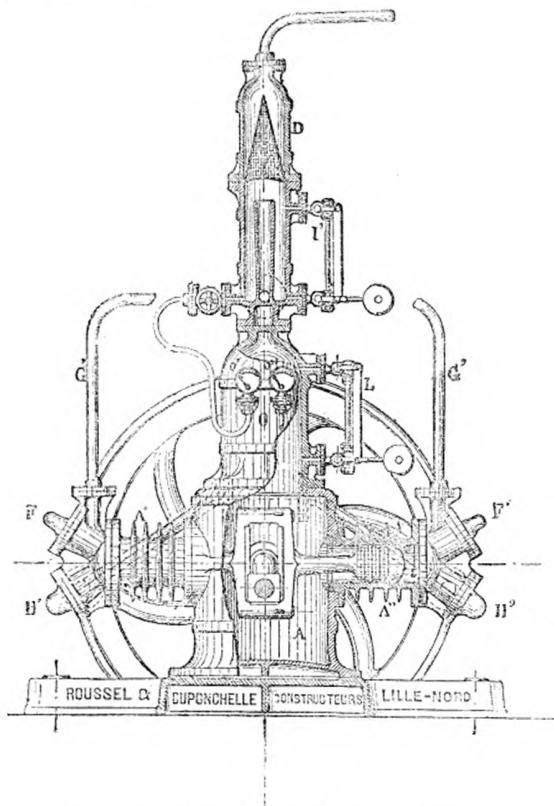


Fig. 3. — Coupe perpendiculaire à l'axe de l'arbre couché.

« Tout le mouvement baignant dans l'huile on obtient la lubrification parfaite de tous les frottements et on réduit les résistances au minimum.

« Sur la partie supérieure du compresseur est placé un récipient séparateur de l'huile entraînée; en outre, avant de se rendre au condenseur, l'ammoniaque passe par un filtre en toile métallique qui retient les dernières traces d'huile.

Le froid produit par la détente est utilisé directement selon les nécessités diverses des industries qui l'emploient.

M. Lebrun de Nimy a exposé un appareil analogue fonctionnant aussi à compression au moyen de l'ammoniaque anhydre.

Le refroidissement des locaux et des caves est obtenu par des serpentins en acier, suspendus à la partie supérieure de ces salles; dans ces serpentins circulent les liquides refroidis.

Les **machines Linde** étaient aussi brillamment représentées.

Le matériel exposé par la **Société française de construction mécanique (Anciens Etablissements Cail)** comprenait :

1° Une installation complète dite n° 10 (compresseur d'ammoniaque, condenseur-réfrigérant et conduites d'ammoniaque) correspondant à une production à l'heure à — 3° de 10 000 frigories.

2° Un compresseur d'ammoniaque dit n° 16 destiné à une installation pouvant produire à l'heure à — 3° 220 000 frigories.

3° Des dessins donnant l'ensemble d'une usine récemment installée à Paris pour une production d'environ 30 000 kg. de glace transparente en 24 heures.

4° Des photographies de divers appareils.

La production du froid dans les machines Linde est due à l'évaporation de l'ammoniaque liquide anhydre, dont les vapeurs sont reliquifiées par compression et sans déperdition.

Pour réaliser ce cycle très simple, la machine comprend toujours les mêmes trois appareils :

Le réfrigérant composé de serpentins en fer d'une seule pièce dans lesquels s'évapore l'ammoniaque liquide, cette évaporation produit le refroidissement des liquides environnants (eau ou solution saline incongelable suivant le cas). La disposition du réfrigérant varie pour chaque application spéciale.

Le compresseur, pompe aspirante et foulante qui aspire les vapeurs ammoniacales dans le réfrigérant et les refoule dans le condenseur

Le condenseur, composé, comme le réfrigérant, de serpentins en fer d'une seule pièce, dans lesquels les vapeurs ammoniacales comprimées se condensent sous l'influence de la pression et de l'eau qui circule à l'extérieur.

L'ammoniaque reliquifié retourne alors au réfrigérant par un robinet régulateur spécial.

Le réfrigérant de la machine exposée est disposé pour *refroidir un liquide* destinée à transporter le froid à de grandes distances dans des tuyaux spéciaux. (*Brasseries, congélation des puits, etc...*).

Dans la fabrication de la glace, le réfrigérant cylindrique est remplacé par une cuve rectangulaire ou bac à glace, contenant les mouleaux à congeler ces mouleaux sont remplis d'eau de source ou d'eau distillée. Avec l'eau de source on fait de la glace transparente lorsque les mouleaux sont pourvus d'agitateurs. Avec l'eau distillée on obtient une glace transparente encore plus belle lorsque les appareils, ceux par exemple, exposés, sont pourvus d'un dispositif spécial permettant d'enlever les dernières traces d'air.

Pour le refroidissement de l'air pour entrepôts frigorifiques, fabriques de fromages, fabriques de beurre, etc..., on emploie des appareils rotatifs (brevetés S. G. D. G.) dans lesquels l'air vient se refroidir au contact de disques tournants plongeant d'une certaine quantité dans le réfrigérant à cuve rectangulaire. Cet appareil est le seul avec lequel il soit possible d'obtenir un degré hygrométrique variable et convenant à chaque installation.

L'installation complète exposée, dite n° 10, est capable de produire à — 5° 40 000 frigories (ou l'équivalent en glace) avec une force de 12 chevaux et une consommation d'eau de condensation de 50 hectolitres à l'heure, la température de cette eau étant supposée égale à + 10°.

Le compresseur n° 16 fait partie d'une installation pouvant produire 220 000 frigories (ou l'équivalent en glace) avec une force de 62 chevaux et une consommation d'eau de condensation de 320 hectolitres à l'heure, la température de cette eau étant supposée à + 10°.

La maison Linde construit 18 numéros de machines dont la puissance varie de 2 000 à 330 000 frigories à l'heure.

Dessins d'une usine frigorifique. — L'installation que représentaient les dessins exposés comprenait deux groupes de machines composés chacun de :

Une machine à détente Corliss-Reynolds, type Allis, avec cylindre de 406 + 1067 millimètres.

Deux compresseurs de 500 kg. à l'heure.

Un générateur à glace de 1000 kg. à l'heure.

Un condenseur à ruissellement.

La vapeur d'échappement de la machine est dirigée dans une série d'appareils spéciaux où elle est filtrée et condensée ; puis l'eau distillée en provenant et dépouillée d'air, est refroidie. Cette eau distillée est ensuite envoyée dans un bac filtre, d'où elle descend dans les mouleaux

du générateur à glace; là elle se transforme en blocs de 25 kg. parfaitement transparents.

La Société française de Constructions mécaniques exposait aussi une machine à froid système Linde spécialement aménagée pour navires. Elle est établie en vue d'occuper le moins de place possible tout en permettant une installation des plus simples et assurant un fonctionnement absolument certain même dans les pays les plus chauds.

En général les installations frigorifiques à bord des navires se composent de deux parties séparées (abstention faite de la chaudière à vapeur.

1° *Le réfrigérant ou générateur à glace;*

2° *La machine à vapeur, le compresseur d'ammoniaque, le condenseur d'ammoniaque et la pompe à eau de condensation ; le tout monté sur un robuste bâti en fonte.*

Les principaux avantages de ces machines marines sont les suivants :

1° En vue de la température élevée de l'eau de condensation sous les tropiques, et de la forte pression qui en résulte, la compression des vapeurs ammoniacales est effectuée suivant le procédé de compression compound (breveté S. G. D. G.), ce qui permet une diminution de la pression sur le côté du cylindre compresseur portant le presse-étoupes (d'où réduction considérable des pertes d'ammoniaque) et ce qui supprime presque complètement l'influence des espaces nuisibles sur l'effet utile du compresseur ;

2° L'application du système compound permet (dans le cas de fabrication de glace) d'employer un réfrigérant spécial pour refroidir préalablement l'eau qui doit être congelée ainsi que l'ammoniaque liquide, sans que pour cela la quantité d'ammoniaque évaporée dans le réfrigérant proprement dit soit diminuée ;

3° Les serpents du condenseur sont disposés dans le bâti de la machine de façon à pouvoir être facilement enlevés et nettoyés, de sorte que l'emploi d'une eau boueuse ne présente aucun danger de perturbation dans la marche de la machine ;

4° Le réglage de l'ammoniaque a lieu à l'aide d'un appareil automatique, de sorte que les soins à donner aux machines se bornent au graissage des organes en mouvement ;

5° Le moteur, le compresseur, le condenseur et la pompe à eau de condensation étant réunis sur un seul bâti, le tout peut être expédié

complètement monté ; la machine ne nécessitant aucune fondation, son installation est beaucoup plus simple et plus économique que celle d'une machine de construction courante.

Dans le cas particulier de la machine exposée, le réfrigérant est appliqué au refroidissement direct de l'air en vue de la conservation de produits alimentaires.

Ce réfrigérant est placé dans une caisse suspendue au plafond de la chambre à refroidir, dans laquelle la circulation de l'air est assurée au moyen d'un ventilateur et d'ouvertures d'entrée et de sortie convenablement disposées.

Toute la chambre et les produits alimentaires qui l'occupent sont littéralement baignés dans le courant d'air, et grâce à la circulation énergique de l'air la température est constante en tous les points de la chambre.

La production de cette machine en marche normale est de 25000 frigories à -5° (ou l'équivalent en glace) avec une force de douze chevaux et une consommation d'eau de 80 hectolitres à l'heure, la température de l'eau étant de $+23^{\circ}$ C.

Six types différents de ces machines peuvent être construits dont la puissance varie entre 2300 et 40 000 frigories.

La **Société des machines à glace Linde**, à Wiesbaden, a exposé des modèles représentant les principales applications du froid artificiel par son système.

1^o Entrepôt frigorifique refroidi par détente directe de l'ammoniaque dans des tuyaux à ailettes et par ventilation d'air refroidi; disposition des entrepôts d'Anvers et de Leipzig.

2^o Entrepôt pour la conservation des viandes refroidi par de l'air ayant circulé dans un appareil à disques rotatifs toujours recouverts d'eau salée à basse température (disposition de l'entrepôt de Wiesbaden)

3^o Fabrique de glace de Barmen.

4^o Brasserie à fermentation basse.

La caractéristique de ces appareils est en somme l'adoption de la méthode de ruissellement dans les condenseurs et réfrigérants ainsi que des tuyaux à ailettes comme surface frigorifiée.

Les **Appareils Fixary** exposés formaient deux groupes distincts : l'un figurant dans un pavillon spécial situé à l'entrée de la salle des machines de la Section Française, l'autre figurant à l'Exposition de la Brasserie Française, près de la Salle des Fêtes.

Pavillon. — Les appareils exposés dans le pavillon comprenaient :

Un compresseur du type de 750 kg. de glace à l'heure, actionné par un moteur à gaz de 30 chevaux.

Un grand condenseur atmosphérique à ruissellement et évaporation, également du type de 750 kg. de glace à l'heure.

Un congélateur à glace transparente du type de 200 kg. de glace à l'heure, avec démoulage et remplissage mécaniques des mouleaux à glace, chariot roulant, table de démoulage, etc.

Les appareils à distiller pour la fabrication de la glace pure et hygiénique par emploi de vapeur condensée.

Un réfrigérant à eau glacée, genre Baudelot, pour le refroidissement des liquides (bière, lait, etc.).

Une chambre froide refroidie par un frigorifère à ventilation d'air pur système Fixary, où l'on conservait à l'état frais et sans congélation divers produits alimentaires.

Une chambre refroidie par détente directe du gaz dans des batteries de tubes suspendus à la voûte.

Un débit d'eau refroidi à $+ 2^{\circ}$ pour le service de table, avec épuration de l'eau par le filtre Chamberland-Pasteur.

Un petit congélateur de 20 kg. à l'heure pour la congélation rapide et intense, à $- 20^{\circ}$ (fabrication des sorbets, carafes frappées, parfums, etc.).

Le groupe exposé à la Brasserie Française comprenait :

Un compresseur du type de 250 kg. à l'heure, actionné par dynamo réceptrice de la force de 15 chevaux.

Un condenseur à ruissellement et à évaporation de même puissance.

Une cuve réfrigérante du type de 200 kg., pour le refroidissement à basse température d'un liquide incongelable.

Une pompe pour la circulation de ce liquide dans la grande cave de la Brasserie Française.

Les batteries de serpentins et de tuyaux installés dans la dite cave et parcourus par le liquide incongelable.

Un congélateur à glace transparente par agitation de l'eau durant sa congélation, avec remplissage et démoulage mécaniques des blocs de glace.

Les appareils exposés à la Brasserie Française complétaient ceux exposés dans le pavillon spécial, et l'exposition résumait les principales applications industrielles du froid, sous toutes ses formes, savoir :

1° Fabrication de la glace transparente, pure et hygiénique par emploi de vapeur condensée, c'est-à-dire d'eau distillée.

2° Fabrication de la glace transparente par agitation de l'eau durant la congélation, système employé chaque fois que l'on dispose de bonne eau potable pour la congélation.

3° Refroidissement de tous locaux et conservation à l'état frais de tous produits alimentaires par ventilation d'air pur et convenablement séché.

4° Refroidissement à $+ 3^{\circ}$ de locaux et caves de brasseries par circulation de liquide incongelable dans des tuyaux suspendus aux plafonds.

5° Refroidissement à basse température, — 4° à — 6° , de locaux et entrepôts pour la conservation de produits gelés, par la détente directe du gaz ammoniac dans les serpentins.

6° Refroidissement direct, par ruissellement sur surfaces parcourues par le gaz détendu, ou par liquide incongelable, de tous liquides tels que : eau, bière, vin, lait, etc.

7° Congélation à basse température ($- 20^{\circ}$) pour la fabrication de sorbets, carafes frappées, épurations de parfums, séparations de tous corps gras, etc.

8° Distribution d'eau glacée avec filtre Pasteur pour service de tables de : restaurants, hôtels, paquebots, navires de guerre, service des hôpitaux, etc.

4° Machines à acide carbonique

MM. Nollet-Fontaine de Lille ont exposé une machine à glace fonctionnant par la détente de l'acide carbonique liquéfié.

La machine se compose des mêmes éléments que les machines à compression à acide sulfureux ou à ammoniacale. Signalons en particulier la lubrification des cylindres du compresseur s'opérant par une injection de glycérine faite au moyen d'une pompe dans les cylindres.

La Maison **Escher Wyss** de Zurich a exposé aussi une machine à glace à acide carbonique actionnée directement par son moteur.

La machine avait une puissance de 500 kg. de glace à l'heure, la produisant sous forme de mouleaux de 25 kg.

La figure ci-jointe montre la disposition de l'appareil (fig. 4).

La machine à vapeur motrice est placée au centre de l'appareil.

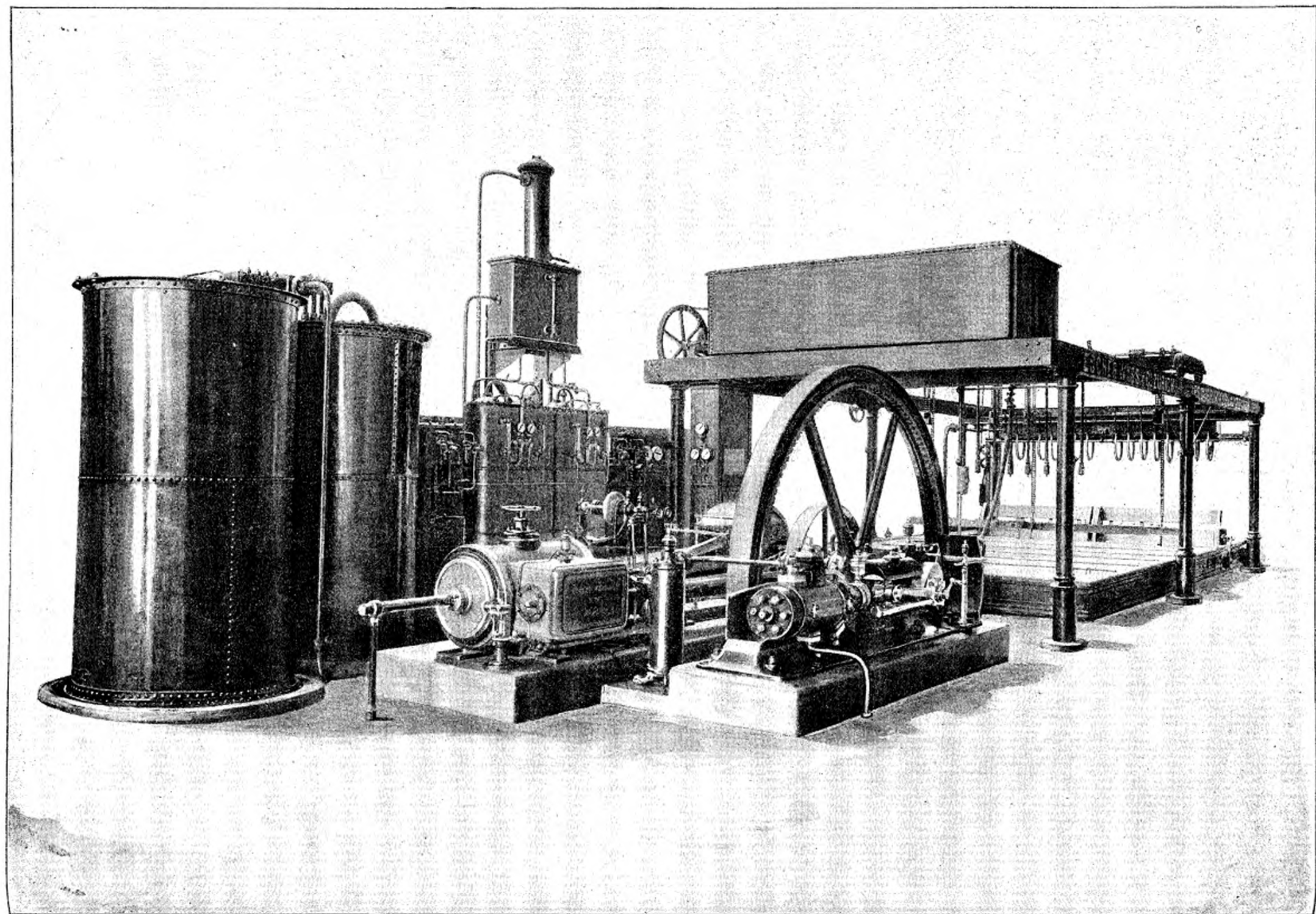
Sur la gauche se voient le grand condenseur avec à côté un conden-

seur complémentaire. A côté des condenseurs et à la partie supérieure se trouve le bouilleur désaéreur surmonté d'une colonne constituant un petit condenseur faisant partie de l'appareil destiné à la distillation de l'eau pour la fabrication de la glace transparente. Les séries de mouleaux étaient remplies pour une moitié avec de l'eau ordinaire et pour l'autre moitié avec de l'eau distillée. Il en résultait que pour chaque série de 16 mouleaux, 8 étaient de glace opaque et 8 de glace transparente.

Sur la droite enfin, en avant, on voit le compresseur ; en arrière, le générateur de glace enterré ; au-dessus de lui le réservoir réfrigérant de l'eau distillée avec l'appareil de remplissage des mouleaux par le fond.

La Machine à glace Escher Wyss était la plus puissante de toutes celles exposées ; elle suffisait à elle seule et bien au delà à la fourniture totale de la glace du Village Suisse.

Signalons enfin pour compléter cette revue rapide des machines frigorifiques exposées en 1900, les petits appareils pour la fabrication des glaces et des sorbets et les glaciers exposés par *Barboux frères* de Paris, *Baron* de Luçon (Vendée), *Bartín* de Paris, *Couturier* de Paris, *Jouy* de Paris, etc.



PREMIÈRE PARTIE

LES MACHINES FRIGORIFIQUES

CHAPITRE PREMIER (1)

LA PRODUCTION DU FROID

La nécessité d'abaisser la température des gaz et des liquides, de l'eau en particulier, de produire de la glace, est établie non seulement par des besoins d'hygiène et de confortable, mais aussi par un grand nombre d'industries qui réclament dans tout ou partie de leur travail une réfrigération plus ou moins considérable. Les applications diverses de la glace et des machines frigorifiques devenant chaque jour de plus en plus nombreuses, les industries du froid ont pris un développement intense et les moyens employés pour abaisser la température d'un milieu se sont aussi multipliés en devenant de plus en plus économiques et pratiques. Il faut, pour refroidir un corps, pour abaisser sa température, lui enlever une certaine quantité de chaleur ; cette quantité de chaleur doit être généralement absorbée par les corps en relation directe de

(1) Au début de ce travail, je suis heureux de remercier tous ceux, MM. Douane, Lambert, etc., qui ont bien voulu me confier clichés et documents. C'est en particulier à M. Lacombe que je dois bon nombre de renseignements inédits et de judicieux conseils qu'il m'a donné très aimablement et très largement.

contact ou de radiation avec le corps à refroidir, avec une source de froid. C'est là un phénomène inverse de celui qui consiste à provoquer l'échauffement d'un corps, l'élévation de sa température. On utilise dans les deux cas une même réaction; mais dans le second cas, c'est l'échauffement d'un corps par le corps en contact perdant de la chaleur qui est le phénomène intéressant. Dans le premier cas, celui qui nous occupe, on cherche à obtenir au contraire le refroidissement même d'un corps par contact avec un milieu plus froid.

Les quantités de chaleur qui entrent en jeu dans les réactions thermiques sont presque toujours notées en *calories*: cette unité représentant la quantité de chaleur nécessaire pour élever 1 kg. d'eau de la température de 0° à celle de 1° C. et l'on désigne quelquefois sous le nom de *frigorie* une calorie négative. Une machine qui, au lieu de produire une certaine quantité de chaleur abaisse, au contraire, la température d'une enceinte produit, par suite, des calories négatives, des frigories. Les machines à froid sont des machines productrices de frigories.

Un corps qui reçoit une certaine quantité de chaleur a une température qui s'élève. Au contraire, un corps qui fournit de la chaleur a une température qui s'abaisse. On mesure les températures au moyen de thermomètres dans lesquels les quantités de chaleur qui entrent en jeu font varier le volume d'un liquide, mercure ou alcool.

La température d'un milieu est indiquée par le degré que le mercure atteint sur l'échelle thermométrique lorsque l'appareil est plongé dans l'intérieur de ce milieu.

Tous les thermomètres ne donnent pas les mêmes indications, car trois graduations de ces appareils sont actuellement employées. Les thermomètres centigrades (encore appelés *Celsius*) particulièrement employés en France, dans lesquels l'intervalle qui sépare le point de fusion de la glace et le point d'ébullition de l'eau est partagé en 100 parties égales; les thermomètres Réaumur sont particulièrement employés en Allemagne et ont la même étendue thermique divisée en 80 degrés; les thermomètres Fahrenheit enfin, dont on se sert surtout en Angleterre et en Amérique, marquent 0° dans un mélange de glace et de sel et 212° à la température d'ébullition de l'eau. Nous donnons dans le tableau ci-après les points de comparaison de ces trois échelles.

Tableau comparatif des échelles thermométriques.

Centigrade	Réaumur	Fahrenheit	Centigrade	Réaumur	Fahrenheit	Centigrade	Réaumur	Fahrenheit
— 30	— 24,0	— 22,0	44	41,2	57,2	58	46,4	136,4
— 29	— 23,2	— 20,2	45	42,0	59,0	59	47,2	138,2
— 28	— 22,4	— 18,4	46	42,8	60,8	60	48,0	140,0
— 27	— 21,6	— 16,6	47	43,6	62,6	61	48,8	141,8
— 26	— 20,8	— 14,8	48	44,4	64,4	62	49,6	143,6
— 25	— 20,0	— 13,0	49	45,2	66,2	63	50,4	145,4
— 24	— 19,2	— 11,2	50	46,0	68,0	64	51,2	147,2
— 23	— 18,4	— 9,4	51	46,8	69,8	65	52,0	149,0
— 22	— 17,6	— 7,6	52	47,6	71,6	66	52,8	150,8
— 21	— 16,8	— 5,8	53	48,4	73,4	67	53,6	152,6
— 20	— 16,0	— 4,0	54	49,2	75,2	68	54,4	154,4
— 19	— 15,2	— 2,2	55	50,0	77,0	69	55,2	156,2
— 18	— 14,4	— 0,4	56	50,8	78,8	70	56,0	158,0
— 17	— 13,6	1,4	57	51,6	80,6	71	56,8	159,8
— 16	— 12,8	3,2	58	52,4	82,4	72	57,6	161,6
— 15	— 12,0	5,0	59	53,2	84,2	73	58,4	163,4
— 14	— 11,2	6,8	60	54,0	86,0	74	59,2	165,2
— 13	— 10,4	8,6	61	54,8	87,8	75	60,0	167,0
— 12	— 9,6	10,4	62	55,6	89,6	76	60,8	168,8
— 11	— 8,8	12,2	63	56,4	91,4	77	61,6	170,6
— 10	— 8,0	14,0	64	57,2	93,2	78	62,4	172,4
— 9	— 7,2	15,8	65	58,0	95,0	79	63,2	174,2
— 8	— 6,4	17,6	66	58,8	96,8	80	64,0	176,0
— 7	— 5,6	19,4	67	59,6	98,6	81	64,8	177,8
— 6	— 4,8	21,2	68	60,4	100,4	82	65,6	179,6
— 5	— 4,0	23,0	69	61,2	102,2	83	66,4	181,4
— 4	— 3,2	24,8	70	62,0	104,0	84	67,2	183,2
— 3	— 2,4	26,6	71	62,8	105,8	85	68,0	185,0
— 2	— 1,6	28,4	72	63,6	107,6	86	68,8	186,8
— 1	— 0,8	30,2	73	64,4	109,4	87	69,6	188,6
0	0,0	32,0	74	65,2	111,2	88	70,4	190,4
1	0,8	33,8	75	66,0	113,0	89	71,2	192,2
2	1,6	35,6	76	66,8	114,8	90	72,0	194,0
3	2,4	37,4	77	67,6	116,6	91	72,8	195,8
4	3,2	39,2	78	68,4	118,4	92	73,6	197,6
5	4,0	41,0	79	69,2	120,2	93	74,4	199,4
6	4,8	42,8	80	70,0	122,0	94	75,2	201,2
7	5,6	44,6	81	70,8	123,8	95	76,0	203,0
8	6,4	46,4	82	71,6	125,6	96	76,8	204,8
9	7,2	48,2	83	72,4	127,4	97	77,6	206,6
10	8,0	50,0	84	73,2	129,2	98	78,4	208,4
11	8,8	51,8	85	74,0	131,0	99	79,2	210,2
12	9,6	53,6	86	74,8	132,8	100	80,0	212,0
13	10,4	55,4	87	75,6	134,6			

Quand deux corps sont mis en contact, ils tendent donc vers une égalité de température, vers une égalité de niveau thermométrique et la température finale ne sera nécessairement pas la moyenne des deux températures extrêmes. Deux autres facteurs entrent également en jeu : le poids des deux substances et leur chaleur spécifique, c'est-à-dire la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température de l'unité de poids depuis 0° jusqu'à 1°.

Si P est le poids du corps le plus chaud, c sa chaleur spécifique, t sa

température initiale, t' sa température finale, la quantité de chaleur q qu'il perd est donnée par l'expression :

$$q = Pc(t - t')$$

Si P' est le poids du corps le plus froid, c' sa chaleur spécifique, t sa température initiale, la quantité de chaleur qu'il aura gagnée est égale à la précédente et égale à

$$q = P'c'(t' - t_1)$$

D'où

$$Pc(t - t') = P'c'(t' - t_1)$$

$$t' = \frac{Pct - P'c't_1}{P'c' - Pc}$$

La congélation de l'eau exige un refroidissement plus énergique, car la quantité de chaleur que dégage la glace en se formant est considérable. La chaleur de fusion de la glace étant φ , la quantité de chaleur dégagée par un poids P de glace en fondant sera $P\varphi$, et la quantité de chaleur nécessaire pour produire ce même poids de glace sera aussi $P\varphi$. En pratique, φ chaleur latente de fusion de 1 kg. de glace étant de 79,25 calories, la quantité de frigories θ nécessaire pour congeler un poids P d'eau est donc de

$$\theta = 79,25 P$$

L'abaissement de température, l'absorption de chaleur et, par suite, la production de frigories peuvent être obtenus par trois moyens différents :

1° L'emploi de mélanges dits *mélanges réfrigérants* produisant un certain abaissement de température, abaissement variable, d'ailleurs, de l'un à l'autre ; dans ces mélanges l'absorption de chaleur est le plus souvent provoqué par le passage de l'état solide à l'état liquide de deux ou plusieurs corps ; elle est par suite proportionnelle à la chaleur latente de fusion de ces corps. Cette action se complique fréquemment et est renforcée par la production de réactions chimiques endothermiques.

2° L'expansion brusque d'un gaz comprimé produit un froid souvent considérable. L'air comprimé à trois atmosphères à la température de 17° produit en se détendant à une atmosphère un abaissement de température correspondant à - 41°. Dans les mêmes conditions, mais la température initiale étant - 10°, l'abaissement de la température est de - 64°.

3° L'évaporation et la volatilisation d'un liquide très volatil ou d'un gaz liquéfié produisent un abaissement de température rapide et intense :

c'est cette dernière méthode qui est la plus fréquemment employée dans les machines à glace modernes.

Emploi des mélanges réfrigérants. — Ils ne sont guère employés dans l'industrie, étant donné le prix généralement élevé des matières premières qu'ils emploient et ce sont plutôt des procédés de laboratoire. On peut les classer en trois groupes différents :

1° Certains mélanges réfrigérants emploient l'eau comme dissolvant d'un sel et utilisent ainsi la quantité de chaleur absorbée par la dissolution même de ce sel.

2° Si l'on remplace l'eau par la glace pilée ou la neige, le froid produit est souvent plus intense, car à la chaleur absorbée par la dissolution s'ajoute aussi la quantité de frigories nécessaire à la fusion de la neige. Elle fond dans ce cas, car la dissolution saline formée a un point de congélation inférieur à la température minima du mélange.

3° On peut employer enfin d'autres liquides que l'eau, tels sont, par exemple, les mélanges réfrigérants qui emploient l'acide sulfurique, l'acide azotique, l'acide chlorhydrique.

Nous réunissons dans le tableau ci-dessous les principaux mélanges réfrigérants avec l'indication de leur composition et de l'abaissement de température qu'ils provoquent.

1° Mélanges employant l'eau comme dissolvant :			Abaissment de température	Froid produit
Pour 100 parties d'eau..	Azotate d'ammoniaque	100	+ 10 à — 16°	26°
	Azotate d'ammoniaque	100	+ 10 à — 19	29
	Carbonate de soude	100		
	Chlorhydrate d'ammoniaque	25	+ 10 à — 5	15
	Chlorhydrate d'ammoniaque	125	+ 10 à — 12	22
	Azotate de soude	125		
	Chlorure de potassium	25	+ 10 à — 5	15
	Chlorhydrate d'ammoniaque	57	+ 10 à — 5	15
	Azotate de potasse	32		
	Chlorure de potassium	20		
	Sulfate de soude	25	+ 10 à — 2	8
	Chlorhydrate d'ammoniaque	32	+ 10 à — 16	26
	Azotate de potasse	32		
	Sulfate de soude	50		
	Acétate de soude	25	+ 10 à — 4	11

2 ^e Mélanges employant de la glace pilée ou de la neige comme dissolvant :			Abaissment de température	Froid produit
Pour 100 parties de glace pilée ou de neige.	Sel marin	50	+ 10 à - 10°	20
	Chlorhydrate d'ammoniaque	25	+ 10 à - 6	16
	Azotate de soude	50	+ 10 à - 8	18
	Azotate d'ammoniaque	45	+ 10 à - 7	17
	Chlorure de potassium	30	+ 10 à - 9	11
	Sel marin	40	+ 10 à - 14	24
	Chlorhydrate d'ammoniaque	20		
	Sel marin	40	+ 10 à - 18	28
	Chlorhydrate d'ammoniaque	20		
	Azotate de potasse	20		
	Sel marin	40	+ 10 à - 21	31
	Azotate d'ammoniaque	40		

3 ^e Mélanges employant un dissolvant acide :			Abaissment de température	Froid produit
Pour 100 parties acide azotique étendu . .	Sulfate de soude	50	+ 10 à - 19°	29
	Sulfate de soude	125	+ 10 à - 26	36
	Azotate d'ammoniaque	150		
	Sulfate de soude	150	+ 10 à - 23	33
	Chlorhydrate d'ammoniaque	100		
Pour 100 parties acide chlorhydrique . .	Azotate de potasse	50	+ 10 à - 30	40
	Phosphate de soude	225		
Pour 100 parties acide sulfurique à 66° . .	Sulfate de soude	140	+ 10 à - 17	27
	Sulfate de soude	125	+ 10 à - 8	18

Dans la pratique on se sert quelquefois de mélanges réfrigérants pour obtenir le frappe des carafes et du champagne, pour la fabrication des sorbets, crèmes et fromages glacés, des bombes glacées ; la maison Douane a ainsi fabriqué une glacière répondant à ces usages.

Cet appareil permet d'obtenir le froid, la glace et tous ses dérivés avec un mélange réfrigérant quelconque, en particulier, celui composé de sulfate de soude et d'acide chlorhydrique qui permet, sous tous les climats, d'obtenir des quantités de glace déterminées pour chaque

numéro d'appareil. On a donc, avec une provision de ces deux produits, comme une provision de glace qui ne fond pas et que l'on est toujours certain de trouver au moment où l'on en a besoin.

Un autre mélange réfrigérant commode est celui obtenu par l'azotate d'ammoniaque et l'eau; en évaporant l'eau, une fois l'opération finie, on peut récupérer le sel.

C'est sur l'emploi du sulfate de soude et de l'acide chlorhydrique, comme mélange réfrigérant, que nous donnons les indications ci-dessous.

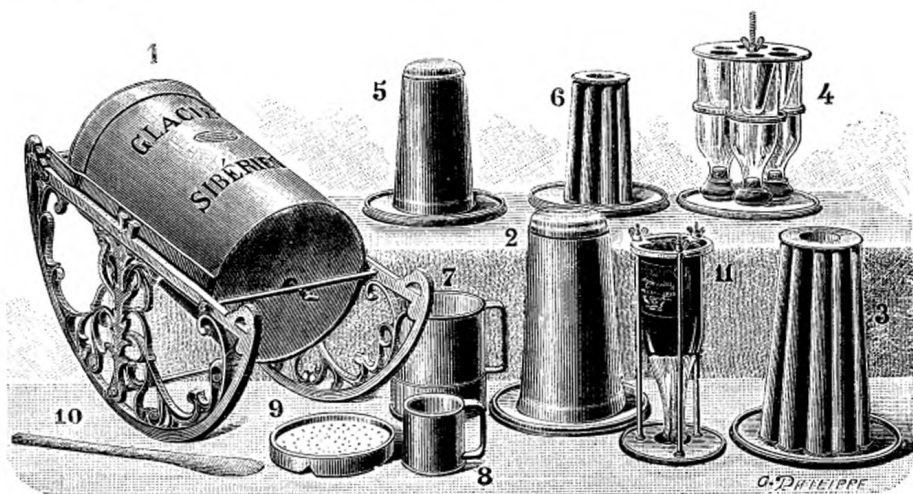


Fig. 5. — Glacière sibérienne.

Pour se servir de la glacière, on verse la quantité d'eau à congeler dans un moule à côtes et on couvre l'orifice de ce moule avec une plaque en caoutchouc; on verse alors le mélange réfrigérant dans la glacière, le sel le premier; puis on place le moule dans le corps de l'appareil; on met le couvercle et on le serre fortement au moyen d'une vis de pression; on place alors l'appareil sur un chariot basculeur et on balance largement et lentement pendant un certain temps. On retire la glacière de dessus le chariot basculeur; on dévisse et on retire le couvercle, on enlève le moule du bain sans enlever la plaque de caoutchouc; on trempe le moule à deux ou trois reprises dans un seau plein d'eau pour nettoyer l'extérieur du moule; on retire la plaque de caoutchouc et on renverse le moule sur une assiette ordinaire ou de préférence sur une assiette en fer-blanc trouée. Si le pain de glace ne

se détache pas on facilite l'opération en versant un peu d'eau tiède dans la cheminée du moule. Il faut laver avec soin le corps de la glacière et les moules qui ont servi avant de les faire sécher. Il ne faut par suite jamais remettre les moules dans la glacière quand on a cessé de s'en servir.

Les quantités de substances nécessaires au mélange frigorifique sont relativement faibles ; elles croissent naturellement avec la taille des appareils, et le tableau suivant donne les proportions de l'un et l'autre produit.

Sulfate de soude et acide chlorhydrique

Numéros des glacières	Quantités approximatives en poids que représentent les mesures	
	Sel en kilogrammes	Acide en kilogrammes
0	1 ^k , 200	0 ^k , 750
1	2, 400	1, 500
2	4, 800	3, 000
3	9, 600	6, 000

Les proportions d'azotate d'ammoniaque et d'eau qui conviennent le mieux et produisent le plus grand abaissement de température sont parties égales de chaque substance en poids.

Azotate d'ammoniaque et eau

Numéros des glacières	Poids d'azotate d'ammoniaque	Quantité en litres d'eau
1	2 kg.	2
2	4	4
3	8	8

Etude du froid produit par la détente. — Si l'on comprime un gaz on détermine une certaine élévation de température ; si on abaisse alors sa température par une réfrigération convenable et qu'on ramène ainsi le gaz à sa température initiale sans toutefois modifier sa pression, une détente brusque produit alors un froid intense.

Ce fait repose sur une série de considérations et d'expériences, dues pour la plupart à Joule, d'une part, et à Thomson de l'autre.

Si on considère une même masse de gaz subissant une série de trans-

formations telles qu'elle revienne à son état initial, si en un mot elle parcourt un cycle fermé de transformations, le travail nécessaire pour lui faire accomplir ce cycle est équivalent à la quantité de chaleur absorbée multipliée par l'équivalent mécanique de la chaleur.

$$\bar{\epsilon} = E Q$$

ou

$$\bar{\epsilon} = 425 Q$$

et

$$\bar{\epsilon} - 425 Q = 0$$

Cette formule n'est vraie qu'autant que le cycle est fermé. Dans le cas contraire il y a une certaine quantité d'énergie absorbée répondant précisément à la quantité

$$U = \bar{\epsilon} - 425 Q$$

cette valeur, représente l'énergie interne ou énergie potentielle.

Or, si l'on considère seulement les variations de température et de volume, on sait d'après les formules de la Thermodynamique que dans ce cas les variations élémentaires de chaleur et de travail sont égales à

$$dQ = Ecdt + Idv$$

et

$$d\bar{\epsilon} = pdv$$

Or

$$dU = EdQ - d\bar{\epsilon}$$

D'où

$$dU = Ecdt + Eldv - pdv$$

Ce que l'on peut écrire

$$dU = Ecdt + dv(EI - p)$$

On voit par suite que la variation élémentaire de l'énergie interne est formée de deux membres :

1° Un travail équivalent à la quantité de chaleur $Ecdt$.

2° Un travail correspondant à la dilatation même du gaz, c'est le travail interne.

Joule, puis W. Thomson ont montré que si un gaz en se détendant ne subissait pas de variations de température, c'est que le travail interne était nul ; dans le cas contraire, et il en est toujours ainsi, le travail interne est positif et le gaz se refroidit.

Le refroidissement est sensiblement proportionnel à la chute de pression et il est égal

	par atmosphère
Pour l'air.	0°, 262
Pour l'acide carbonique.	1°, 151

et cela à 20°, car le refroidissement et par suite la grandeur du travail interne sont d'autant plus petits que la température est plus élevée ; à 91° pour l'acide carbonique, la chute de température par atmosphère n'est plus que de 0° 703.

C'est sur ce principe que sont établies les machines à air de deux sortes, suivant que c'est toujours la même masse d'air qui circule dans l'appareil ou que le compresseur prend, à chaque coup de piston, une nouvelle quantité d'air qu'il comprime, tandis que l'air détendu est rejeté dans l'air ambiant. On peut se servir de la basse température de ces masses gazeuses pour abaisser déjà le degré thermométrique des nouvelles quantités d'air que l'on comprimera ultérieurement dans la machine. L'effet Joule-Thomson en est d'autant plus accru.

Si les machines à air parcouraient un cycle de Carnot, leur coefficient économique serait de la même forme que celui des moteurs à air chaud correspondant, mais de signe contraire.

Soient T_1 et T_2 les températures absolues du gaz frigorifère au compresseur et au réfrigérant, le travail minimum pour produire une frigorie sera

$$\bar{c} = 425 \frac{T_1 - T_2}{T_2}$$

Mais les parois des compresseurs ne sont pas adiabatiques, l'air est toujours un peu humide, toutes causes venant modifier la forme de la courbe. Les machines à air ne fonctionnent jamais suivant un cycle de Carnot.

La valeur la plus avantageuse à donner à la détente, serait d'après M. de Marchena, P_1 et P_0 étant les deux pressions, C et c , les chaleurs spécifiques des gaz à pression et à volume constant

$$\left(\frac{P_1}{P_0}\right) \frac{C-c}{c} = \frac{t}{\theta} + \sqrt{\frac{t}{T} \left(\frac{T}{\theta} - 1\right)} \left(\frac{T}{\theta} - \frac{1-\epsilon}{1+\epsilon}\right) + \frac{K}{EC(1+\epsilon\theta)}$$

dans laquelle

T est la température absolue de l'air à l'entrée du compresseur.

t est la température absolue de l'air à l'entrée du condenseur.

θ est la température absolue de l'air au sortir des chambres réfrigérantes.

ε et K deux coefficients dépendant de la nature et de la construction de la machine et liés l'un à l'autre par la formule suivante :

$$\bar{c}_1 = \varepsilon (\bar{c}_2 + \bar{c}_3) + K$$

en fonction de

\bar{c}_1 travail ré pondant aux résistances passives.

\bar{c}_2 Travail utile dans le compresseur.

\bar{c}_3 Travail utile dans le condenseur.

Cette formule ne convient que pour de l'air desséché ; dans le cas d'un air humide il faut augmenter la détente d'après le même auteur d'une quantité égale à

$$\Delta \left(\frac{P_1}{P_0} \right) \frac{C - c}{c} = f + \frac{vt + z}{cd} \left[\frac{t}{\theta} + \frac{t}{2T} \frac{\frac{K}{Ec(1+2)\theta} + \frac{2Tt}{\theta^2} - \frac{T}{\theta} - \frac{1 - \varepsilon t}{1 + \varepsilon \theta}}{\sqrt{\frac{T}{t} \left[\frac{K}{Ec(1+r)\theta} + \left(\frac{t}{\theta} - 1 \right) \left(\frac{t}{\theta} - \frac{1 - \varepsilon}{1 + \varepsilon} \right) \right]}} \right]$$

formule dans laquelle f représente la quantité d'humidité que contient l'air introduit dans le détenteur, v la chaleur de vaporisation de l'eau et z sa chaleur de fusion.

C'est en employant l'effet Joule-Thomson, c'est-à-dire le froid produit par la détente de l'air comprimé que l'on est arrivé à le liquéfier commodément. L'appareil se compose alors d'une pompe Whitehead qui comprime l'air à une pression de 180 atmosphères et d'un appareil de liquéfaction. L'air s'échappe à travers une soupape située à la partie inférieure de l'appareil ; ainsi refroidi il passe autour d'un serpent de cuivre qui sert à conduire l'air comprimé à la soupape. L'air déjà refroidi par sa dilatation absorbe la chaleur du serpent ; le jet d'air se refroidit progressivement et huit minutes après la mise en marche, l'air liquide s'écoule.

Etude du froid produit par la vaporisation d'un liquide volatil ou d'un gaz condensé. — Lorsqu'un corps passe de l'état liquide à l'état solide, il absorbe une certaine quantité de chaleur proportionnelle d'une part à la quantité de matière volatilisée et d'autre part à un coefficient spécifique, la *chaleur latente de volatilisation*. La chaleur latente de vaporisation à une certaine température est par définition la

quantité de chaleur nécessaire pour faire passer l'unité de poids de l'état liquide à l'état gazeux. Par suite tout corps liquide qui se volatilise produit du froid si on ne lui fournit pas de chaleur.

Leslie en 1820 parvint à congeler un globule d'eau par le froid produit par son évaporation rapide dans le vide. Carré a appliqué pratiquement cette simple expérience pour fabriquer de la glace en petite quantité.

La vaporisation de l'éther ou d'un autre liquide très volatil même à la pression ordinaire, produit la congélation de l'eau.

Si l'on emploie enfin des vapeurs condensées on peut obtenir facilement de très grands froids, mais on doit, dans ce cas, se préoccuper préalablement de la liquéfaction même du gaz. L'ammoniac est le premier gaz qui ait été liquéfié par Van Marum sous la seule influence d'une détente brusque du gaz comprimé, puis l'acide sulfureux fut à son tour condensé par Monge et Clouet sous l'influence du froid produit par un mélange de glace et de sel. L'ammoniac fut de nouveau liquéfié par Guyton de Morveau sous la seule influence du froid produit par un mélange de glace et de chlorure de calcium. Faraday enfin liquéfia la presque totalité des gaz. Il employait pour cela deux méthodes différentes dont les principes sont encore les seuls appliqués actuellement.

1° Par la pression seule on liquéfie un certain nombre de gaz, encore faut-il que la température soit toujours inférieure à un certain niveau variable avec chaque gaz au-dessous duquel aucune liquéfaction ne peut se produire quelle que soit la pression exercée.

On peut liquéfier ainsi un grand nombre de gaz et d'après Faraday il faut les pressions suivantes aux températures indiquées pour liquéfier les gaz ci-dessous :

Gaz.	Températures	Pressions en atmosphères
Gaz sulfureux	17,2	2
Chlore.	15,5	4
Ammoniac	10,0	6,5
Cyanogène.	7,2	3,6 à 3,7
Hydrogène sulfuré	10,0	17
Acide carbonique	0,0	36
Acide chlorhydrique	10,0	40
Protoxyde d'azote	7,2	50

L'acide sulfureux, en 1824 par Bussy, l'acide carbonique, en 1835 par Thilorier, puis le protoxyde d'azote par Natterer et Bianchi furent liquéfiés en grande masse.

2° L'abaissement considérable de la température est le moyen le plus logique de liquéfier les gaz. A une température suffisamment basse, aucun, même à la pression ordinaire ne garde l'état de vapeur et tous se condensent. Mais pour faciliter pratiquement l'opération on peut élever considérablement le point d'ébullition en augmentant la pression et l'association des deux méthodes produit une liquéfaction pratique de la plupart des gaz. Un certain nombre de corps : l'hydrogène, l'oxygène, l'azote, le bioxyde d'azote, l'oxyde de carbone avaient résisté pendant fort longtemps à toutes les tentatives de liquéfaction. L'oxygène reste gazeux entre les mains de Berthelot sous une pression de 800 atmosphères.

Il est en effet impossible de liquéfier un gaz quelle que soit la pression considérée au-dessous d'un certain degré, le *point critique*. Porté à cette température, un liquide se transforme immédiatement en gaz, occupant le même volume que le liquide générateur. Les tentatives les plus heureuses de liquéfaction des cinq gaz permanents furent d'abord faites par Cailletet, à Paris, et Pictet à Genève qui, par des méthodes différentes, parvinrent à les obtenir tous liquides sauf l'hydrogène. Olsewsky et Von Wroblewsky vinrent compléter heureusement ces travaux. Mais c'est en ces dernières années seulement que la science du froid a fait un énorme progrès par la manipulation commode de grandes quantités d'air et même d'hydrogène liquide et l'obtention par ce moyen de froids extrêmes.

Les méthodes de Linde et de Claude permettent d'obtenir facilement et économiquement l'air liquide.

Nous avons déjà dit un mot de la liquéfaction de l'air par l'application de l'effet Joule-Thomson. Ramsay a appliqué la même méthode à la liquéfaction de l'hydrogène.

Le gaz après avoir été comprimé dans un compresseur Whitehead passe à travers un cylindre rempli de potasse caustique solide qui le débarrasse d'eau et d'acide carbonique, puis à travers un tube en cuivre plongé dans un mélange d'acide carbonique solide et d'alcool, d'où il traverse un serpentín semblable entouré d'air liquide.

Ce serpentín est relié à l'appareil de liquéfaction. Il traverse alors deux chambres ; l'une supérieure renfermant de l'air liquide bouillant à la pression ordinaire, l'autre inférieure dans laquelle on laisse entrer de temps à autre, au moyen d'une soupape, l'air liquide provenant de la chambre supérieure : la chambre inférieure communique avec une

pompe qui réduit la pression jusqu'à 10 cm et abaisse par suite la température de l'air bouillant. La température de cette chambre est de -203° . Le serpentin, après l'avoir traversée, se rétrécit et les spires deviennent plus rapprochées les unes des autres. La partie inférieure est entourée d'un tube à double paroi, lui-même entouré d'un tube plus large contenant un autre vase à doubles parois servant à recevoir l'hydrogène liquéfié.

On prépare tout d'abord 8 à 10 litres d'air liquide et on comprime l'hydrogène à 150 atmosphères en refroidissant à -205° pour intensifier l'effet Joule-Thomson. Le gaz s'échappant par la soupape inférieure se refroidit au-dessous de son point d'ébullition à la pression atmosphérique et le liquide s'écoule dans le récipient inférieur.

A la pression atmosphérique ordinaire, l'hydrogène liquide bout à $-252^{\circ},5$. Son point critique, c'est-à-dire la température au-dessus de laquelle l'hydrogène ne peut exister qu'à l'état gazeux est de -244° sous une pression de 29 atmosphères. Par évaporation dans le vide, la température de l'hydrogène liquide devient -250° ; il se solidifie alors et si le vide est continué la température s'abaisse à -260° , température la plus basse qui ait été obtenue.

La considération de la température critique est d'une grande importance dans le choix du gaz à liquéfier pour l'obtention de la glace. Il faut que le corps employé puisse prendre l'état liquide dans les limites de température que présentent l'eau ordinaire à toutes les saisons et qu'il n'y ait pas besoin pour liquéfier le gaz d'employer des moyens de réfrigération secondaire.

Les machines à gaz liquéfiés sont d'un meilleur rendement que les machines à air. C'est ainsi qu'il faudrait faire passer par les cylindres d'une machine à air environ 4 000 m³ d'air pour produire le même froid qu'avec 1 m³ d'acide sulfureux liquide bien moins énergique pourtant que l'ammoniac et l'acide carbonique.

La dépense en charbon est par suite trois ou quatre fois plus faible. Aussi l'emploi de ce dernier mode de réfrigération est-il de beaucoup le plus employé.

CHAPITRE II

LES GAZ EMPLOYÉS DANS LES MACHINES FRIGORIFIQUES

Le rendement dans une machine frigorifique semble ne dépendre que de la chute de température, de la différence $T_1 - T_2$, et la nature même du corps frigorifique semble n'avoir pas d'influence, mais dans l'industrie un certain nombre de considérations doivent entrer en ligne de compte :

- 1° Il doit être très bon marché ;
- 2° Il ne doit avoir aucune toxicité et être d'un maniement facile ;
- 3° S'il s'agit d'une machine à gaz liquéfié, la pression nécessaire pour amener son changement d'état aux températures T_1 voisines de la température ordinaire, doit être relativement faible ;
- 4° Dans ce même cas sa puissance frigorifique doit être considérable.

En s'appuyant sur ces considérations, les agents de réfrigération que l'on a employés et que l'on emploie encore maintenant sont au nombre de six :

1° L'air a été utilisé dans un certain nombre de machines et dans ce cas le refroidissement est produit par la détente même du gaz : l'abaissement de température est la conséquence même du travail interne effectué dans la masse d'air ; il n'y a aucun changement d'état physique.

2° L'*acide carbonique* qui peut se liquéfier sous de fortes pressions et qui donne alors naissance à un liquide qui, abandonné à lui-même, se volatilise en produisant un refroidissement intense.

3° L'*acide sulfureux* est plus facilement liquéfiable que l'acide carbonique. Son maniement est commode et sans danger. Le froid est produit là encore par l'évaporation du gaz liquéfié.

4° L'*ammoniac* est un gaz caractérisé surtout par son extrême solubilité dans l'eau. Cette propriété a permis de l'utiliser, sous forme de solutions aqueuses et l'on a alors les machines à affinité. Ou bien le

gaz desséché est simplement comprimé et liquéfié, puis évaporé d'après les mêmes principes que l'acide carbonique et l'acide sulfureux : on a alors affaire aux machines à compression.

3° Le *chlorure et l'oxyde de méthyle* sont des gaz extrêmement faciles à liquéfier et le liquide ainsi obtenu se volatilise avec la plus grande facilité en produisant un froid considérable ; mais l'inconvénient de ces deux produits est leur prix assez élevé.

6° L'*éther et l'éther méthylique* ont été quelquefois employés ; la volatilisation du liquide donne naissance à un abaissement de température relativement assez grand ; mais le produit présente un grand nombre d'inconvénients. Aussi ce mode de réfrigération n'a-t-il pas reçu de très grandes applications. Enfin on a proposé des mélanges de liquides volatils dont nous parlerons plus loin.

L'ACIDE CARBONIQUE est le plus puissant des agents frigorifiques : sa formule est CO_2 . C'est à la pression et à la température ordinaires un gaz incolore, insipide.

Densité par rapport à l'air	1.529
Poids du litre	1 ^{re} 977
1 gramme représente	0,545
1 kilogramme représente	545 l.
Densité de CO_2 liquide par rapport à l'eau	0,994

On le prépare industriellement par la décomposition d'un carbonate, soit par la chaleur, soit par un acide. On l'obtient aussi par la combinaison du charbon, du coke, par exemple, dans la fermentation alcoolique, etc. Il se liquéfie à des pressions d'autant plus élevées que la température est plus haute.

Températures	Pressions déterminant la liquéfaction
— 78°	1 atmosphère
— 30°	10 —
— 25°	17 —
— 15°	25 —
— 5°	31 —
0	38 —
+ 5°	40 —
+ 15°	50 —
+ 25°	66 —
+ 30°	75 —
+ 35°	82 —
+ 45°	101 —

Les pressions sont donc assez élevées dans les appareils qui emploient l'acide carbonique. A la température ordinaire de la journée 15 à 20°,

la pression monte de 50 à 60 atmosphères. Aussi doit-on fabriquer les récipients qui le renferment avec un soin tout particulier pour éviter et les accidents et les fuites. Ces dernières ne sont révélées d'autre part par aucune odeur. Pour éviter donc des déperditions onéreuses, il faut que les joints soient d'une étanchéité aussi parfaite que possible.

Pour la conservation et le transport de cet acide, on se sert donc de tubes en acier étiré contenant 8, 10, 20 kilos d'acide. Avant d'être mis en circulation, ils sont éprouvés un à un, à 250 atmosphères et on rejette tout tube ou bouteille qui, aux essais à cette haute pression, accuse un défaut permanent. On protège le robinet de chaque tube par un chapeau qui forme couvercle et qui sert, dans certains cas, de clef pour l'ouverture ou la fermeture du robinet.

Il y a plusieurs sortes de robinets, qui se manipulent d'une façon différente, mais dont le résultat est le même; les uns s'ouvrent par la vis qui forme tête et d'autres avec le chapeau qui forme clef.

Les règlements qui régissent leur envoi par chemins de fer, étaient dans le début, très sévères. Les récipients que l'on employait à cette époque risquaient de faire explosion. Ils sont maintenant en acier étiré et éprouvés à 250 atmosphères. D'après un règlement du 12 novembre 1897, ils peuvent maintenant voyager en vrac, en petite vitesse, dans les conditions suivantes :

« Art. 24. — L'acide carbonique (et le protoxyde d'azote) liquéfiés, doivent être purs de tout résidu d'air.

« Art. 25. — Ces produits doivent être renfermés dans des récipients en fer forgé, ou en acier doux recuit.

« Ces récipients seront soumis au préalable, aux frais des intéressés, à une épreuve officielle, constatant qu'ils supportent sans fuites, ni déformations permanentes, une pression de 250 kilos par centimètre carré.

« Cette épreuve sera renouvelée tous les 3 ans.

« Chaque récipient portera une marque officielle placée à un endroit bien apparent, indiquant :

- 1° Le poids du récipient vide ;
- 2° La charge en kilogrammes qu'il peut contenir et qui doit être limitée à un kilogramme de liquide pour un litre trente-quatre de capacité ;
- 3° La date de la dernière épreuve.

« Par exception, la marque officielle des récipients destinés à l'exportation dans les pays qui ont adhéré à la Convention de Berne, du 14 octobre 1890, doit donner le poids du récipient vide, accessoires compris. Pour ces récipients la marque devra indiquer également, le cas échéant, que la tare comprend le poids de la chape. Toutes ces indications devront être poinçonnées par l'agent qui aura procédé à l'épreuve des récipients.

» Quand les récipients seront chargés en vrac, ils devront être confectionnés de façon à ne pouvoir rouler ou pourvus d'une garniture extérieure remplissant ce but et être peints en blanc; en outre les soupapes et robinets devront être protégés par des chapes ou couvercles de même métal que les récipients et vissés sur eux.

« Quand les récipients seront emballés dans des caisses solides, la chape, la garniture extérieure pour empêcher le roulement et la peinture en blanc ne seront pas obligatoires. Les caisses devront d'ailleurs être disposées de manière que les timbres officiels d'épreuve puissent facilement être découverts.

« Art. 26. — Le transport de ces produits n'aura lieu que dans des wagons couverts et à panneaux pleins ou bien dans des wagons spécialement aménagés à cet effet. Dans ce dernier cas, les récipients devront être protégés par un revêtement en bois ou par une bâche.

« Les récipients ne doivent jamais être violemment projetés, ni exposés aux rayons du soleil ou à la chaleur du feu.

« Art. 26 *bis*. — Les prescriptions des articles 24, 25 et 26, ne s'appliquent pas aux petits récipients d'acide carbonique liquéfié dont il est question à l'article 103 *bis* ci-après.

« Art. 103 *bis*. — Les récipients contenant 25 grammes au plus d'acide carbonique liquéfié ne sont soumis qu'aux prescriptions suivantes :

« L'acide carbonique doit être pur de tout résidu d'air.

« Les récipients doivent être chargés, au maximum, d'un gramme de liquide pour 1^{cm3},34 de capacité.

« Ils doivent offrir, sous la responsabilité du fabricant d'acide carbonique qui en fait usage, une résistance suffisante. »

« Toute déclaration d'expédition d'une quelconque des matières auxquelles s'applique le présent règlement doit indiquer la nature exacte de la marchandise, et, dans le cas où cette marchandise serait soumise

à des dispositions spéciales pour le conditionnement et l'emballage, on doit faire connaître que ces dispositions ont été observées.

« Tout colis contenant une matière explosible doit porter, en outre, d'une façon apparente, une étiquette ou empreinte faisant connaître la nature du produit, avec la mention « Explosifs ».

De cette façon, les expéditions nécessitent moins de frais d'emballage. Les tubes coûtent en moyenne 40 à 50 francs le tube de 5 kilogrammes, et 70 à 80 francs le tube de 10 kilogrammes.

Dans les conditions ordinaires de marche d'une machine employant l'acide carbonique, les pressions sont de 25 atmosphères à l'aspiration et de 75 à la compression.

La chaleur latente de vaporisation de l'acide carbonique est assez faible, environ 50 calories : elle est donnée à t° par la formule

$$l = 118.5(31 - t) - 0.47(31 - t)^2$$

Elle est par suite de

à 0°	— 56 calories
10°	— 45 —
15°	— 40 —

Liquide c'est un corps incolore sans action sur les métaux, de densité 0,9. Son point critique, c'est-à-dire la température au-dessus de laquelle toute liquéfaction devient impossible est de 31°. A partir de ce point gaz et liquide forment des mélanges homogènes sans limite séparée et il est absolument nécessaire d'abaisser toujours la température du liquéfacteur à un degré inférieur.

Le GAZ ANHYDRIDE SULFUREUX est un gaz incolore, doué d'une saveur âcre et brûlante, d'une odeur piquante, incombustible, incomburant, très diffusible. Il n'est pas toxique. Mélangé à l'air en petite proportion (1 à 5 0/0) il n'a aucune influence fâcheuse sur l'organisme. L'air ne cesse réellement d'être respirable que lorsque la proportion de gaz sulfureux atteint et dépasse 15 0/0. C'est un décolorant et un désinfectant énergique. Il est soluble dans l'eau (79,7 volumes à 0°) l'alcool (328 volumes à 0°) les éthers, le sulfure de carbone, etc. ; le borate de soude l'absorbe avec dégagement de chaleur. Il est intéressant de remarquer qu'il n'y a pas de combinaison, mais simple mélange et que l'anhydride sulfureux peut être chassé de ses dissolutions par ébullition.

La chaux, la soude, la potasse se combinent avec l'anhydride sulfureux pour former des sulfites et des bisulfites.

Il décolore le permanganate de potassium ; la teinture de tournesol est d'abord décolorée, puis rougie.

La densité de l'anhydride sulfureux est de 2,233 par rapport à l'air et de 32 par rapport à l'hydrogène ; son poids moléculaire est 64. L'oxygène sec et l'anhydride sulfureux, n'ont aucune action l'un sur l'autre à la température ordinaire, mais humide à 200° et en présence de corps poreux, il y a formation d'acide sulfurique. C'est à cette dernière propriété qu'est due la destruction des étoffes dans une atmosphère habituellement riche en acide sulfureux, dans une salle de bains de Barèges par exemple.

L'anhydride sulfureux chimiquement pur est incolore et d'une limpidité parfaite. Sous une pression de 76 centimètres de mercure, il se liquéfie à -10° au-dessous de 0° et se solidifie à -79° ; sa densité est à 0° de 1,434 : elle est de 1,393 à 20° et de 1,376 à 30° .

L'anhydride sulfureux liquide produit, abandonné à l'air dans une capsule ouverte, un refroidissement brusque et la température tombe à -10° .

Enfin l'évaporation de l'anhydride sulfureux peut produire un abaissement de température qui peut aller jusqu'à 70° au-dessous de 0° , si l'on active fortement l'évaporation : on peut facilement, par ce moyen, solidifier le mercure. La chaleur latente de vaporisation de l'anhydride sulfureux est de 94 calories. Ses tensions de vapeur sont, aux températures suivantes :

Pression d'anhydride gazeux

	atm.		atm.		atm.
-30°	$= 0.37$	8°	$= 2.10$	26°	$= 4.2$
-25	$= 0.5$	10	$= 2.25$	28	$= 4.10$
-20	$= 0.6$	12	$= 2.40$	30	$= 4.50$
-15	$= 0.8$	14	$= 2.60$	35	$= 5.20$
-10	$= 1.04$	15	$= 2.70$	40	$= 6.14$
5	$= 1.25$	16	$= 2.80$	45	$= 7.1$
0°	$= 1.53$	18	$= 3.00$	50	$= 8.18$
2	$= 1.60$	20	$= 3.25$	55	$= 9.75$
4	$= 1.80$	22	$= 3.50$	60	$= 10.68$
5	$= 1.87$	24	$= 3.70$		
6	$= 1.90$	25	$= 3.85$		

Entre 0 et 100°, les volumes de SO_2 gazeux deviennent suivant la formule $V = V_0 (1 + 0,003903 t.)$.

litres.	litres.
0° = 350	60° = 431.90
10 = 363.5	70 = 445.62
20 = 377.25	80 = 459.28
30 = 390.98	90 = 472.94
40 = 404.5	100 = 486.60
50 = 418.30	

La solubilité de l'anhydride sulfureux dans l'eau varie, suivant la température, dans les proportions suivantes :

Températures :	0°	4°	10°	15°	20°
Coefficient d'absorption	79,7	69,8	58,6	47,2	39,3

Le poids d'un litre d'anhydride sulfureux gazeux étant à 0° et sous la pression atmosphérique, de 2.861, il est facile de déterminer exactement la quantité d'anhydride sulfureux liquéfié en poids nécessaire pour une solution d'un volume donné et dont on connaît la température.

Le tableau ci-dessous donne, suivant Scoot, la richesse en SO_2 des solutions à 15° C. :

Densités	SO_2 0/0	Densités	SO_2 0/0	Densités	SO_2 0/0
1,0028	0,5	1,0221	4,0	1,0426	8,0
1,0056	1,0	1,0248	4,5	1,0450	8,5
1,0085	1,5	1,0275	5,0	1,0474	9,0
1,0113	2,0	1,0302	5,5	1,0497	9,5
1,0141	2,5	1,0328	6,0	1,0520	10,0
1,0168	3,0	1,0353	6,5	1,0554	11,0
1,0194	3,5	1,0377	7,0	1,0605	12,0
		1,0401	7,5	1,0656	13,0

Enfin, lorsque l'on veut obtenir des solutions très concentrées, comme celles que l'on emploie pour le blanchiment de la cellulose de bois (150 grammes par litre) il faut nécessairement avoir recours à l'anhydride liquéfié, puisque ces solutions ne se préparent qu'en vase clos et sous pression.

Les solutions d'acide sulfureux dans l'eau se conservent mal; elles se transforment rapidement en acide sulfurique. La transformation est

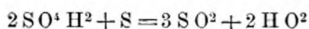
beaucoup moins rapide lorsque l'on emploie de l'acide sulfureux pur et de l'eau bouillie et si on conserve les solutions ainsi préparées à l'abri de la lumière dans des flacons bien bouchés et complètement remplis.

L'anhydride sulfureux peut se préparer de plusieurs façons ; c'est ainsi qu'on l'obtient par grillage des pyrites ou par combustion du soufre dans la fabrication de l'acide sulfurique. Mais dans ces conditions il est toujours associé à un certain nombre d'impuretés, à l'azote de l'air, à de l'anhydride carbonique, etc. Il vaut mieux lorsque l'on veut obtenir le gaz sulfureux pur employer la réduction de l'acide sulfurique soit par un métal comme le cuivre ou le mercure, soit par le charbon ou surtout et mieux par le soufre. Les premiers réducteurs sont en effet d'un prix trop élevé ; le charbon donne toujours une certaine proportion d'acide carbonique.

M. Raoul Pictet a en 1875 utilisé l'anhydride sulfureux liquide pour la fabrication de la glace et il l'a préparé par l'action du soufre sur l'acide sulfurique.

Le procédé consiste à la fois dans l'oxydation du soufre et la réduction de l'acide sulfurique monohydraté à une température supérieure à 400°

L'acide sulfurique est réduit par le soufre suivant la formule :



On emploie, pour cette fabrication, du soufre en canons redistillé et de l'acide sulfurique concentré à 66° B. complètement épuré et ne contenant, par suite, ni arsenic, ni plomb, ni produits nitreux.

Le mélange est chauffé dans de grandes cornues en fonte et le gaz sulfureux produit est dirigé dans une série de dépotoirs plombés, de bacs rafraîchissoirs et d'appareils de filtration dans lesquels il subit une première épuration. Il est soumis, ensuite, dans des appareils spéciaux à une température de — 10° qui permet d'éliminer par congélation l'acide hydrosulfureux et les hydrates de la série $\text{SO}^2 + 9\text{H}^2\text{O}$; $\text{SO}^3 + 14\text{H}^2\text{O}$, etc., qui subsistent presque toujours dans les acides sulfureux liquéfiés du commerce et en rendent l'usage impropre pour les appareils frigorifiques.

Le gaz ainsi préparé est sans action sur les métaux usuels, fer, fonte cuivre, étain, bronze ; il possède de plus la remarquable propriété d'être lubrifiant et de graisser par suite les différentes surfaces métalliques avec lesquelles il se trouve en contact.

Le GAZ AMMONIAC de formule AzH^3 est un gaz incolore plus léger que l'air, de densité 0,596 ; le poids du litre à 0° et sous la pression de 760 est de 0g¹,770. Il possède une odeur vive et pénétrante, un saveur brûlante ; respiré à haute dose il provoque des désordres graves dans l'appareil respiratoire.

Il est extrêmement soluble dans l'eau qui en dissout à 0° environ 900 fois son volume. C'est alors l'*alcali volatil* du commerce, ces solutions aqueuses sont d'un emploi très fréquent. Elles servent ainsi que nous le verrons plus loin dans les appareils à affinité. On peut facilement déterminer la proportion de gaz dissous dans un litre de la solution en prenant la densité à l'aréomètre et en s'en rapportant à des tables dressées à cet effet. Nous donnons ci-dessous une table ainsi dressée par G. Forgue (*La Bière et les Boissons fermentées*, 1^{er} juin 1893) qui donne la teneur en poids et en volume d'ammoniac contenu par kilogramme et par litre de solution ammoniacale.

Richesse en ammoniac anhydre des solutions ammoniacales.

Densités à 12° centigrades	Degrés aux aréomètres		Poids d'ammoniac anhydre contenu		Volume d'AzH ³ contenu dans 1 litre de solution
	Cartier	Baumé	par kilogramme	par litre	
0,870	29°, 5	34°, 5	gr. 384, 4	gr. 334, 5	cme. 464, 5
0,874	29	34, 2	"	"	"
0,875	"	"	365, 7	320	445
0,880	"	"	347, 2	305, 5	425, 2
0,884	27, 5	29	"	"	"
0,885	"	"	329, 4	289, 4	406, 4
0,890	"	"	311, 6	277, 3	387, 3
0,894	26	27, 5	"	"	"
0,895	"	"	294, 4	263, 4	368, 4
0,896	25	26, 5	"	"	"
0,900	"	"	277, 3	249, 5	349, 5
0,904	24	"	"	"	"
0,905	"	"	260, 9	236, 1	334, 1
0,906	23, 7	25	"	"	"
0,910	"	"	244, 9	222, 8	312, 8
0,915	"	"	229, 2	209, 7	294, 7
0,918	22	23	"	"	"
0,920	"	"	213, 4	196, 3	276, 3
0,924	21	"	"	"	"
0,925	"	"	198, 2	183, 3	257, 8
0,930	20	"	182, 9	170, 1	240, 1
0,935	"	"	167, 9	157, 0	222
0,936	19	"	"	"	"
0,940	"	"	152, 9	143, 7	203, 7
0,943	18	"	"	"	"
0,945	"	"	138, 5	130	185, 8

Densité à 12° centigrades	Degrés aux aréomètres		Poids d'ammoniac anhydre contenu		Volume d'Az H ³ contenu dans 1 litre de solution
	Cartier	Baumé	par kilogramme	par litre	
0,950	»	»	121,2	118	186
0,951	17	»	»	»	»
0,953	»	»	110,5	105,5	150,5
0,957	16	»	»	»	»
0,960	»	»	97,0	93,4	132,4
0,964	15	»	»	»	»
0,965	»	»	83,5	80,5	115,5
0,970	»	»	70,2	68	98
0,971	14	»	»	»	»
0,975	»	»	57,7	56,2	81,2
0,978	13	»	»	»	»
0,980	»	»	45,3	44,3	64,3
0,983	»	»	»	»	»
0,986	12	»	33,1	32,5	47,5

L'ammoniac soumis à une pression énergique en même temps qu'à un certain refroidissement se liquéfie en donnant naissance à un liquide incolore susceptible par évaporation dans le vide de se solidifier en une masse translucide presque inodore. Les pressions sous lesquelles se solidifient l'ammoniac sont aux diverses températures.

Tension des vapeurs de gaz ammoniac liquéfié.

Températures	Pressions	Températures	Pressions
	atm.		atm.
— 30	1.14	5°	5. »
— 25	1.45	10	6.02
— 20	1.83	15	7.42
— 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

Son point d'ébullition à la pression atmosphérique est de — 33°.

L'ammoniac est conservé anhydre et liquide dans des récipients de fer forgé renfermant de 15 à 30 kg. de substance.

Sa chaleur de volatilisation serait de

A 15°	292 calories	4	(Stronberg).
A 8°	294	— 31	(Regnault).
A — 38°	326	—	(Krauss et Franklin).

La chaleur spécifique serait :

A 10°	1.021	(Ennis).
A 45°	1.23	(Stronberg).

Les propriétés chimiques doivent être bien connues, car elles sont très utiles pour reconnaître les fuites de gaz qui peuvent se produire dans un appareil. Son odeur simplifie déjà le problème, mais on peut encore le reconnaître par les fumées blanches et épaisses qu'elles donnent au contact avec une baguette de verre imbibée d'acide chlorhydrique ; on peut aussi utiliser sa réaction alcaline ; un morceau de papier tournesol rouge et humide devient bleu.

L'ammoniac liquide ou en dissolution dissout le cuivre et ses alliages en produisant une liqueur bleue, l'eau céleste. Aussi doit-on dans la construction des appareils qui les met en œuvre éviter l'emploi de ce métal, libre ou associé.

L'extrême affinité du gaz ammoniac pour l'eau est le phénomène sur lequel s'appuie le principe des machines à affinité.

La chaleur déplace le gaz ammoniac d'une dissolution aqueuse et l'atmosphère étant limitée, la pression augmente dans l'appareil, une partie de cet appareil est dans un bain d'eau froide, l'ammoniac s'y liquéfie. Le phénomène inverse se produit alors ; il y a distillation de l'ammoniac liquide, production de froid et dissolution du gaz dans l'eau.

De même que pour l'anhydride carbonique, le transport des gaz anhydrides sulfureux et ammoniac liquéfié sont régis par le règlement du 12 novembre 1897.

« Art. 40. — Le gaz ammoniac liquéfié, l'acide sulfureux anhydre liquéfié doivent être renfermés dans des récipients en fer forgé ou en acier doux recuit.

« Les récipients seront soumis au préalable, aux frais de l'expéditeur, à une épreuve officielle constatant qu'ils supportent, sans fuites ni déformations permanentes, une pression fixée :

« Pour le gaz ammoniac à cent kilogrammes.

« Pour l'acide sulfureux à trente kilogrammes.

« Cette épreuve sera renouvelée tous les trois ans pour le gaz ammoniac *et tous les ans pour l'acide sulfureux*.

« Chaque récipient portera une marque officielle placée à un endroit bien apparent indiquant :

1° Le poids du récipient vide :

2° La charge en kilogrammes qu'il peut contenir et qui doit être limitée :

« Pour le gaz ammoniac, à un kilogramme de liquide pour un litre quatre-vingt-six de capacité.

« Pour l'acide sulfureux anhydre, à un kilogramme de liquide pour zéro litre quatre-vingts de capacité.

3° La date de la dernière épreuve.

« Toutes ces indications devront être poinçonnées par l'agent qui aura procédé à l'épreuve des récipients. Les soupapes ou robinets devront être protégés par des chapes ou couvercles en métal vissés sur les récipients.

« Quand ils seront chargés en vrac, les récipients devront être peints en blanc; ils seront confectionnés de façon à ne pouvoir rouler, ou pourvus d'une garniture extérieure remplissant ce but.

« Pour les chargements par wagons complets, les récipients ne seront astreints à aucun emballage dans des caisses ou autres enveloppes et pourront être chargés nus.

« Pour les expéditions partielles, ils seront emballés dans des caisses, solidement et de telle façon que les timbres officiels d'épreuve puissent être facilement découverts.

« Art. 42. — Les récipients ne doivent jamais être violemment projetés, ni être exposés aux rayons du soleil ou à la chaleur du feu.

Le CHLORURE DE MÉTHYLE de formule CH_3Cl est un gaz incolore, de densité 1,738. Le poids du litre est de 2^{gr},260 à 0° et sous la pression 760. Son odeur rappelle celle du chloroforme. Il est peu soluble dans l'eau.

Comprimé, il se liquéfie en donnant un liquide incolore, très fluide, lubrifiant comme l'anhydride sulfureux, de densité 0,952 à 0°.

La chaleur latente est d'environ 97 calories ; il bout à -23° . La tension de la vapeur aux diverses températures est de

Températures	Pressions absolues en atmosphères
— 30 degrés	0.76
— 23 »	1.00
— 14 »	1.40
— 5 »	2.00
0	2.48
+ 15 »	4.11
+ 30 »	6.50

Bien que combustible, il est difficilement inflammable ; on l'extrait des résidus de vinasses de betterave ou on l'obtient par distillation sèche de la *bétaïne* ou triméthylglycocolle.

Il est appliqué dans les appareils de Vincent et dans les machines construites par la maison Douane.

Le règlement de 1897 pour le transport des gaz liquéfiés s'exprime à son sujet, de la façon suivante :

« Art. 43. — Le chlorure de méthyle doit être renfermé dans des cylindres métalliques offrant, sous la responsabilité du fabricant de cette substance, une résistance suffisante et qui ne seront remplis qu'aux neuf dixièmes. On inscrira sur ces cylindres leur poids lorsqu'ils seront remplis aux neuf dixièmes de chlorure de méthyle.

« Art. 161. — Exceptionnellement, on pourra admettre au transport par grande vitesse, comme colis postaux, des flacons contenant 300 grammes au plus de chlorure de méthyle. Chaque flacon devra être isolé dans une caisse ne contenant aucun autre produit.

L'ÉTHER MÉTHYLIQUE a été appliqué par Tellier dans sa machine frigorifique. D'après cet auteur les tensions de vapeur seraient les suivantes.

Températures	Pressions
— 20 degrés	1 ^{atm} ,50
— 15 »	2 , »
— 10 »	2 ,25
— 5 »	2 ,50
0 »	2 ,75
+ 5° »	3 ,25
10 »	3 ,75
15 »	4 ,25
20 »	4 ,75
25 »	5 , »
30 »	5 ,25

Sa chaleur de vaporisation est de 200 calories. Ce serait peut être le meilleur agent de réfrigération si ce n'était sa très grande inflammabi-

lité. Les machines de Tellier qui étaient d'ailleurs des plus ingénieuses sont un peu abandonnées de nos jours.

L'Éther ordinaire a été proposé par Perkins, en 1834, comme agent de réfrigération et des modifications de l'appareil construit sur ce principe furent établis par Harrison, en 1856 et Lawrence en 1860 ; mais l'éther ordinaire produit un froid relativement peu intense, coûte fort cher et est extrêmement dangereux à manipuler. Aussi les machines à éther sont-elles complètement abandonnées.

Chacun de ces gaz présente des avantages particuliers. Le tableau ci-dessous montre la comparaison des pressions que chacun d'eux exerce dans les appareils aux différentes températures auxquelles ils sont portés.

Tableau comparatif des pressions d'anhydride sulfureux, d'ammoniac, de chlorure de méthyle et d'acide carbonique aux différentes températures (en atmosphères).

Températures	Anhydride sulfureux SO_2	Chlorure de méthyle CH_3Cl	Ammoniaque Az H_3	Acide carbonique CO_2
	atm.	atm.	atm.	atm.
— 30° C	0.37	»	1.13	17.1
— 25	0.5	0.94	1.4	19.9
— 20	0.6	»	1.8	23.1
— 15	0.8	»	2.3	26.7
— 10	1.04	1.72	2.8	30.8
5	1.25	»	3.4	35.5
0	1.5	2.48	4.2	40.3
5	1.8	»	5. »	46.1
10	2.3	3.51	6 »	52.2
15	2.7	»	7.1	58.8
20	3.2	4.82	8.4	66. »
25	3.8	5.62	9.8	73.8
30	4.5	6.50	11.4	82.2
35	5.2	7.50	13.2	91. »
40	6.1	8.75	15.3	96.5
45	7.1	10.00	17.5	»

L'acide carbonique est donc celui qui donne les plus fortes pressions : il présente l'inconvénient de ne plus se liquéfier au-dessus de 30°, mais en revanche c'est l'agent le plus énergique. L'ammoniac moins énergique est cependant un gaz d'une grande puissance frigorifique ne développant pas de pressions exagérées. Son point critique est beaucoup plus élevé. Le chlorure de méthyle est encore moins énergique, les pressions qu'il exerce sont faibles.

L'acide sulfureux présente aussi certains avantages, mais il possède un point d'ébullition relativement élevé comme nous le verrons plus

loin. M. Pictet a cherché à remédier à cet inconvénient en l'associant à un corps plus volatil.

Il faut enfin considérer aussi la puissance frigorifique de chaque gaz. Cette puissance est égale à peu près à la différence entre la chaleur de vaporisation du gaz liquéfié λ à T_1 et la chaleur cédée au réfrigérant, c'est-à-dire entre les chaleurs q du liquide à T_1 et à T_2 . Le tableau suivant donne d'après Lorenz les valeurs λ , q et p pour chaque gaz et v le volume du kilogramme en mètres cubes à des températures T_2 variant entre 0 et 30°.

Chaleur latente λ , en calories par kilogramme				Chaleur du liquide q , en calories par kilogramme			Tension de vap ^r à t_2 en kilogrammes par centim. carré			Volume v du kilo- gramme en mètres cubes		
t_2	Az H ³	CO ²	SO ²	Az H ³	CO ²	SO ²	Az H ³	CO ²	SO ²	Az H ³	CO ²	SO ²
-10°	322	61,5	93,4	-8,9	-5	-3,46	2,92	27,1	1,04	0,432	0,014	0,330
0	316	55,4	91,2	0	0	0	4,35	35,4	1,24	0,30	0,010	0,211
+10	309	48,8	88,3	+9,2	+5,74	+3,3	6,27	45,7	3,34	0,211	0,0075	0,152
+20	300	37	84,7	+18,7	+18,7	+6,7	8,79	58,1	3,3	0,154	0,0052	0,107
+30	290	15	80,4	+28,5	+28,6	+10,2	12	73,1	4,67	0,114	0,003	0,076

Partant de ces données, M. Lorenz a calculé le tableau suivant pour une même température : -10° au réfrigérant après détente et des températures de +20 et +10° au condenseur.

	+ 20°			+ 10°		
	Az H ³	CO ²	SO ²	Az H ³	CO ²	SO ²
Tension au réfrigérant à -10°, en kil. par centimètre carré.	2,92	27,1	1,037	2,92	27,1	1,037
Tension au condenseur à -10°, en kil. par centimètre carré.	8,79	58,1	3,35	8,79	58,1	3,347
Chaleur de vaporisation λ au réfrigérant	322	61,5	93,4	322	61,5	93,4
Chaleur du liquide q au réfrigérant.	27,5	17,8	9,84	48	10,7	6,44
Frigories par kilogramme.	895	43,65	83,6	304	50,76	87
Kil. de gaz nécessaires pour 400,000 frigories par heure.	339	2300	1200	329	1970	1150
Volume aspiré au compresseur en m ³	446	39,8	394	442	27,2	378
Travail minimum en chevaux pour 400,000 frigories.	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9
Rapport de λ à la puissance frigorifique utile.	1,093	1,408	1,118	1,059	1,211	1,074
Travail indiqué total en chevaux pour 400,000 frigories-heure	21	27,1	21,5	20,4	23,3	20,7
Frigories par cheval-heure indiqué.	4800	3700	4650	4900	4300	48,20

On peut modifier le point d'ébullition d'un gaz en l'incorporant ou

l'associant à un autre plus volatil que lui, si on veut élever, ou moins volatil si on veut abaisser ce point.

Tessié du Motay et Rossi avaient déjà employé une dissolution dans l'éther d'anhydride sulfureux ou de gaz ammoniac, mais dans ce cas on diminuait encore la pression de liquéfaction. M. Pictet a employé, au contraire, l'acide carbonique et suivant la proportion de l'un et de l'autre, on a des liquides dont le point d'ébullition varie de -70° à -7° . Le liquide Pictet a pour formule symbolique CSO^4 bouillant à -19° .

« Dans les machines frigorifiques actuelles, dit M. Pictet (Comptes rendus de l'Académie des Sciences), fonctionnant au moyen de liquides volatils simples, comme l'ammoniac, 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 se relève. Cette dissolution peut être physique ou chimique, par dissociation ou par combinaison.

« L'oxydation de l'acide carbonique par l'acide sulfureux donne naissance aux corps suivants :

					Point d'ébullition
40	CO ²	+	SO ²	=	C ⁴⁰ O ⁸² S — 71°
30	CO ²	+	SO ²	=	C ³⁰ O ⁶² S — 54°
20	CO ²	+	SO ²	=	C ²⁰ O ⁴² S — 41°
10	CO ²	+	SO ²	=	C ¹⁰ O ²² S — 26°
	CO ²	+	SO ²	=	C O ⁴ S — 19°
	CO ²	+	2 SO ²	=	C O ⁶ S ² — 15°
	CO ²	+	3 SO ²	=	C O ⁸ S ³ — 12°
	CO ²	+	4 SO ²	=	C O ¹⁰ S ⁴ — 9°, 5
	CO ²	+	5 SO ²	=	C O ¹² S ⁵ — 8°, 6
	CO ²	+	6 SO ²	=	C O ¹⁴ S ⁶ — 8°
	CO ²	+	7 SO ²	=	C O ¹⁶ S ⁷ — 7°, 5

« Tous ces liquides possèdent la propriété de présenter aux températures élevées une association complète des éléments ; aux basses températures le liquide volatil se décompose en une série de liquides intermédiaires émettant chacun des vapeurs pour son propre compte.

« Si l'abaissement de température est très considérable à — 30° ou — 40°, les liquides volatils CO¹²S⁵ — CO¹⁶S⁷ — CO²S³ se décomposent d'une manière visible dans le matras de verre scellé où ils sont renfermés 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 de 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 SCO^4 , comparativement à celles de SO^2 seul.

Températures	SCO^4	SO^2	Températures	SCO^4	SO^2
— degrés	— atm.	— atm.	— degrés	— atm.	— 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 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. »

M. Pictet a proposé pour la préparation de son liquide mixte CSO^4 l'emploi de la réaction du charbon sur l'acide sulfurique à 320^0 environ, réaction qui donne naissance à un mélange d'acide sulfureux et d'acide carbonique ; on y incorpore une certaine proportion d'acide carbonique produit par la décomposition d'un carbonate par un acide fixe.

Signalons encore des liquides mixtes proposés par M. Quiri et formés d'acide sulfureux, de sulfure de carbone et d'hydrocarbures divers.

CHAPITRE III

MACHINES A AIR

Les machines à air appliquent le froid produit par la détente de l'air.

Un certain nombre d'appareils ont été construits d'après ce système et schématiquement tous comprennent quatre parties fondamentales :

- 1° Un compresseur ;
- 2° Un refroidisseur ou sécheur d'air ;
- 3° Un détendeur ;
- 4° Un réfrigérant.

Le *compresseur* est la partie de la machine dans laquelle s'effectue la compression du gaz. Ils sont à double ou à simple effet, les premiers étant les plus employés afin de diminuer autant que possible les dimensions de l'appareil.

Ce compresseur présente des soupapes avec amortisseurs de chocs diversement disposés. La tige du piston doit présenter une garniture, le *stuffing box* à cuir embouti, par exemple, des machines Giffard primitives. La compression du gaz produit nécessairement une certaine quantité de chaleur que l'on combat le plus généralement par une circulation d'eau froide dans une chemise externe.

Le refroidissement ainsi effectué est d'ailleurs très incomplet ; il doit être terminé dans le *refroidisseur sécheur* dans lequel l'air comprimé circule autour de tubes à circulation d'eau froide.

Ces tubes, souvent en cuivre, sont alors ou annulaires ou croisés. Le refroidisseur est formé dans l'appareil Clerk par une série de gros cylindres concentriques fermés à un bout seulement, emboîtés les uns dans les autres avec une circulation alternative d'eau froide et d'air comprimé.

On peut aussi soumettre l'air comprimé à l'action d'une injection d'eau froide. Il faut alors débarrasser le gaz de la vapeur d'eau entraînée, ce qui se fait dans le sécheur.

Enfin on peut refroidir sensiblement l'air comprimé en le faisant circuler dans des tubes en contact avec un courant d'air froid.

Le *détendeur* dans lequel s'effectue la brusque dilatation du gaz est analogue au compresseur. Une *boîte à neige* lui fait presque toujours suite; l'air refroidi y dépose la neige qui s'est condensée sur les parois en chicanes ou sur de simples surfaces rugueuses et recouvertes. La détente est le plus souvent réglée automatiquement par la pression finale au compresseur.

Le *réfrigérant* subit toute une série de modifications suivant les différentes applications que reçoit la machine.

MACHINE WINDHAUSEN

C'est la première en date; elle date de 1869. Elle était formée essentiellement d'un piston très épais et non conducteur, aspirant l'air par un clapet et le comprimant ensuite; d'un refroidisseur divisé en deux parties dont l'une était rafraîchie à l'aide d'eau froide et la seconde à l'aide d'air froid.

L'air se détendant dans une cavité spéciale et ainsi refroidi et détendu se distribuait partie au refroidisseur et partie dans un bac à glace; les deux fractions se réunissaient finalement pour revenir à l'aspiration du compresseur. La machine était donc à cycle fermé.

En 1876, M. Windhausen a proposé une machine à cycle ouvert comprenant deux cylindres à double effet, un compresseur et un détendeur, il n'y avait pas de condenseur à circulation d'eau. Pour cela l'air se détendait sous le piston des détendeurs et refroidi il est envoyé dans la chambre du réfrigérant ou chambre froide, de là dans les tubes du refroidisseur, puis dans le compresseur qui l'expédie après l'avoir ramené à la pression atmosphérique. Ces machines étaient malheureusement beaucoup trop volumineuses.

MACHINES GIFFARD

La machine Giffard date de 1873 et a reçu depuis un grand nombre de perfectionnements. Nous la décrirons telle qu'elle fut discutée par une commission nommée pour l'examen des différents appareils frigorifiques proposés en vue de la conservation des cadavres à la Morgue.

L'air était comprimé dans un cylindre où la pression atteignait deux à trois atmosphères environ par un piston spécial agissant d'une manière hermétique et avec un minimum de frottement : c'était le *compresseur*.

En sortant de là l'air se trouvait porté à une température de 150° , il était alors refroidi à 14° en passant sous pression à travers un faisceau tubulaire autour duquel circulait de l'eau de puits et formant le *refroidisseur*. Il s'accumule alors dans un *réservoir de pression*.

Le *détendeur* ou mieux cylindre moteur de détente est formé par un deuxième cylindre où arrive l'air comprimé et froid sous un piston qui en se soulevant offre à l'air comprimé un espace libre dans lequel se produit la détente.

Cet air agissant donc sur un piston analogue à celui employé pour la compression restitue sous une pression variable de 2 à 3 atmosphères le travail dû à l'obtention de la pression en produisant par ce fait seul une température différentielle de 60 à 80 degrés centigrades. L'effet exercé sur le piston de détente, compense directement dans le rapport des surfaces des pistons le travail dépensé par la compression de l'air dans le réservoir.

La soupape de refoulement se compose d'un disque en acier très léger à tige creuse battant par une simple circonférence de contact presque linéaire sur un siège en bronze. Les soupapes d'aspiration sont analogues.

Le piston a pour garniture un anneau de caoutchouc double, doux à l'intérieur et dur à l'extérieur, qui se trouve appliqué par la pression même de l'air.

Les soupapes du détendeur sont conduites par des cames, elles sont en acier, très légères, et battant sur des sièges en caoutchouc durci.

Chaque appareil installé à Grenelle, lançait par heure, un volume de 800 m^3 , à une température de -40° , la pression étant seulement de 2,4 atmosphères dans le réservoir, et la température de l'air étant de 22° centigrades à son entrée dans le cylindre de détente; autrement dit, l'appareil fonctionnant sous une pression de 2 atmosphères, donnait un abaissement de température de 62° en absorbant une force de 18 à 20 chevaux. Le même appareil par un réglage convenable des cames aurait pu produire à 3 atmosphères, un abaissement de température de 75° et donner de l'air à -33° .

Le travail frigorifique fourni par la machine est directement utilisé dans des chambres à refroidir, ou *congélateurs*, où l'on placait, soit dans des vases soit dans des carafes, l'eau à congeler.

Dans un petit congélateur dont le volume était de 90 m^3 , la température pouvait s'abaisser, suivant Giffard et Berger, jusqu'à -22° , lorsque les $3\,500 \text{ lit.}$ d'eau placés dans la chambre étaient entièrement congelés. Une seconde chambre de 240 m^3 , dans laquelle la température s'abaissait à -8° , enveloppait le congélateur. Enfin, une chambre extérieure de 100 m^3 et dans laquelle la température variait de $+1^\circ$ à -2° servait à la manipulation de la glace et des carafes frappées.

Le grand congélateur de la même usine avait un volume de 650 m^3 , les chambres destinées à la conservation des viandes et denrées alimentaires et maintenues à la température de -6° , avaient un volume total de $1\,500 \text{ m}^3$.

Chaque appareil fournissant 800 m^3 d'air froid par heure, donnait donc $3\,500 \text{ kg.}$ de glace par jour avec un volume utilisable en plus de $17\,600 \text{ m}^3$ d'air froid à -2° centigrades pour la conservation des matières alimentaires.

La consommation en charbon pour obtenir ce résultat était d'après Giffard et Berger de $1\,000 \text{ kg.}$ par jour, au prix moyen de 22 francs.

La température de l'air ambiant n'influaient que dans un très faible rapport sur le rendement frigorifique de l'appareil qui dépendait surtout de la température de l'eau employée au refroidissement de l'air comprimé. L'eau de puits employée à Grenelle était à 14° ; le rendement était donc à peu près le même en hiver et en été.

M. Limyt a pu calculer les différentes données d'une machine à glace Giffard et Berger de la façon suivante :

La machine à vapeur est de 25 chevaux et donne 53 coups par minute. L'air supposé rigoureusement sec est comprimé à 2 atmosphères et demie ; une fois refroidi il se détend de cette pression jusqu'à une atmosphère et il s'écoule refroidi dans le congélateur. La consommation est de 400 m^3 d'air à l'heure et la production de $3\,000 \text{ kg.}$ de glace environ par 24 heures.

La machine à vapeur ne brûle pas moins de 2 kg. de houille par cheval et par heure, soit 50 kg. à l'heure, ou $1\,200 \text{ kg.}$ par jour ; ce qui, pour une production de $3\,000 \text{ kg.}$ de glace, donne $2^{\text{kg}},5$ de glace pour 1 kg. de houille.

Le travail produit par la détente est :

$$T. = P. V. \text{Log. nep. } 2,5.$$

$P. = 10\,000$ kg. (pression par mètre carré au lieu de 10 300).

$$V. = 800 \text{ m}^3.$$

$$L. 2,5 = 0,91623.$$

$$T. = 7.200.000 \text{ kgrm. par heure.}$$

En chevaux on a :

$$\frac{T}{75 \times 60 \times 60} = 23 \text{ chevaux.}$$

Ce même travail est l'équivalent de $\frac{T}{425}$ ou 17 000 calories.

Si elles étaient employées sans perte à la congélation de l'eau, à raison de 100 calories par kilogramme de glace, on aurait 170 kg. de glace à l'heure ou 4 000 kg. environ en 24 heures.

1 m³ d'air pesant 1^{kg},3 (sa chaleur spécifique étant de 0,23 donne 9 100 kgrm. en se détendant de 2 1/2 atmosphères à 1 atmosphère. C'est l'équivalent de 21 calories (à 425 kg. par calorie). — L'abaissement de température sera donné par l'équation :

$$1^{\text{kg}},3 \times 0,23 \times t = 21 \text{ calories, d'où } t = 70^{\circ}.$$

L'air étant à 20° serait refroidi à — 50° si aucune chaleur n'était restituée par les circonstances extérieures.

D'autre part M. Ledoux a indiqué les chiffres suivants pour le rendement théorique par mètre cube d'air d'une machine Giffard fonctionnant sans espaces nuisibles avec de l'air à l'état hygrométrique 0,5, la température initiale de 15° avec un rendement organique de 22 0/0.

Pression au réservoir en atmosphères	Température finale t_1 au compresseur	Température finale t_2 au détendeur	Chute de température $t_1 - t_2$	Nombre de frigories	Nombre de frigories			
					par kgm.		par cheval-heure	
					théorique	effectif	théorique	effectif
1,5	51°, 04	0°, 43	15°, 63	4.435	0,01531	4.434	0,00444	1.226
2	79, 31	21, 70	36, 70	40.600	0,00843	2.276	0,00436	1.447
2,5	102, 53	37, 25	52, 25	45.090	0,00660	1.782	0,00393	1.066
3	123, 39	50, 80	63, 80	18.997	0,00545	1.472	0,00355	939
3,5	144, 57	61, 53	76, 53	22.095	0,00481	1.299	0,00328	886
4	157, 98	70, 58	85, 58	24.710	0,00435	1.176	0,00307	829
4,5	173, 00	78, 20	93, 26	26.928	0,00409	1.104	0,00290	783

Les machines Giffard ont présenté des modifications spéciales pour pouvoir être employées à bord des bâtiments.

Parmi les machines qui ont été encore construites en appliquant le froid produit par la détente de l'air, nous devons signaler celles de *Bill et Coleman*, surtout appliquées à la réfrigération à bord des navires. Les machines de *Hall* et les machines de *Lightfoot*, celles de *Hargreaves et Inglis*, de *Haslam*, de *Matthews*, etc. (1).

Toutes ont reçu des applications très nombreuses, et bien que répondant aux mêmes principes et à la même disposition générale, elles ont été modifiées suivant les cas pour mieux satisfaire à tel ou tel besoin.

Depuis ces vingt dernières années, elles ont cependant peu à peu cédé le pas devant les appareils beaucoup plus pratiques et plus commodes qui utilisent les gaz liquéfiés, acide carbonique, ammoniac ou acide sulfureux. Ce sont elles que nous allons étudier maintenant avec le plus de détails possibles.

(1). Consulter pour plus de détails: G. RICHARD, *Les Machines frigorifiques à l'Exposition universelle de 1889*, mémoire où se trouve une étude très complète sur les machines à air et dans lequel nous avons puisé un certain nombre de renseignements que nous donnons ci-dessus.

CHAPITRE IV

MACHINES FRIGORIFIQUES A GAZ LIQUÉFIÉS

Ces machines utilisent le froid produit par la gazéification d'un gaz ou d'une vapeur liquéfiée, voire même d'un liquide très volatil.

A cette catégorie d'appareils on peut et on doit rattacher la machine à glace Carré produisant le froid par évaporation même de l'eau à très basse température sous de très faibles pressions.

Ainsi que nous l'avons vu les corps que l'on peut employer sont assez nombreux, mais quel que soit l'agent de réfrigération employé, que ce soit de l'acide carbonique, de l'ammoniac, de l'acide sulfureux, de l'éther, ou tout autre gaz, la fabrication du froid comprend trois opérations :

1° *La Compression.* — Le gaz, par un moyen mécanique ou autre, est refroidi à une pression qui varie suivant la nature de ce gaz : 50 kg. pour l'acide carbonique, 9 à 10 pour l'ammoniac, 3 pour l'acide sulfureux. Cette compression du gaz produit un échauffement qu'il s'agit de faire absorber dans la seconde opération.

2° *La Condensation.* — Le gaz ainsi refoulé passe dans un appareil où il est refroidi ; sous l'influence de ce froid et de la compression produite par la première opération, il passe à l'état liquide.

En se liquéfiant, il cède à l'agent de refroidissement — ordinairement l'eau — toute sa chaleur.

3° *L'Expansion ou évaporation.* — Le gaz ainsi liquéfié est amené par un robinet bien réglé dans un appareil spécial dans lequel règne une pression insuffisante pour le maintenir à l'état liquide.

Il s'évapore donc en cédant à ce qui entoure l'appareil d'expansion une quantité de froid équivalente à la chaleur qu'il a communiquée dans l'opération précédente à l'eau de condensation.

Le gaz ainsi évaporé est repris et aspiré par l'appareil compresseur (première opération) qui le condense à nouveau. Il est ensuite évaporé

(troisième opération) et ainsi de suite, de façon que le même gaz sert continuellement.

Les différentes parties de ces machines sont donc toujours au nombre de quatre :

- 1° Le *compresseur* ou pompe ;
- 2° Le *liquéfacteur* ou refroidisseur condenseur ;
- 3° Le *détendeur* ;
- 4° Le *réfrigérant*.

Chacun de ces éléments se retrouve dans tous les appareils fondés sur ce principe, avec des modifications inhérentes à chaque système et à chaque agent employé.

Le *compresseur* est à simple ou à double effet. Il peut être horizontal ou vertical. Il présente naturellement à considérer un piston, des soupapes, des garnitures ou *stuffing box* s'opposant aux fuites du gaz autour de la tige du piston ; enfin on peut lutter contre l'échauffement même du gaz provoqué par la compression, au moyen d'une réfrigération partielle et totale ; cette réfrigération est le plus souvent provoquée par l'injection dans le cylindre d'une petite quantité de gaz déjà liquéfié.

En Europe, on construit généralement des compresseurs horizontaux à double effet, avec manivelles à 120° en avance de celle du moteur, ou en tandem sur le prolongement du cylindre moteur, ou par paire accouplée sur une même manivelle à droite et à gauche de l'axe du volant ; aux Etats-Unis, on préfère souvent la disposition verticale, à double ou à simple effet, plus avantageuse pour l'usure des cylindres, mais plus coûteuse, plus encombrante et d'un moindre rendement organique. Les soupapes, en fer ou en acier, doivent s'ouvrir largement pour offrir au passage des gaz la moindre résistance possible — la perte de ce fait est à prévoir de 7 % environ du travail indiqué théorique — disposées de façon que le siège fasse corps avec la boîte de la soupape et qu'une rupture de leur tige ne puisse pas les faire tomber dans le cylindre, et pourvues, pour les soupapes de refoulement, d'un *dash-pot* amortissant les chocs.

Le *stuffing-box*. — dans les machines à double effet — est, en général, constitué par deux garnitures comprenant entre elles une circulation d'huiles, circulation parfois refroidie par une détente de gaz

ammoniac portée autour de l'enveloppe. L'huile est ainsi épaissie et assure l'étanchéité avec un moindre serrage des garnitures.

Enfin, dans certaines machines à acide carbonique, on fait rendre les fuites du stuffing-box dans un petit gazomètre spécial qui les restitue de temps en temps à la circulation ⁽¹⁾.

Le *condenseur* est généralement formé par une série de tubes droits en zigzags ou par un serpentín dans lequel le fluide comprimé est refroidi et ramené à la température initiale par l'action d'un courant d'eau froide périphérique ; on a proposé aussi le refroidissement par vaporisation de l'eau imbibant un canevas dans lequel est insufflé un violent courant d'air (système Begligh) ou encore la vaporisation de l'eau pulvérisée et injectée à la surface du condenseur par une insufflation d'air comprimé (système Ballantine).

Dans le cas des serpentins, les spires doivent présenter toutes, autant que possible, la même surface de refroidissement, également soumise à la circulation de l'eau, et l'on a avantage principalement avec l'acide carbonique, à faire précéder le condenseur principal d'un condenseur auxiliaire pour absorber la chaleur de surchauffe. Il est difficile de calculer la surface des condenseurs puisqu'on ne connaît pas leur conductibilité, mais on ne peut guère, en moyenne, compter sur un refroidissement de plus de 1.000 calories par heure et par mètre carré de surface intérieure des serpentins, et l'on a toujours avantage à faire les condenseurs plutôt trop grands. En Amérique on compte, pour l'ammoniac, avec de l'eau entrant à 20° et sortant, à 27°, 0^m2,20 par kilogramme de glace à l'heure, ou 25 centimètres carrés par frigorie-heure effective, soit 400 à 450 calories par mètre carré, et une dépense d'eau de 0^l,4 par frigorie-heure. Pour les condenseurs par évaporation, refroidis par la vaporisation à l'air libre de l'eau dispersée sur leurs surfaces, on estime, en Amérique, où ils sont très employés, qu'il faut presque doubler cette surface. Avec les types à vaporisation par ventilateurs, on peut absorber jusqu'à 400 calories par mètre carré et par heure, mais le rendement de ces appareils, qui présentent l'avantage de dépenser moins d'eau et d'être plus accessibles, est extrêmement variable suivant leur exposition, l'état de leurs surfaces, etc.

Entre le compresseur et le réfrigérant, se trouve le *liquéfacteur*, ou récipient dans lequel s'emmagine le gaz liquéfié et où il achève de

(1) G. R. *Notes et Formules de l'Ingénieur*, 1902, p. 1134, E. Bernard, édit.

se séparer de l'huile entraînée. Dans certaines machines à acide carbonique, ce liquéfacteur est entouré d'un bain refroidi par le retour de l'acide carbonique à l'aspiration du compresseur, disposition qui n'augmente pas le rendement de la machine, mais diminue sa fatigue ⁽¹⁾.

La *détente* se fait le plus généralement au moyen d'un simple robinet plus ou moins modifié suivant les circonstances, quelquefois tournant, à plusieurs voies réglables et distribuant uniformément le gaz aux différents serpentins du réfrigérant, qui se trouvent ainsi mieux utilisés.

Ce ne peut être simplement qu'un simple pointeau commandé à la main ou pour l'acide carbonique, une soupape différentielle.

Le *réfrigérant* est formé le plus souvent par une série de tubes dans lesquels circule le gaz revenant à la pression atmosphérique. Suivant les circonstances, il refroidit soit un liquide incongelable que l'on fera circuler ensuite dans une enceinte à refroidir, ou qui entoure des mouleaux d'eau afin d'obtenir de la glace, soit l'atmosphère même des enceintes à réfrigérer par contact direct du tube et de l'air lui-même. Cette dernière partie constitue en somme l'application même de la machine à glace, et nous l'étudierons dans des chapitres spéciaux.

Le liquide le plus fréquemment employé pour les réfrigérants est une dissolution de chlorure de calcium au titre de 0^h,13 par litre d'eau, au maximum, de densité 1.10, de chaleur spécifique 1.13, mise en circulation par des agitateurs ou des turbines.

La première machine construite dans ce genre utilisait l'éther sulfurique. L'éther s'évaporait sous l'action d'une pompe aspirante et foulante et abandonnait au bain salé entourant le réservoir tout le froid produit par cette évaporation. Les vapeurs étaient ensuite comprimées par la même pompe et ramenées dans le condenseur à l'état liquide. Ce système offrait des inconvénients énormes :

1. — Il fallait un grand vide pour évaporer l'éther, liquide relativement peu volatil, d'où rentrées d'air dans la machine.
2. — Difficultés énormes dans la lubrification.
3. — Inflammabilité de l'éther, danger d'incendie et d'explosion.
4. — Peu de rendement.

Ce système fut abandonné.

Tellier utilisa dans la machine qu'il a proposée le froid produit par

(1) G. R. Op. cit. p. 4123.

l'évaporation de l'oxyde de méthyle. Ce corps, découvert en 1835, par Dumas et Péligot, est gazeux à la température ordinaire ; il se liquéfie sous une pression de 8 atmosphères et il bout à la température de 23° .

La machine de Tellier se compose d'un frigorifère construit comme une chaudière tubulaire ; une pompe sert à faire passer un liquide incongelable dans les tubes du frigorifère, et le conduit dans un réservoir, d'où il est distribué dans les appareils à refroidir. L'oxyde de méthyle vaporisé est repris par une pompe de compression, qui le liquéfie sous une pression de 8 atmosphères dans un condenseur d'où il retourne au frigorifère ; il y a donc une double circulation de l'oxyde de

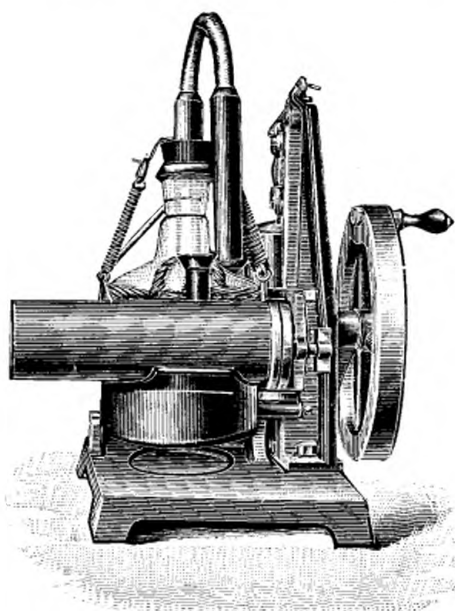


Fig. 6. — Le *Polaire* faisant la glace en blocs, frappant les vins ou glaçant beurre, lait, crème, etc.

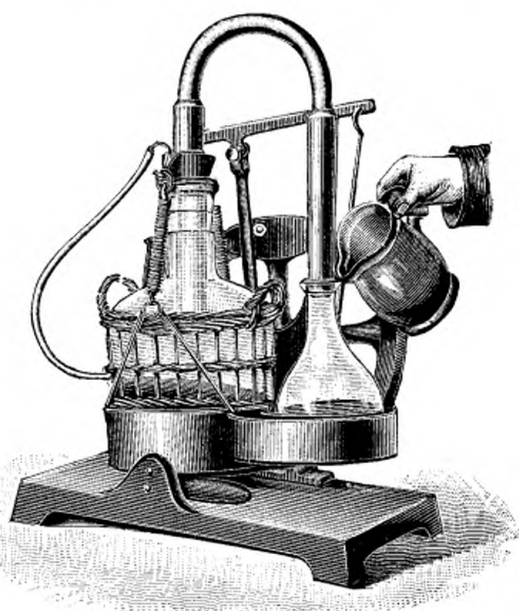


Fig. 7. — Le *Polaire* frappant une carafe.

méthyle au frigorifère et ensuite à la pompe de compression, et du liquide incongelable qui traverse les tubes du frigorifère.

Cette machine était aussi peu pratique en raison même du prix relativement élevé de l'oxyde de méthyle et des pertes trop faciles qui pouvaient se produire.

Rappelons encore la machine Carré par le vide dont le principe fort ingénieux repose sur le principe de la congélation de l'eau par évapora-

tion à l'aide d'une pompe à vide et de l'acide sulfurique, absorbant énergique des vapeurs d'eau.

Ces machines se composent d'une pompe à vide très efficace, d'un récipient qui contient l'acide sulfurique et d'un vase, carafe ou jarre, contenant ce que l'on désire congeler ou rafraîchir.

La partie la plus importante de la machine est la pompe pneumatique. Elle produit un vide aussi parfait que possible en fonctionnant lentement et aisément, et l'air ne peut y pénétrer.

L'acide sulfurique employé est celui en usage dans le commerce, à 66° Baumé. Il peut être récupéré par une évaporation et une concentration répétée. Le *Polaire* construit par la maison Douane est établi d'après ce principe.

Ce système peut difficilement être appliqué en grand, bien que cela eût déjà été fait. Windhausen en particulier a cherché à établir une machine disposée d'après ces principes; elle fut construite par Riedinger à Augsbourg, en 1855 et établie dans la brasserie de Saint-Anne à Munich. Elle donnait une saumure à la température de 3 à 6° C, en travaillant avec une eau dont la température initiale variait entre 12 et 19°. Un perfectionnement de cette machine fut indiqué par Lange. Mais quel que soit le système employé les machines à air, à vide ou à détente sont de nos jours presque complètement abandonnées et pour la production industrielle du froid on ne se sert plus que du chlorure de méthyle, de l'acide sulfureux, de l'ammoniac et de l'acide carbonique.

CHAPITRE V

MACHINE A GAZ SULFUREUX

Les machines qui emploient la chaleur de volatilisation du gaz sulfureux pour la production du froid sont en certain nombre. La théorie en est toujours la même et nous prendrons pour type la machine Pictet.

MACHINES PICTET

Nous décrivons de la façon suivante les phénomènes accomplis par l'appareil pendant le cycle entier de ses opérations ⁽¹⁾.

Supposons que l'on ait un premier réservoir parfaitement hermétique, contenant une certaine quantité d'anhydride sulfureux liquide à la température ambiante, et que l'on fasse communiquer la partie supérieure de ce réservoir avec une pompe aspirante et foulante en activité.

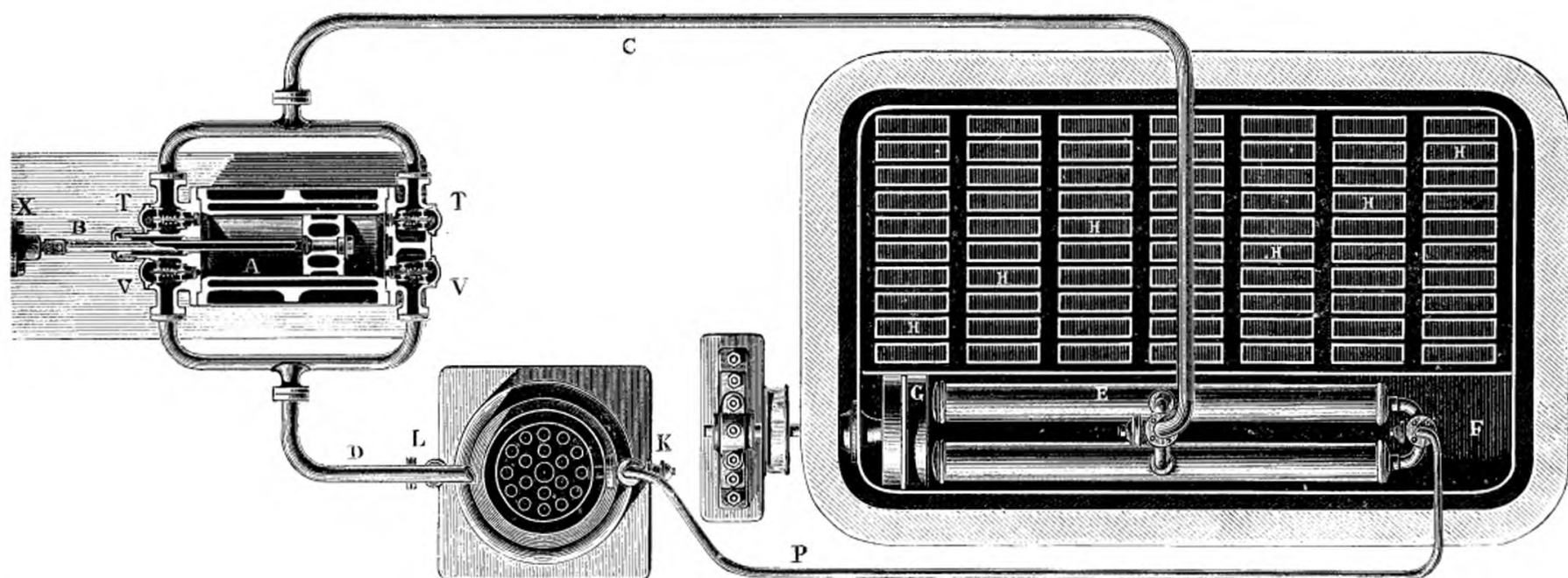
Les vapeurs contenues dans le réservoir seront aspirées par la pompe et chassées au dehors; la pression exercée par ces vapeurs sur le liquide diminuera aussitôt, l'anhydride sulfureux entrera en ébullition pour émettre de nouvelles vapeurs en remplacement de celles que la pompe a enlevées. Cette ébullition fait donc passer de l'état liquide à l'état gazeux une certaine quantité d'anhydride sulfureux. Or, 1 kg. d'anhydride sulfureux absorbe 100 calories pour opérer ce changement d'état. Cette chaleur doit nécessairement être fournie au liquide du réservoir. Elle est donc soustraite par le liquide lui-même, soit aux parois métalliques du réservoir qui le contient, soit surtout au liquide extérieur dans lequel ce récipient est plongé.

On voit par là qu'à chaque coup de pompe la température du réservoir et du bain dans lequel il se trouve doit s'abaisser, et cela proportionnellement au poids du liquide évaporé.

Au fur et à mesure que la température s'abaisse, la tension des vapeurs qui se forment diminue, et lorsque cette tension est égale à la

(1) D'après le *Guide Pratique servant au montage et à la conduite des Machines à glace, système Raoul Pictet.*

Fig. 8. — Vue en plan de la machine Pictot (plan schématique — nouveaux réfrigérants et condenseurs).



A Pompe de compression.

B Piston compresseur.

C Tuyau d'aspiration de l'anhydride gazeux.

D Tuyau de refoulement de l'anhydride gazeux.

E Réfrigérant incongelable nouveau système.

F Cuve de congélation.

G Hélice pour agiter le bain incongelable.

H Moules à glace.

I Condenseur vertical nouveau système.

K Robinet de réglage.

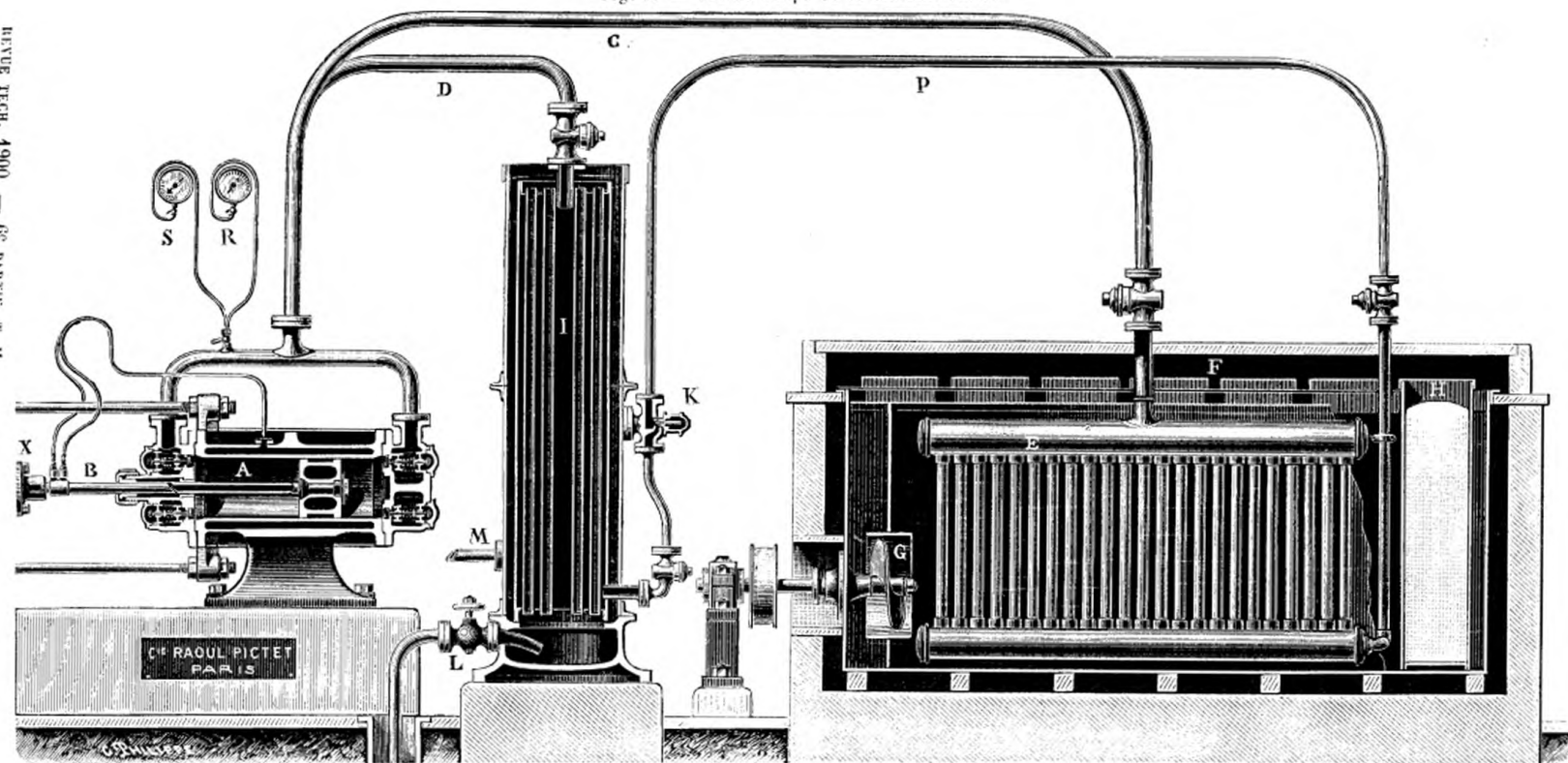
P Tuyau de retour d'anhydride liquide.

T Soupape d'aspiration.

V Soupape de compression.

X Jonction du piston moteur avec le piston compresseur.

Fig. 9. — Vue en coupe de la machine Pictet.



2

A Pompe de compression.
B Piston compresseur.
C Tuyau d'aspiration de l'anhydride gazeux.
D Tuyaux de refoulement de l'anhydride gazeux.
E Réfrigérant incongelable nouveau système.

F Cuve de congélation.
G Hélice pour agiter le bain incongelable.
H Moules 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.

pression atmosphérique, la température de ce réservoir que nous avons appelé le réfrigérant, sera exactement -10^0 .

Il va sans dire que le liquide dans lequel le réfrigérant est plongé participe à cette basse température; ainsi, si c'est de l'eau ordinaire, elle se congèlera rapidement contre les parois métalliques du réservoir;

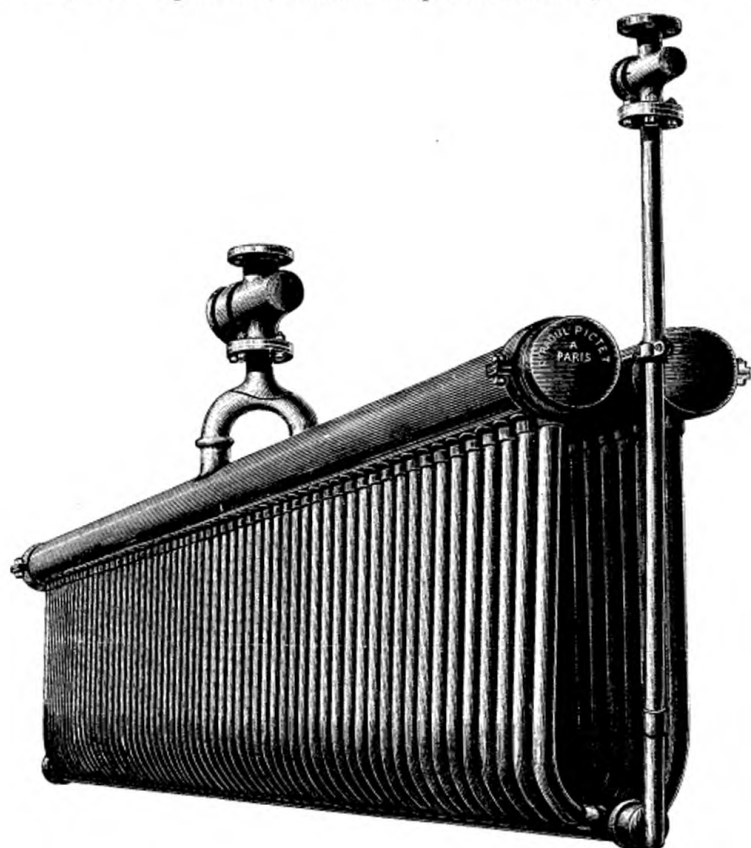


Fig. 10. — Réfrigérant à 3 collecteurs.

si c'est de l'eau saturée de sels: chlorure de magnésium, de calcium, etc., etc., ce liquide incongelable descendra à une température proportionnelle au degré de vide obtenu dans le réfrigérant, et en y plongeant des moules contenant de l'eau pure, on obtiendra la congélation de cette eau sous forme de pains de glace.

Si l'anhydride sulfureux évaporé ne rentrait pas dans le réfrigérant, l'opération serait de courte durée, car elle cesserait dès que la provision de liquide aurait disparu; aussi, au lieu de perdre les vapeurs aspirées

par la pompe, on les recueille dans un second réservoir métallique que nous avons appelé condenseur. Cet appareil est immergé dans un courant d'eau ordinaire. La pompe refoule à chaque coup de piston une nouvelle quantité de vapeur dans le condenseur, où la pression monte immédiatement ; mais dès qu'elle atteint la tension maximum

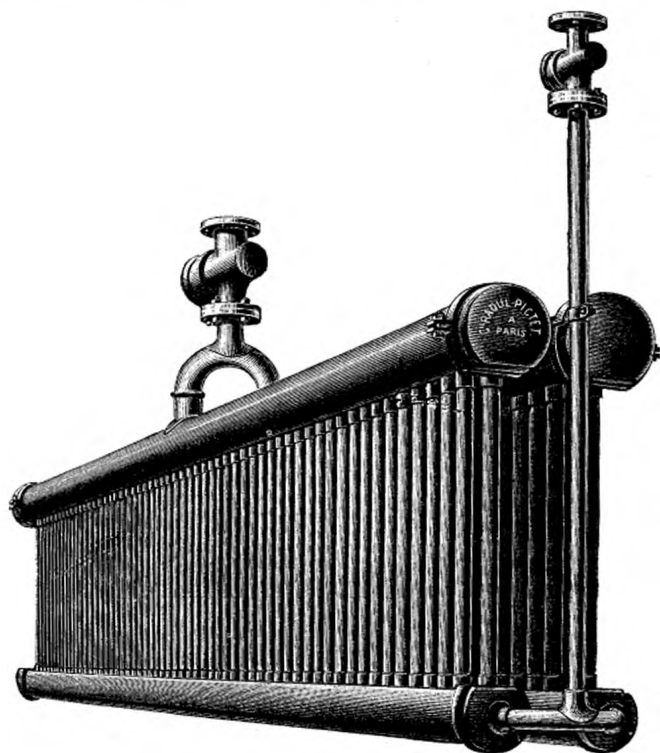


Fig. 11. — Réfrigérant à 4 collecteurs.

des vapeurs de l'anhydride sulfureux à la température de l'eau courante, ces vapeurs se condensent sous forme de liquide en abandonnant toute la chaleur qu'elles ont absorbée dans le réfrigérant pendant leur volatilisation.

Ainsi à chaque tour de la pompe, on reconstitue dans le condenseur une quantité de liquide égale à celle qui disparaît dans le réfrigérant.

La pression dans le condenseur est toujours supérieure à celle du

réfrigérant, puisqu'il y a inégalité de température dans ces deux réservoirs, et que le réfrigérant est le plus froid.

On utilise ce fait pour restituer au réfrigérant le liquide qui s'évapore, et cela au moyen d'une disposition des plus simples; un tuyau part de la partie inférieure du condenseur où s'accumule le liquide, et débouche dans le réfrigérant. Sur ce tuyau on dispose un robinet de réglage, qui permet d'étrangler l'orifice. Le liquide formé, sollicité par la différence de pression, s'écoule constamment du condenseur dans le réfrigérant, et l'on règle le robinet de manière que la quantité de liquide qui passe soit exactement égale à celle qui est enlevée par le jeu de la pompe.

La machine Pictet est donc une machine à gaz liquéfié.

Grâce à cette disposition, le fonctionnement de la machine est continu, et l'on peut produire du froid et de la glace d'une manière régulière.

La théorie de l'appareil est fondée sur le passage continu de l'état liquide à l'état gazeux de l'anhydride sulfureux : c'est là la source de froid. Une pompe permet de reconstituer le liquide dans le condenseur, et le liquide revient de lui-même dans le réfrigérant pour subir une seconde volatilisation.

La quantité de froid produite est directement proportionnelle à la puissance de la pompe et au poids du liquide évaporé.

Ainsi l'appareil R. Pictet se compose des quatre organes principaux et essentiels d'une machine frigorifique, à savoir :

- 1° Un réfrigérant contenant l'anhydride sulfureux ;
- 2° Une pompe aspirante et foulante ;
- 3° Un condenseur ;
- 4° Un robinet de réglage, servant au retour de l'anhydride condensé dans le réfrigérant.

Pratiquement chacun de ces organes est disposé de la façon suivante :

- 1° *Le réfrigérant.* — Il se compose de deux parties bien distinctes :
- a) Un réservoir métallique contenant l'anhydride sulfureux.
 - β) Une cuve contenant les moules où la glace doit se former.
 - z) Dans les appareils évaporateurs, la partie la plus importante est celle que remplit le liquide, et cela, à cause du contact qui existe entre lui et les parois métalliques, condition essentielle d'un rendement maximum comme transmission du calorique.

Dans la machine que construit la Compagnie industrielle R. Pictet

l'échange est maximum pour une très petite quantité de liquide grâce au dispositif employé qui consiste en tubes droits assujettis dans une position verticale au corps principal de l'appareil formé essentiellement de quatre gros tubes horizontaux en cuivre ; ces tubes font ainsi l'office de tubes communicants entre les corps principaux de l'appareil ; le liquide volatil s'y maintient au même niveau.

L'appareil tout en cuivre étamé se compose de deux tubes de diamètre et de longueur variables avec la puissance de l'appareil ; ils servent de collecteurs et de dômes de vapeur.

Les tubes communicants sont fixés par une soudure à l'étain dans des manchettes brasées sur les collecteurs.

Cette disposition établit pour les manchettes une étanchéité parfaite et une solidité à toute épreuve. Les tubes peuvent se mettre facilement et s'enlever sans que les soudures voisines en souffrent.

L'anhydride liquide revient aux collecteurs inférieurs par un tube placé au bas de l'appareil.

Ce mode de construction et cette disposition ont l'avantage considérable d'éviter la rupture des tubes des réfrigérants 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.

Le réfrigérant est l'âme de la machine ; la durée du fonctionnement de l'appareil repose essentiellement sur la perfection de construction de cet organe.

Les dimensions du réfrigérant varient suivant la puissance du type. Les surfaces des tubes sont proportionnelles à la quantité de glace produite par heure.

§) *La cuve.* — Afin d'utiliser le froid produit par l'évaporation de l'anhydride sulfureux, on dispose le réfrigérant soit au milieu, soit sur le côté d'une grande cuve rectangulaire. Une circulation très active de la dissolution incongelable de chlorure de calcium 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 de liquide, produit par la rotation de l'hélice, à passer autour des tubes et de la surface extérieure du réfrigérant. Des ouvertures ménagées à chaque extrémité de ces parois permettent à l'eau de passer autour du réfrigérant et de sortir derrière l'hélice pour circuler autour des mouleaux placés régulièrement dans l'intérieur de la cuve.

Si la circulation du liquide incongelable est arrêtée par une cause quelconque, le rendement de la machine est considérablement diminué. Il est donc essentiel d'avoir un bain absolument incongelable, pour que le froid intense produit dans le réfrigérant ne puisse pas provoquer la congélation partielle du liquide en circulation. Les proportions de chlorure de calcium et d'eau employées doivent donc être parfaitement déterminées.

Les mouleaux qui renferment l'eau à congeler sont en tôle galvanisée et leurs contenances varient entre vingt et soixante kilogrammes. Mais ce dernier résultat n'est qu'une curiosité et ce n'est point là un résultat pratique ni économique. La fabrication de la glace fera d'ailleurs l'objet d'un chapitre spécial.

La quantité d'eau totale placée dans les mouleaux doit être congelée par la machine en une dizaine d'heures environ.

Pour isoler aussi parfaitement que possible la cuve réfrigérante, on la dispose dans une cuve plus grande en maçonnerie ou en bois qui la sépare du sol et des parois environnantes. Dans l'espace annulaire qui sépare les deux cuves, on place soit des fragments de liège, soit des cendres, toutes matières mauvaises conductrices de la chaleur. Même un couvercle vient fermer la cuve et complète l'isolement.

2° *La Pompe ou compresseur.* — La pompe a pour but de comprimer les vapeurs soustraites au réfrigérant et de les liquéfier dans le condenseur.

C'est à la permanence du bon fonctionnement de cette pompe qu'est due la permanence de la production constante du froid.

Le corps de la pompe est un cylindre à double enveloppe dont les dimensions sont proportionnelles à la taille de l'appareil. On entretient à l'intérieur de la double enveloppe, un courant d'eau destiné à refroidir le cylindre.

Cette double enveloppe doit être soigneusement vidée afin d'éviter toute fracture par suite d'un gel possible. Le piston est en fonte, à segments élastiques et il ressemble à un piston de machine à vapeur. Sa

tige est creuse et l'eau qui a paru dans la double enveloppe où le cylindre passe au moyen de tubes de caoutchouc dans une tige qu'on refroidit à son tour.

3° Les *soupapes* et les *clapets* de différentes espèces présentent quelques caractères spéciaux.

a) Les *clapets d'aspiration* sont formés par un corps en acier, avec une tige assez épaisse et un disque résistant. Le guidage est aussi long que le comporte la boîte à clapets qui protège tout le mécanisme.

Le ressort de l'aspiration est faible ; la pression qu'il exerce au repos est au plus de $1/20^{\circ}$ d'atmosphère sur la surface du disque obturateur.

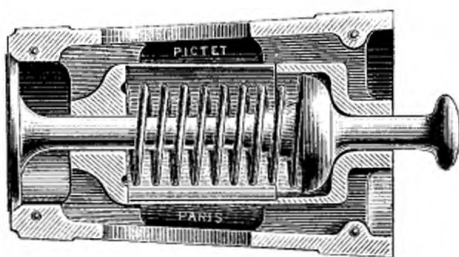


Fig. 12. — Clapet d'aspiration.

Le siège du clapet d'aspiration fait corps avec le guide. La fermeture est ainsi garantie. Aucun gauchissement n'est à redouter par le ressort dont les spires se touchent.

Le clapet est arrêté dans sa course par un croisillon qui sert aussi à l'empêcher 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.

b) Les *clapets de refoulement* sont construits sur le même principe que ceux d'aspiration et se caractérisent par les mêmes dispositions. Le ressort est plus puissant qu'à l'aspiration. Il doit agir avec une force correspondant à un $1/10^{\circ}$ d'atmosphère, au minimum, sur la section de sortie des gaz.

La puissance de ce ressort est très nécessaire, car elle atténue les mouvements brusques produits inévitablement par le jeu de la pompe.

Avec un ressort convenablement bandé, le clapet de refoulement s'appuie sur son siège, presque sans choc, au moment où le piston arrive à fin de course.

Les boîtes à clapet d'aspiration, ainsi que celles de refoulement, sont reliées par des tuyaux ou culottes qui portent des brides d'attente pour le tuyau qui relie la pompe au réfrigérant du côté de l'aspiration et pour le tuyau qui relie la pompe au condenseur du côté du refoulement.

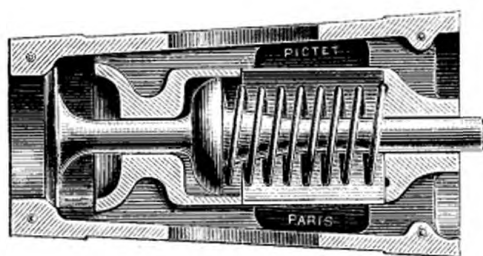


Fig. 43. -- Clapet de refoulement.

Sur ces deux culottes sont placés deux petits robinets qui servent au raccordement des manomètres indicateurs de la pression. En dessous de ces culottes, sont placés deux petits robinets semblables. Celui placé sous la culotte d'aspiration sert à faire rentrer l'air pendant les essais à l'air comprimé. Celui placé sous la culotte de refoulement sert à vider les tuyaux ou l'appareil des gaz qu'ils contiennent, lors de la mise en train ou pour une réparation.

5° *Le presse-étoupes.* — Le presse-étoupes permet d'éviter les pertes d'anhydride inutiles et nuisibles. On le bourre soit avec de la corde talquée trempée dans de la paraffine, soit mieux avec des bagues en matière plastique spéciale et trempées également dans de la paraffine pas trop chaude.

Ces bagues sont ensuite coupées obliquement de façon à pouvoir embrasser la tige du piston. Elles doivent entrer juste dans le presse-étoupes et bien serrer contre la boîte et la tige.

Avec des bagues bien préparées et bien placées, on obtient un joint parfait.

Le presse-étoupes ne doit être serré que très modérément pour éviter de faire frein sur la tige du piston.

6° *Le condenseur.* — Les gaz sortant de la pompe vont directement dans le condenseur. Formé par une véritable chaudière tubulaire en cuivre, il est placé verticalement. Les vapeurs d'anhydride sulfureux venant du compresseur entrent dans la partie supérieure, l'eau de condensation arrive par le bas et traverse les tubes inférieurs pour se déverser à l'extérieur du corps en cuivre.

Une enveloppe en tôle permet, ou de laisser couler l'eau librement la base, ou de la faire remonter à une certaine hauteur qui doit toutefois être à un niveau plus bas que le sommet de l'enveloppe.

Lorsque les conditions locales exigent d'économiser l'eau, on peut introduire dans les tubes des baguettes en bois, qui ne laissent qu'un petit espace annulaire pour le passage de l'eau. Celle-ci, étant en lame absorbe une plus grande quantité de calorique pour un même poids d'eau.

Un robinet, placé à la base règle l'entrée de l'eau de condensation qui doit constamment traverser le condenseur.

Cette eau est prise, soit dans un puits, soit dans une canalisation de la ville, soit dans la mer.

7° *Le robinet de réglage.* — L'anhydride qui s'est condensé dans le condenseur doit retourner au réfrigérant pour y subir une nouvelle volatilisation.

Dans ce but, l'orifice de sortie du condenseur est relié par un tube de retour au robinet de réglage destiné à limiter l'ouverture par laquelle le liquide peut passer ; il est relié, d'autre part, au réfrigérant, par un tube qui termine le circuit.

Ce robinet est à vis. Il est extrêmement sensible et se manie avec une grande facilité.

Une clef entraîne la pièce mobile, qui est filetée à sa partie inférieure, dans le corps du robinet.

Pour chaque tour, la partie inférieure de la pièce mobile s'éloigne d'un millimètre environ du siège sur lequel elle butait. Cette ouverture met en communication les tubes attenant l'un au condensateur, l'autre au réfrigérant.

On peut par suite régler ce robinet très exactement pour obtenir le meilleur rendement.

Le robinet de réglage sert aussi pour le remplissage de la machine et l'introduction de l'anhydride liquide.

Un petit robinet est fixé sur le même corps principal ; son ouverture intérieure correspond à la canalisation qui va au réfrigérant, son ouverture extérieure est filetée au même pas que les raccords des réservoirs d'anhydride sulfureux ou bonbonnes. Un presse-étoupes de cordes talaquées ou de rondelles plastiques enveloppe la pièce mobile et empêche les fuites extérieures.

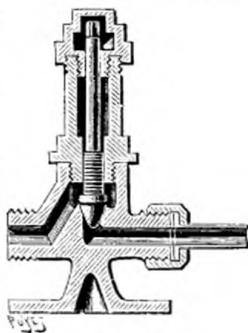


Fig. 14.
Robinet de réglage.

L'appareil est ainsi mis en relation avec les organes générateurs de gaz.

L'appareil est enfin complété par des manomètres et des thermomètres qui permettent de suivre la marche des opérations.

Les *massifs de maçonnerie* qui doivent supporter la machine de compression, munie ou non de son moteur à vapeur, doivent être exécutés avec le plus grand soin.

Les matériaux employés peuvent être du moellon, de la brique, avec du mortier de ciment ou de bonne chaux hydraulique, ou du béton de ciment aggloméré dit béton Coignet. Les trous pour le passage des boulons de fondation devront être ménagés au fur et à mesure de la construction. On pourra employer dans ce but des mandrins en bois, de 4, 5 ou 6 cm de diamètre, suivant la dimension des boulons; ils tiendront la place des boulons pendant la construction et on les retirera une fois le travail achevé. Il faut que les boulons de fondation descendent librement dans ces trous. Après le calage et réglage du bâti de la machine, on opérera une coulée générale de ciment bien liquide dans ces trous et sous le bâti. Le massif de la machine, ainsi que la maçonnerie qui entoure la fosse de la cuve réfrigérante, doivent reposer sur un radier de béton de chaux hydraulique de 30 à 50 cm d'épaisseur suivant la résistance du sol de l'usine.

La maçonnerie qui entoure la cuve réfrigérante peut être faite en briques ou en béton de ciment.

On doit procéder lorsque toute l'installation d'une machine est terminée à deux sortes d'essais.

1^o La machine doit tenir la pression ;

2^o La machine doit tenir le vide.

La vérification du maintien de la pression s'effectue par un essai à l'air comprimé. Les robinets doivent alors être placés de telle sorte que celui qui surmonte la colonne du réfrigérant soit seul fermé, tous les autres sans exception étant ouverts. On ouvre, en plus, le petit robinet qui se trouve sous la culotte reliant les chapelles des soupapes d'aspiration. On fait tourner la pompe doucement afin de vérifier en même temps les organes mécaniques.

L'air pénètre par le robinet ouvert, se comprime dans le condenseur, passe par le robinet de réglage *grand ouvert* pour cette manœuvre, se répand dans le réfrigérant et peu à peu la pression monte, ce qui se voit au manomètre fixé sur la compression.

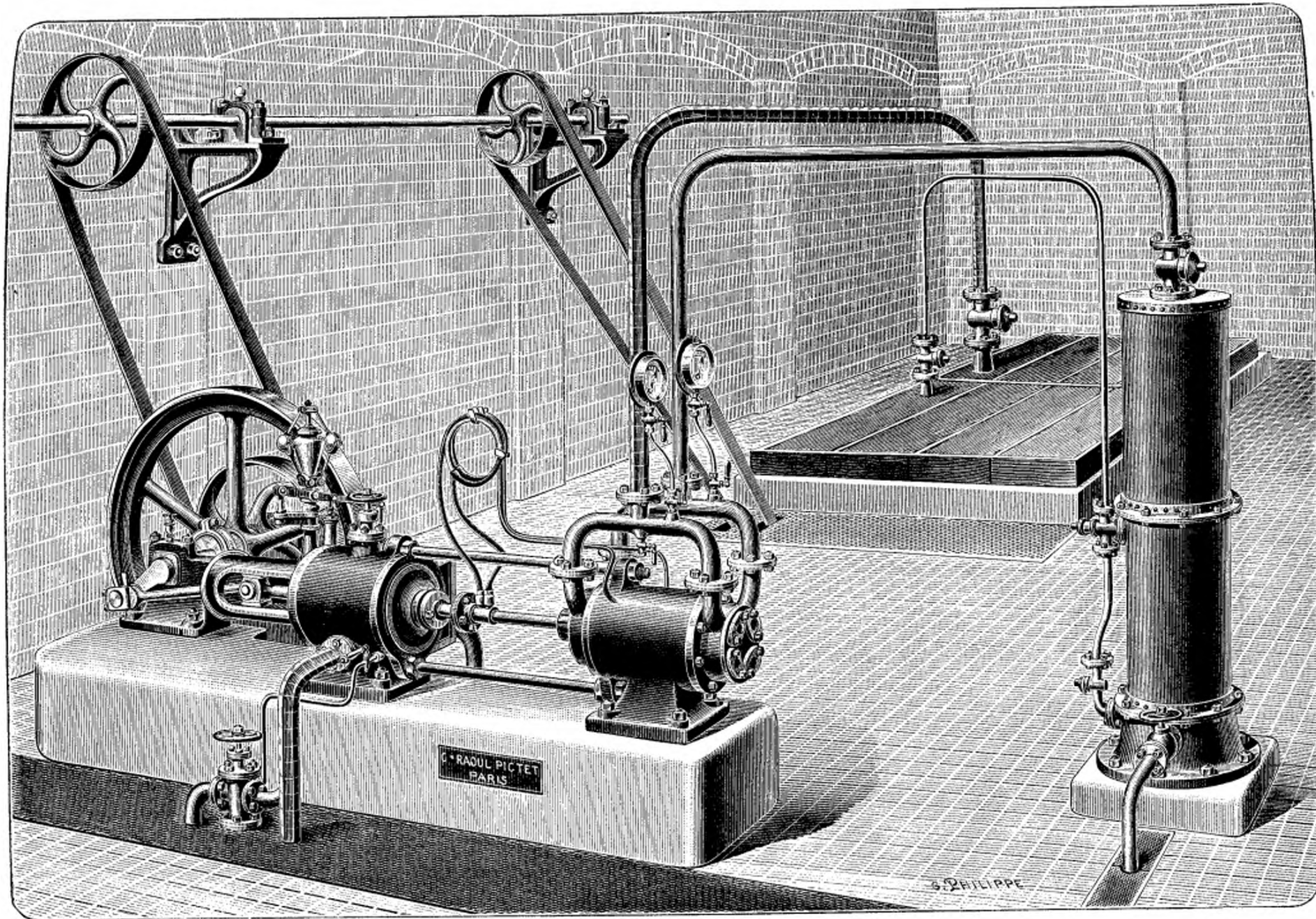


Fig. 15. — Machine à glace avec moteur. Compresseur actionné directement par la contre-tige du piston moteur.

Quand on est parvenu à quatre atmosphères environ, on arrête la pompe, on ferme le robinet d'aspiration qui permettait à l'air d'entrer et on ouvre le gros robinet du réfrigérant.

La pression s'égalise ainsi dans toute la machine. Si le montage a été soigneusement opéré, si tous les joints, toutes les pièces sont en bon état, cette pression indiquée au manomètre doit rester fixe et invariable au moins pendant plus d'une heure sans diminuer sensiblement.

C'est le *cas normal*, et il faut toujours parvenir à cette parfaite herméticité avant d'introduire l'anhydride dans l'appareil.

Si l'on constate une baisse de pression rapide, il y a une fuite et on la recherche en badigeonnant les joints avec de l'eau de savon. On observe une production de petites bulles à l'endroit défectueux. On répare la fuite et on recommence l'essai.

Pour rechercher si la machine tient le vide au moyen de la pompe, on ouvre le robinet de purge placé sous le tuyau qui relie les chapelles de compression.

On laisse en commençant tous les robinets ouverts, même celui du condenseur, puis l'on met la machine en marche.

Il convient de ne pas trop prolonger cette opération pour ne pas provoquer des fuites dans le condenseur tubulaire.

Dès que la machine fonctionne, le piston aspire l'air du réfrigérant et du condenseur, et le refoule soit au dehors par le petit robinet de purge, soit dans le condenseur par le robinet qui est encore ouvert.

On ferme progressivement ce robinet en étranglant de plus en plus le passage des gaz. Au fur et à mesure que ce robinet se ferme, l'air est obligé de s'échapper par le robinet de purge.

Le vide s'établit, par conséquent, dans tout l'appareil, sauf dans la canalisation comprise entre la pompe et le robinet du condenseur; l'air en est expulsé un peu plus tard. On introduit alors l'anhydride sulfureux; le récipient qui le renferme étant placé sur une balance et renversé de telle sorte que ce soit de l'anhydride gazeux qui puisse s'en échapper, on le fait communiquer avec le robinet de réglage par un raccord spécial. On tourne légèrement le robinet de la bonbonne d'acide et l'on arrête alors, au même moment, la machine en fermant le petit robinet sur la culotte de compression.

L'anhydride gazeux envahit promptement toute la machine et se met en équilibre de pression avec la bonbonne.

Pendant l'introduction de l'anhydride gazeux, on ouvre le robinet du

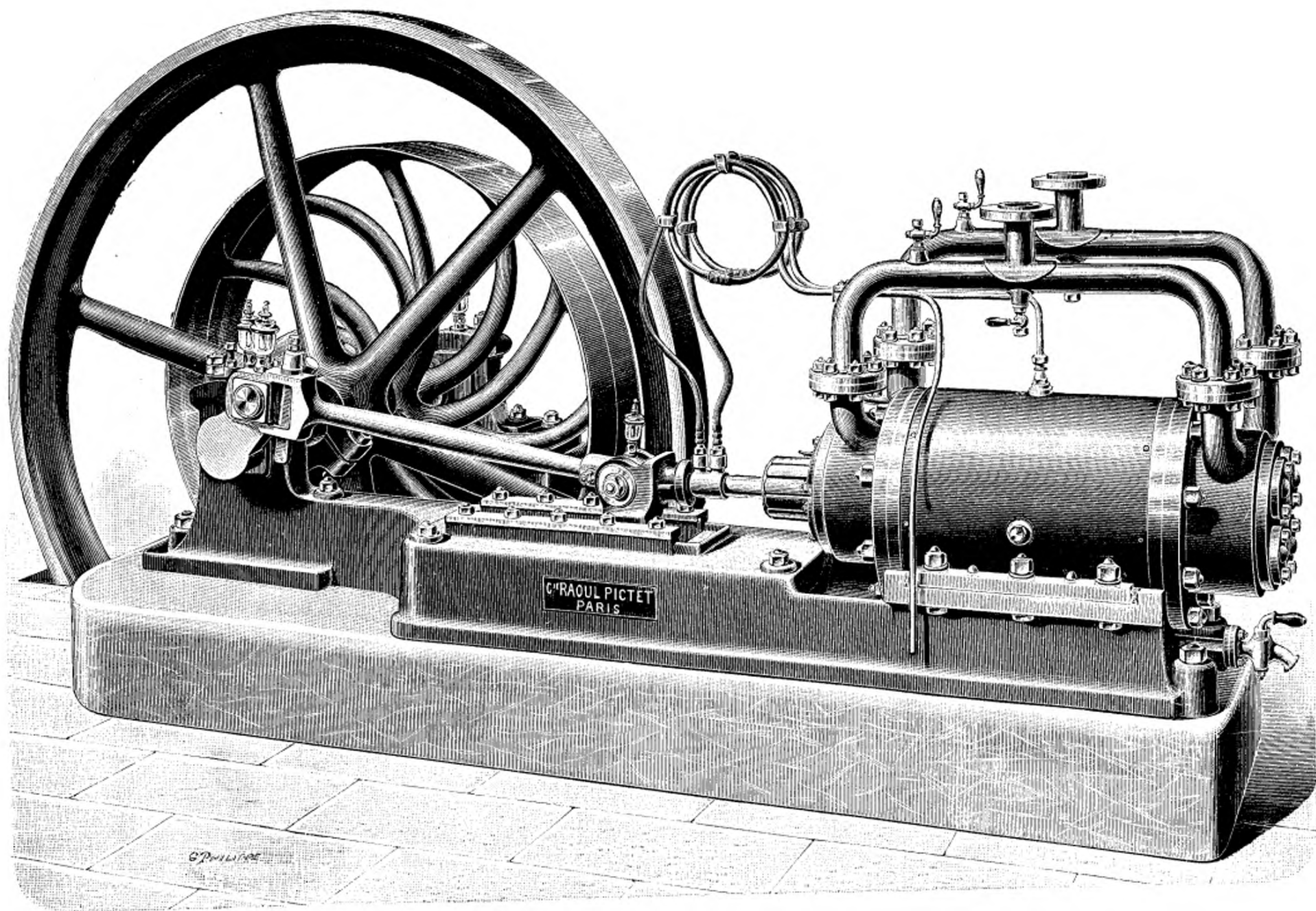


Fig. 16. — Machine à glace sans moteur. Compresseur actionné par courroie.

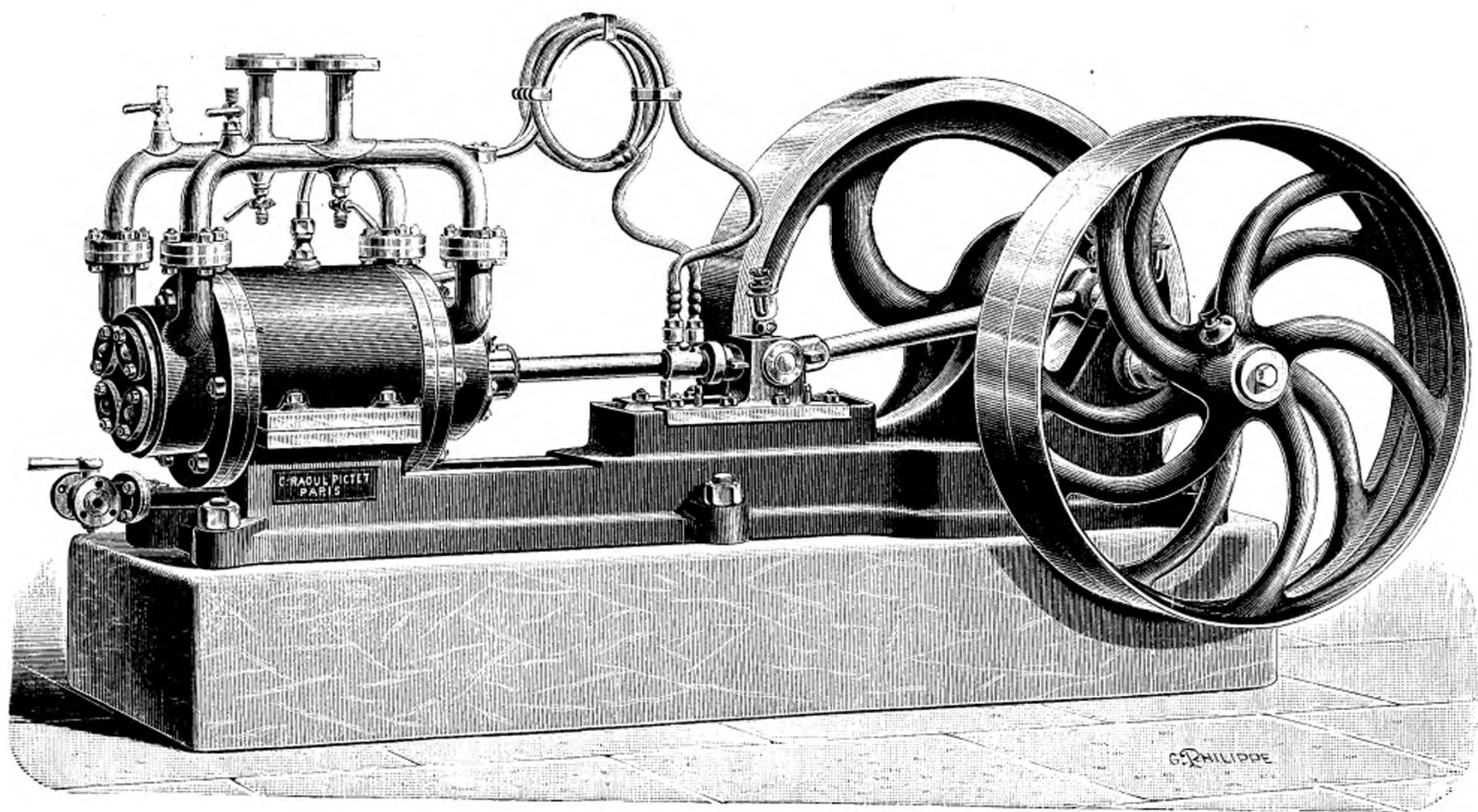


Fig. 17. — Compresseur actionné par courroie.

condenseur, robinet qui a été fermé, ainsi que nous l'avons dit, au commencement de l'opération.

On détermine par pesée le poids de l'anhydride qui passe dans la machine à l'état gazeux.

Au bout de cinq minutes les deux manomètres indiquent une pression variant, en général, entre 1 atmosphère $1/2$ et 2 atmosphères suivant la température ambiante.

Quand les aiguilles des manomètres ne bougent plus, on ferme le robinet de la bonbonne et celui tenant au robinet de réglage.

Tout l'intérieur de l'appareil est alors plein d'anhydride sulfureux gazeux à une pression supérieure à la pression atmosphérique et la moindre fuite est indiquée soit par l'odeur de l'anhydride sulfureux, soit par les fumées blanches qu'il produit lorsqu'on en approche un flacon rempli d'une dissolution d'ammoniaque. Enfin un papier bleu de tournesol devient rouge lorsqu'on l'approche d'une fuite et constitue un dernier moyen pour la déceler.

Si l'on constate une fuite, il faut la réparer et recommencer cette opération du remplissage de la machine avec de l'anhydride sulfureux gazeux en pression jusqu'à ce qu'on ne constate plus aucune fuite.

Pour procéder à une réparation, il faut d'abord vider la machine de la vapeur d'anhydride sous pression qu'elle contient.

Pour cela, il suffit de raccorder le long tuyau de plomb avec le robinet de purge du refoulement de la pompe et de mener le petit tube dans la cour de l'usine ou dans la cheminée de la chaudière ou même dans un baquet contenant de l'eau et de la chaux éteinte. En ouvrant le robinet de purge, l'anhydride s'échappe jusqu'à ce qu'il arrive à la pression atmosphérique, ce que l'on voit par l'indication des manomètres.

On peut alors démonter le joint mauvais ou l'organe défectueux, en ayant soin que le robinet de purge soit toujours ouvert afin de ne pas avoir de pression intérieure.

Si l'appareil ne présente aucune fuite, on procède alors à l'introduction d'une certaine quantité d'anhydride sulfureux liquide. Pour cela on met la pompe en mouvement, mais aussi lentement que possible, après avoir fermé le robinet d'anhydride liquide au bas du condenseur.

La pompe aspire les vapeurs contenues dans le réfrigérant, un vide relatif s'établit et l'anhydride liquide s'échappe immédiatement de la

bonbonne et passe dans le réfrigérant où il commence à produire son action frigorifique.

La balance signale immédiatement ce passage : on continue l'opération jusqu'à ce que le poids d'anhydride soit suffisant et égal à celui indiqué dans le tableau ci-après.

On ferme alors le robinet de la bonbonne, le robinet de chargement placé sur celui de réglage, et l'on ouvre en grand le robinet d'anhydride liquide au bas du condenseur, que l'on avait fermé pendant l'introduction de l'anhydride.

Tout l'anhydride accumulé dans le condenseur retourne tout de suite dans le réfrigérant, ce qui se voit au manomètre de compression, car il baisse brusquement à la fin du passage du liquide. On ferme les deux petits robinets du tuyau de chargement et on le découple.

L'appareil sera alors complètement monté lorsque l'on aura préparé le liquide incongelable, la dissolution de chlorure de calcium.

On sort, pour cela, une certaine quantité de substance du tonneau de chlorure de calcium qui le renferme habituellement, on le jauge au moyen d'un seau et on le dépose dans un baquet. On verse environ le double d'eau dans ce baquet et l'on fait le mélange en remuant vivement avec un bâton.

Lorsque le mélange est intime, que le chlorure de calcium est entièrement dissout, le pèse-sel marque 20^0 .

La dissolution du chlorure déshydraté dans l'eau produit une élévation considérable de la température du mélange. On a donc soin de faire cette dissolution dans un réservoir à part avant de l'introduire dans la cuve à glace.

Tous les mouleaux étant remplis préalablement d'eau douce et mis à leur place, on remplit la cuve de telle sorte que le liquide affleure jusqu'à environ 10 cm du rebord supérieur.

On doit s'assurer que l'hélice qui produit la circulation de cette eau salée fonctionne bien et que les courroies qui la commandent ne sont pas trop lâches.

Voici le tableau des températures de congélation des solutions salines en rapport avec les degrés indiqués au pèse-sel :

*Tableau pour les solutions salines d'un bain incongelable
de chlorure de calcium.*

Eau	Chlorure de calcium	Degrés du pèse-sol	Température de congélation du bain	
			Degrés centigrades	Degrés Réaumur
100 parties	0 partie	0°	0°	0°
90 —	10 —	9°, 5	— 4°	— 3°2
80 —	20 —	17°, 5	— 11°	— 8°8
70 —	30 —	26°	— 24°	— 19°2

Ce tableau montre que l'on ne doit jamais laisser la solution saline descendre au-dessous de 17° au pèse-sol.

Sans cette *précaution importante*, on s'expose à la congélation du bain autour du réfrigérant qui, sous cette couche isolante, ne peut plus émettre la quantité de froid normal. Le rendement de la machine diminue par suite beaucoup.

*Tableau des charges d'anhydride et de chlorure
pour les machines à glace Raoul Pictet.*

Numéros des machines à glace	Production en glace	Anhydride sulfureux dans le réfrigérant	Chlorure de calcium pour bain incongelable des machines à glace (1)
1	15 kilog.	25 kilog.	300 kilog.
2	25 —	35 —	400 —
3	50 —	50 —	1.000 —
4	100 —	95 —	1.500 —
5	150 —	125 —	1.800 —
6	200 —	190 —	2.500 —
7	250 —	240 —	3.000 —
8	350 —	285 —	4.000 —
9	500 —	380 —	7.000 —
10	1.000 —	760 —	12.000 —

(1) Pour les machines à produire le froid par circulation dans les réseaux tubulaires du liquide incongelable, la quantité de chlorure est généralement supérieure et dépend de l'étendue du réseau.

On prend note au moyen du thermomètre de la température de l'eau du bain et de la température de l'eau de condensation qui passe dans le condenseur.

On ferme *complètement* le robinet de réglage et l'on met la machine en marche.

Le manomètre de compression monte immédiatement et à chaque coup de piston, tandis que celui de l'aspiration baisse tout de suite.

Au bout de cinq minutes de marche, le manomètre de la compression est stationnaire ; on ouvre alors le robinet de réglage d'environ $3/4$ de tour de vis. On sent aussitôt que l'anhydride liquide condensé sort du condenseur et retourne au réfrigérant. Dès que la provision d'anhydride liquéfié dans le condenseur est épuisée et qu'une certaine quantité de gaz traverse le robinet de réglage, le manomètre de la compression s'abaisse immédiatement de quelques dixièmes.

Cette chute du manomètre indique que le robinet de réglage est trop ouvert ; on le ferme un peu.

Le manomètre remonte aussitôt : on ferme ainsi progressivement le robinet de réglage jusqu'à ce que le manomètre soit remonté à $1/10$ d'atmosphère au-dessous de la position qu'il occupait avant l'ouverture. On est certain par cette manœuvre que le robinet de réglage est à son point.

A la mise en marche, la température du bain baisse très rapidement par suite du travail considérable produit par la machine. Cet abaissement va se ralentissant lorsqu'on s'approche des basses températures, ce que le thermomètre indique du reste.

Cet abaissement de température entraîne un certain nombre de conséquences sur les pressions manométriques.

1^o Le manomètre de compression baisse constamment depuis la mise en marche jusqu'à ce que le bain salé soit arrivé à la température normale de -4° à -5° .

2^o Le manomètre de l'aspiration baisse constamment depuis la mise en marche jusqu'à ce que le bain soit arrivé à -4° ou -5° .

Il y a par suite, abaissement progressif de la température du bain ; abaissement de la pression des vapeurs au manomètre d'aspiration ; abaissement simultané de la pression des vapeurs à la condensation ; diminution notable dans le travail de la pompe de la machine à glace.

Les différents phénomènes qui se passent d'ailleurs dans la machine sont résumés dans le tableau suivant :

Température de l'eau de condensation		Température du bain incongela ble	Pressions	Pressions
Entrée dans le condenseur	Sortie du condenseur		des vapeurs à l'aspiration	des vapeurs à la compression
degrés	degrés		atmosphères	atmosphères
15	22	+ 15	+ 1,1	4,0
15	22	+ 12	+ 0,9	4,0
15	21	+ 10	+ 0,8	3,8
15	21	+ 8	+ 0,6	3,5
15	21	+ 6	+ 0,5	3,3
15	21	+ 4	+ 0,4	3,1
15	20	+ 2	+ 0,3	3,0
15	20	+ 0	+ 0,2	2,9
15	19	— 2	+ 0,1	2,8
15	19	— 4	0,0	2,7
15	19	— 6	— 0,1	2,7
15	18	— 8	— 0,2	2,6
15	18	— 10	— 0,3	2,6
15	17	— 12	— 0,4	2,5
15	17	— 14	— 0,4	2,4
15	17	— 15	— 0,4	2,3
15	17	— 20	— 0,5	2,2

Lorsque l'on arrête la machine et le fonctionnement de la pompe on constate immédiatement que la pression monte à l'aspiration et baisse à la compression; elles sont identiques au bout de 3 à 4 minutes.

Dès que le bain incongelable est parvenu à 0° ou un peu au-dessous, la glace commence à se former dans les mouleaux qui contiennent de l'eau douce.

Cette glace se forme en couches uniformes et sensiblement égales dans tous les mouleaux.

La température du bain baisse graduellement et atteint bientôt — 4° à — 5°.

C'est cette température que l'on doit maintenir stationnaire, ce qui est très facile si la marche de l'appareil est continue.

Il suffit, à partir de ce moment, de sortir par heure autant de glace qu'il s'en forme dans la machine et le compte en est simple.

Si la machine est un type 100 kg. à l'heure, il faudra sortir 6 mouleaux de 18 kg. toutes les heures.

Si la machine est de 200 kg. on en sortira 12, et ainsi de suite.

Dès qu'on a sorti une rangée de mouleaux pleins de glace, il faut la remplacer de suite par des mouleaux pleins d'eau, afin de maintenir le bain incongelable au même niveau, et ne pas perdre de temps pour la congélation des nouveaux mouleaux.

Au départ, soit pour la première tournée après la mise en marche, on doit retirer les mouleaux, bien qu'ils ne soient pas pleins de glace ; ils n'ont qu'une couche plus ou moins épaisse sur les parois métalliques.

Cette manœuvre est nécessaire pour arriver le plus tôt possible au régime normal, celui qui donne le meilleur rendement.

En effet, si l'on attend pour retirer les mouleaux qu'ils soient tous entièrement pleins, la température du bain descendra extrêmement bas, et de plus tous les mouleaux de la cuve seront pleins à la fois ; *on devrait les sortir tous d'une seule fois et les remplacer ensemble.* Cette méthode serait loin de donner d'aussi bons résultats qu'un déchargement fractionné d'heure en heure.

Le régime étant établi on peut se rendre compte du rendement de la machine au moyen d'un tableau de rendement donnant heure par heure les différents éléments de la machine. Voici par exemple un de ces tableaux correspondant à une période de 3 h. 30 de marche.

Tableau servant pour évaluer le rendement d'une machine *RAOUL PICTET*.

Date	Heure	Condensation					Température du bain	Pression			Nombre de tours par minute	Nombre des mouleaux	Poids de la glace	Rendement
		Débit d'eau par minute	Température à l'entrée	Température à la sortie	Différence	Produit du débit par différence		Vapeur	Compression	Aspiration				
	matin	lit.				calor.		atm.	atm.				kg.	
4 ^{er} juin	9	50	17°	21°5	4°	225	— 4°5	5	3,3	0,0	81	3	54	162
	9 30	"	"	21,4	4,4	220	— 4,7	4,5	3,4	0,0	80	3	54	
	10	"	"	21,5	4,5	225	— 5	5	3,2	— 0,4	84	3	54	
	10 30	"	"	21,3	4,3	215	— 5,5	4,8	3,4	— 0,4	82	3	54	162
	11	"	"	21,2	4,2	210	— 6	5	3,0	— 0,2	83	6	108	
	11 30	"	"	21,6	4,6	230	— 4	4,7	3,4	0,0	82	3	54	
	12	"	"	21,4	4,4	220	— 4,7	5	3,2	0,0	83	3	54	108
	12 30	"	"	21,3	4,3	215	— 5,7	4,6	3,2	0,0	81	3	54	

On suppose dans ce tableau qu'il s'agit d'une machine produisant 1000 kg. de glace à l'heure.

On a commencé à neuf heures du matin, lorsque le bain avait — 4°5 et que trois mouleaux pleins ont pu être retirés.

Chaque demi-heure on retire trois mouleaux, et de temps en temps on en retire 6 à la fois, car le rendement de la machine est supérieur à son rendement indiqué.

Dans la dernière colonne à droite, comprise sous la dénomination *condensation*, on a mis pour titre : Produit du débit d'eau par la différence des températures de l'eau à l'entrée et à la sortie du condenseur.

Cette colonne sert de vérification, car les chiffres qu'elle contient représentent la chaleur soustraite au réfrigérant et transportée mécaniquement par la pompe et l'anhydride sulfureux.

A cette quantité de chaleur s'ajoute la chaleur produite par le travail de compression, qui s'élève environ au $1/10^e$ de la chaleur totale.

Grâce à ces chiffres, on peut connaître immédiatement le rendement en calories de la machine.

A neuf heures, par exemple, dans la première demi-heure de l'opération, chaque minute, 225 calories ont été fournies à l'eau de condensation.

Dans la seconde demi-heure, ce chiffre est tombé à 220 calories.

$$\text{Moyenne : } \frac{225 + 220}{2} = 222,5 \text{ calories.}$$

En multipliant ce nombre par 60 minutes de l'heure on a

$$222,5 \times 60 = 13.350 \text{ calories.}$$

De ce nombre il faut retrancher $1/10^e$ provenant de la chaleur de compression, et l'on pose :

$$\begin{array}{r} 13,350 \text{ calories totales,} \\ - 1,335 \text{ calories dues au travail de compression.} \\ \hline 12,015 \text{ calories par heure.} \end{array}$$

Le rendement a été de 12,015 calories négatives.

Il correspond donc à 120 kg. de glace.

En pesant exactement la quantité de glace sortie pendant plusieurs heures et faisant la moyenne, on doit obtenir le même chiffre qu'au condenseur, faisant la moyenne des calories fournies.

Si le bain baisse au-dessous de -5^0 il faut retirer un peu plus de glace. S'il remonte au-dessus de -4^0 on doit ralentir la sortie des mouleaux.

Nous verrons d'ailleurs dans un chapitre spécial les procédés à em-

ployer pour déterminer le rendement d'une machine et pour pouvoir comparer entre elles les différents types de nos machines.

Il peut survenir pendant le fonctionnement des machines un certain nombre d'incidents.

Lors de la mise en train il peut se faire qu'on n'ait pas suffisamment bien nettoyé l'intérieur de la tuyauterie et qu'il y reste un peu de la résine qui a servi à cintrer les tuyaux. Dans ce cas, l'anhydride sulfureux, qui est un puissant dissolvant de ces matières, les amène dans le cylindre de la pompe et dans le piston ; les soupapes se trouvent encrassées, la machine devient excessivement dure à fonctionner. Ce phénomène se produit surtout si, en remplissant la machine avec l'anhydride sulfureux, on en a mis un excès dans le réfrigérant : cet anhydride est entraîné par l'évaporation à l'état de globules liquides qui accélèrent encore l'entraînement des résines et autres impuretés dans le cylindre.

Il faut arrêter la machine, fermer les robinets du réfrigérant et du condenseur, et démonter le fond du cylindre, sortir le piston et opérer un nettoyage complet avec du pétrole ou de l'essence, qui dissolvent facilement ces matières.

Si l'on a, par inadvertance, laissé le bain salé se désaturer, il peut arriver que ce bain se gèle autour du réfrigérant et couvre complètement les tubes.

Dans ce cas on remarque immédiatement :

- 1° Une grande diminution dans le rendement de la machine ;
- 2° Un abaissement anormal de la pression à l'aspiration.

Dès que le bain peut se congeler par le manque de sel, les parois des tubes se couvrent d'une couche de glace.

Cette couche est mauvaise conductrice de la chaleur ; aussi, de suite, la température du réfrigérant s'abaisse-t-elle encore davantage.

Au bout de peu de temps, tous les tubes du réfrigérant sont totalement couverts de glace.

L'abaissement de pression pourrait faire croire d'abord à un manque d'anhydride, mais on ne saurait s'y tromper avec un peu d'habitude, car il suffit d'arrêter la machine et de voir où s'arrêteront les manomètres.

Comme le réfrigérant est beaucoup plus froid que le bain, la pression marquée aux deux manomètres sera inférieure à la tension marquée pour cette température du bain dans le tableau antérieurement donné.

Cette observation suffit pour que l'on puisse attribuer la cause véritable au manque de rendement.

Dès qu'on a constaté, d'une manière positive, que le bain est gelé autour des tubes du réfrigérant, il faut arrêter la pompe de la machine à glace et réchauffer le bain en remplaçant tous les mouleaux pleins de glace par des mouleaux pleins d'eau.

Outre ce moyen, on peut encore démonter momentanément l'accouplement qui commande le piston de la pompe et on laisse tourner la machine de manière à faire marcher l'hélice seule et à entretenir la circulation.

Dès que le bain est revenu à sa température normale, ce qui se voit par la pression indiquée aux manomètres, on ajoute du sel jusqu'à ce que la densité soit revenue à 20° ou 22° du pèse-sel.

On accouple le piston, et la machine peut être mise en marche régulière.

L'accident le plus sérieux qui puisse arriver, c'est l'entrée de l'eau dans l'appareil pendant la marche soit par la rupture d'un tube du condenseur ou par une fuite qui se serait déclarée à l'extrémité de la tige du piston dans l'intérieur du cylindre. On s'en aperçoit aux symptômes suivants :

Le givre couvre le tube d'aspiration et un mélange ressemblant à du cambouis empâte les soupapes de la pompe, de telle sorte qu'elles sont vite hors de service.

Le piston exige pour marcher une force considérable. Bref, la machine ne peut plus fonctionner.

Dans un semblable cas, il faut procéder sans délai au *démontage complet* de la machine ;

On enlève le condenseur et le réfrigérant, et l'on démonte la pompe sortant le piston.

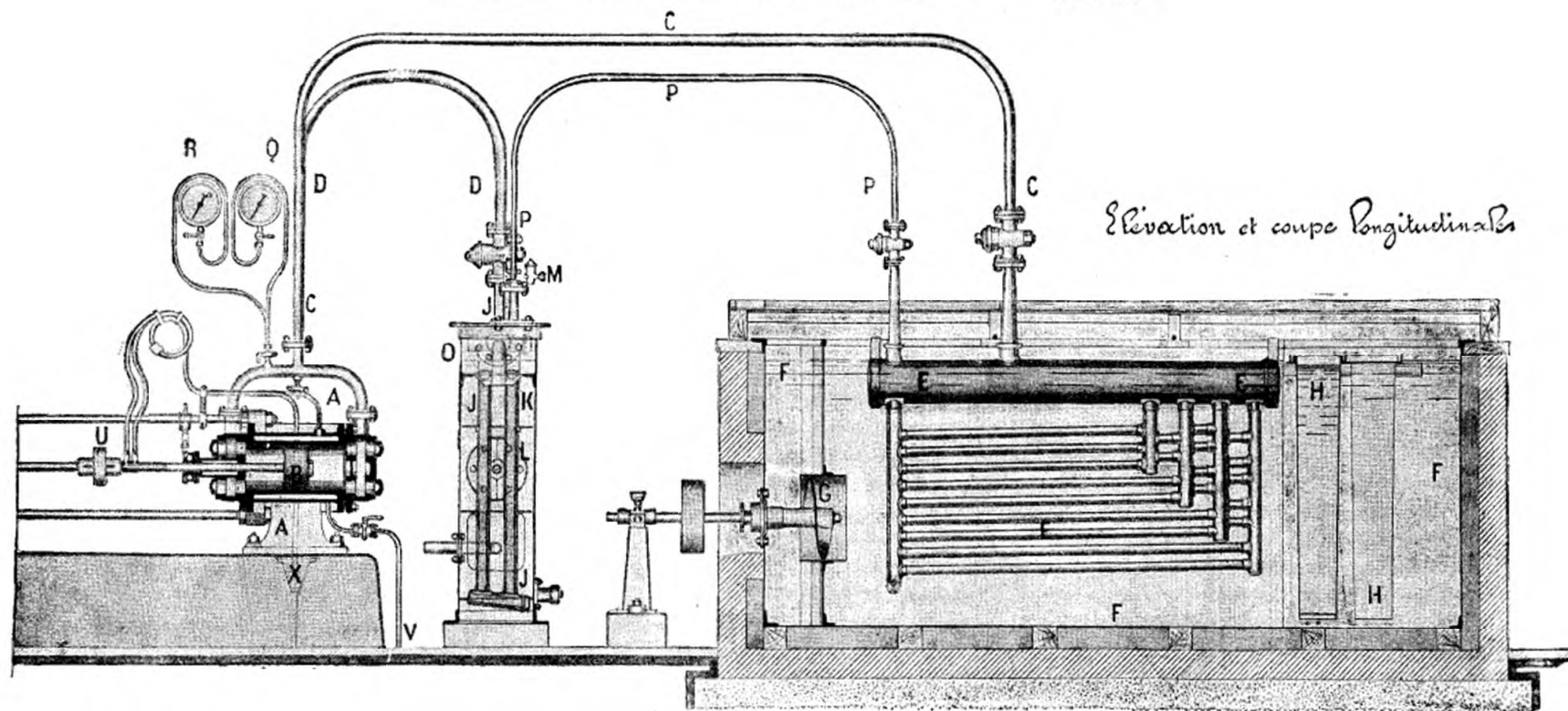
On lave à grande eau le réfrigérant en ouvrant entièrement le grand robinet qui surmonte la colonne.

Comme cette manœuvre dégage beaucoup d'anhydride sulfureux, il convient de la faire en plein air et surtout de la mener vivement.

Une fois le réfrigérant et le condenseur bien lavés, on les sèche en les faisant chauffer légèrement sur un feu modéré, puis on les essaie à l'air comprimé.

On trouve ainsi les fuites qui sont réparées aussi soigneusement que possible.

Fig. 18. — Schéma général de la machine construite par la *Société Genevoise*.



- A. Pompe de compression.
- B. Piston compresseur.
- C. Tuyau d'aspiration de l'anhydride gazeux.
- D. Tuyau de refoulement de l'anhydride gazeux.
- E. Réfrigérant à herbes.
- F. Cuve de congélation.
- G. Hélice pour agiter le bain incongélable.
- H. Mouleaux à main.

- J. Condenseur à herbes.
- K. Bâche du condenseur.
- L. Hélice pour agiter l'eau de condensation.
- M. Robinet de réglage.
- N. Robinet d'arrivée d'eau de condensation.
- O. Sortie d'eau de condensation.
- P. Tuyau de retour d'anhydride liquide.
- Q. Manomètre d'aspiration.

- R. Manomètre de compression.
- S. Soupapes d'aspiration.
- T. Soupapes de compression.
- U. Jonction du piston moteur avec le piston compresseur.
- V. Arrivée d'eau pour le refroidissement du compresseur.
- X. Sortie d'eau du compresseur.

Nous avons indiqué tous ces détails sur la mise en marche, le fonctionnement et la surveillance des machines à glace à propos de la machine Pictet. Etant donné que ces précautions sont sensiblement les mêmes pour tous les systèmes de machines frigorifiques nous n'y

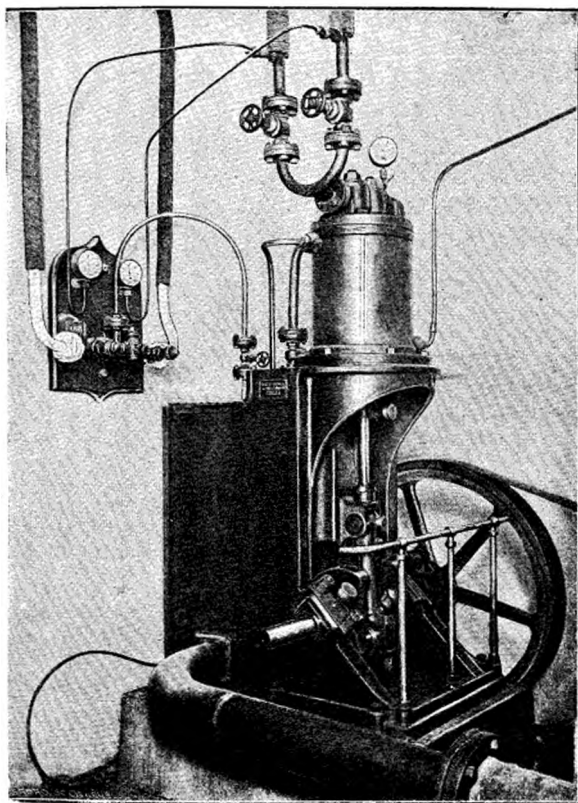
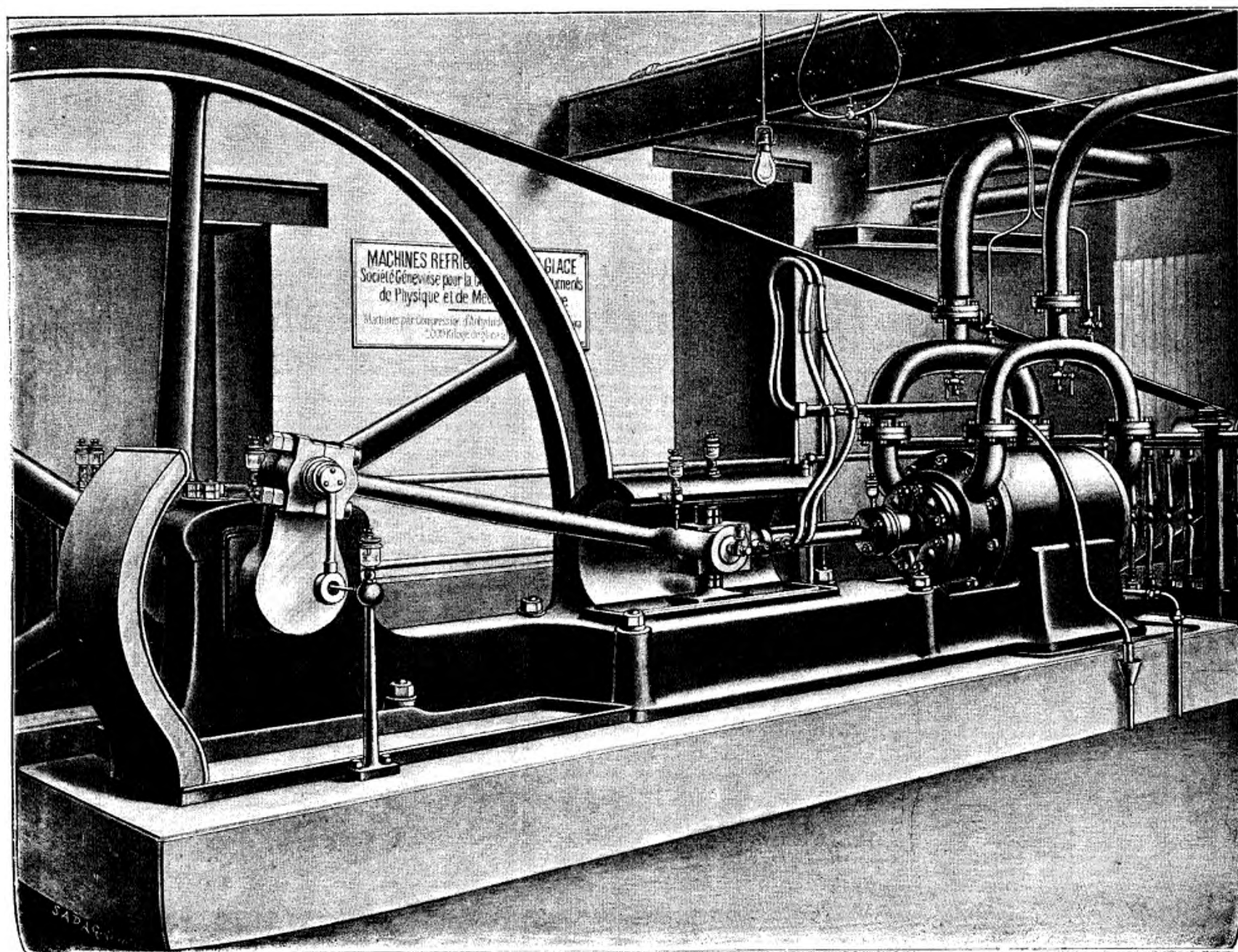


Fig. 19. — Machine à détente directe de la *Société Genevoise* pour installation domestique.

reviendrons plus et nous renverrons dans tous les autres cas pour la conduite des appareils aux indications que nous venons de donner.

Les machines à acide sulfureux construites par la *Société Genevoise pour la construction d'instruments de physique et de mécanique* diffèrent peu des précédentes par la construction des appareils condenseurs et réfrigérants.



Un schéma général montre cette même disposition de l'appareil, analogue à celui de la Société Pictet.

Le condenseur à herbes tubulaires est encore enfermé dans une bache en tôle de fer et soumis à l'action d'une hélice assurant une circulation rapide de l'eau de condensation sur les surfaces d'échange.

Les tubes sont d'un diamètre plus grand que ceux des anciens appareils tubulaires, afin d'éviter les défauts de fabrication plus fréquents dans de petits tubes.

Le réfrigérant est construit de façon à obtenir une évaporation intense de l'acide pendant son passage dans l'appareil. La construction schématique rappelle celle des chaudières Babcock.

La Société Genevoise a établi un modèle de petites dimensions à l'usage de la petite industrie ; le compresseur est à simple effet et sans circulation d'eau dans la tige par opposition au grand modèle de compresseur à double effet.

Ce dernier se construit en deux modèles différents, un modèle accouplé directement en tandem, derrière le moteur à vapeur ; un modèle fait pour être mû par transmission ou par arbre de couche à un moteur à vapeur.

La fig. 20 représente un compresseur de 150 000 frigories.

Un modèle employé surtout dans les constructions navales est celui que représente la fig. 21 avec accouplement direct électrique. Les dimensions en sont très restreintes par suite de la condensation des différentes parties, la cuve à glace est liée directement au bâti du compresseur, la pompe d'eau de condensation est mue directement par l'arbre de la machine ; il en est de même de l'hélice agitatrice de la cuve.

Dans les pays chauds et dans les cas où l'eau de condensation fait défaut, on a adopté avec succès le condenseur à ruissellement tout en cuivre, afin d'augmenter la surface évaporatrice de l'eau et par suite l'abaissement de la température, les tuyaux sont alors reliés par des treillis en fil métallique, comme le représente la fig. 22.

La Société Genevoise construit aussi un appareil à glace de dimensions plus réduites et destiné à l'usage domestique. Les trois organes de cet appareil se trouvent réunis dans un même bâti et la machine entière ne forme qu'un seul ensemble.

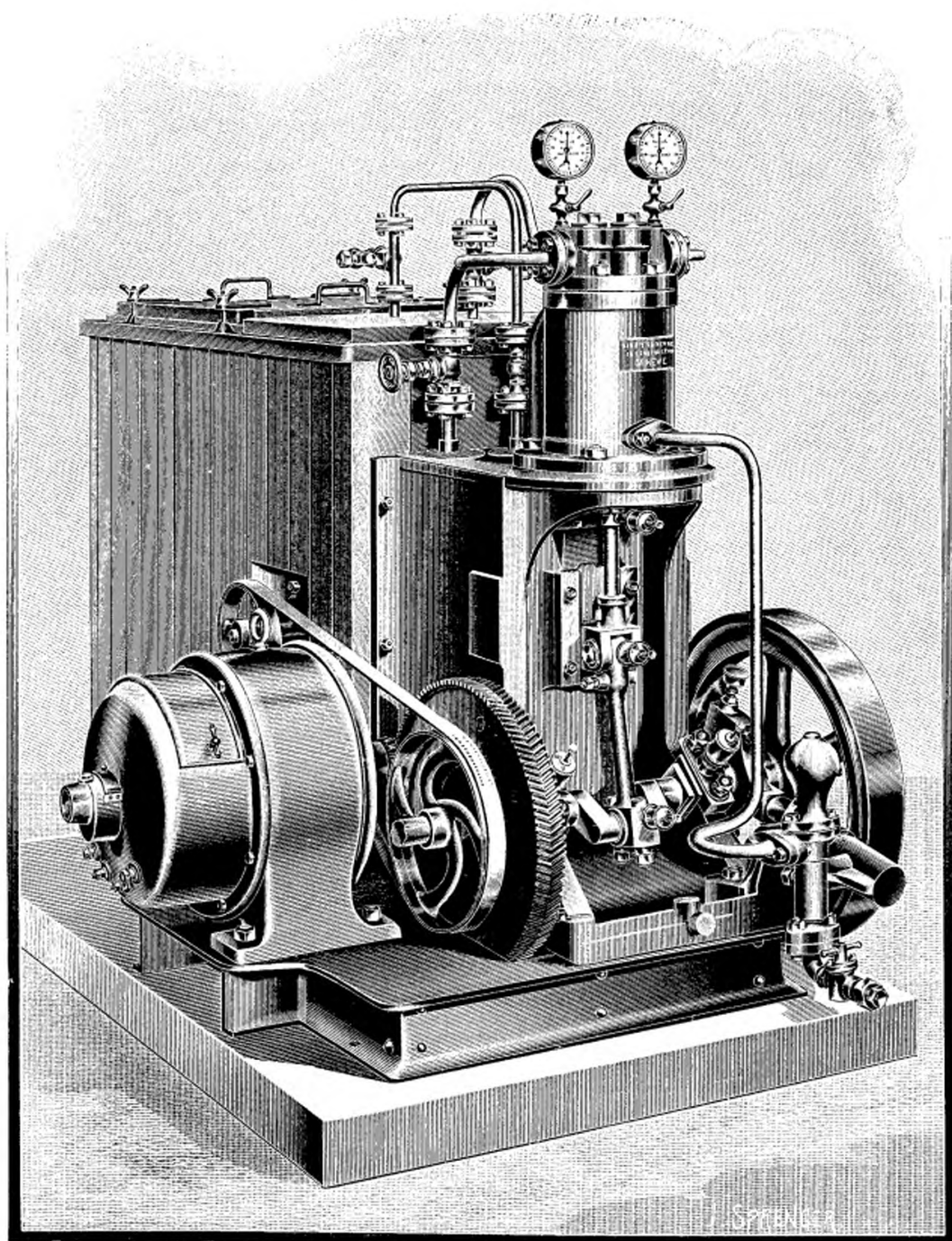


Fig 24. — Machine à glace « Type Marine » de la *Société Genevoise*.

Les principales constantes des machines pilon construites sur ce type pour des productions de 5 à 50 kg. sont les suivantes :

Numéro de la machine	A	B	C	D	E	F
Production de glace à l'heure en kilog	5	10	15	20	25	50
Production en calories à l'heure .	500	1 000	1 500	2 000	2 500	5 000
Force motrice nécessaire . . . HP	1/2	1	1 1/2	2	2 1/2	4
Consommation d'eau de condensation à l'heure 10° C. en litres .	180	250	300	400	500	800

Pour de l'eau de condensation d'une température supérieure à 10° C., la consommation augmente de 5 0/0 par degré.

A partir d'une certaine dimension de machines, il est avantageux d'établir au-dessus du générateur (ou cuve à glace) un pont roulant, qui, desservi par un seul homme, permet d'opérer d'une façon économique la sortie, le démoulage et le remplissage des moules.

Dans les installations plus complètes, la Société Genevoise dispose un pont roulant électrique actionné directement par une dynamo. L'augmentation de prix pour un treuil mû électriquement est relativement faible et se trouve largement compensée par une facilité beaucoup plus grande dans les diverses manipulations.

MACHINES CAMBIER

Les machines à glace Cambier utilisent aussi l'anhydride sulfureux, comme agent frigorifique.

Elles comprennent encore :

Un compresseur ;

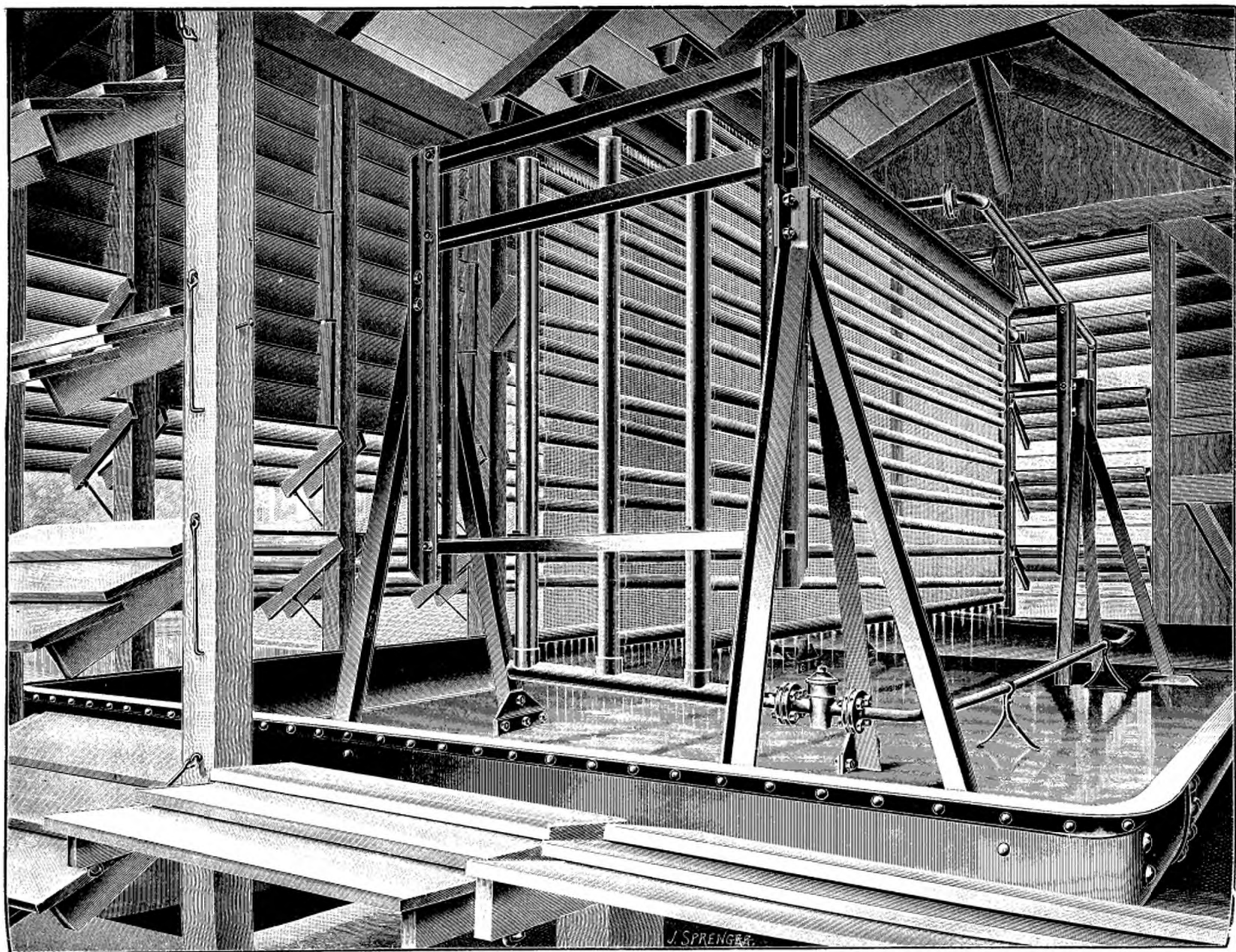
Un condenseur ;

Un collecteur ;

Un évaporateur.

Le *compresseur* est une pompe à double effet, c'est-à-dire que le piston, dans son mouvement de va-et-vient, aspire d'un côté, tandis qu'il comprime de l'autre.

Il se compose d'un cylindre avec sa boîte à calfat, d'un piston et de quatre soupapes.



1. Le *cylindre* est en fonte spéciale, évitant toute fissure, parfaitement alésée par des outils spéciaux. Autour du cylindre règne une chambre où se fait une circulation d'eau pendant la marche, de façon à empêcher le cylindre de s'échauffer et à absorber une partie de la chaleur produite par les frottements et la compression.

Chaque extrémité du cylindre est tournée d'une façon spéciale, en laissant une gorge vers l'intérieur; dans cette gorge, on place un joint en plomb.

Les fonds comportent une saillie correspondante à la gorge du cylindre. Sous la pression exercée par les boulons, cette saillie vient s'imprimer dans le plomb et forme un joint indestructible. Les fonds ont également un ressaut de la grandeur de l'intérieur du cylindre et il assure en même temps la position absolument fixe des fonds. L'importance du ressaut des fonds du cylindre est calculée de façon à ce que le piston, dans sa course, vienne s'y appliquer aussi exactement que possible, de sorte que l'espace nuisible à chaque bout de course est absolument réduit.

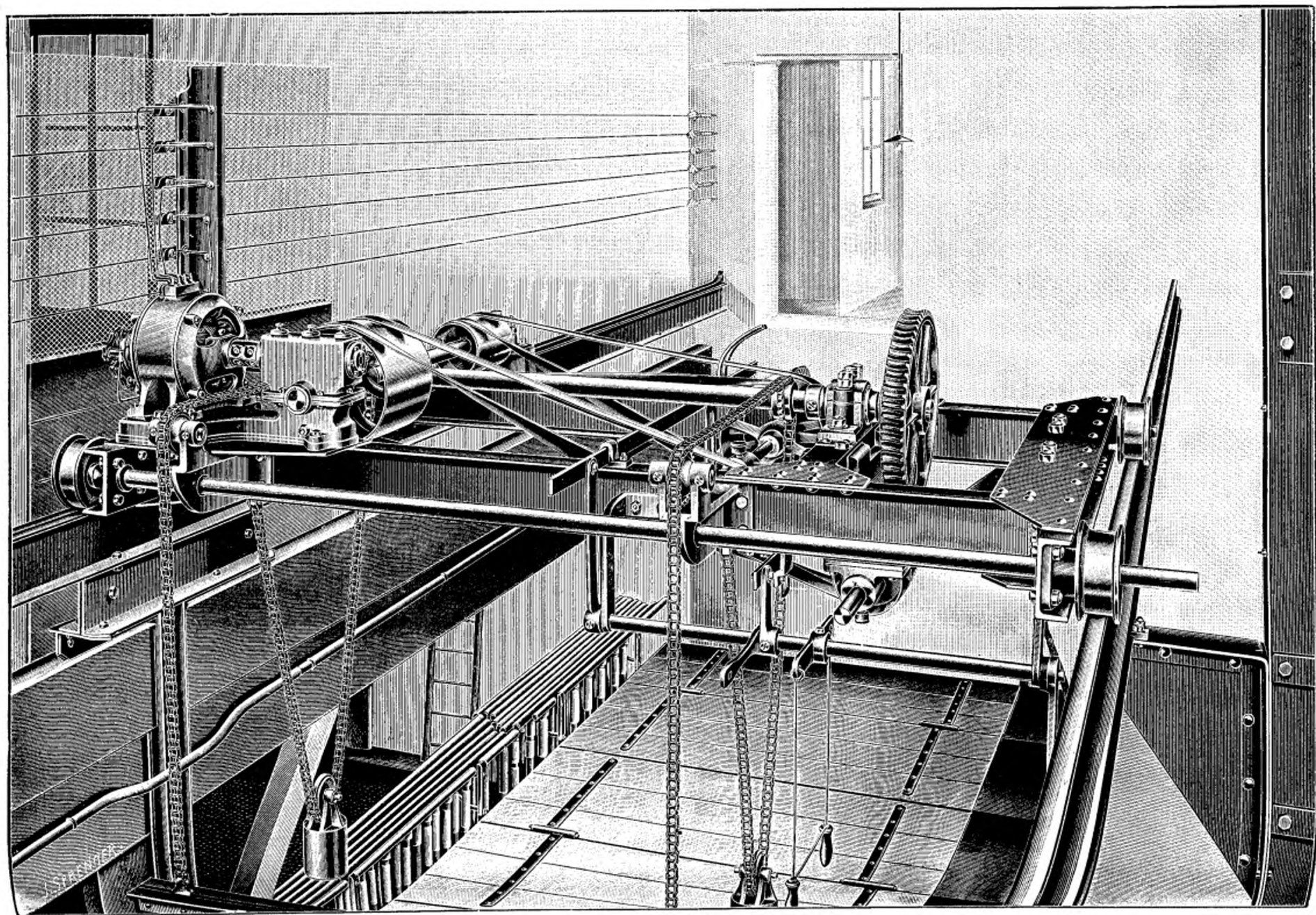
Le fond avant du cylindre porte la boîte à calfat. Celle-ci est très longue, de façon à éviter toute chance de fuite. Ce calfat, l'une des pièces les plus délicates de la machine, se compose en quelque sorte de deux parties. A la partie arrière, la tige glisse dans une longue bague; cette bague, ainsi que la tige, et en acier trempé. Elle est rectifiée au moyen de machines de précision spéciales, de telle sorte que la tige glisse dans cette bague comme un robinet tourne dans son boisseau, sans aucun jeu; c'est donc en quelque sorte un premier calfat métallique; de plus cette bague porte une série de rainures, dans lesquelles l'acide qui s'échapperait vient successivement se détendre.

La deuxième partie du calfat est faite au moyen de rondelles de liège. Pour obtenir un léger serrage régulier et facile du calfat, on a adopté un seul écrou vissé sur la partie extérieure de la boîte à calfat. Cet écrou est muni de dents, il suffit d'un tour exécuté avec une clef pour opérer le serrage.

Dans le but d'éviter des déchirures dans le calfat par suite de ce mouvement de rotation, on applique à l'intérieur, contre le calfat, une bague mobile.

Sur chacun des fonds sont appliquées deux soupapes, l'une d'aspiration, l'autre de compression.

Quant au *piston* lui-même sa tige est en acier refoulé spécial; il est



indéformable et d'une grande dureté. Cette tige est percée dans toute sa longueur, de façon à permettre une circulation d'eau à l'intérieur.

L'eau arrivant par une tubulure est conduite jusqu'à l'extrémité de la tige, d'où elle revient en léchant les parois de la tige, pour ressortir par une tubulure opposée.

L'extrémité de la tige à l'intérieur du cylindre est formée par un bouchon avec joint en plomb.

Le corps du piston est en fonte et muni de deux segments étudiés avec soin et évitant tout danger de fuite.

Les *soupapes* sont fixées, comme nous l'avons dit plus haut, sur les fonds avant et arrière du cylindre. Les clapets viennent aussi près que possible de la surface interne des fonds, de façon à restreindre l'espace nuisible. On a adopté à l'intérieur du cylindre et contre les fonds une disposition spéciale, de façon à éviter dans le cas d'une rupture d'un des clapets, qu'une des parties brisées puisse entrer dans l'intérieur des cylindres et y occasionner des dégâts.

La force des ressorts est déterminée de telle sorte que les clapets s'ouvrent et se ferment exactement au moment voulu. Les clapets d'aspiration s'ouvrent légèrement à 50 grammes par centimètre carré, ceux de l'aspiration à une dépression de 30 grammes par centimètre carré.

Enfin, les boîtes à soupapes sont fixées sur les fonds du cylindre, de façon à en permettre le démontage facile dans le cas où il est nécessaire de renouveler un clapet.

Dans le *condenseur* Cambier l'eau descend en ruisselant sur la surface des tubes; comme elle est en couche mince, elle est entièrement au contact des tubes et toute sa masse participe au refroidissement. Sa grande vitesse de chute la tient constamment en mouvement et combat les effets de capillarité entre l'eau et les tubes, comme cela a lieu dans les condenseurs immergés.

Le refroidissement est méthodique: l'eau la plus froide arrive en haut du condenseur sur les tubes les plus refroidis; elle se chauffe graduellement en venant sur des tubes de plus en plus chauds.

Comme la température dans le haut du condenseur est égale à la température initiale de l'eau, la pression est réduite dans la plus grande mesure possible et la force motrice dépensée diminue.

Les tubes sont visibles et peuvent être facilement et fréquemment nettoyés, ce qui évite les encrassements.

Comme on le voit, ces diverses dispositions sont absolument rationnelles et donnent aux condenseurs Cambier de réelles qualités.

La construction de ces appareils est extrêmement soignée et les fuites ne sont guère possibles. Les tubes sont en cuivre rouge sans soudure, et la connexion entre eux est faite à l'aide de coudes en bronze phosphoreux dans lesquels les tubes sont sertis et soudés au chalumeau. Le condenseur est ainsi formé d'un tube pour ainsi dire continu, essayé dans les ateliers à 16 atmosphères.

Le *collecteur* est un réservoir intermédiaire placé entre le condenseur et l'évaporateur et qui permet, en cas d'avarie à la machine, d'emmagasiner tout l'acide en circulation. Fermant ensuite les robinets d'entrée et de sortie de ce collecteur, on peut sans aucun inconvénient travailler à la partie avancée.

Il intercepte, en outre, tous les corps étrangers qui pourraient être en circulation avec l'acide dans la machine. C'est ainsi que le calfat s'use après un certain temps de marche et laisse alors pénétrer dans le piston des parcelles de la substance dont il est formé.

L'acide liquéfié dans le collecteur se détend ensuite, en passant par une valve de réglage; cette valve s'ouvre au moyen d'un pas de vis très fin, de façon à ce que l'ouverture en soit lente et progressive, permettant de régler ainsi très exactement l'écoulement de l'acide liquide.

Le gaz détendu circule alors dans l'appareil refroidisseur qui varie suivant la destination de l'appareil.

Les différents organes de la machine sont reliés par des tuyaux en cuivre étiré à froid. Les joints sont tous du même type et à emboîtement. Ils se composent de quatre pièces, deux rondelles et deux brides de serrage. Les deux rondelles sont en bronze spécial; elles portent, l'une, une rainure circulaire assez profonde, et l'autre, un ressaut.

Les tuyaux pénètrent dans la longueur des rondelles. On mandrine l'extrémité du tuyau dont le métal pénètre dans une petite gorge taillée dans la rondelle.

Dans l'espace resté libre entre les tubes de la rondelle on coule de la soudure d'étain ou de la brasure de cuivre, les tuyaux et les rondelles font donc pour ainsi dire corps ensemble, par suite de la longueur de la soudure.

Pour faire le joint, on opère de la façon suivante: on place dans la rainure une bague de plomb, on amène le ressaut bien en face de la rainure et on serre les deux brides au moyen de forts boulons. Le res-

saut pénètre dans la rainure, et écrasant le plomb qui s'y trouve, il opère ainsi un joint absolument hermétique. La durée de ces joints est indéfinie. Ils ne demandent aucune habileté spéciale pour être bien faits; il est fort rare qu'on doive en recommencer un seul. Il faut seulement prendre soin de serrer les boulons bien également.

Les valves au lieu de se fermer au moyen d'un cône en bronze qui vient serrer sur un siège également en bronze, se ferment au moyen d'un disque portant un ressaut circulaire; ce ressaut vient exactement s'appliquer dans une rainure correspondante du siège. Dans cette rainure existe une bague de plomb; le ressaut du disque vient s'y imprimer absolument comme dans le joint spécial décrit plus haut.

Toute perte devient impossible, même après un long usage, puisque le plomb prend toujours la forme du ressaut qui vient s'y appliquer.

Le calfat de la tige d'une valve est trop long, de façon à éviter toute fuite de ce côté.

Les appareils d'évaporation, générateurs de froid peuvent être disposés de deux façons lorsqu'il s'agit de refroidir un bain salé pour la production de la glace ou devant servir lui-même d'intermédiaire pour le transport du froid.

La première méthode consiste à immerger dans la solution saline contenue dans un réservoir en tôle, un serpentin formé de tuyaux en cuivre, l'acide liquide vient se détendre à la partie inférieure de ce serpentin, s'évapore en produisant du froid, et ressort par la partie supérieure, d'où les vapeurs aspirées retournent à la pompe de compression.

A l'une des extrémités de ce serpentin allongé se trouve une hélice actionnée à grande vitesse, au moyen d'une courroie. Cette hélice fait circuler rapidement l'eau autour du serpentin, de façon à lui faire absorber les calories négatives et à régulariser la température du bain tout entier.

La seconde méthode préconisée par M. Th. Cambier, est obtenue de la façon suivante : au-dessus du bac à glace, dans une petite chambre hermétiquement close, on place un réfrigérant genre Baudelot. Ce réfrigérant est composé d'une série de tubes superposés, reliés entre eux par des coudes en bronze. L'acide liquide est amené à la partie inférieure du réfrigérant; il s'évapore et les vapeurs remontent en serpentant jusqu'à la partie supérieure, d'où elles retournent à la pompe de compression.

La solution saline est amenée par une pompe spéciale dans une no-

chère à la partie supérieure du réfrigérant, d'où elle redescend dans le bac en ruisselant le long des tubes du réfrigérant en contact intime avec les parois de celui-ci et lui enlevant toutes les frigories produites par l'évaporation de l'acide sulfureux.

Un agitateur, placé sur le bac à saumure, établit une circulation dans l'eau salée pour égaliser partout la température.

Dans l'une et l'autre méthode, il suffit, bien entendu, pour obtenir de la glace, de plonger dans la solution saline les mouleaux spéciaux préalablement remplis avec de l'eau pure (Voir Deuxième partie, Chapitre *Fabrication de la glace*). Ou bien on se sert de la solution saline pour transporter le froid où il doit être utilisé.

Les seuls inconvénients de la seconde méthode, consistent dans l'obligation d'avoir une pompe pour élever la solution saline au-dessus du réfrigérant, mais ce léger ennui paraît être compensé par les avantages que présente le système et même, dans le cas où la solution saline doit circuler l'inconvénient n'existe plus, puisqu'alors il faut de toute façon une pompe de circulation.

Les avantages de cette méthode sont les suivants :

1° Le refroidissement de la saumure est absolument rationnel. La saumure en ruisselant de tube en tube rencontre l'acide de plus en plus froid et finit par retomber dans le bac, à une température qui n'est guère supérieure à celle de l'acide sulfureux. Celui-ci, au contraire, dans sa marche ascensionnelle rencontre de la saumure de plus en plus chaude et finit par sortir à une température sensiblement égale à la température d'entrée de la saumure. Les vapeurs d'acide sulfureux sortent du réfrigérant à une température supérieure avec cette seconde méthode qu'avec la première, leur densité est par suite plus élevée et la quantité aspirée à chaque coup de piston plus grande, d'où un rendement supérieur.

2° Ces avantages sont encore plus importants dans le cas où on emploie le bain salé pour refroidir indirectement une salle ou une matière quelconque. Ils sont tels qu'avec ce système on se rapproche beaucoup des résultats obtenus par la détente directe.

En effet, au lieu de ramener par la pompe de circulation l'eau salée ayant opéré son parcours et, par conséquent réchauffée, dans le bac à saumure où elle vient de se mélanger pour produire une température moyenne, on amène cette eau salée au-dessus du réfrigérant ; cette eau ayant une température relativement élevée provoque une évaporation

plus abondante de l'acide sulfureux, une élévation de température et, par suite, élévation de densité des vapeurs aspirées par le compresseur. Le rendement de la machine donc doit croître.

Enfin, l'appareil est facilement assemblé et peut être aisément nettoyé.

Nous parlerons du refroidissement par détente directe à propos des applications même du froid à la brasserie, au refroidissement des mouls, à la conservation de la bière, etc.

MACHINES A GLACE DELION ET LEPEU

Les machines frigorifiques Delion et Lepeu utilisent aussi l'anhydride sulfureux comme agent de réfrigération.

Là encore le fonctionnement est des plus simples. L'acide sulfureux opère suivant un cycle continu dans les trois organes principaux de la machine : Le réfrigérant, le compresseur, le condenseur.

1° Le réfrigérant renferme une certaine quantité d'acide sulfureux liquide, l'espace vide est rempli des vapeurs d'acide qui se dégagent continuellement pendant la marche de la machine.

Sous l'effet du compresseur, un vide relatif s'établit, l'acide sulfureux entre en ébullition et s'évapore, produisant ainsi le froid qui se transmet au bain incongelable dans lequel le réfrigérant est plongé ; c'est ce bain refroidi qui sert à la fabrication de la glace ou au refroidissement en général.

2° Le compresseur est là encore une pompe aspirante et foulante, à double effet, d'une construction spéciale et très soignée. Il prend les vapeurs qui se dégagent au réfrigérant pour les refouler au condenseur. Le piston du compresseur marche sans aucun graissage, puisque ce dernier est assuré par le passage de l'acide sulfureux autolubrifiant.

3° Le condenseur, qui liquéfie les gaz comprimés et chauds, refoulés par le compresseur, est traversé, à cet effet, par un courant continu d'eau froide.

Le gaz liquéfié dans le condenseur retourne, par différence de pression, au réfrigérant, en passant par le robinet régulateur. Celui-ci permet de déterminer, d'une façon précise, la quantité d'acide qui doit

retourner au réfrigérant. La marche ainsi décrite est donc continue tant que le compresseur est en mouvement.

Le réfrigérant est composé de corps tubulaires, en cuivre rouge, brasés de toutes pièces, réunis par des communications formant entre-toises. Le corps supérieur porte une colonne surmontée d'un robinet; le mettant en communication avec le compresseur. A côté de cette colonne s'en trouve une plus petite, surmontée également d'un robinet, et par laquelle l'acide arrive du condenseur.

La cuve réfrigérante est en tôle, rectangulaire; un compartiment est disposé à l'intérieur pour recevoir le réfrigérant, il porte, en outre, un ou plusieurs tambours pour le mouvement des hélices.

Cette cuve doit être parfaitement isolée, et, à cet effet, il est bon de l'entourer de murs en briques. Entre les murs et la cuve un espace réservé est rempli de débris de liège. Le dessus est recouvert d'un plancher en bois, à panneaux mobiles.

Le compresseur est une pompe aspirante et foulante, à double effet, accouplée directement à la contre-tige du piston du moteur, dans le cas d'une machine avec moteur; ou montée sur un bâti, avec arbre, bielle, volant, poulies, etc., dans le cas d'une machine sans moteur.

Le rendement de la machine dépend absolument du bon fonctionnement de cette pompe.

Le cylindre est à double enveloppe, permettant d'y faire passer une certaine quantité d'eau pour combattre l'échauffement dû à la compression des gaz; dans le même but, la tige du piston est creuse, et l'eau qui a circulé autour du cylindre passe dans la tige.

Le piston est soigneusement ajusté dans l'intérieur du cylindre de façon à obtenir une parfaite étanchéité; il est en outre, muni de segments doubles en fonte et de rainures parallèles.

Un nouveau presse-étoupes perfectionné permet d'obtenir une étanchéité parfaite autour de la tige du piston et supprime toute odeur.

Les clapets sont en acier. La tige du piston doit être aussi bien guidée que possible, le disque est très large. Les ressorts sont également en acier et le réglage en est plus facile.

Deux manomètres montés l'un sur l'aspiration, l'autre sur le refoulement indiquent le vide au réfrigérant et la pression au condenseur.

Le condenseur en cuivre rouge, est composé d'un corps tubulaire parfaitement hermétique; le but de l'appareil est de liquéfier les gaz chauds sortant du compresseur; ils arrivent à la partie supérieure par

une tubulure brasée surmontée d'un robinet, se répandent à l'intérieur et sont condensés, au contact des tubes refroidis par une double circulation d'eau.

L'acide liquéfié tombe à la partie inférieure du condenseur, et par un tuyau plongeur disposé à cet effet, retourne au réfrigérant par différence de pression, en passant par le robinet régleur.

L'eau servant à la condensation arrive à la partie inférieure par une tubulure, traverse le corps tubulaire, passe dans la bêche extérieure et s'écoule par le trop plein.

Les fonds sont démontables, pour faciliter le nettoyage.

Le robinet régleur est à vis, il est extrêmement sensible et sert à déterminer rigoureusement la quantité d'acide retournant au réfrigérant, et à arriver de ce fait à une marche régulière. Un petit robinet est fixé sur le côté du régleur et sert à l'introduction de l'acide.

Les machines Delion et Lepage peuvent naturellement fonctionner de deux façons :

1° *Avec moteur*, pour le cas où l'on désire une machine motrice indépendante, et où l'on ne dispose d'aucune force motrice.

2° *Sans moteur*, dans le cas où l'on dispose d'une force motrice quelconque.

Avec ces appareils, nous terminerons l'étude des machines frigorifiques à acide sulfureux, après avoir signalé toutefois quelques machines analogues aux précédentes, construites par **Quiri, de Schiltigheim** (Alsace), **Borsig, de Berlin**, etc. Ces machines sont établies sur le même principe et leur description ne serait qu'une répétition de ce que nous venons de dire.

CHAPITRE VI

MACHINES A CHLORURE DE MÉTHYLE

MACHINES DOUANE

Les machines au chlorure de méthyle ont été imaginées par Vincent qui établit en appliquant l'évaporation de ces gaz, de petits appareils frigorifiques surtout montés dans le but des applications au laboratoire.

Depuis, la volatilisation du chlorure de méthyle a été appliquée à de grands appareils. C'est la maison Douane qui à l'heure actuelle est le seul constructeur de ces appareils.

Les machines frigorifiques que construit la maison Douane emploient, en effet, la volatilisation du chlorure de méthyle liquéfié comme moyen de produire le froid.

L'appareil le plus simple construit en utilisant ce procédé est un tout petit modèle produisant environ entre 1 kg. et 1^{kg},5 de glace en une heure, et dans lequel la liquéfaction du gaz volatilisé est obtenue à bras.

L'appareil se compose d'un *frigorifère* ou récipient dans lequel, au moyen d'un robinet, on règle l'introduction du chlorure de méthyle liquide en se basant sur les indications d'un manomètre qui donne à tout moment la pression du frigorifère. Le chlorure de méthyle s'évapore en produisant un abaissement de température considérable. On arrive rapidement au point d'ébullition du chlorure de méthyle, soit — 23° à la pression atmosphérique. Si donc on maintient sensiblement cette pression au frigorifère, et si on y introduit constamment du chlorure de méthyle liquide, les parois de ce frigorifère sont le siège permanent d'un refroidissement intense. Il suffit d'entourer le frigorifère d'un récipient plein d'eau pour qu'elle soit refroidie et qu'il se forme de la glace le long des parois.

Pour maintenir la pression convenable au frigorigère et recueillir les vapeurs de chlorure de méthyle, l'appareil se complète d'un petit *compresseur* formé simplement par une pompe à bras. Ce petit compresseur aspire les vapeurs du frigorigère et les refoule dans un ser-

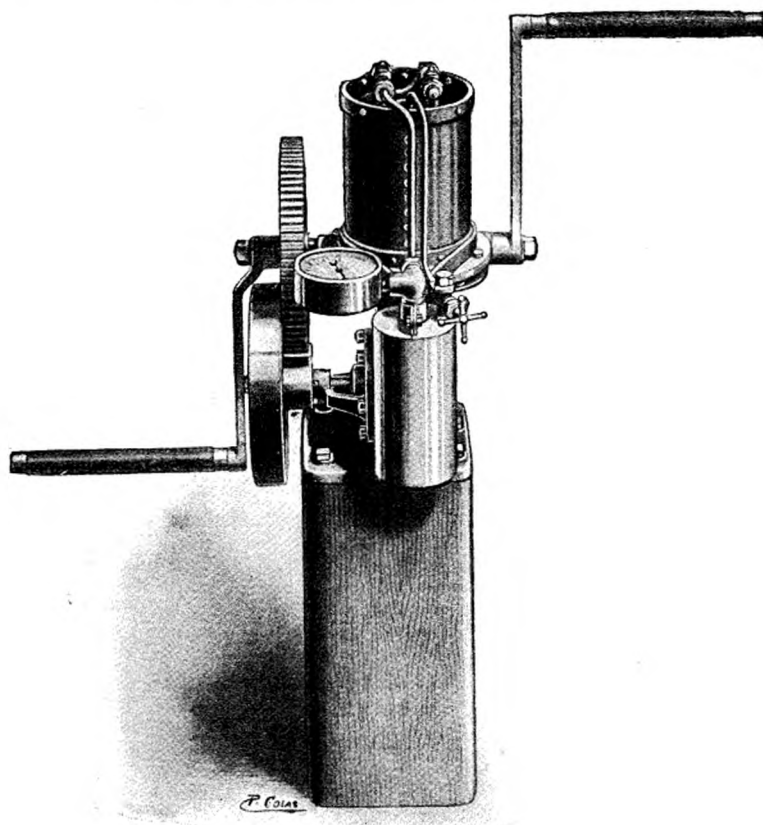


Fig. 24. — Petit appareil à chlorure de méthyle mû à bras.

pentin immergé dans l'eau. Cette eau est celle dont on dispose dans la région et qui peut être à la température élevée que l'on trouve dans les pays chauds, le point critique du chlorure de méthyle étant assez élevé.

Sous l'influence de la compression, les vapeurs de chlorure de mé-

thyle se liquéfient dans le serpentin, et le liquide obtenu est réintroduit dans le frigorigère par un robinet règleur. C'est donc toujours le

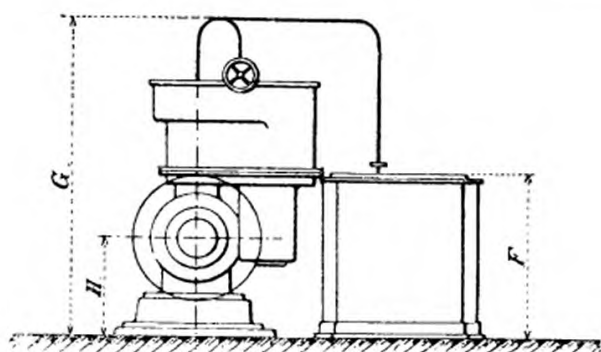


Fig. 25. — Vue en élévation.
Appareils à glace sans moteur nos 1, 2 et 3.

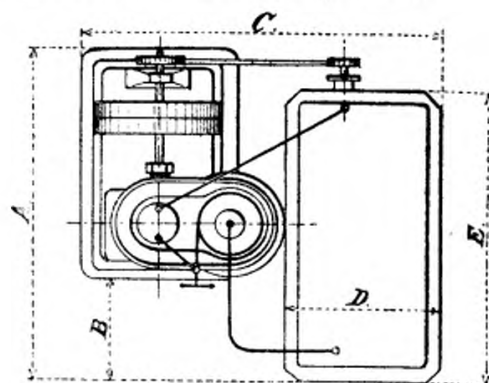


Fig. 26. — Vue en plan.
Appareils à glace sans moteur nos 1, 2 et 3.

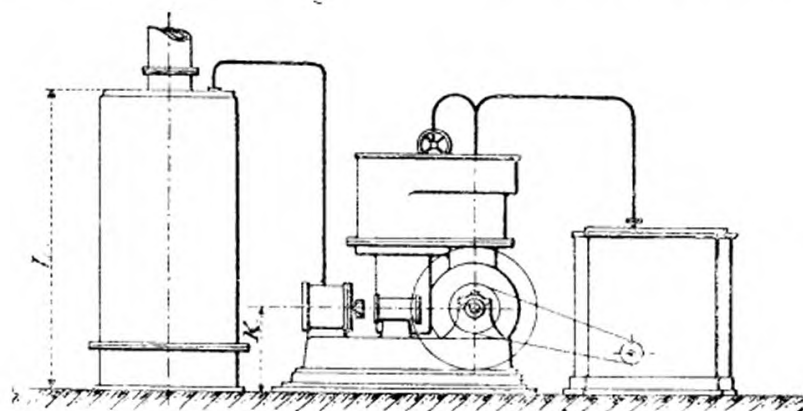


Fig. 27. — Vue en élévation.
Appareils à glace automoteurs nos 1, 2 et 3.

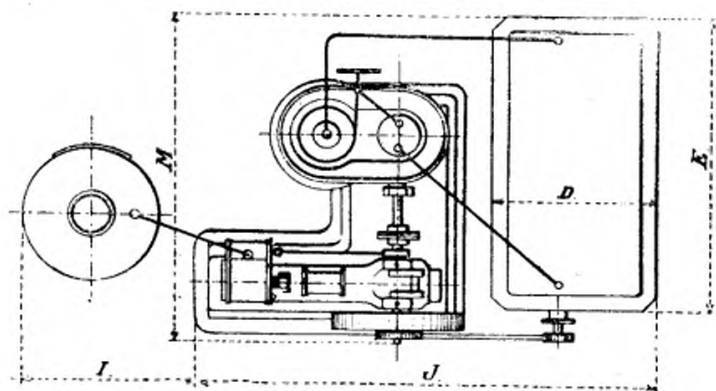


Fig. 28. — Vue en plan.
Appareils à glace automoteurs nos 1, 2 et 3.

même chlorure de méthyle qui décrit un même cycle.

Un appareil déjà de plus grandes dimensions pouvant produire suivant sa taille 5, 10 ou 20 kg. de glace à l'heure se compose d'un bâti por-

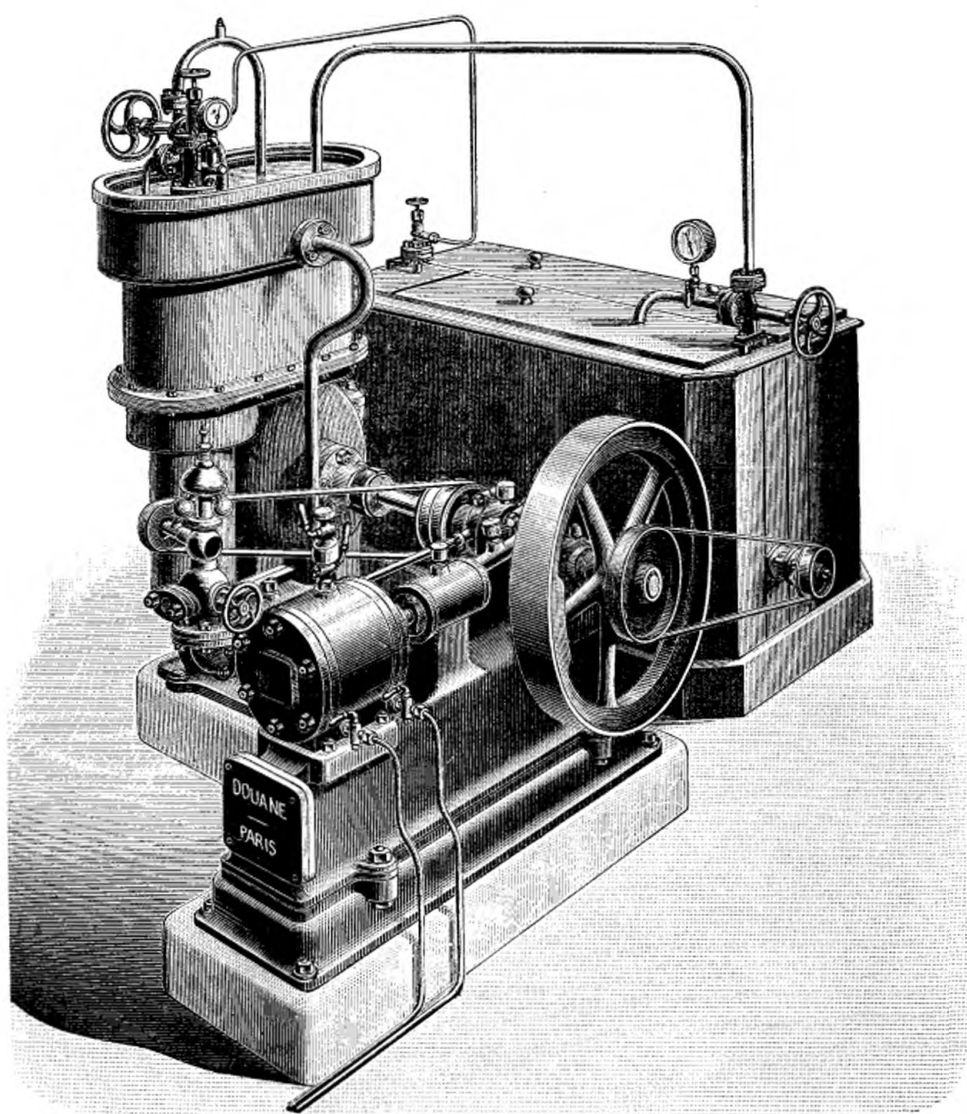


Fig. 29. — Petits appareils Douane nos 1, 2 et 3 avec moteur à vapeur.

tant le compresseur et le liquéfacteur et du frigorifère. — Le compresseur est à simple effet, les clapets sont placés à la partie haute, de façon à être facilement accessibles ; le mouvement est complètement

enfermé dans une boîte en fonte d'où l'arbre de commande sort par une chambre à étoupe absolument étanche. Cette étanchéité est obtenue du fait que la capacité close, où fonctionne le mouvement du compresseur, est remplie de glycérine qui forme tampon hydraulique entre les vapeurs de chlorure de méthyle et l'extérieur du presse-étoupes, de

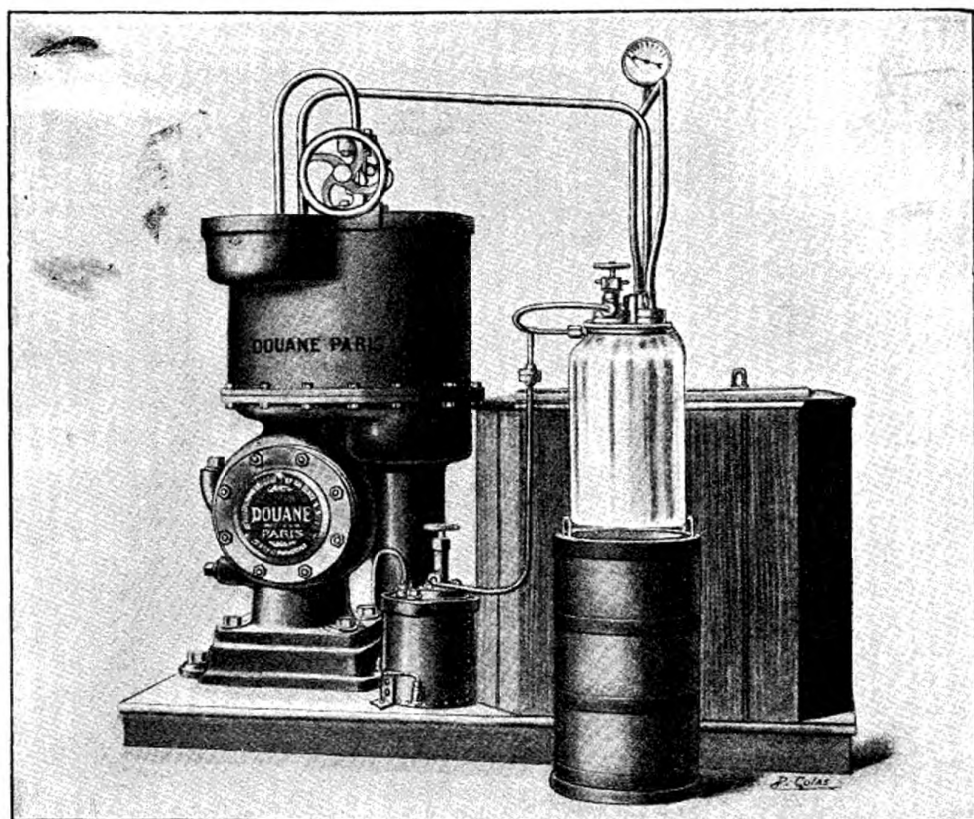


Fig. 30. — Appareils Douane n° 1, 2 et 3 avec cartouche instantanée.

sorte qu'en cas de manque de serrage du presse-étoupes, c'est de la glycérine qui sort et non des vapeurs de chlorure de méthyle.

Le compresseur refoule les vapeurs comprimées par un tuyau dans le serpentin du liquéfacteur; là, sous l'action réfrigérante d'un courant d'eau froide qui arrive au bas du compresseur, le chlorure de

méthyle se liquéfie et s'accumule dans un cylindre spécial, d'où on le

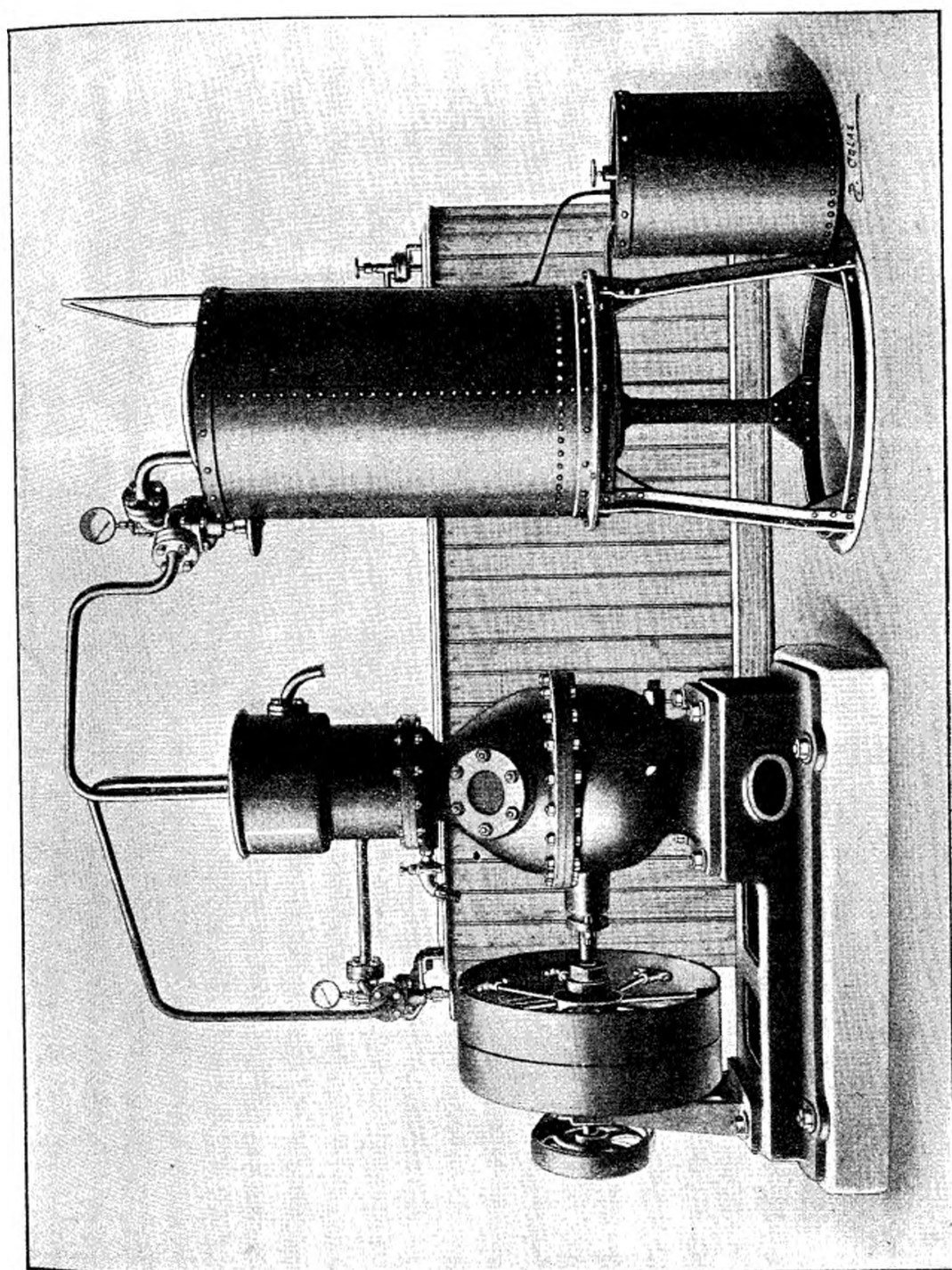


Fig. 31. — Appareils moyens n^{os} 4, 5 et 6, sans moteur.

distribue par un robinet et un tuyau K au frigorigère.

Le compresseur est mù au moyen d'une poulie fixe formant volant accouplé avec une poulie folle.

Ce compresseur est mis en action soit au moyen d'un petit moteur à vapeur qui lui est accouplé directement, soit par une transmission par courroie avec un moteur quelconque. Il peut même être actionné par un manège à un ou plusieurs chevaux.

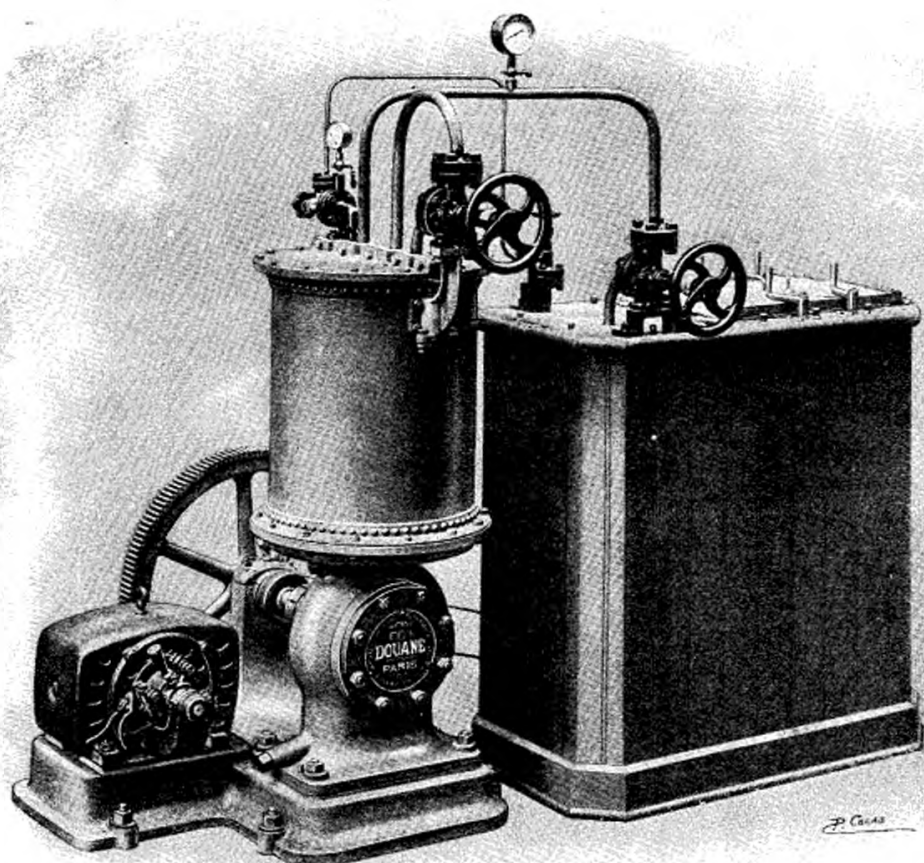


Fig. 32. — Appareil « type marine » mù par électromoteur.

Le frigorifère est toujours disposé dans le but de la fabrication de la glace. Il est constitué par une caisse en tôle parfaitement isolée, divisée en deux compartiments par une tôle transversale : dans l'un des compartiments se trouve la surface réfrigérante qui est un corps cylindrique à deux tubes concentriques, dans lequel le chlorure de méthyle arrive par un robinet détenteur et sort à l'état de vapeur par un

robinet d'où un tuyau établi dans ce but lui permet de retourner au compresseur, après avoir produit son action réfrigérante du fait de son évaporation dans le corps cylindrique. Dans l'autre compartiment se trouvent les mouleaux qui contiennent l'eau à congeler. La région libre au-dessus du corps cylindrique peut être utilisée à faire des carafes.

Enfin une solution incongelable de chlorure de calcium remplit le frigorifère ; elle est mise en mouvement par une hélice agitatrice ; elle circule le long des parois du corps cylindrique, où elle se réfrigère, et autour des mouleaux pleins d'eau, dont elle provoque la congélation.

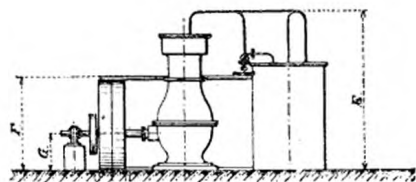


Fig. 33. — Vue en élévation.

Appareils à glace sans moteur, nos 4, 5 et 6.

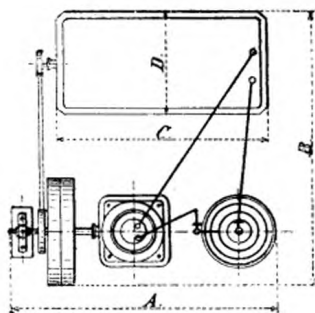


Fig. 34. — Vue en plan.

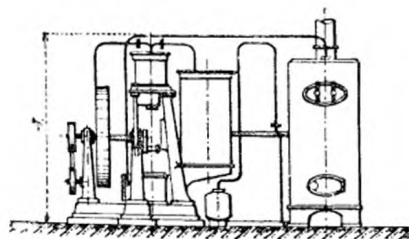


Fig. 35. — Vue en élévation.

Appareils à glace automoteurs nos 3, 4 et 5.

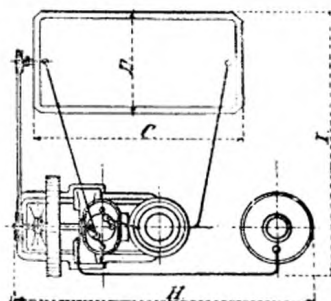


Fig. 36. — Vue en plan.

Dans certains cas, il peut être intéressant d'avoir de la glace très rapidement après un long arrêt de l'appareil et par conséquent d'éviter la période de mise en train due au refroidissement de la masse de saumure avant de commencer à faire la glace. Il suffit pour cela, d'adjoindre à l'appareil une *cartouche dite instantanée*, parce qu'elle per-

met d'avoir, à n'importe quel moment et très rapidement une certaine quantité de glace. Cette cartouche est un frigorifère spécial où on a supprimé la saumure et où la glace se forme le long des parois du récipient où s'évapore le chlorure de méthyle. La glace ainsi obtenue n'est pas en pains réguliers comme celle des frigorifères ordinaires à saumure ; elle constitue une sorte de moulage en glace de la cartouche et lorsqu'on la démoule elle donne des morceaux de formes irrégulières rappelant la glace naturelle.

La cartouche instantanée est établie pour l'appareil n° 1, de façon à donner en une heure les 5 à 6 kg. de glace que l'appareil peut produire. Cette même cartouche combinée aux appareils n°s 2 et 3 ne peut donner, avec chacun de ces appareils, la production horaire, mais elle permet d'avoir rapidement et sans mise en train de 5 à 6 kg. de glace. C'est pour cela que l'on peut en admettre même l'application à ces appareils.

Nous nous en occuperons d'ailleurs plus en détail dans le chapitre spécial de la fabrication de la glace.

Dans les appareils pouvant produire de 30 à 120 kg. de glace à l'heure le constructeur a été conduit, pour éviter des pièces trop lourdes et trop encombrantes, à séparer du compresseur le liquéfacteur de telle sorte qu'il y a trois engins bien distincts.

La construction du *compresseur* affecte la même disposition que celle employée dans les petits appareils. Cylindre à simple effet avec clapets facilement accessibles à la partie haute, mouvement enfermé dans un espace clos, avec glycérine entre la région où se trouvent les vapeurs de chlorure de méthyle et l'air extérieur à la sortie de la boîte à étoupe de l'arbre de commande, telles sont les caractéristiques de la machine.

Le *liquéfacteur* est relié au refoulement du compresseur par un tuyau. On peut l'isoler en fermant simplement un robinet. Le liquéfacteur se compose d'un réservoir cylindrique dans lequel se trouve le ou les serpentins liquéfacteurs dont l'extrémité aboutit à un cylindre où s'accumule le chlorure de méthyle liquide. En ouvrant le robinet, qui est muni d'un tuyau plongeur allant au fond du cylindre, on envoie le chlorure de méthyle liquide au robinet détenteur, qui le distribue dans le *frigorifère*. Un manomètre marque les pressions de liquéfaction du chlorure de méthyle.

L'eau de réfrigération, après avoir circulé autour du cylindre du

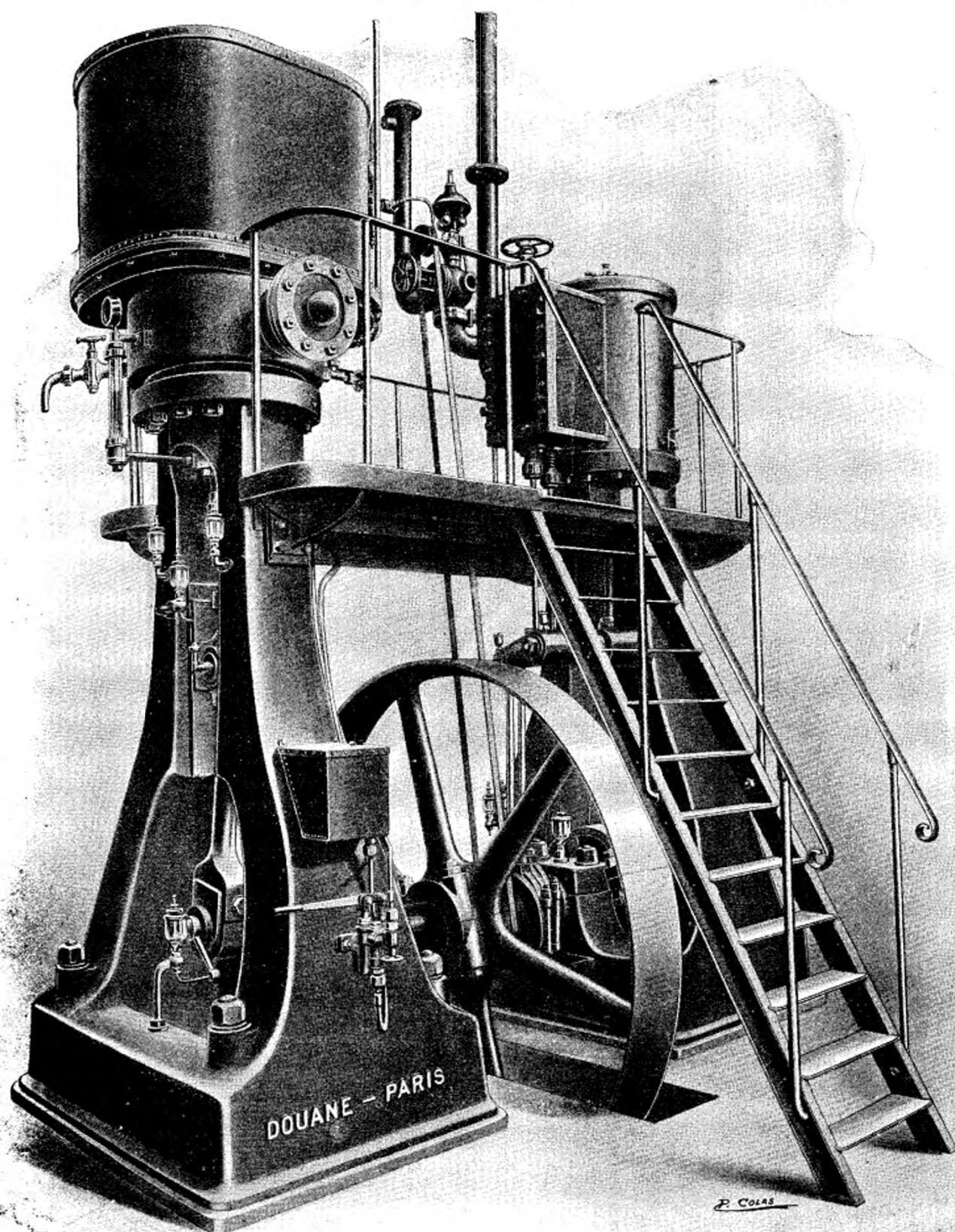


Fig. 37. — Compresseur automoteur à vapeur des gros appareils (Moteur à un cylindre).

REVUE TECH. 1900. — 6^e PARTIE; T. II.

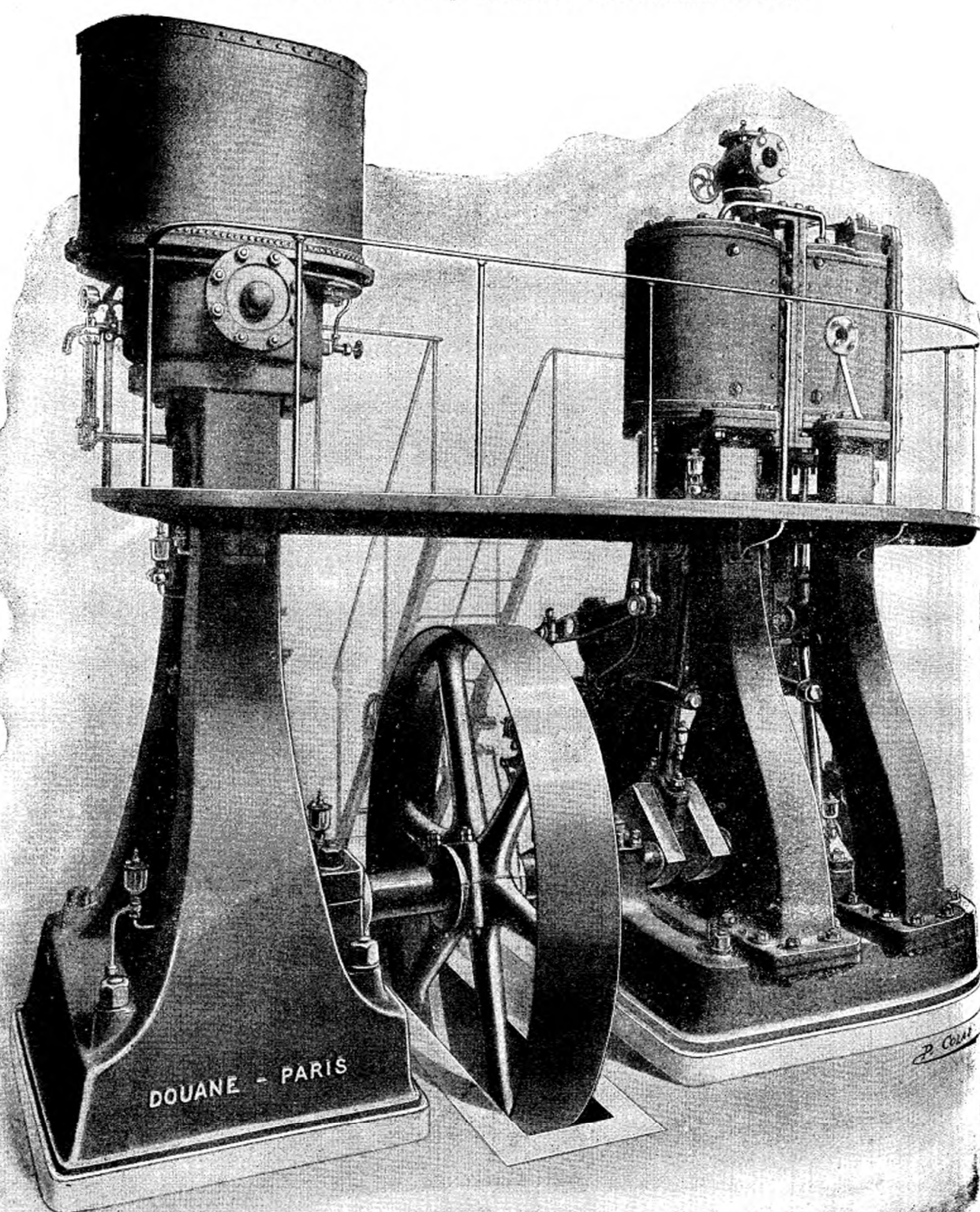


Fig. 33. — Compresseur automoteur à vapeur des gros appareils (Moteur compound).

compresseur, sort par un tuyau et entre dans le liquéfacteur pour être évacuée par un orifice spécial. Dans les régions où l'eau est très chaude, il peut être utile de relier directement le robinet à une arrivée d'eau spéciale et d'évacuer directement celle qui a circulé autour du cylindre du compresseur.

Le *frigorifère* est, comme précédemment, un coffre en tôle séparé en deux ou trois compartiments par des tôles transversales. Dans l'un des compartiments se trouve la surface réfrigérante qui, dans l'appareil n° IV, est constituée comme dans les petits appareils par un corps cylindrique à deux tubes concentriques, et qui, dans les appareils V et VI, est constituée par un ou des serpentins dont l'une des extrémités aboutit à un cylindre en acier qui reçoit les particules de chlorure de méthyle liquides qui ne se seraient pas évaporées dans les serpentins. Dans le ou les autres compartiments sont les mouleaux à glace ; le tout est rempli par une solution de chlorure de calcium qui joue le même rôle que dans les petits appareils.

Ces appareils peuvent être actionnés par des machines à vapeur indépendantes, soit fixes, soit demi-fixes, par une transmission par courroie ou un moteur quelconque à gaz, à pétrole, un moteur électrique ou un moteur hydraulique.

Les appareils sont dit *automoteurs à vapeur* quand le moteur fait partie de leur organisme. Dans ce cas les machines à froid se construisent avec cylindre à vapeur accouplé au cylindre compresseur. Ce dernier est à double effet et du même type que celui des compresseurs des gros appareils dont nous donnons la description plus loin.

Le cylindre du moteur à vapeur est sur la plaque de fondation. Les tiges des pistons de ce cylindre et du compresseur sont reliées par un cadre à glissière actionnant la manivelle d'un arbre qui porte le volant, et sur lequel on peut disposer d'une fraction de la puissance du moteur en vue d'actionner d'autres engins, tels que agitateur du frigorifère, pompe alimentaire de la chaudière, pompe à eau de réfrigération du liquéfacteur, pompe à solution saline, etc.

Le liquéfacteur est porté par le pilier du bâti du compresseur. La bouteille réceptrice du chlorure de méthyle liquide est placée en dessous.

Enfin dans les appareils de très grandes dimensions construits d'après ce principe, on rend indépendant le récipient du liquéfacteur où s'accumule le chlorure de méthyle tandis que le compresseur est à mécanisme apparent.

Dans le liquéfacteur les serpentins sont ronds ou rectangulaires, et bien que dans notre figure ils affectent la première de ces dispositions, on emploie de préférence la seconde dans les appareils de très grandes dimensions. Le réservoir présente naturellement la même forme que les serpentins.

Les serpentins des liquéfacteurs ronds sont placés concentriquement, reliés en haut à un collecteur aboutissant au robinet placé entre le liquéfacteur et le compresseur et reliés entre eux à leur base par un collecteur qui conduit le chlorure de méthyle liquéfié dans un récipient indépendant.

Dans le cas des liquéfacteurs rectangulaires les serpentins sont disposés parallèlement en même temps que des chicanes forcent ce courant à circuler le long des tuyaux des serpentins. Un système de collecteurs suspendus et enfermés identiquement à ceux employés dans la forme circulaire relie les serpentins en haut et en bas.

Les compresseurs des appareils à grosse production de froid et de glace ont, comme on le voit sur la gravure, leur mécanisme apparent. En effet, le mode de construction des compresseurs des appareils plus petits, avec mécanisme enfermé dans une capacité close, ne convient plus aux dimensions des pièces de ces gros compresseurs.

On a adopté la forme verticale, qui est d'après le constructeur la plus rationnelle, car elle supprime les ovalisations des cylindres et des boîtes à étoupes qui, après quelque temps de fonctionnement, sont inévitables dans les compresseurs horizontaux.

Le cylindre est à double effet, c'est-à-dire que le piston travaille des deux côtés. Pour cela il y a en haut et en bas du cylindre un jeu de clapets d'aspiration et un jeu de clapets de refoulement. Le nombre des clapets est proportionnel à la puissance de l'appareil, ils sont tous semblables et interchangeables.

Les aspirations haut et bas, ainsi que les refoulements, communiquent par des gaines venues de fonte avec le cylindre et par des collecteurs en cuivre.

Les cylindres sont entourés d'un réservoir en tôle, facilement démontable, ce qui présente un grand avantage sur les enveloppes venues de fonte avec les cylindres, d'où il est impossible d'enlever les dépôts que les eaux de réfrigération y laissent. En outre, les plateaux et joints, se trouvant immergés dans l'eau, ne fuient pas sous les dilatations et con-

tractions périodiques qu'ils éprouvent quand ils ne sont pas rafraîchis par l'eau.

Les clapets d'aspiration et de refoulement sont en acier avec siège en

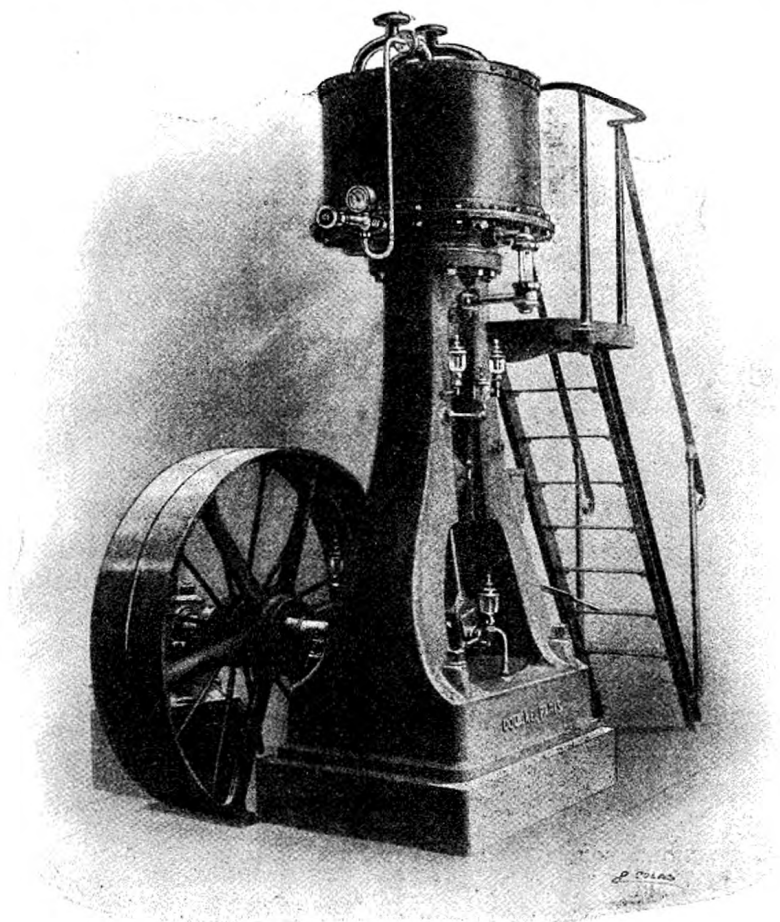


Fig. 39. — Compresseur des gros appareils (Moteur à un cylindre).

bronze ; ils forment un tout complet facilement démontable et remontable dans les chambres qui leur sont affectées.

L'arbre de couche est placé à la partie basse sur la plaque de fondation ; il repose sur deux forts paliers et présente une grande stabilité. Cet arbre est actionné soit directement par l'arbre d'un moteur, soit

par courroie agissant sur le volant-poulie à côté duquel se trouve une poulie folle.

L'étanchéité absolue à la sortie de la tige du piston du cylindre compresseur est assurée par une couche de glycérine placée dans une chambre contiguë au fond du cylindre et traversée par la tige. Cette chambre porte une boîte à étoupes intérieure et une autre extérieure ; elle est munie d'un appareil de niveau en verre permettant de contrôler à tout moment la quantité de glycérine restant dans ladite chambre.

Le presse-étoupes intérieur s'oppose aux fuites de gaz comprimé et le presse-étoupes extérieur aux fuites de glycérine.

La partie supérieure de l'appareil de niveau qui communique avec la région de la chambre où s'accumulent les gaz provenant du presse-étoupes intérieur, porte un robinet et un manomètre, ce robinet étant relié par un tuyau avec le collecteur d'aspiration du compresseur. Grâce à ce dispositif, on peut, ledit robinet étant fermé, se rendre compte par la montée plus ou moins rapide de l'aiguille du manomètre de l'importance des fuites du presse-étoupes intérieur et juger s'il a besoin d'être simplement serré ou d'avoir sa garniture rechargée. En temps ordinaire le robinet de l'appareil de niveau doit être ouvert pour permettre au gaz qui pourrait passer par la boîte à étoupes intérieure de retourner à l'aspiration du compresseur. On évite ainsi les pertes dans la mesure du possible et en outre ce procédé permet d'avoir la pression basse d'aspiration sur la couche de glycérine et diminue les chances de perte par le presse-étoupes extérieur.

Pour récolter la glycérine qui pourrait passer par le presse-étoupes extérieur, on a placé sur la tige du piston à l'endroit où elle s'emmanche dans la crosse de la bielle un plateau qui recueille cette glycérine et la conduit par un tube égouttoir dans un récipient placé derrière le pilier du compresseur, d'où, avec une petite pompe à levier mue à la main, on peut la refouler dans la chambre à glycérine.

Le tout est complété par une plateforme avec escalier qui permet la surveillance et l'entretien du compresseur avec autant de facilité que s'il était horizontal au lieu d'être vertical.

Les frigorifères se construisent de la même façon que dans les appareils plus petits. Ils sont munis comme eux de serpentins en cuivre, la volatilisation du chlorure de méthyle s'achevant dans un cylindre terminal, mais le plus souvent on ne produit pas directement la formation de la glace. Le liquide incongelable convenablement refroidi dans

le frigorifère va circuler dans un congélateur indépendant dans lequel, par exemple, sont placés les mouleaux dans le cas de la fabrication de la glace.

La saumure est le plus souvent une dissolution de chlorure de calcium dans l'eau marquant 25° à l'aréomètre Baumé.

Le récipient où se détend le chlorure de méthyle, qu'il affecte la forme de serpentins ou de récipients tubulaires, est placé dans un réservoir en tôle recouvert d'une garniture isolante, et c'est ce réservoir que l'on remplit de saumure.

Une hélice permet, grâce à des chicanes en tôle convenablement disposées, d'imprimer un mouvement de déplacement considérable à cette saumure, facilitant par là l'échange du froid avec la surface métallique du récipient où se détend le chlorure de méthyle.

On met en marche les appareils frigorifiques dont nous venons de parler au moyen de moteurs absolument quelconques pourvu qu'ils soient d'une force suffisante.

Enfin on construit des *appareils automoteurs* à vapeur en accouplant directement au compresseur un moteur à vapeur. Les deux cylindres, celui du moteur et celui du compresseur, sont dans ce cas portés par un même pilier de fonte que l'on fixe solidement à une plaque de fondation de même métal. L'arbre est unique, il est mis en mouvement par le piston au moyen d'une bielle et d'une manivelle, et il transmet ce mouvement au piston compresseur également par une bielle et une manivelle. L'ensemble forme ainsi un bloc compact très rigide et très solide. L'arbre en se prolongeant actionne un volant.

CHAPITRE VII

MACHINES A AMMONIAC

Les machines qui emploient la détente du gaz ammoniac liquéfié comme moyen de réfrigération sont parmi les plus importantes. Les machines Linde, Fixary, etc., appartiennent à ce type. Nous les décrivons donc un peu longuement.

MACHINES ROUART A COMPRESSION D'AMMONIAC

Les machines à compression construites par Henri Rouart de Montluçon emploient l'ammoniac liquide anhydre dont les vapeurs détendues dans des serpentins produisent dans ceux-ci un abaissement de température considérable et déterminent ainsi la congélation où le refroidissement des corps plongés dans le liquide incongelable entourant les serpentins ; les vapeurs détendues sont ensuite aspirées, puis reliquifiées sous pression et de nouveau détendues et ainsi indéfiniment après avoir accompli une série de cycles.

Ces machines à compression se composent :

- 1° Du compresseur A.
- 2° Du séparateur d'huile B.
- 3° Du liquéfacteur C.
- 4° Du réfrigérant D.
- 5° Du récipient de gaz.

Le compresseur A est une véritable pompe aspirante et foulante d'une construction spéciale et particulièrement soignée ; le piston, les soupapes, les garnitures sont en fer et en acier ; les espaces nuisibles, grâce aux précautions prises, sont réduits au minimum, et l'étanchéité des presse-étoupes est assurée par l'adoption d'un dispositif spécial ;

le compresseur A aspire les vapeurs ammoniacales dans le réfrigérant D et les refoule dans le liquéfacteur C, où elles se condensent.

Avant de se rendre au liquéfacteur C, les vapeurs ammoniacales passent dans un organe spécial B appelé séparateur d'huile où elles abandonnent les matières grasses qu'elles tiennent en suspension.

Le liquéfacteur C, composé de serpentins en fer creux d'une seule pièce entourés d'un courant d'eau froide, reçoit les vapeurs ammo-

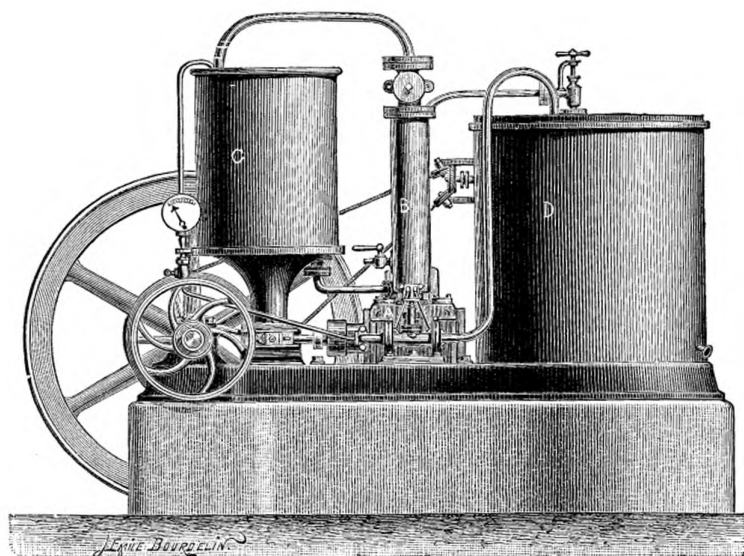


Fig. 40. — Machine à compression Rouart.

niacales comprimées sortant du séparateur B. Elles s'y condensent sous la double action de la pression et du froid produit par le courant d'eau.

Une conduite spéciale fait communiquer le liquéfacteur C à l'aide de robinets avec les serpentins du réfrigérant D.

Le réfrigérant D se compose comme le liquéfacteur d'une série de serpentins en fer creux d'une seule pièce dans lesquels le gaz ammoniac se détend en produisant un abaissement de température considé-

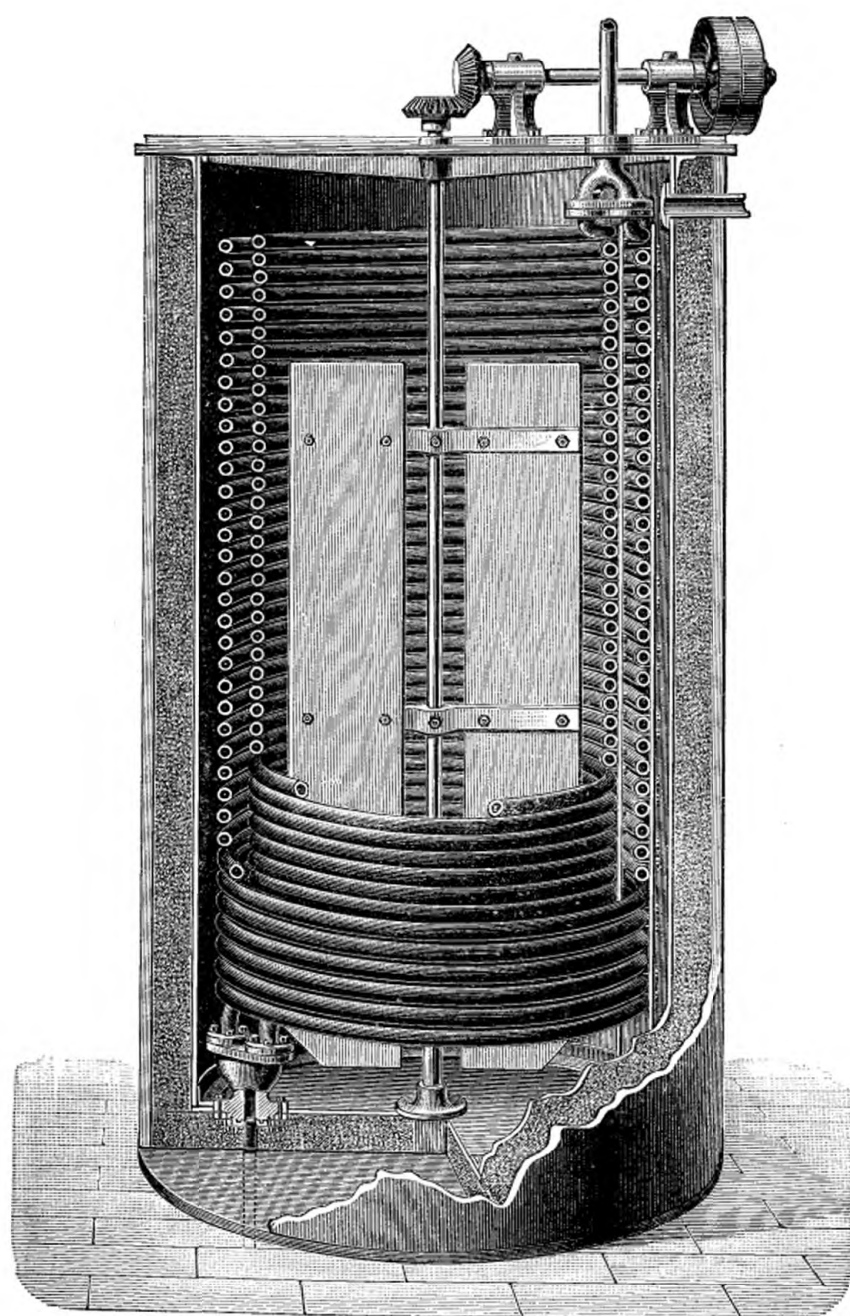


Fig. 40 bis. — Réfrigérant cylindrique montrant la disposition des serpentins et de l'agitateur.

nable dans ces derniers, et par conséquent dans le liquide incongelable dans lequel ils sont plongés.

Les formes et les dimensions des réfrigérants varient suivant les

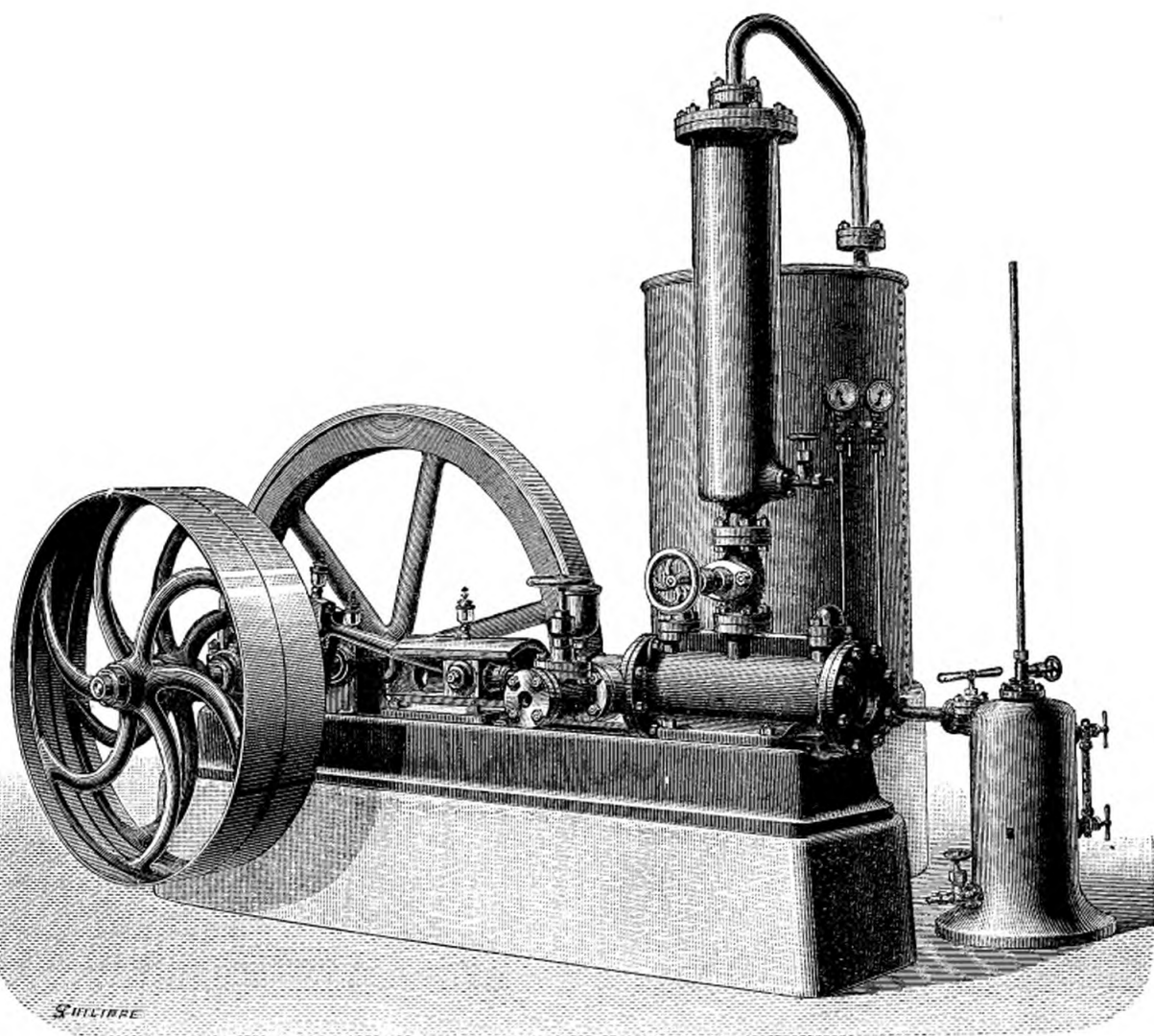


Fig. 41. — Machine à compression système Rouart.

applications industrielles du froid, applications qui feront l'objet d'un chapitre spécial.

Dans ces machines à compression les organes frottants ont de larges

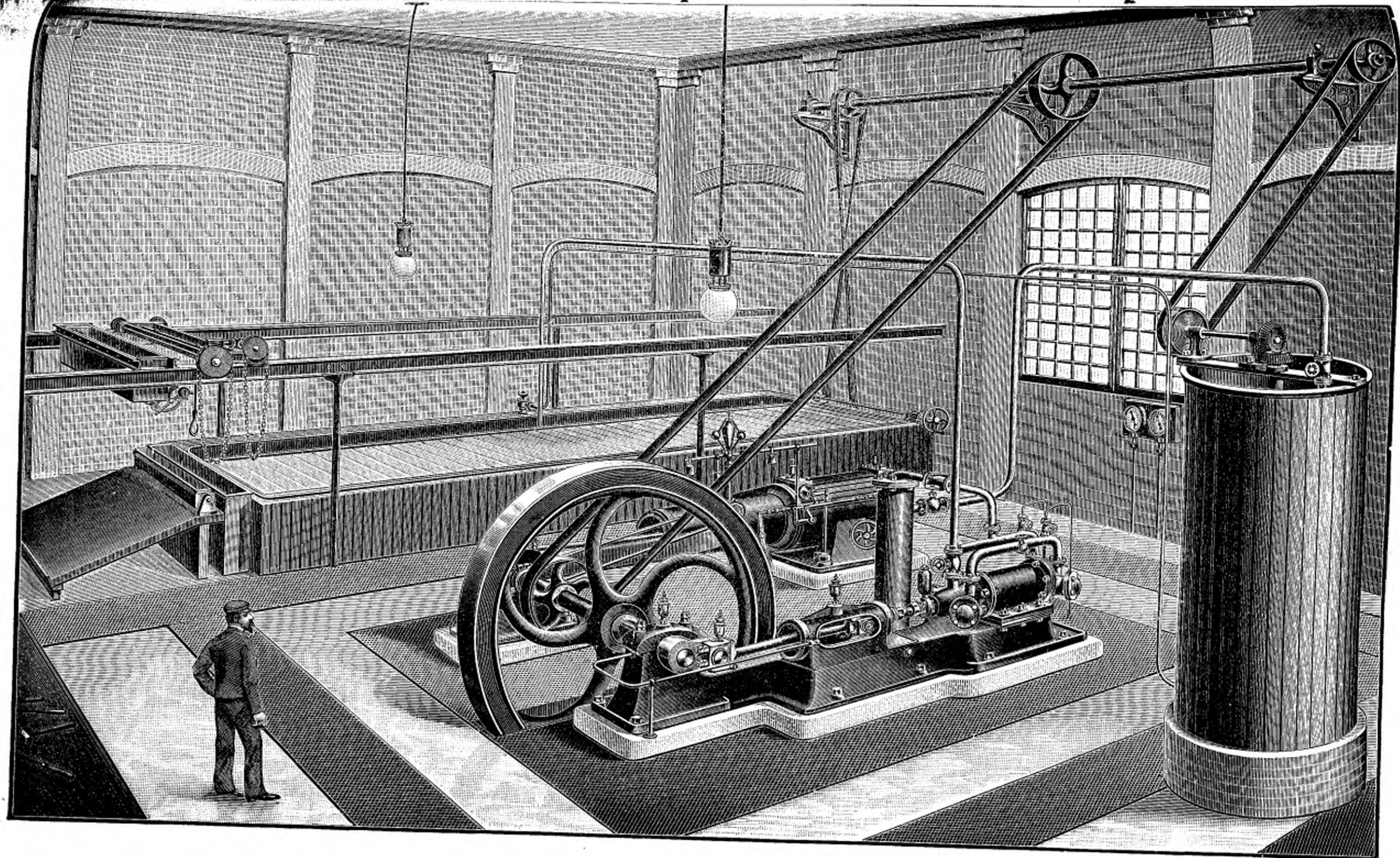


Fig. 44 bis. — Type d'appareil de compression de Rouart.

surfaces de manière à éviter toute usure, les espaces nuisibles sont réduits à leur plus simple expression, le refroidissement de la tige du compresseur est obtenu par la circulation, autour du presse-étoupes du gaz aspiré par le compresseur.

Les pertes de gaz ammoniac sont insignifiantes.

Enfin lorsque l'on ne dispose que d'une place très restreinte on mo-

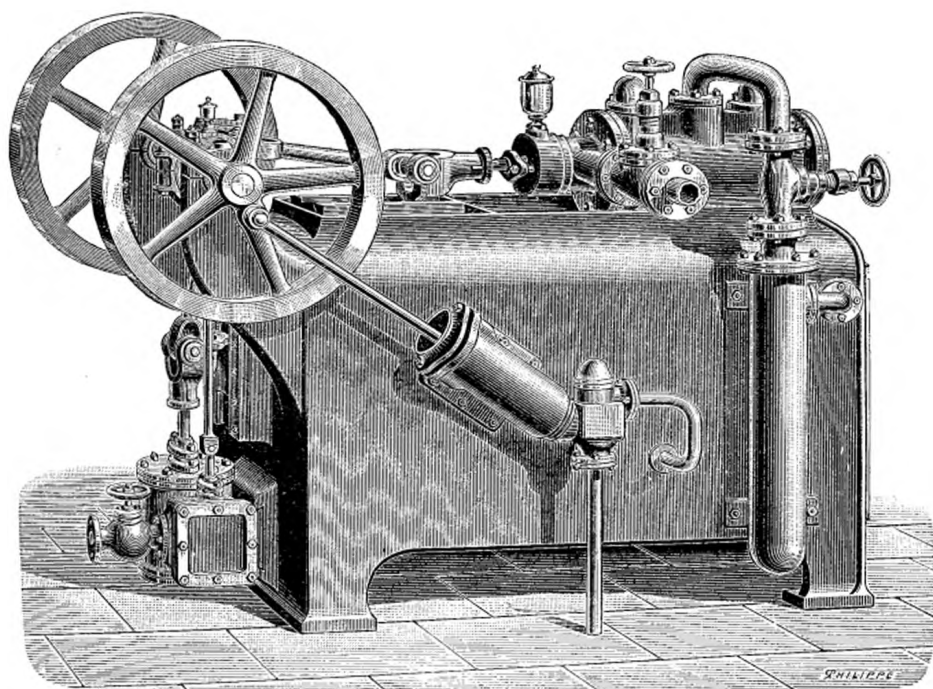


Fig. 42. — Appareil à compression type marine combiné avec moteur à vapeur et pompe d'alimentation.

diffie la forme de ces appareils et on a alors affaire à des types spéciaux dits « type Marine. » analogues à ceux de tous les systèmes et que notre figure représente combinés avec moteur à vapeur et pompe d'alimentation.

Cet appareil porte ainsi le compresseur et son cylindre à vapeur ; il suffit donc de le fixer sur le sol et de le relier à une conduite de vapeur.

La pompe à eau alimentant le liquéfacteur est également actionnée

par le moteur posé sur le bâti de l'appareil qui forme un ensemble

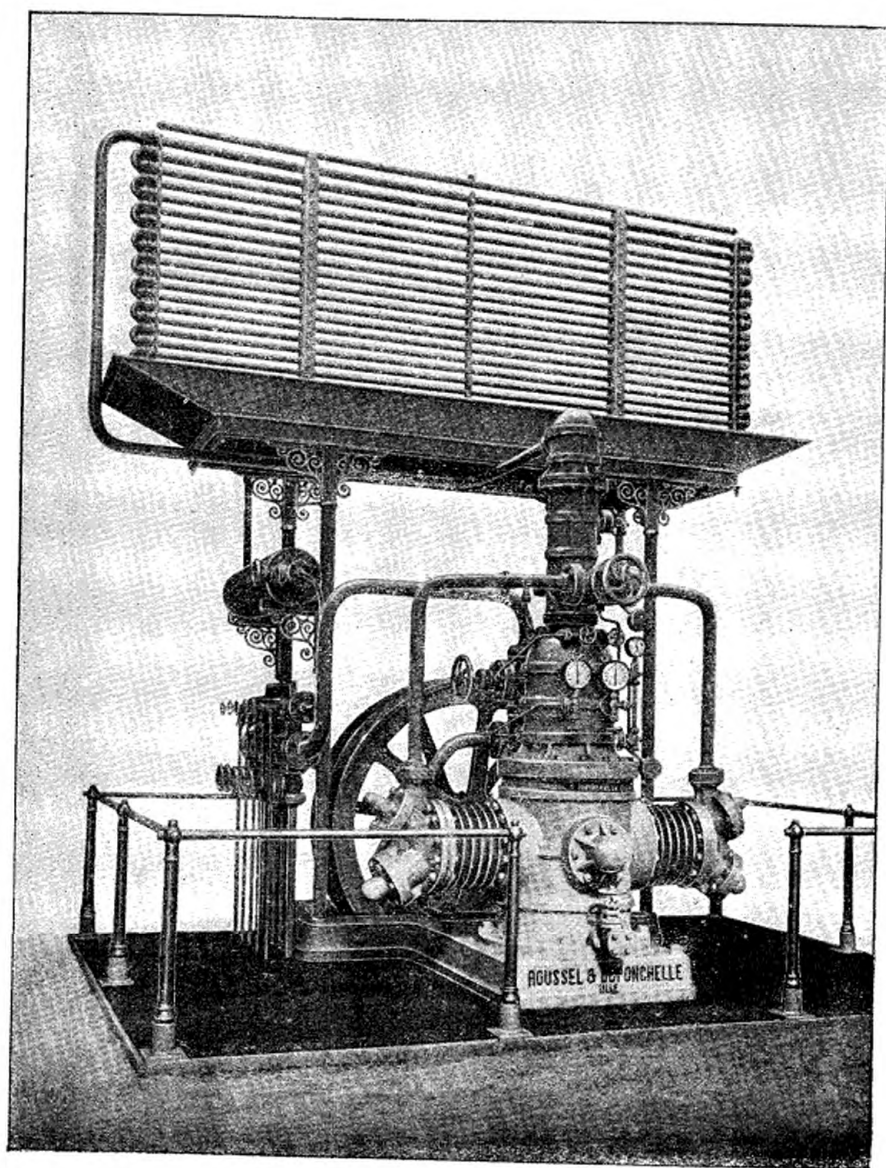


Fig. 43. — Vue générale de la machine construite par Roussel et Duponchelle de Lille.

complet, sauf le congélateur dont la forme et les dimensions varient suivant le but à atteindre.

MACHINES DE LEBRUN ET DE ROUSSEL ET DUPONCHELLE

La machine frigorifique que construisent Lebrun en Belgique et Roussel et Duponchelle en France, fonctionne par compression et dé-

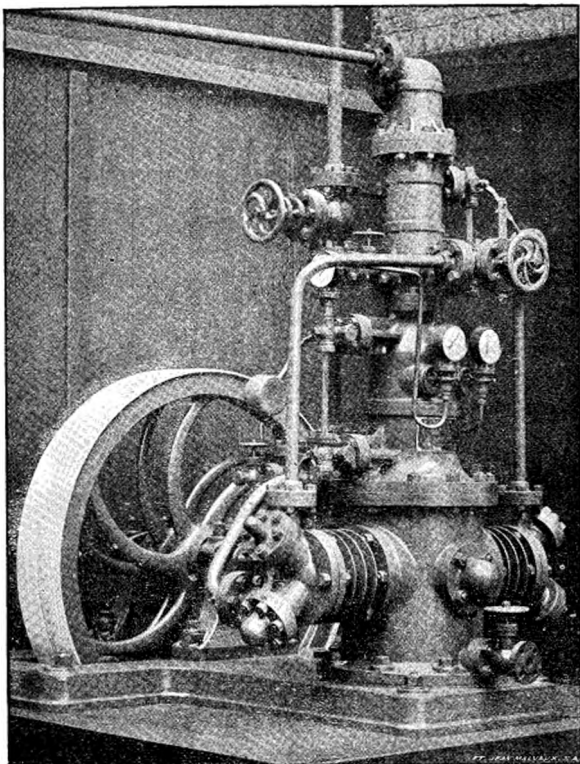


Fig. 44. — Vue extérieure du compresseur de la machine à ammoniac construite par Lebrun de Nimy.

tente d'ammoniac anhydre, la production du froid ayant toujours lieu par le fait de la détente. Il se compose naturellement du compresseur d'ammoniac, du condenseur et du congélateur.

De même que dans tous les appareils à compression, la marche théo-

rique se réduit aux trois points suivants que nous rappelons encore :

1° Production de la chaleur par la compression de l'ammoniac dans le compresseur, c'est-à-dire le travail mécanique se transformant en chaleur.

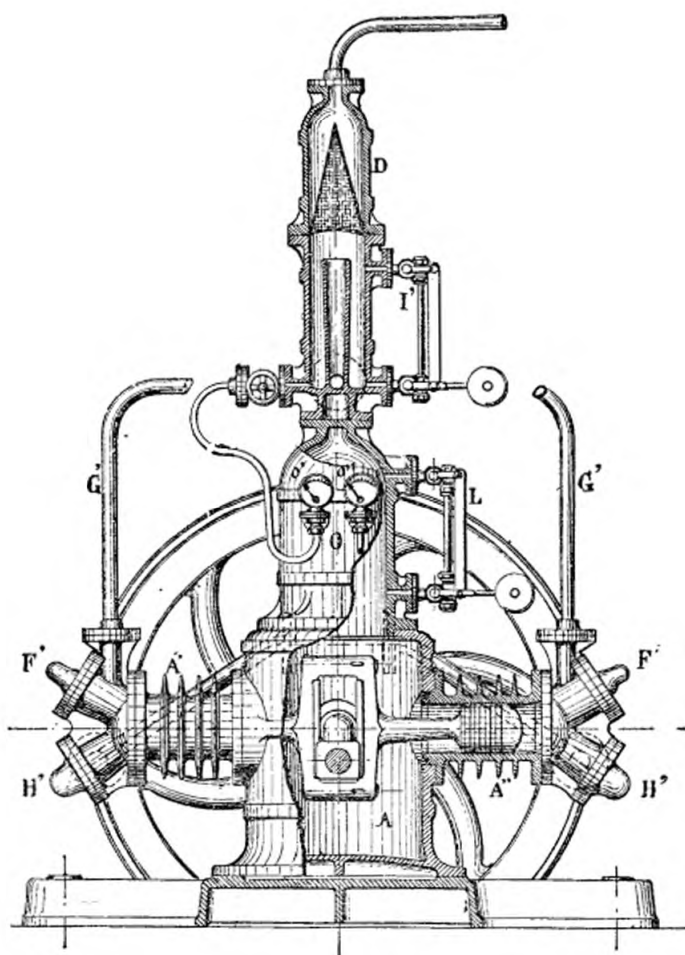


Fig. 45. — Coupe perpendiculaire à l'axe de l'arbre coudé.

A Réservoir bâti. — A' et A'' cylindres. — O cloche bâti. — D cloche de refoulement. — G et G' refoulement. — F et F' soupapes de refoulement. — H et A' soupapes d'aspiration. — I et L indicateurs de niveau d'huile. — O' et O'' manomètres.

2° Absorption de cette chaleur produite, ainsi que de la chaleur latente de liquéfaction, par l'eau du condenseur; le gaz passe de l'état gazeux à l'état liquide, après avoir cédé sa chaleur à l'eau.

3° Production du froid par la détente de l'ammoniac anhydre

liquéfié, s'écoulant du réservoir du condenseur dans le congélateur ; il y a passage de l'état liquide à l'état gazeux et baisse de pression ; ce changement d'état et l'abaissement de pression ou détente nécessitent une quantité de chaleur, laquelle est prise aux parois du congélateur et par l'intermédiaire de celles-ci au bain salé ; il en résulte une production

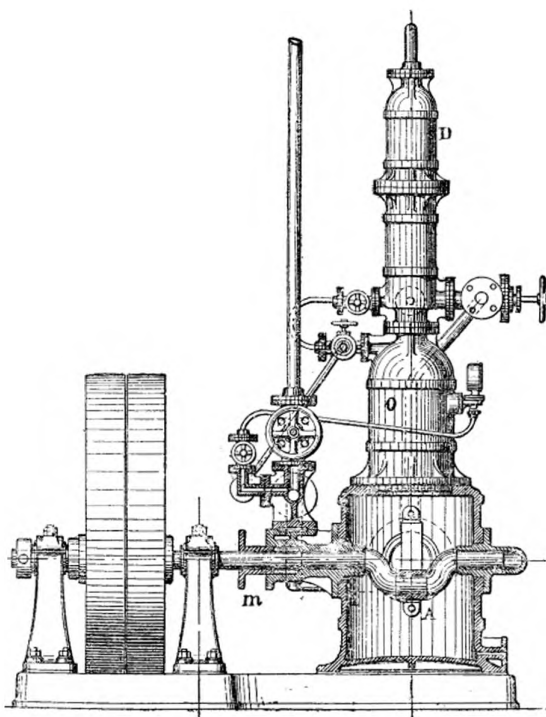


Fig. 46. — Coupe de la machine Lebrun suivant l'axe de l'arbre coudé.

de froid égale à la quantité de chaleur absorbée par le condenseur dans l'opération précédente. La production de froid n'est donc qu'une restitution faite, par le bain salé, de la chaleur absorbée par l'eau du condenseur.

Le rôle du compresseur est de reprendre le gaz dans le congélateur, et de le comprimer à nouveau à une pression suffisante pour arriver à

la liquéfaction dans le condenseur; la pression est entièrement dépendante de la température de l'eau du condenseur.

Dans le *compresseur* les constructeurs s'attachent surtout à supprimer aussi totalement que possible les pertes d'ammoniac. On a supprimé le bourrage de la tige du piston dont l'étanchéité peut laisser à désirer. A cet effet le compresseur est formé de deux corps de pompe à simple effet dont les deux pistons opposés sont réunis en leur milieu par une coulisse verticale, dans laquelle fonctionne le coulisseau du tourillon central d'un arbre coudé, dont les tourillons d'appui tour-

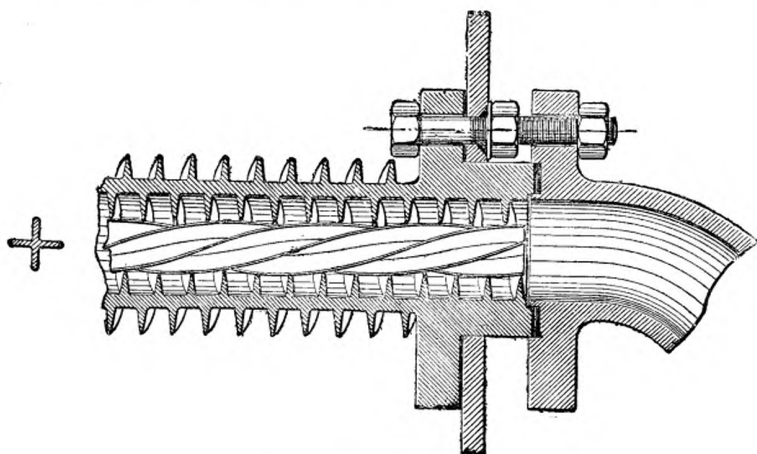


Fig. 47. — Tuyau à ailettes.

nent d'un côté dans une boîte fermée, et de l'autre dans un long presse-étoupes; l'extrémité extérieure de l'arbre est portée par deux supports à coussinets en bronze, entre lesquels tournent deux poulies, l'une poulie volant fixe, et l'autre poulie folle pour l'arrêt de l'appareil.

L'intérieur du bâti réunissant les deux cylindres à simple effet est rempli d'huile; il n'y a donc que l'huile qui peut passer par le bourrage de l'arbre; cette huile a le double but d'assurer le parfait fonctionnement de l'articulation de l'arbre coudé avec les pistons, tout en donnant à ceux-ci une étanchéité parfaite; de plus, l'huile qui peut passer à travers les pistons pendant les périodes d'aspiration, par le fait du mouvement de va-et-vient, remplit les espaces nuisibles compris entre les

extrémités des pistons et les fonds portant les soupapes, et donne ainsi un effet presque théorique.

Le niveau de l'huile dans le réservoir bâti est donné par un indicateur spécial, lequel est pourvu d'une disposition particulière assurant la fermeture des robinets; elle consiste en un contrepoids fixé à un des leviers des robinets, lequel est invariablement relié à l'autre par une

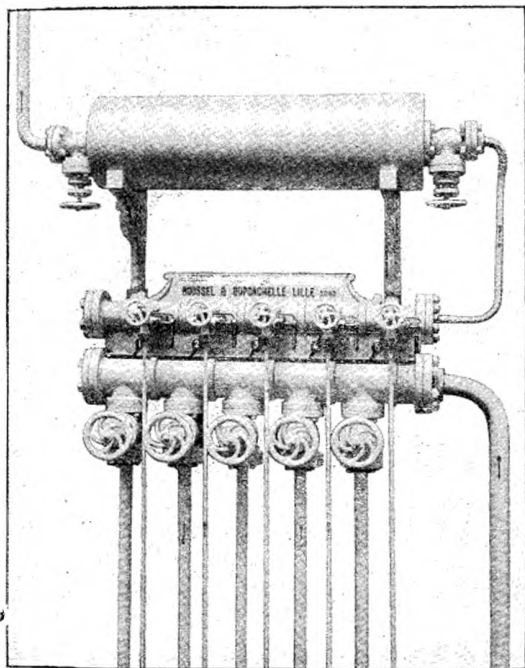


Fig. 48. — Séparateur d'huile.

petite bielle, ce qui produit une fermeture automatique, dès que le contrepoids est abandonné à lui-même.

Sur la partie supérieure du bâti-cloche du compresseur est fixé un récipient, le séparateur d'huile, dans lequel arrive l'ammoniac refoulé par les pompes; son but est de permettre à la légère quantité d'huile entraînée de se déposer; un indicateur de niveau donne la quan-

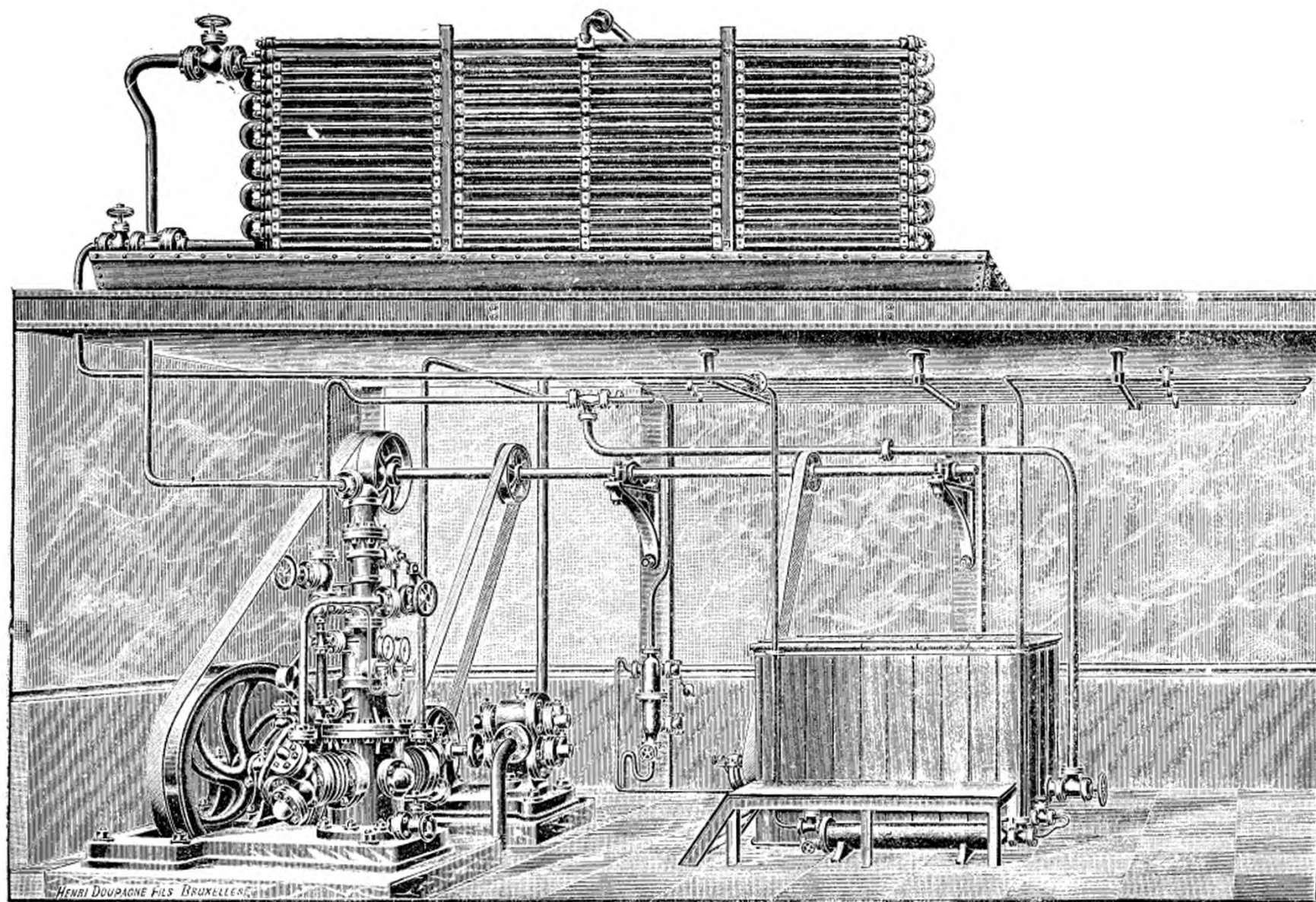


Fig. 49. — Ensemble d'une installation frigorifique par le système Lebrun avec condenseur à ruissellement à la partie supérieure.

tité d'huile déposée dans le séparateur, laquelle peut être renvoyée directement dans la cloche inférieure par un robinet-soupape spécial.

Avant de se rendre dans le condenseur, l'ammoniac traverse un filtre en toile métallique placé dans la partie supérieure du séparateur, lequel sert à retenir les dernières parcelles d'huile entraînée.

L'ammoniac qui a pu passer à travers les pistons pendant la compression, de même que l'ammoniac provenant de l'huile ramenée dans le bâti-cloche des pompes, est reprise à la partie supérieure de la cloche par l'inspiration des pompes du compresseur avec lesquelles cette cloche communique.

En sortant du compresseur par la partie supérieure de la cloche du séparateur d'huile, l'ammoniac arrive dans la partie supérieure du condenseur où elle se refroidit et se liquéfie par l'action d'un courant d'eau arrivant en bas de l'appareil et marchant en sens inverse du courant d'ammoniac.

Le *condenseur B* se compose alors d'une caisse en tôle et fonte à parois démontables, dans laquelle sont placés horizontalement, et deux par deux, 20 tuyaux à ailettes intérieures et extérieures en fonte, de 1^m,30 de longueur, dont les courbes de jonction également en fonte sont placées extérieurement de façon que les joints soient à l'extérieur et non dans l'eau; il n'y a donc aucune perte d'ammoniac à craindre, les fuites par les joints étant faciles à constater.

Entre chaque étage de tuyaux se trouve une tôle horizontale formant cloison et permettant le passage de l'eau d'un seul côté. Sur une des grandes parois de l'appareil sont percées, à chaque étage, deux portes de lavage, de façon à permettre le nettoyage facile de l'extérieur des tuyaux, et à la partie inférieure de l'étage du dessous se trouve un robinet pour l'enlèvement des eaux de nettoyage.

De la partie inférieure du condenseur, l'ammoniac arrive dans le réservoir en fer forgé *F*, lequel constitue un récipient parfaitement sûr, forgé d'une seule pièce, sans le moindre joint; il peut contenir la charge complète de l'appareil; il permet donc d'isoler l'ammoniac, en fermant les soupapes de communication, en cas de réparation ou de nettoyage.

Ce réservoir d'ammoniac est pourvu d'un séparateur d'huile entraînée qui est reprise pour être restituée à la cloche-bâti.

Ce séparateur d'huile entraînée est pourvu également d'un niveau

d'huile et d'une soupape pour la reprise de l'ammoniac qui a pu s'y introduire.

Le *congélateur* se compose d'un réservoir rectangulaire en tôle d'une capacité d'environ 12 m³ pourvu d'une enveloppe isolante complète; dans le fond du réservoir est déposé un faisceau horizontal de 20 tuyaux à ailettes formant serpentín : l'ammoniac sortant du réservoir à ammoniac F vient se détendre par l'une des extrémités et sort par l'autre pour retourner au compresseur, d'où elle est de nouveau ramenée au réservoir F en passant par le condenseur.

Ce réservoir formant le congélateur est rempli de liquide incongelable, soit de l'eau salée, soit une solution de chlorure de calcium. C'est ce liquide refroidi que l'on fait circuler dans les serpentins pour le refroidissement d'un local quelconque, ou dans lequel on plonge les moules pour produire la glace. Les mouleaux à glace sont manœuvrés à l'aide d'une grue roulante à main.

Au-dessus du faisceau de tuyaux se trouve une paroi horizontale en tôle, ayant des ouvertures à l'une de ses extrémités, et reliée par l'autre extrémité à une cloison verticale portant une partie cylindrique; dans cette partie cylindrique tourne l'hélice de l'agitateur G qui force le bain incongelable à passer sur le faisceau de tuyaux à ailettes et détermine ainsi une circulation rapide.

APPAREILS DE GRANDE PRODUCTION. — Pour les appareils de grande production on a dû modifier les dispositions du compresseur et renoncer aux pistons opposés et à leur commande par un cadre et un arbre coudé, parce que cette disposition entraîne pour le bâti-cloche et les corps de pompes des dimensions telles, que le poids de fonte ainsi immobilisé devient un inconvénient dans l'installation des machines et surtout en augmente considérablement le prix.

La disposition adoptée pour ces grands appareils comprend toujours deux corps de pompes à simple effet placés côte à côte et communiquant en avant avec une cloche à huile, puis avec une boîte à étoupes, commandée extérieurement par une manivelle reliée à l'arbre coudé. On a donc un mouvement alternatif extérieur des tiges des pistons, mais en raison de la disposition spéciale de la cloche à huile et des presse-étoupes, ceux-ci ne peuvent laisser échapper que de l'huile et n'ont toujours à supporter que la pression de l'aspiration de la machine, soit 1 kg 1/2 à 2 kg. On a obtenu en compensation une réduction

très importante sur le poids du compresseur, la possibilité d'avoir une plus longue course des pistons, et par suite une réduction correspondante du diamètre des corps de pompe et de leurs poids. De plus cette disposition se prête plus facilement à l'accouplement direct des bielles des pistons sur l'arbre de la machine motrice, accouplement très avantageux et souvent employé pour les machines frigorifiques à grande production, en raison de la force motrice importante qu'elles absorbent.

Les différentes constantes de machines de ce système sont résumées dans le tableau ci-dessous qui donne leurs productions et leur dépense d'eau.

Numéros des appareils	Production en glace à l'heure	Production en calories négatives	Force motrice en chevaux vapeur	Quantité d'eau à 12° employée à l'heure en litres
Nos	kil.			
1	25	2.500	2 1/2	300
2	50	5.000	3 1/2	500
3	100	10.000	6	1.000
4	250	25.000	11	2.000
5	500	50.000	20	4.000
6	1.000	100.000	35	8.000
7	1.500	150.000	50	12.000

MACHINES FIXARY

Les appareils à glace Fixary fonctionnent par la liquéfaction et par la détente successive du gaz ammoniac au moyen de pompes de compression. On peut les diviser en trois catégories :

1° Les appareils destinés à la fabrication, en blocs de toutes dimensions, de la glace opaque et transparente, des carafes frappées, etc.

2° Les appareils destinés au refroidissement des bains incongelables, à la production d'eau glacée pour le service des réfrigérants industriels ou refroidisseurs, tels que Baudelots, plongeurs, flotteurs, serpentins des cuves de fermentation. Le liquide refroidi peut être trans-

porté à de grandes distances au moyen de tuyauteries sans déperdition sensible.

3° Les appareils destinés à la production directe de l'air froid et sec

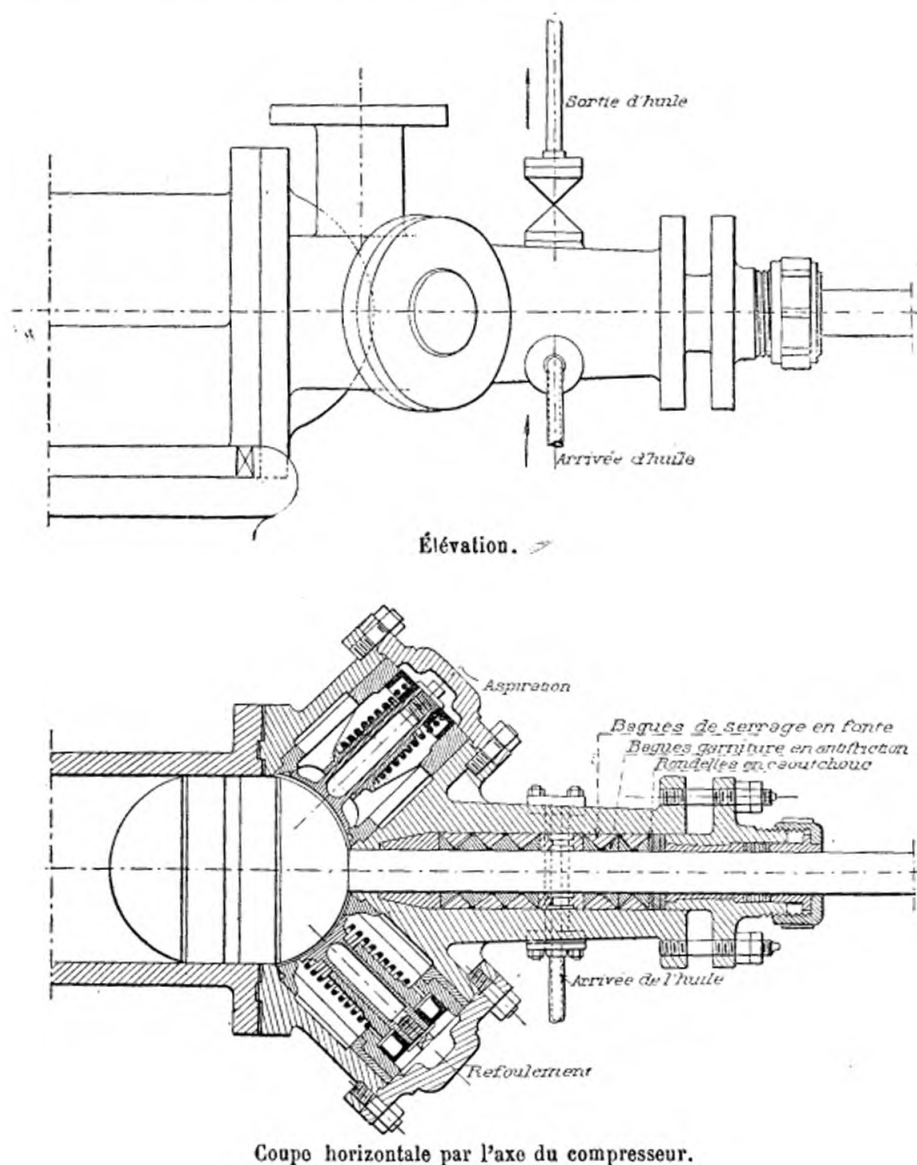


Fig. 50. — Détail des soupapes et de la garniture d'un compresseur Fixary.

comprenant une machine réfrigérante combinée avec un appareil spécial, l'échangeur de température ou frigorifère système Fixary. Ces appareils sont employés spécialement pour la congélation, la con-

servation et le transport à grandes distances des viandes, poissons et autres produits alimentaires, pour la ventilation et le refroidissement des caves et entrepôts, d'établissements industriels, d'édifices publics, théâtres, restaurants, salles de réunion, etc. Nous en parlerons à propos des applications mêmes des machines frigorifiques.

Les *organes principaux* de la machine proprement dite sont les suivants ⁽¹⁾ :

Un compresseur, un condenseur, un récipient à gaz ammoniac liquéfié, un récipient à huile, un réfrigérant ou congélateur contenant les mouleaux à glace ; un robinet permet d'isoler le compresseur du congélateur, et partant la prise de chargement qui sert à l'introduction de l'ammoniac dans l'appareil ; un robinet permet de même d'isoler le condenseur de la pompe à ammoniac, enfin il existe encore un robinet de réglage de la détente ou distributeur du gaz, un bac à glace, et un appareil séparant le gaz de l'huile entraînée à la sortie de la pompe.

La théorie de la machine Fixary est identique à celle de toutes les machines que nous avons déjà étudiée.

Supposons que le récipient à gaz liquéfié est chargé d'ammoniac. En ouvrant le robinet de ce récipient, le gaz, passant par un tuyau spécial, arrivera à l'état liquide jusqu'au robinet de réglage ; si l'on ouvre très légèrement ce robinet, le liquide s'élancera dans les serpentins du congélateur, où, n'étant plus soumis à la pression qui le maintenait liquéfié, il se vaporise 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 d'une autre conduite, par les pistons de la pompe, et refoulé, à travers le séparateur, dans le condenseur, 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 condensateur sa chaleur de compression et de liquéfaction.

Le gaz liquéfié s'accumule dans le récipient à gaz liquéfié. Le niveau

1. Voir pour plus de détails G. Richard, *Les machines frigorifiques à l'Exposition de 1889*, E. Bernard, Editeur, dans lequel nous avons puisé les renseignements qui suivent.

indique la hauteur qu'atteint le liquide dans le récipient. De là, le gaz liquéfié va se détendre dans le congélateur 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.

Les organes d'une importance secondaire que comporte une machine Fixary sont les suivants :

Un robinet isolant le condenseur du récipient liquéfacteur,

Un robinet isolant le récipient à gaz ammoniac liquéfié de la conduite qui amène l'ammoniac liquide au robinet de réglage.

Enfin un robinet isolant le récipient à huile de l'appareil séparateur d'huile.

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 à gaz liquéfié 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.

Un robinet fait communiquer le récipient d'ammoniac avec le récipient à l'huile.

Un petit robinet vissé sur celui qui isole le compresseur du congélateur sert à l'introduction de l'ammoniac dans l'appareil.

Un robinet sert à distribuer l'huile sous les pistons de la pompe.

Il existe enfin un robinet de réglage de la détente du gaz pour le joint congelé des presse-étoupes.

Signalons enfin une soupape d'équilibre, un bouchon de nettoyage, un niveau, un bouchon de purge d'air.

Les joints des tuyaux ainsi que ceux de la conduite qui relie le réfrigérant du congélateur à la pompe à ammoniac doivent être faits d'une façon parfaite. Il en est de même de ceux de la conduite qui relie le robinet d'isolement au robinet de réglage.

Les joints sont à un ou deux encastrements ; dans le premier cas ils sont formés par une simple rondelle en caoutchouc de 2 mm d'épaisseur ; dans le second cas on emploie une rondelle en caoutchouc qui se monte sur le grand diamètre du joint, une rondelle en plomb qui se met sur le petit. La rondelle en caoutchouc doit être plus épaisse d'un millimètre que celle de plomb.

Enfin nous devons citer aussi le joint étanche avec garnitures métalliques et graissage automatique de la garniture du compresseur.

Lorsque la machine est complètement montée, on doit procéder à la vérification du montage et de l'étanchéité de tout l'appareil par un essai avec de l'air comprimé. Pour cela on défait le raccord et on ouvre la clef du robinet d'introduction après avoir fermé soigneusement le robinet d'isolement. Tous les autres robinets d'isolement ainsi que celui de réglage doivent rester ouverts.

On fait alors tourner doucement la pompe, l'air aspiré se répand dans tout l'appareil depuis le compresseur jusqu'au robinet d'isolement fermé en passant à travers les serpentins du condenseur et du congélateur. On continue à faire marcher la pompe jusqu'à ce que le manomètre de refoulement indique 20 atmosphères de pression; après quoi, on arrête la pompe et on ferme le robinet, qui permettait à l'air d'entrer. On laisse les choses dans cet état pendant plusieurs heures. Si les joints ont été bien faits, la pression ne doit pas bouger.

L'introduction de l'huile se fait en enlevant le chapeau et le clapet de la soupape d'équilibre; par l'ouverture on verse de l'huile lourde de pétrole en ayant soin de laisser ouvert le robinet de prise d'huile; l'excès d'huile peut descendre dans le récipient à huile. Lorsque ce dernier est plein aux 2/3, on remet en place la soupape d'équilibre et on refait le point du chapeau.

La circulation d'eau froide dans le condenseur doit être bien établie. L'eau arrive par le fond de la bache et s'écoule par le haut, produisant ainsi une réfrigération méthodique du gaz circulant en sens inverse.

Le bain incongélable formé d'une solution de chlorure de calcium doit marquer au pèse-sel 22° B. On introduit alors l'ammoniac dans la machine. Pour cela le gaz liquéfié est renfermé dans des bonbonnes métalliques (1). Ces bonbonnes sont munies d'un robinet à raccord, recouvert d'un chapeau de sûreté, vissé à bloc. On dévisse le chapeau, on place ensuite la bonbonne sur une balance puis, sans ouvrir le robinet, on fixe sur le raccord un tuyau de plomb d'une longueur suffisante, qui vient aboutir par son autre extrémité au raccord du petit robinet de remplissage, fixé sur le robinet d'isolement. Une fois le tuyau de plomb en place, les joints des raccords soigneusement faits, et le robinet 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, puis on ouvre tous

(1) Voir chap. II. *Les gaz employés dans les machines frigorifiques.*

les robinets de la machine, sauf le robinet, 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.

Pour les grosses machines, on laisse en commençant le robinet d'isolement du condenseur et de la pompe à ammoniac 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, on ouvre le robinet d'isolement dont nous venons de parler, et il ne reste plus qu'à introduire le gaz dans l'appareil.

Pour cela, on commence par fermer les trois robinets servant à isoler le récipient à gaz liquéfié afin d'empêcher le gaz de pénétrer dans le récipient à huile; puis, tous les autres robinets restant ouverts, la circulation d'eau froide dans le condenseur étant établie, on ouvre le robinet 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, et se répandra par toute la machine, où il se mettra en équilibre de pression avec la bonbonne, on se rendra compte de ce fait quand les aiguilles des deux manomètres resteront stationnaires, indiquant une pression à peu près semblable. A ce moment, tout l'appareil est plein de gaz ammoniac à une pression variable suivant la température ambiante, et la moindre fuite est indiquée par la présence de l'odeur d'ammoniac ou l'apparition de fumées blanches lorsqu'on présente un tampon imbibé d'acide chlorhydrique.

Si l'on constate une fuite, il faut fermer immédiatement le robinet de la bonbonne, réparer l'accident, 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.

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 et d'isolement, 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 de son aspiration par la pompe, est refoulé dans le condenseur et dans le récipient à gaz liquéfié, où il se condense. Le manomètre de compression monte, et marque la pression du condenseur.

Pour vider entièrement une bonbonne du gaz qu'elle renferme, il faut la renverser sens dessus dessous, de façon à avoir la prise de gaz du robinet en bas ou en haut. Quand elle est à peu près vide, on doit jeter dessus un peu d'eau chaude pour expulser tout le gaz.

*Charge de gaz ammoniac et de chlorure de calcium nécessaire
aux machines à glace FIXARY.*

Production des machines en glace, à l'heure	Gaz ammoniac	Chlorure de 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 —

Dès que la quantité de gaz ammoniac introduite est suffisante, on ferme le robinet 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, ainsi que le robinet d'isolement ; on démonte le tuyau de plomb, et on remet en place les raccords.

Tout le gaz aspiré est alors accumulé dans le condenseur et l'appareil est prêt à fonctionner en marche régulière.

Une certaine quantité d'air a pu rester dans l'appareil pendant le chargement, ce que l'on constate par une indication au manomètre d'une pression de 12 atmosphères et plus. On se débarrasse alors de ce corps très gênant 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 qui s'est 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, après quoi on ouvrira très légèrement le robinet d'isolement, sans le quitter de la main. Aussitôt, on entendra l'air siffler par le bouchon. Dès qu'il sera entièrement expulsé, on verra

paraître les fumées blanches du gaz encore accusé par son odeur pénétrante. On referme alors immédiatement le robinet, puis le bouchon de purge. 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.

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 et les deux petits robinets qui servent l'un à distribuer l'huile sous les pistons, l'autre à régler le détente du gaz pour le joint congelé du presse-étoupes, et l'on met la pompe en route à sa vitesse normale. On ouvre alors très légèrement le robinet de réglage. L'ammoniac liquide se précipitera immédiatement dans les serpentins du congélateur, 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 de réglage de détente du gaz. 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.

La pression normale dans ces appareils est de 8 à 9 atmosphères suivant la température de l'eau de condensation ; elle peut atteindre 11 à 12 atmosphères dans les pays chauds.

Dans le cas de la production de la glace, la température du bain du congélateur s'abaisse à 10 ou 12° au bout de quelques heures. C'est la température normale et qui doit rester stationnaire. Une petite turbine qui se trouve dans le bain égalise la température et renouvelle 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 de temps dans la 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 bûche qui se trouve à l'extrémité du bac, et dans laquelle on entretient de l'eau à 23° environ. Nous reviendrons sur ce sujet avec plus de détails dans notre chapitre concernant la fabrication de la glace.

A la longue, la salure du bain diminue par suite de l'eau douce que les mouleaux amènent dans la cuve pendant le 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 de calcium	Degrés marqués par le pèse-sel	Température de congélation du bain	
			0° Centig.	0° Réaumur
100 parties	0 partie	0°	0°	0°
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 13° au pèse-sel. On devra donc, tous les quatre à cinq jours, vérifier au pèse-sel la densité du bain. C'est ce que nous avons déjà dit à propos d'autres appareils.

Lorsque, pour une cause quelconque, on aura besoin d'arrêter la machine, on commencera par fermer, quelques instants avant l'arrêt, le petit robinet qui sert à la congélation de l'huile du presse-étoupes, et le robinet de réglage de la détente, 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.

Sitôt après l'arrêt de la pompe, on fermera le robinet d'isolement 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 qui sert à la distribuer.

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.

En résumé, les précautions à prendre pour une conduite régulière d'une machine Fixary sont :

1° Ne jamais mettre en route sans ouvrir préalablement le robinet d'isolement et le refermer aussitôt après l'arrêt.

2° Ouvrir le robinet de réglage et le petit robinet qui sert à la congélation du presse-étoupes quelques minutes seulement après la mise en marche et les fermer quelques secondes avant l'arrêt.

3° Le graissage se fait en ouvrant légèrement pendant 2 ou 3 secondes le robinet de graissage.

4° Pour les arrêts d'une certaine durée on doit fermer le robinet d'isolement du congélateur et l'ouvrir à la mise en marche ;

5° On doit s'assurer en marche de la circulation régulière de l'eau dans le condenseur, et la suspendre pendant les arrêts.

Les fuites de gaz ammoniac se reconnaissent facilement par l'odeur lorsqu'elles ont une certaine importance. Elles peuvent être découvertes, ainsi que nous l'avons déjà dit lorsqu'elles sont faibles, au moyen d'un papier tournesol rouge et humide qui, présenté aux abords des joints, devient bleuâtre en présence des fuites les plus insignifiantes.

Les machines figurées appartiennent à trois types principaux :

1° Un type vertical pour petites machines, d'une production de 15 à 50 kg. de glace ou l'équivalent en froid à l'heure ;

2° Un type horizontal, avec et sans moteur, pour toutes les applications frigorifiques industrielles ;

3° Un type spécial accouplé directement avec moteur, spécialement destiné aux installations à bord des navires.

Pour les pays chauds, on construit un type de compresseur compound assurant le fonctionnement des appareils avec de l'eau de condensation à 30 degrés, sans déperdition de gaz par les presse-étoupes.

Il y a trois modes de machines verticales.

Le n° 1 produisant 15 kg. à l'heure.

Le n° 2 produisant 25 à 30 kg. à l'heure.

Le n° 3 produisant 50 à 60 kg. à l'heure.

Ces machines tiennent peu de place ; on les pose sur une pierre d'assise sans fondation, et elles peuvent produire de la glace peu de temps après leur arrivée.

On apprend en quelques heures à les conduire et à les tenir en parfait état. Elles nécessitent peu de force motrice : 1 chev., 5 pour le modèle de 15 kg.; 2 chev., 5 pour le modèle de 25 kg.; 4 chevaux pour celui de 50 à 60 kg. 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 et le récipient à ammoniac liquide; il supporte à sa partie supérieure le congélateur, avec son serpentin de détente, ainsi que la pompe d'aspiration et de refoulement. Celle-ci porte avec elle sa chambre de refroidissement, et sa soupape d'équilibre régulatrice.

La pompe est à simple effet, le gaz ammoniac n'y est admis qu'au-dessus du piston. La soupape régulatrice ou d'équilibre, en communication avec la soupape d'aspiration et la chambre de graissage, permet d'y maintenir une certaine pression du gaz ammoniac provenant des fuites du piston, fuites 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 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, 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, la soupape 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.

Les machines Fixary verticales ont comme principales dimensions :

Nos d'ordre	Production à l'heure à Paris		Nombre de tours	Diamètre de la poulie- volant	Force motrice nécessaire	Eau de condensa- tion à 12° par heure
	en kilog.	en calories				
1	15	1.500	110	0 ^m , 800	1, 5 chev.-vap	350 lit.
2	25 à 30	2.500 à 3.000	90	1 , 050	—	600 —
3	50 à 60	5.000 à 6.000	80	1 , 200	—	1.200 —

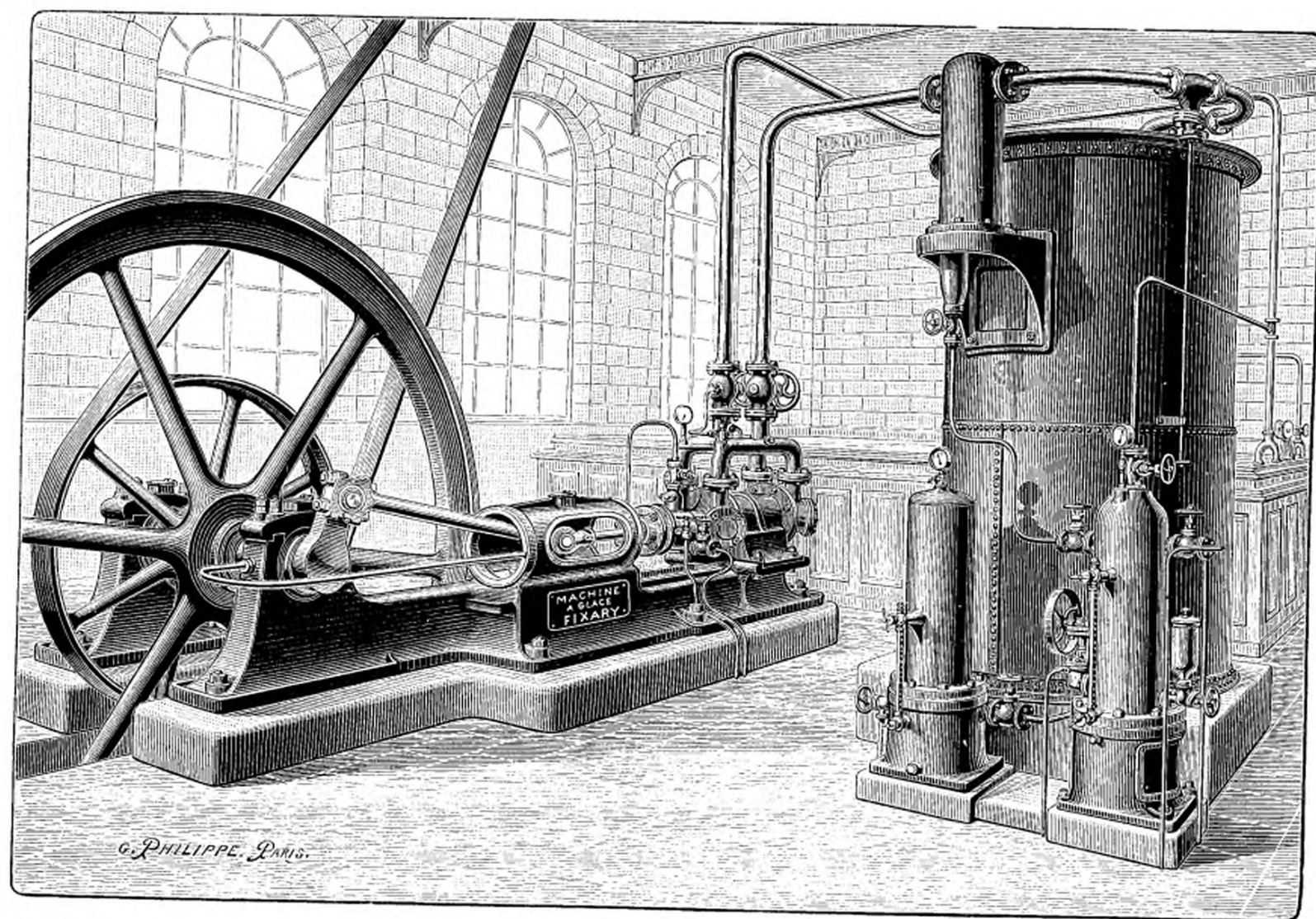


Fig. 51. — Machine horizontale Fixary commandée par courroie.

Les machines frigorifiques horizontales Fixary sont disposées pour être actionnées par une transmission quelconque ou par un moteur indépendant. La pompe de compression refoule le gaz ammoniac dans les serpentins du condenseur où il se liquéfie sous la pression de la pompe

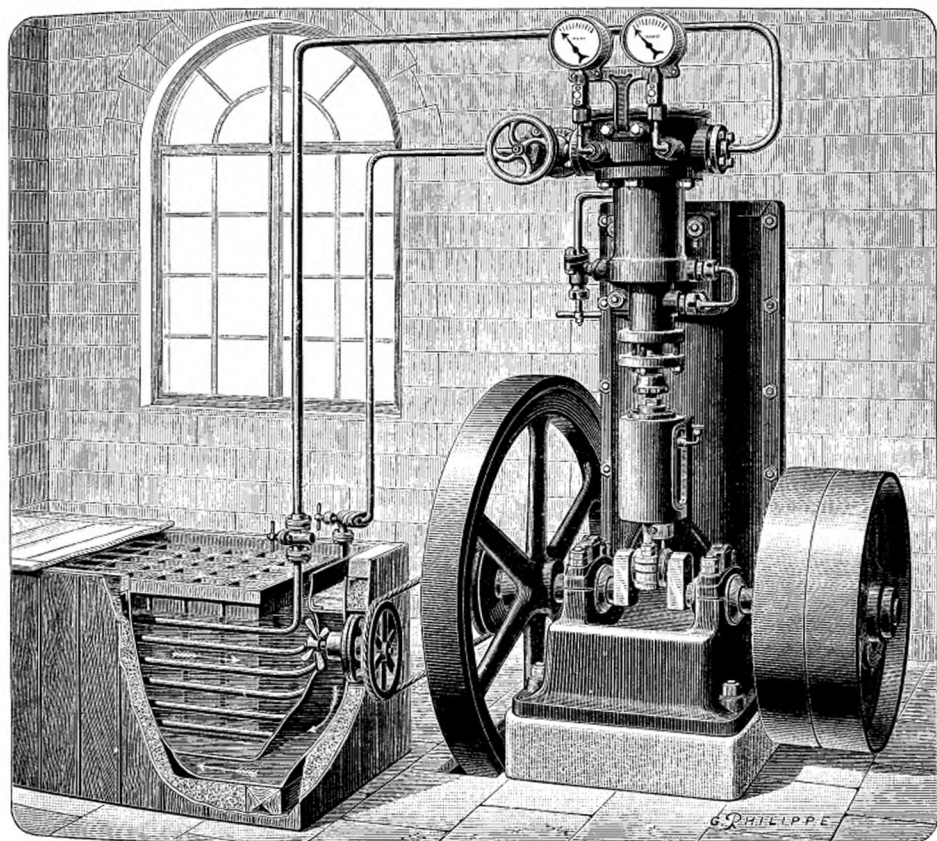


Fig. 52. — Machine à glace verticale avec moteur à vapeur Fixary.

et sous l'action de l'eau en circulation. Le gaz liquéfié, recueilli dans un récipient spécial, est amené au robinet détenteur d'où il passe à l'état gazeux dans les serpentins du congélateur en produisant du froid.

Du congélateur, le gaz détendu revient par les tuyaux d'aspiration à

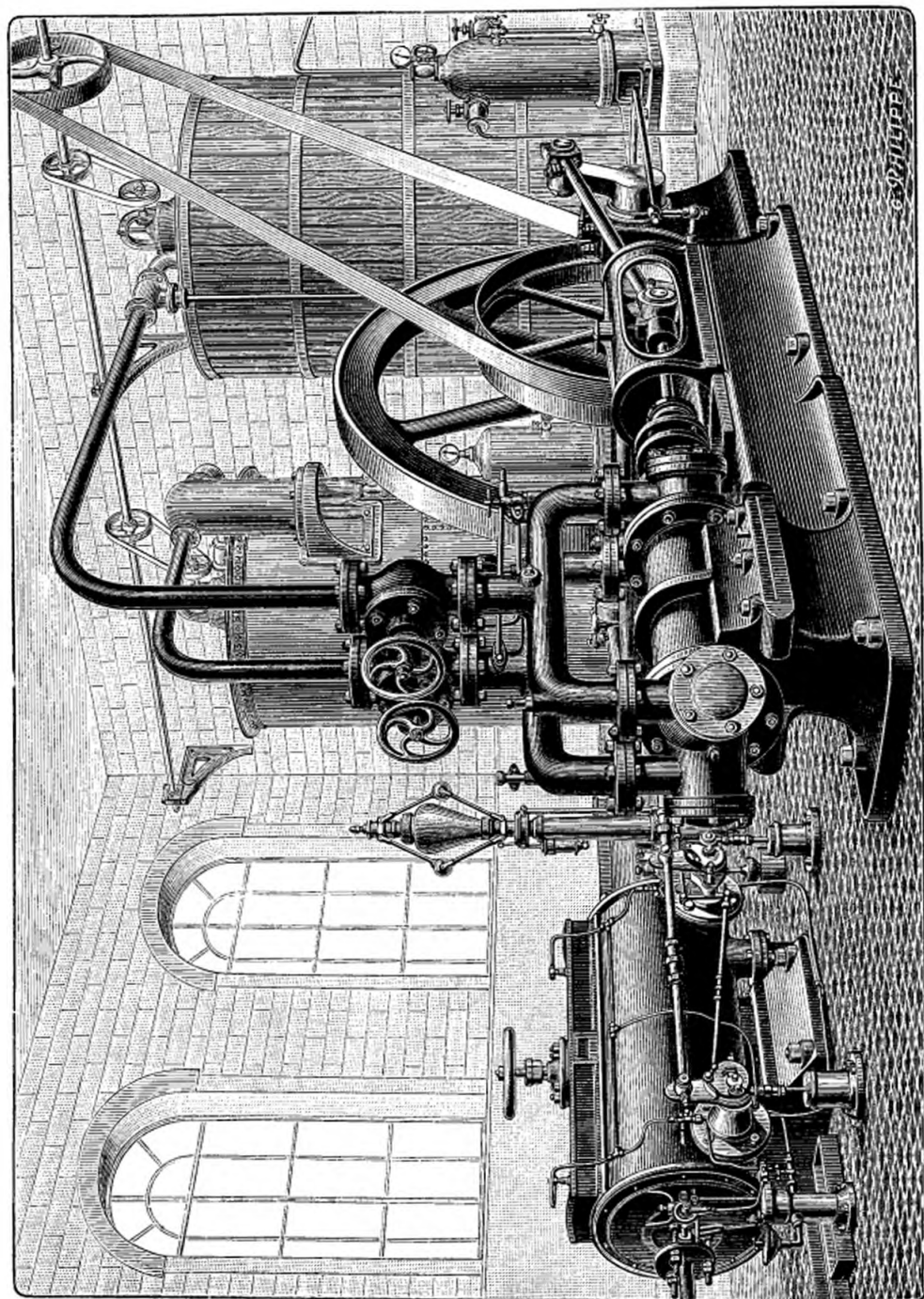


Fig. 53. — Machine frigorifique Fixary avec moteur à vapeur.

la pompe de compression à double effet pour être de nouveau liquéfié et refoulé par une circulation continue.

Dans le type horizontal, la pompe de compression à double effet a le joint des presse-étoupes formé par la congélation progressive de l'huile qui entoure la tige du piston. Ce joint pâteux et lubrifiant permet de supprimer totalement le serrage des garnitures, et assure le refroidissement rationnel de la tige du compresseur. Grâce à ces dispositions spéciales, les fuites de gaz si fréquentes et si coûteuses sont aussi supprimées que possible; la pression de liquéfaction est diminuée et le rendement de l'appareil est augmenté d'autant.

Les principales dimensions de ces appareils sont :

Appareils pour liquide incongelable ou eau glacée, avec cuve réfrigérante disposée pour la circulation du bain froid

Nos d'ordre	Production de froid		Force motrice en chevaux	Eau de condensa- tion en litres à l'heure
	en kilogrammes de glace	en calories négatives		
2	25 à 30	2.500 à 3.000	2,5	300
3	50 à 60	5.000 à 6.000	3,5	600
4	100 à 125	10.000 à 12.500	5	1.200
5	200 à 240	20.000 à 24.000	8	2.400
6	300 à 350	30.000 à 35.000	12	3.600
7	500 à 600	50.000 à 60.000	20	6.000
8	750 à 850	75.000 à 85.000	28	9.000
9	1.000 à 1.200	100.000 à 120.000	35	12.000
10	1.500 à 1.700	150.000 à 170.000	55	18.000
11	2.000 à 2.200	200.000 à 220.000	70	25.000

La force motrice et l'eau condensante sont calculées pour de l'eau à 10 degrés. Si l'eau dont on dispose est plus chaude, les chiffres ci-dessus augmentent de 4 0/0 par degré. Pour les appareils actionnés par une transmission, il faut augmenter de 15 0/0 la force indiquée sur le tableau.

Enfin à côté de ces machines viennent se placer les appareils frigorifiques spécialement disposés pour navires.

Ce type de machine occupe le moins de place possible, tout en devant répondre aux meilleures conditions de bon fonctionnement, de simplicité de conduite et de facilité d'entretien.

La figure 54 représente le type construit pour les installations de moyenne importance produisant de 5 000 à 25 000 frigories à l'heure.

Un même arbre à double coude reçoit, d'un côté, la commande du moteur à vapeur et actionne, de l'autre, le compresseur d'ammoniac

Le moteur et le compresseur, tous deux verticaux et à double effet, sont assemblés sur de robustes bâtis, lesquels sont fixés sur un même socle en fonte, pour assurer la solidité et la rigidité de l'ensemble.

Dans ce type de machine, le moteur, le condenseur, le séparateur, les

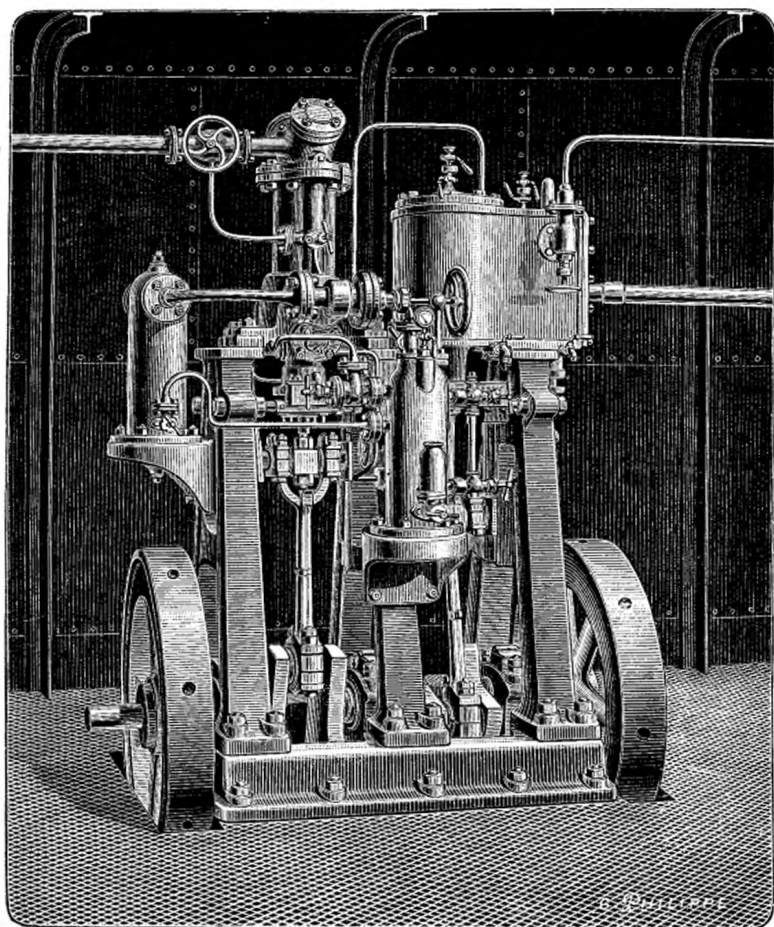


Fig. 54. — Machine à glace pour navire.

pompes à huile et à eau sont tous réunis sur un même socle, ce qui permet de monter les machines sur un plancher, sans aucune fondation.

Pour les types de plus forte puissance, les compresseurs sont doubles et placés côte à côte; le moteur est à deux cylindres du type compound.

Dans les cas où l'on ne dispose, pour la condensation, que d'eau à température élevée, on construit des compresseurs conjugués à détente successive, évitant les fortes compressions du côté des presse-étoupes et diminuant les pertes de rendement causées par les espaces nuisibles.

MACHINES LINDE

La production du froid, dans ces machines, est encore due à l'évaporation de l'ammoniac liquide anhydre, dont les vapeurs sont reliquifiées par compression et sans déperdition.

Pour réaliser ce cycle très simple, la machine comprend les trois appareils fondamentaux des machines à glace :

1) Le *Réfrigérant* (appareil refroidisseur) se compose de serpentins en fer, d'une seule pièce, dans lesquels s'évapore l'ammoniac liquide qui y arrive en passant par un robinet régleur; cette évaporation produit le refroidissement des liquides environnants (eau ou solution saline pour températures au-dessous de zéro). La disposition du réfrigérant varie là encore pour chaque application spéciale.

2) Le *Compresseur*, pompe aspirante et foulante, d'une construction toute spéciale (avec soupapes en acier, pistons à segments en fer, garnitures métalliques et circulation automatique d'un liquide lubrifiant, qui graisse les organes intérieurs et rend le presse-étoupes absolument étanche), qui aspire les vapeurs ammoniacales dans le réfrigérant et les refoule dans le condenseur.

Ce compresseur est à double effet et horizontal; il n'est pas dans le prolongement de la tige du piston de la machine motrice, mais attaqué par une manivelle à 90°.

3) Le *Condenseur*, composé également de serpentins en fer, d'une seule pièce, dans lesquels les vapeurs ammoniacales comprimées se condensent sous l'influence de la pression et de l'eau qui circule à l'extérieur. L'ammoniac liquide retourne alors au réfrigérant par le robinet régleur.

Le tableau ci-après donne et résume les principales constantes des machines Linde ordinaires.

Machines Linde pour le refroidissement de l'eau et du liquide incongelable.

Modèle No. . . .		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Calories par heure pour un refroidisse- ment (°)	de + 18° à + 8° C. . .	3200	4800	6400	8000	9600	16000	21000	29000	35000	64000	88000	130000	190000	240000	300000	360000	440000	530000
	de + 10° à + 4° C. . .	2100	3600	4800	6000	7200	12000	15500	22000	26000	48000	66000	96000	144000	180000	220000	270000	330000	400000
	de + 5° à + 1° C. . .	2200	3300	4500	5600	6700	11000	14500	20000	24000	45000	61000	90000	134000	165000	210000	250000	300000	370000
	de - 2° à - 5° C. . .	2000	3000	4000	5000	6000	10000	13000	18000	22000	40000	55000	80000	120000	156000	190000	220000	275000	330000
Force motrice Chevaux (°)	pour la machine à froid .	1 1/4	1 3/4	2 1/4	2 1/2	2 3/4	4	5	6	7	12	16	24	35	42	54	62	78	93
	pour les appareils de cir- culation	4/5	1/4	1/3	1/2	1/2	3/4	3/4	1 1/2	1 1/2	2 1/2	3 1/2	4 1/2	6	7	9	10	12	15
Eau de conden- sation par heure Hectolitr. (°)	pour un refroidissement jusqu'à + 8° C. . . .	4	6	13	10	13	20	26	36	44	80	80	160	240	300	390	450	570	690
	Pour un refroidissement jusqu'à + 1° C. . . .	3	4 1/2	9	7	9	14	18	25	31	56	56	110	170	210	290	320	400	490

1. Les chiffres ci-dessus correspondent à la production effective en froid, mesurée au réfrigérant, pour le refroidissement d'eau douce ou d'eau salée.
2. La force motrice et la quantité d'eau de condensation sont données pour une température initiale de + 10° C. de cette dernière et pour des appareils de construction normale (condenseur et réfrigérant cylindriques). Pour de l'eau plus chaude, ces deux quantités sont à majorer de 4 0/0 pour chaque 1° C. en plus.

Les machines Linde sont dans certains cas disposées spécialement pour navires. Elles sont établies en vue d'occuper le moins de place possible tout en présentant une installation des plus simples et un fonctionnement absolument certain, même dans les pays les plus chauds.

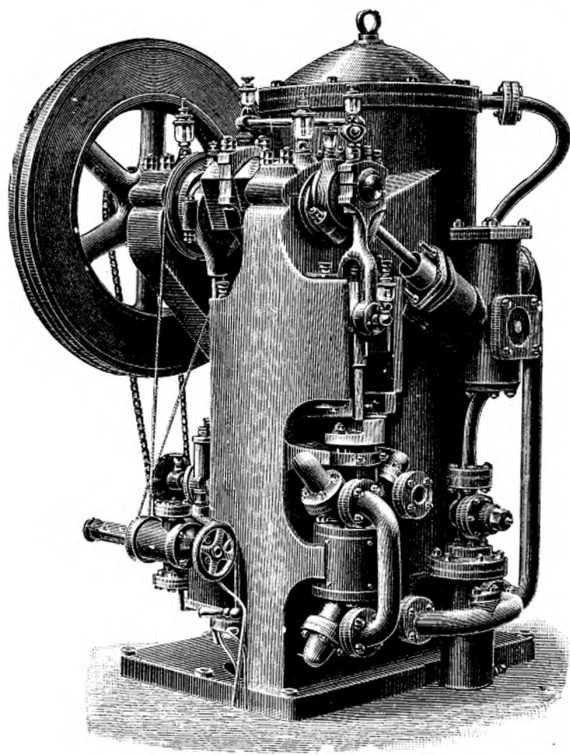


Fig. 55. — Machine à froid pour navires, modèle B
avec machine à vapeur et pompe à eau.

En général, les installations frigorifiques système Linde à bord de navires se composent de deux parties séparées, abstraction faite de la chaudière à vapeur :

1^o Un réfrigérant ou générateur à glace ;

2^o La machine à vapeur, le compresseur d'ammoniac, le condenseur

d'ammoniac et la pompe à eau de condensation, montés sur un bâti commun et solide, en fonte, ainsi qu'on peut le voir sur la figure.

Dans certains modèles, modèle B (fig. 55), par exemple, la machine

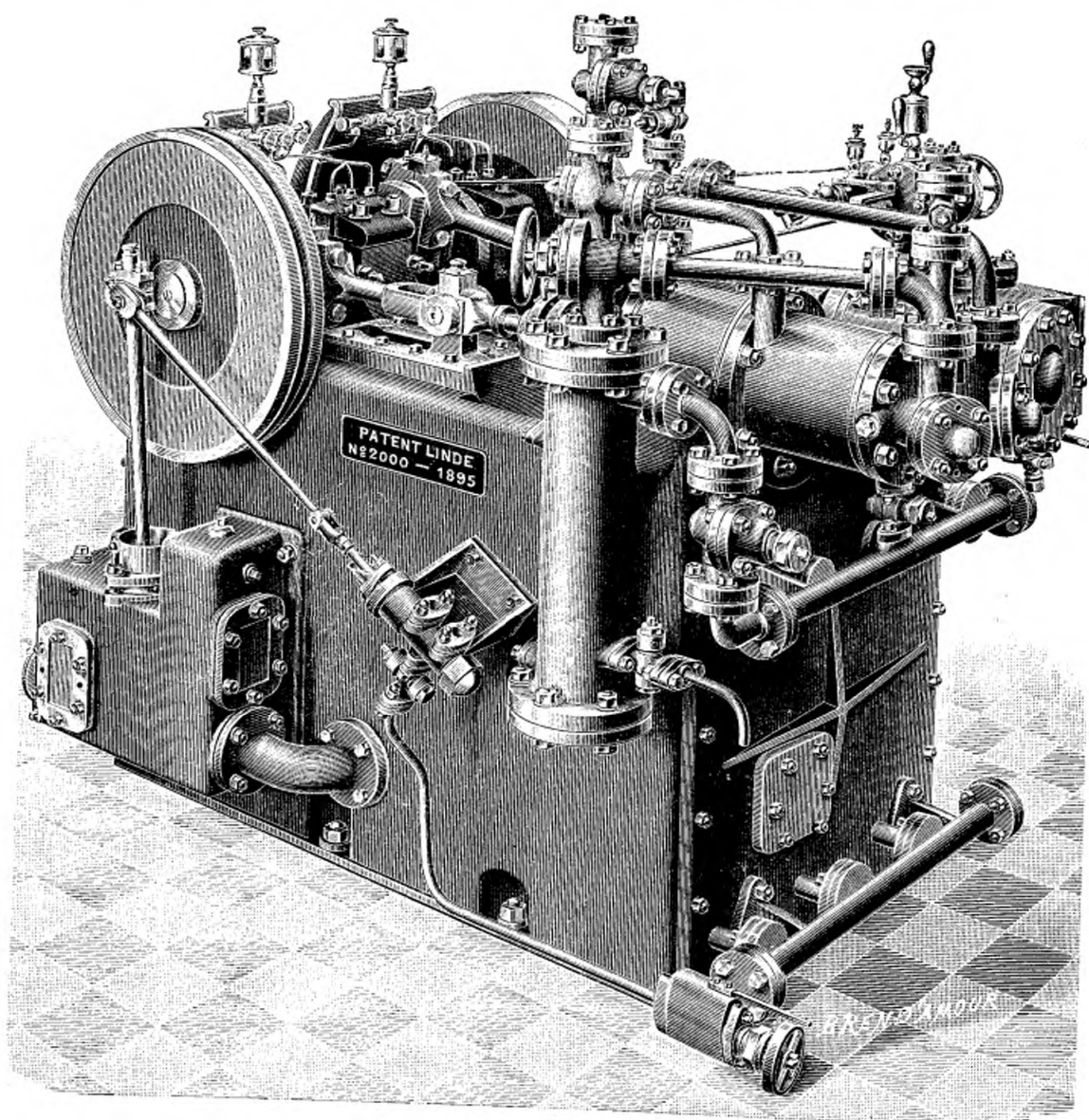


Fig. 56. — Machine à froid pour navires, modèle C avec machine à vapeur et pompe à eau.

à vapeur et le compresseur sont verticaux ; dans les autres, modèle C, (fig. 56) ils sont horizontaux.

Dans ces machines, en vue de la température élevée de l'eau de con-

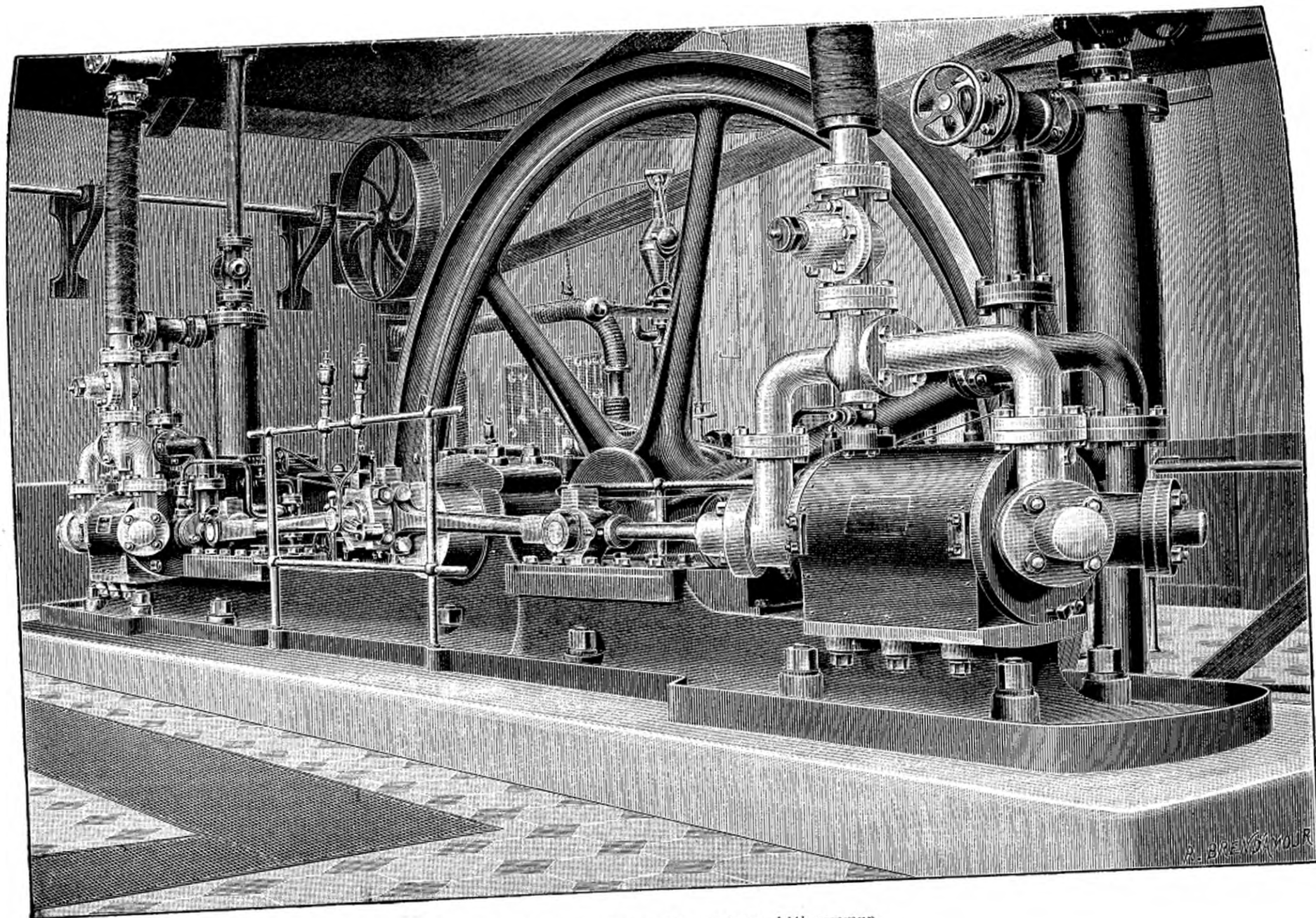


Fig. 57. — Deux compresseurs n° 12 montés sur bâti commun.

densation sous les tropiques, et de la forte pression qui en résulte, la

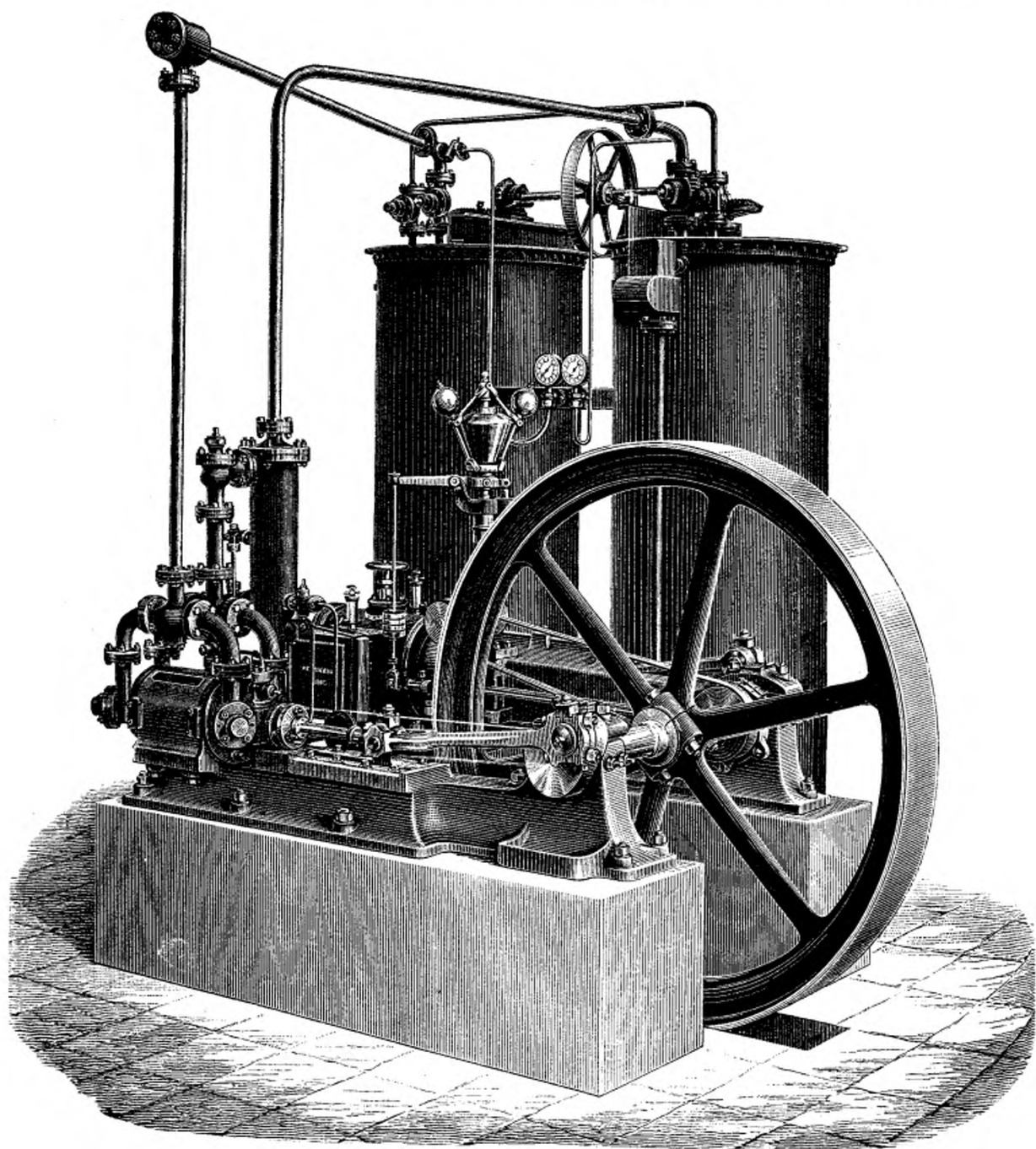


Fig. 58. — Machine à froid n° 7 complète pour le refroidissement de l'eau ou d'un bain incongelable, avec compresseur accouplé au moteur.

condensation des vapeurs ammoniacales est effectuée suivant un procédé

de compression compound, dont les avantages sont la diminution de la pression sur le côté du cylindre compresseur qui porte le presse-étoupes, la réduction consécutive des pertes d'ammoniac, et l'élimination presque complète de l'influence des espaces nuisibles sur l'effet utile du compresseur.

L'application du système compound permet d'employer un réfrigérant spécial pour refroidir préalablement l'eau qui doit être congelée, ainsi que l'ammoniac liquide, sans que pour cela la quantité d'ammoniac évaporée dans le réfrigérant proprement dit, soit diminuée.

Les serpentins du condenseur sont disposés dans le bâti de la machine de façon à pouvoir être enlevés facilement et nettoyés aussi souvent que cela est nécessaire, de sorte que l'emploi d'une eau boueuse ne présente aucun danger de perturbation possible dans la marche de la machine.

Dans ces machines, le réglage de l'ammoniac a lieu à l'aide d'un appareil automatique, de sorte que les soins à leur donner se bornent au graissage des organes de mouvement.

Le moteur, le compresseur, le condenseur et la pompe à eau de condensation sont réunis sur un seul bâti; le réfrigérant ou générateur à glace ne nécessite que deux tuyaux pour son raccordement avec le compresseur et le condenseur; et comme aucune fondation n'est nécessaire pour ce type de machine, son installation est beaucoup plus simple et plus économique que celle d'une machine de construction courante.

Le tableau ci-dessous donne les principales constantes des machines à glace Linde pour navires.

Machines Linde pour navires

Modèle . . .	A	B	C	D	E	F	G
Production dans les régions tropicales : { Calories par heure : pour un refroidissement de — 2° à — 5°. . .	1.200	2.500	12.500	20.000	33.000	40.000	60.000
Production de glace, kil. p. heure (1).	40	20	100	150	250	300	500
Force motrice à fournir au compresseur en Chevaux (2)	1,5	2	7	42	17	20	30
Eau de condensation. Hectolitres par heure (2)	10	15	40	80	410	140	200

1. Si l'eau à congeler a plus de + 25° C., la production ci-dessus diminue de 1 % pour chaque degré de différence.
 2. La force motrice et l'eau de condensation sont données pour une température de cette dernière de + 25° C. Pour de l'eau plus chaude, ces deux chiffres augmentent de 4 % pour chaque degré en plus.

Un certain nombre d'essais ont été effectués avec les machines Linde. Nous y reviendrons plus loin avec plus de détail, mais nous pouvons déjà donner ici les résultats des essais effectués à l'Association

Numéros des essais.	Avec un seul réfrigérant					Avec 2 réfrigérants		
	1	2	3	4	5	6	7	8
Puissance indiquée au moteur en chevaux M.	18, 14	18, 26	17, 03	15, 70	24, 41	18, 13	18, 27	15, 80
Dépense d'eau d'alimentation par cheval-heure Kil.	10, 12	10, 20	10, 31	10, 48	9, 98	10, 06	9, 97	10, 23
Puissance indiquée au compresseur C.	15, 53	15, 20	14, 30	12, 63	21, 85	16, 20	16, 06	13
Rapport $\frac{C}{M}$	0, 86	0, 83	0, 84	0, 80	0, 89	0, 89	0, 83	0, 82
Pressions absolues en kilog. par centimètre carré au condenseur.	9, 52	9, 24	9	8, 89	44	9, 55	9, 24	8, 83
Pressions absolues en kilog. par centimètre carré au réfrigérant.	3, 89	2, 95	2, 13	1, 56	2, 95	4	3	1, 55
Températures de l'ammoniac au condenseur.	22, 45	21, 5	20, 7	20, 3	35, 3	22, 53	21, 5	18, 3
Températures de l'ammoniac au réfrigérant.	- 3	- 9, 8	- 17, 4	- 242	- 9, 8	- 2	- 9	- 24, 4
Températures de la dissolution salée dans le réfrigérant à l'entrée.	+ 6	- 2	- 10	- 18	- 2	- 65	- 2	- 18
Températures de la dissolution salée dans le réfrigérant à la sortie.	+ 2, 9	- 5	- 13	- 21	- 5	+ 3	- 5	- 21
Débit en litres par heure. . . .	29, 569	22, 893	16, 168	11, 030	19, 598	29, 247	25, 567	11, 884
Poids spécifique à 17°, 5. . . .	1, 250	1, 250	1, 250	1, 250	1, 247	1, 260	1, 260	1, 260
Chaleur spécifique par litre aux températures correspondantes.	0, 850	0, 845	0, 843	0, 840	0, 845	0, 850	0, 848	0, 848
Frigories débitées par heure F. . .	78, 140	58, 116	39, 780	26, 860	49, 360	88, 980	64, 390	29, 520
Équivalent calorifique du travail du compresseur f.	9890	9680	9110	8040	43920	10320	10230	8280
Température de l'eau du refroidissement au condenseur à l'entrée	+ 9, 56	9, 54	9, 60	9, 60	9, 68	9, 25	9	9, 08
Température de l'eau du refroidissement au condenseur à la sortie	+ 19, 76	19, 63	19, 84	19, 72	35, 3	19, 7	9, 6	19, 8
Débit par heure en litres. . . .	8, 790	6, 837	4, 867	3, 526	2, 442	9, 512	6, 975	3, 556
Calories absorbées au condenseur par heure F'.	89670	69000	49820	35660	62620	99380	74110	38120
Différence $\Delta = (F + f) - F'$. . .	- 1640	- 1220	- 930	- 760	+ 660	- 80	+ 510	- 320
$\frac{\Delta}{F}$ p. 100.	- 1, 8	- 1, 8	- 1, 8	- 2, 1	+ 1	- 0, 1	+ 0, 7	- 0, 8
Frigories par kilog. d'eau d'alimentation.	425, 6	312	226, 5	163, 3	203	488	353	182
Frigories par cheval indiqué au moteur.	4300	3182	2336	1710	2022	4908	3524	1860
Frigories par cheval indiqué au compresseur	503	3820	3807	2127	2258	5493	4010	2270

polytechnique de Munich, essais très complets et très intéressants au point de vue de la valeur des machines frigorifiques qui ont montré qu'elle était leur valeur même. Dans le cas particulier dont nous par-

lons ici : l'appareil était une machine Linde dont les éléments comprenaient un compresseur de 250×420 de course, avec une tige de piston de 55 mm. On pouvait employer un ou deux réfrigérants de chlorure de calcium de 18 m^2 de surface avec tubes en fer de 40 mm de diamètre extérieur et de 32 mm de diamètre intérieur. Le moteur employé était un moteur monocylindrique à condensation de 303×700 . Les résultats de ces essais peuvent être résumés dans le tableau ci-dessus ⁽¹⁾.

Il y a donc une diminution de rendement du compresseur avec la chute de température $(t_1 - t_2)$, il augmente, au contraire, quand on double le réfrigérant. Comme nous l'avons dit nous reviendrons sur ces recherches dans un chapitre spécial.

1. *Revue de Mécanique*, mai 1897, p. 476

CHAPITRE VIII

MACHINES A ACIDE CARBONIQUE

Les premières machines qui ont employé ce gaz ont été celles imaginées par Raydt.

La machine de Raydt était formée par un compresseur horizontal à simple effet à piston creux et long, dans l'intérieur duquel circulait une certaine quantité de liquide incongelable. Le joint du stuffing box présentait une garniture double à récupération des fuites dans un gazomètre, la garniture extérieure ne supportant par suite que la pression même de ce gazomètre.

Le liquéfacteur renfermant l'acide carbonique liquide est refroidi par de l'acide carbonique détendu et très froid venant du bac à glace.

MACHINE WINDHAUSEN

Les machines Windhausen comprennent toujours les mêmes organes fondamentaux : nous les décrivons successivement :

Condenseur. — Le condenseur est un réservoir cylindrique dans lequel sont placés les serpentins en fer entourés d'eau froide. L'eau arrive par le bas et s'écoule par un trop plein placé à la partie supérieure de la paroi latérale. Le trop plein est pourvu d'un dispositif indiquant le débit de l'eau froide qui traverse l'appareil. Le niveau dans l'appareil doit rester constant, à la hauteur d'une aiguille placée devant un tube de niveau ; on règle pour cela le robinet de trop plein. La clef de ce robinet porte une flèche qui indique sur un cadran la quantité de litres d'eau qui s'écoule par minute.

Réfrigérant. — Le réfrigérant ressemble, en construction au condenseur; mais les serpentins sont entourés de liquide incongelable. Ce liquide doit titrer 12 à 14° Baumé s'il est composé d'une solution de chlorure de sodium, et 22° Baumé s'il s'agit de chlorure de calcium.

Compresseur. — Le compresseur est composé d'un cylindre muni d'un presse-étoupes, d'une soupape d'aspiration, d'une soupape de refoulement et d'un piston. Les segments du piston sont formés de 2 calottes en cuir d'égale épaisseur. Pour faciliter l'introduction du piston et afin de ne pas endommager les calottes en cuir, on place dans le cylindre de la pompe une boîte en fonte.

Les calottes en cuir doivent avoir exactement le diamètre du corps de la pompe et le déplacement du piston doit pouvoir se faire à la main. Les bords des calottes sont coupés en sifflet.

Quand on place un piston de rechange, il faut veiller à ce que le piston, dans la position voisine du presse-étoupes, n'ait que 0,6 à 1 m/m de jeu, et, dans la position opposée de 1 à 1,5 m/m.

On peut augmenter le jeu entre le piston et le presse-étoupes, en mettant une feuille de fer-blanc dans la crosse. Pour modifier le jeu du piston dans son autre position, il suffit de faire varier l'épaisseur des joints.

Presse-étoupes. — Les boulons du presse-étoupes doivent être serrés très doucement. Il se dégage alors du récipient à glycérine de petites bulles de gaz. Quand l'on ne peut plus donner de serrage au presse-étoupes, il faut en changer la garniture.

Le godet à glycérine doit toujours être rempli. La glycérine qui a servi peut être réemployée après filtration.

Soupapes. — Les soupapes doivent jouer facilement sans que les tiges aient trop de jeu dans leurs guides. Les joints doivent être d'égale épaisseur et soigneusement placés. On ne doit fixer les cages à soupapes qu'après s'être rendu compte de leur bon fonctionnement.

On essaye les soupapes en faisant le vide dans le réfrigérant après avoir fait le vide dans le réfrigérant, en arrêtant le compresseur et en amenant le piston dans la position moyenne. On ouvre alors les orifices des indicateurs et s'il s'échappe de l'un ou de l'autre de l'acide carbonique, il faut en conclure que la soupape correspondante du refoulement n'est pas étanche.

Récipients à filtrer. — Dans la conduite d'aspiration se trouvent un ou plusieurs récipients dans lesquels sont plongés des cylindres en toile métallique qui empêchent les corps étrangers de passer par la soupape.

Au commencement de la mise en marche de la machine, on est obligé de nettoyer ces filtres tous les 15 jours au moins, et l'on doit répéter cette opération jusqu'à ce que les toiles métalliques et la glycérine qui se trouvent dans le récipient soient propres.

Pour visiter ces filtres, il faut avoir soin de fermer la soupape distributrice et faire le vide dans les réfrigérants. On desserre légèrement les écrous fixant le couvercle et, avant de le détacher entièrement, on se rend compte qu'il n'y a plus de pression en le repoussant à la main contre son siège.

Réglage de la machine. — Il faut régler le passage de l'acide carbonique de telle sorte que l'aiguille du manomètre du réfrigérant marque sur la petite échelle une température inférieure de 3 à 4° C. à celle de la solution. Il faut aussi que le tuyau de refoulement soit doux; on s'en assure en le touchant avec la main.

Si le tuyau de refoulement est froid, il faut fermer la soupape régulatrice. Si au contraire il est trop chaud, on doit ouvrir celle-ci.

On peut vérifier le manomètre en comparant la température qu'il indique avec celle de l'eau froide du condenseur ou avec celle de l'eau salée du réfrigérant. Cette comparaison doit se faire une demi-heure après l'arrêt complet de la machine. Les températures doivent être égales; si elles ne le sont pas, il faut tenir compte de la différence pour le réglage.

Remplissage de la machine. — On remplit les appareils avec de l'acide carbonique liquide renfermé dans des bonbonnes.

A cet effet, on fixe la bonbonne dans un support, en la mettant la soupape en bas, et on relie cette soupape par un tuyau à un ajutage du robinet régulateur. On ouvre alors les deux robinets et l'acide carbonique pénètre dans la machine par suite de la pression considérable qui existe.

Pour vider complètement la bonbonne dans le récipient, on la chauffe extérieurement en faisant couler, sur le fond, de l'eau ayant de 40 à 50° C.

Enfin, pour employer les dernières portions qui pourraient y être restées à l'état gazeux, on met l'appareil en communication avec le réfrigérant, puis on fait le vide dans ce dernier; le gaz est alors refoulé dans le condenseur.

L'acide carbonique doit être chimiquement pur et sec.

Pour éviter pendant le remplissage de la machine, l'entrée de l'eau qui peut se trouver dans les bonbonnes, on ouvre légèrement le robinet à soupape de la bonbonne lorsque celle-ci est renversée et avant d'y avoir adapté le tuyau de communication. En opérant ainsi, l'eau, s'il y en a, étant plus lourde que l'acide carbonique, s'échappera avant celui-ci.

Si, pour une raison quelconque, il s'introduisait de l'eau dans les appareils, ceci occasionnerait la congélation des tubes. Il faudrait alors ouvrir les récipients à filtrer et y verser quelques litres de glycérine concentrée.

Le remplissage de la machine est suffisant si, la soupape régulatrice étant un peu ouverte, le tuyau de refoulement ne s'échauffe pas trop et peut être tenu à la main. On reconnaît qu'il est nécessaire de recharger de l'acide carbonique lorsque la soupape régulatrice étant ouverte entièrement, le tuyau de refoulement ne se refroidit pas.

S'il y a trop d'acide carbonique dans la machine, il se produit, pendant l'aspiration des gaz contenus dans le réfrigérant, alors que le condenseur est rempli, *une pression qui croît d'une façon anormale au point de constituer un grave danger.*

Donc, après le remplissage ou le rechargement de l'appareil, et pendant l'aspiration dans le réfrigérant, il faut examiner avec soin le manomètre du refoulement et ouvrir immédiatement la soupape régulatrice si la pression s'élève trop brusquement à chaque coup de piston.

Règlements divers. — 1^o Le graissage du compresseur se fait avec de la glycérine purifiée et exempte de tout acide.

Cette glycérine est introduite dans les serpents du réfrigérant avant la mise en marche et elle circule, avec l'acide carbonique, dans les divers organes de la machine.

Après avoir fait le vide dans le réfrigérant et après avoir ouvert la soupape d'aspiration, placée à l'arrière du cylindre, le point le plus bas du cylindre doit être rempli de glycérine. S'il n'en est pas ainsi, il faut en ajouter une nouvelle quantité.

Il faut s'assurer toutes les quatre ou six semaines environ que la quantité de glycérine est suffisante.

Si le presse-étoupes aspire beaucoup de glycérine, on recueille celle-ci, tous les quinze jours environ, par le robinet à soupape fixé à la partie inférieure du condenseur.

La glycérine peut être employée de nouveau pour le graissage, après avoir été filtrée ;

2° S'il faut visiter un organe quelconque de la machine, en communication avec la conduite d'aspiration, il faut d'abord vider cette dernière ou bien laisser tomber la pression ;

3° Avant de mettre la machine en marche, il faut s'assurer que les soupapes de refoulement du compresseur et du condenseur sont ouvertes. La mise en marche doit se faire lentement et pendant que les soupapes d'aspiration sont encore fermées ;

4° Il faut souvent visiter les joints, car presque tout l'acide carbonique qui s'échappe, est perdu par suite de négligence ;

5° Avant d'arrêter la machine, il faut fermer la soupape régulatrice et les soupapes placées sur la conduite d'aspiration. On laisse alors marcher pendant environ une minute afin que la dernière partie de la dite conduite et le cylindre soient entièrement vides.

Les robinets de la conduite de refoulement ne doivent être fermés que pour d'assez longs arrêts ;

6° Il faut avoir continuellement des pièces de rechange. Dès qu'il en manque une on doit la remplacer ;

7° Les robinets à soupape de la conduite des manomètres ne doivent être que très peu ouverts ;

8° Si le manomètre du condenseur accuse une trop grande pression c'est qu'il y a ou trop d'acide carbonique, ou trop peu d'eau réfrigérante, ou encore que les serpentins du condenseur sont obstrués. La pression monte aussi lorsque l'agitateur n'est pas en marche ;

9° Les serpentins du condenseur doivent être nettoyés le plus souvent possible :

10° Il peut arriver que la machine ne produise pas autant de froid qu'elle devrait le faire, ceci est dû à l'une des causes suivantes :

Il y a trop peu d'acide carbonique ;

Les soupapes du condenseur ne sont pas réglées ;

Le piston du compresseur perd ;

Une conduite d'aspiration ou d'acide carbonique liquide est gelée ;

La quantité d'eau réfrigérante est insuffisante :

Il y a des impuretés dans le condenseur ou le réfrigérant ;

La densité du liquide incongelable est trop faible, d'où production de glace autour du réfrigérant ;

11° Pour démonter la bielle du compresseur ou celle de la machine à vapeur, il faut d'abord faire le vide, ensuite ouvrir les indicateurs pour qu'il n'y ait plus de pression ni d'un côté ni de l'autre du piston.

Lorsqu'un compresseur est désaccouplé, la tête du piston doit être maintenue à l'avant et à l'arrière par une pièce de bois ;

12° A la mise en marche de la machine à vapeur, il faut veiller à ce

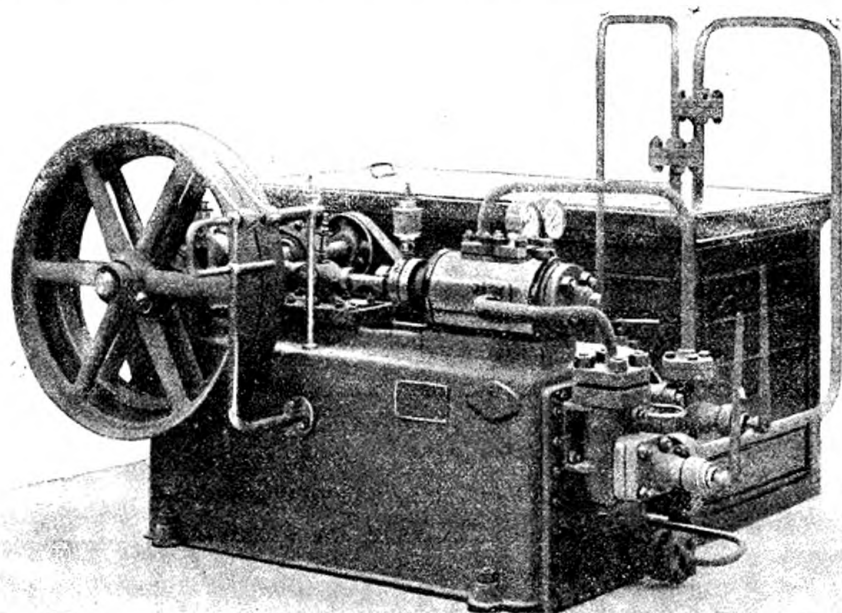


Fig. 59. — Petite machine à glace, système Escher Wysz, commandée par courroie produisant environ 30 kg. de glace à l'heure.

que l'eau réfrigérante du condenseur de la machine à glace s'écoule par le trop plein. C'est cette eau qui alimente la pompe du condenseur de la machine à vapeur.

Le robinet d'injection ne doit être fermé qu'après l'arrêt complet de la machine ⁽¹⁾.

La machine Windhausen présente plusieurs modifications.

(1) Schleicher. *L'acide carbonique liquide*, p. 97-101. Nancy, imprimerie Humblot et Simon. — Chez E. Bernard, éditeur.

Numéros des Machines		0	I	Ia	II	IIa	III	IIIa	IV	IVa	V	Va	VI	VIa	VII	
Production en calories négatives à l'heure pour refroidir	De l'eau douce de + 12° à + 1 1/2° cent.	1.900	3.800	6.600	9.000	13.000	21.000	33.500	42.000	67.000	84.000	115.000	162.000	205.000	315.000	Calories.
	Liquide incongelable jusqu'à 6° cent.	1.400	3.200	5.500	7.500	11.000	17.500	28.000	35.000	56.000	70.000	95.000	135.000	170.000	260.000	Calories.
Eau réfrigérante nécessaire à l'heure (en hectolitres), suivant la température du liquide à refroidir.		2 h., 3 à 3 h., 2	4 à 6, 5	7, 7 à 11	10 à 15	15 à 22	25 à 35	42 à 60	50 à 70	78 à 110	100 à 140	135 à 190	160 à 270	240 à 340	370 à 520	Hectolitres.
Force nécessaire en chevaux-vapeur	Pour la machine à froid.	1 1/4	2	2 3/4	3 1/2	4 1/2	6 1/2	9 1/2	11	17	21	28 1/2	39 1/2	49	76	Chevaux-vapeur.
	Pour la pompe de circulation.	4/4	1/4	1, 2	3/4	3/4	1 1/4	1 3/4	2 1/4	3 1/2	4	5	6 3/4	8	11 3/4	Chevaux-vapeur.
Production	En kilogrammes de glace à l'heure.	10	25		50	75	100	175	250	375	500	750	1.000	1.500	2.000	Kgs. à l'heure.
	En quintaux métriques de glace en 24 heures.	2, 4	6		12	18	24	42	60	90	170	180	240	360	480	Quintaux métriques
Force nécessaire en chevaux-vapeur dans le cas de fabrication de glace.			2		3	4	5	75	10	14	18	26, 5	35	50	65	Chevaux-vapeur.

Le tableau ci-dessus donne les principales constantes de ces machines.

La force motrice nécessaire et la dépense en eau réfrigérante, pour les productions indiquées, sont établies pour de l'eau à 10 degrés

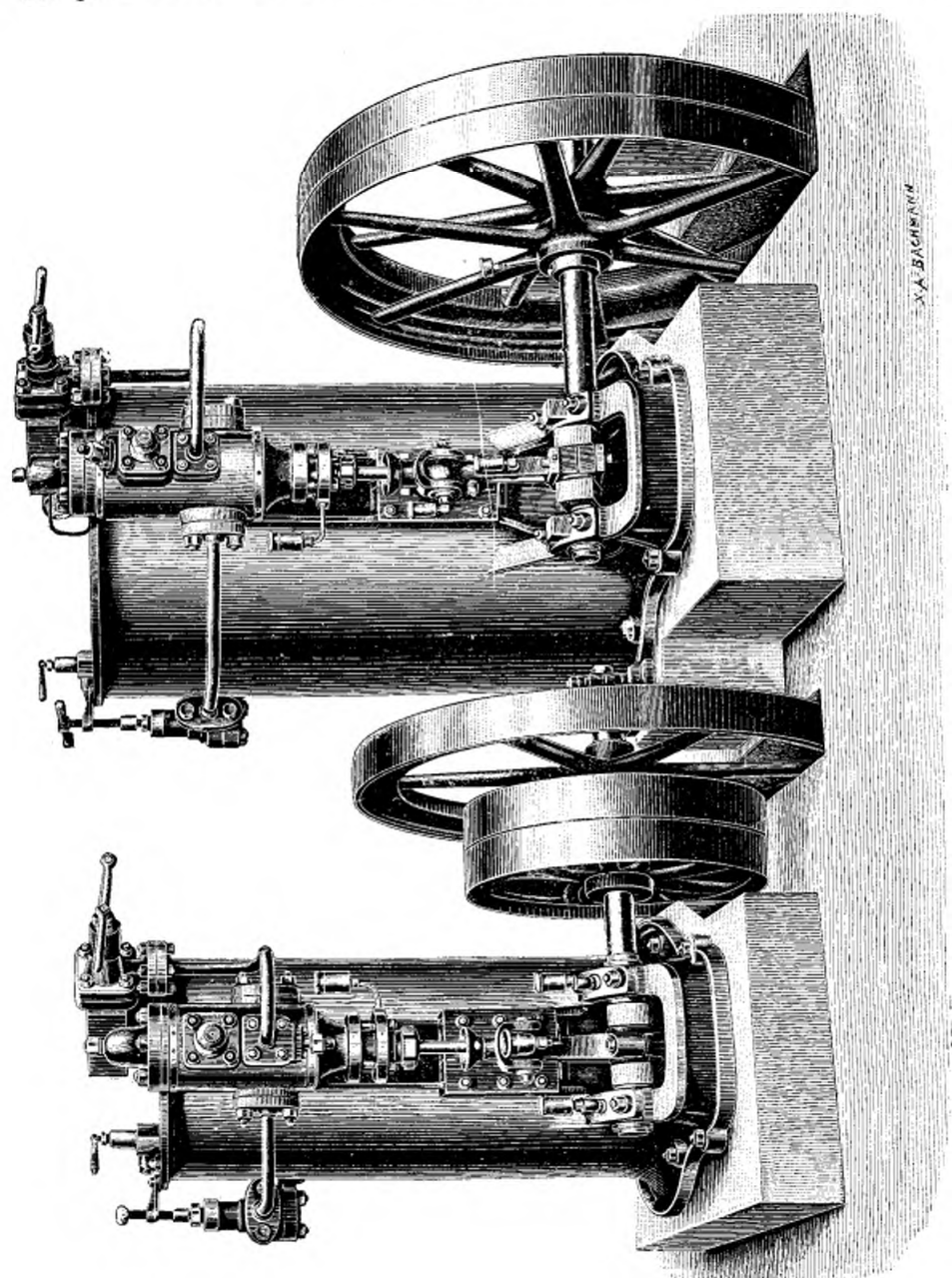


Fig. 60. — Compresseur condenseur pour une production frigorifique de 4.000 frigories à l'heure, 8.500 frigories à l'heure.

centigrades. — Avec une eau réfrigérante plus chaude, sa consommation, ainsi que la force nécessaire, augmentent ; la production de glace diminue.

MACHINE ESCHER WYSS

Les machines Escher Wyss sont formées par les trois parties essentielles d'une machine frigorifique et nous y retrouvons les éléments essentiels de la machine Windhausen.

1° Le *réfrigérant*, appareil tubulaire dans lequel l'acide carbonique liquide s'évapore et refroidit en conséquence le milieu ambiant (bain salé, air, etc). Il affecte une forme cylindrique dans les machines purement frigorifiques, rectangulaire dans les machines purement à glace et adaptée aux locaux à refroidir dans les machines à détente directe. Sauf pour ce dernier cas, le faisceau tubulaire est placé dans une cuve, de forme appropriée contenant la solution incongelable à laquelle une hélice imprime une circulation énergique du faisceau de serpentins.

Ainsi que nous l'avons vu l'acide carbonique, venant du condenseur, s'évapore dans le faisceau tubulaire en produisant par ce changement d'état et sa détente un abaissement de température considérable.

Ce refroidissement, a pour effet d'abaisser également la température de la solution incongelable. Cette solution circule dans les serpentins placés dans les locaux ou produits à réfrigérer ou bien on y plonge les mouleaux pleins d'eau douce à congeler lorsqu'il s'agit d'une machine à glace.

Des serpentins du réfrigérant l'acide carbonique est conduit au compresseur.

2° Le *compresseur* ou pompe à acide carbonique à double effet qui aspire les vapeurs d'acide carbonique du réfrigérant, les comprime et les refoule dans le condenseur.

Le compresseur Escher Wyss est généralement horizontal; dans certaines machines il est vertical afin de diminuer l'encombrement nécessaire. Son piston d'une étanchéité parfaite est à segments métalliques; son presse-étoupes est composé de manchettes en cuir embouti et d'anneaux de caoutchouc avec au centre une lanterne en bronze communiquant avec l'aspiration du compresseur.

Il possède sur son refoulement deux soupapes de sûreté composées de plaquettes de fonte étalonnées qui se brisent lorsque par suite d'une faute la pression vient à augmenter.

3° Le *condenseur* est un appareil tubulaire plongé dans de l'eau cou-

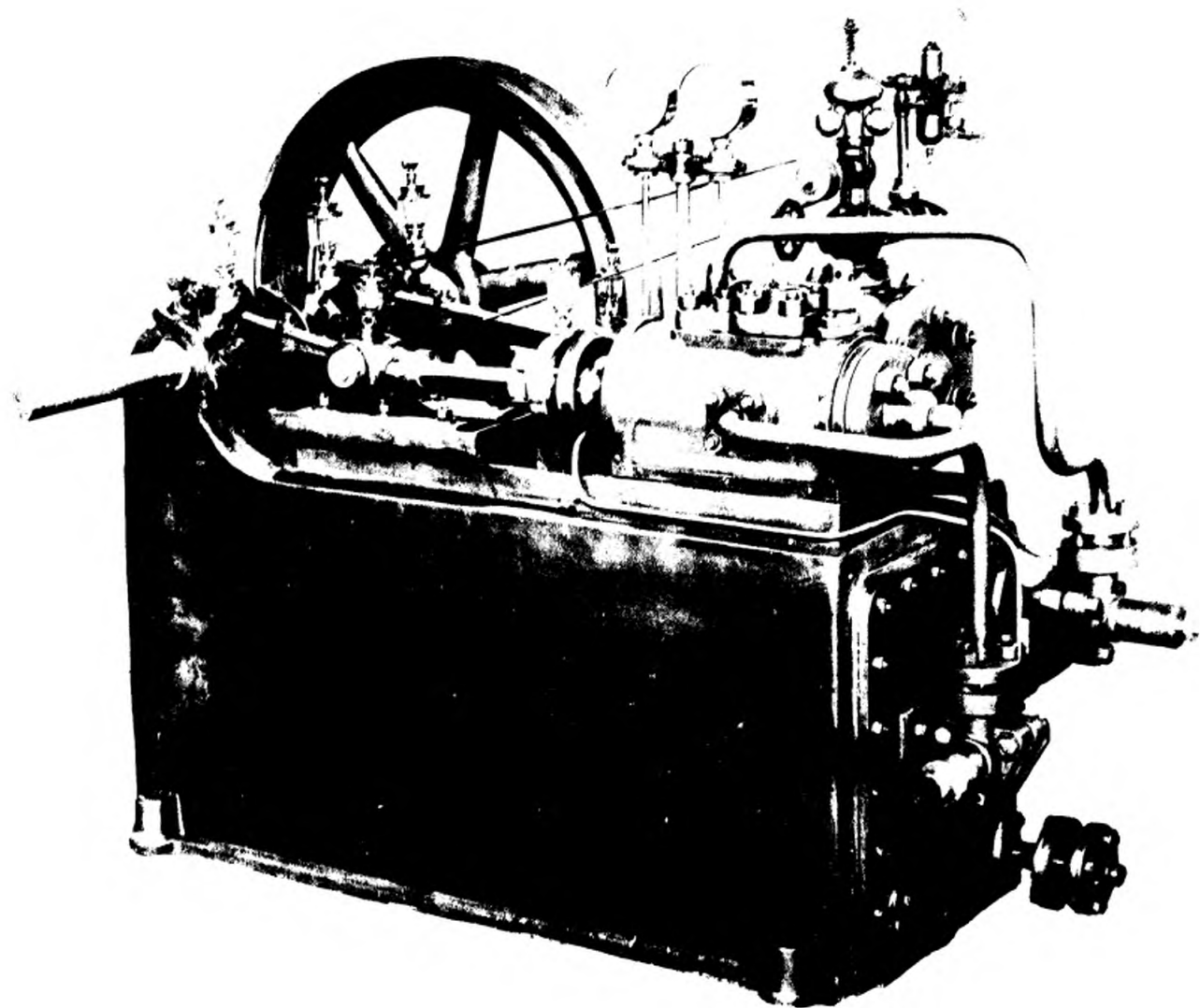


Fig. 61. — Petite machine frigorifique type marine avec moteur à vapeur (Escher Wyss et C^{ie}).

rante, dans lequel l'acide carbonique comprimé se liquéfie par refroidissement.

Suivant les conditions physiques de l'eau employée pour la réfrigération, la maison Escher Wyss et C^{ie} construit ses condenseurs de deux façons différentes :

1^o Dans le cas d'une quantité d'eau abondante, le condenseur dit « immergé » se compose d'une cuve cylindrique, contenant le faisceau de serpentins de forme spiraloïde, avec au centre un agitateur ayant pour but de rendre le contact plus intime entre les serpentins et l'eau réfrigérante, ce qui facilite la réfrigération et empêche la formation de bulles d'air sur les serpentins ;

2^o Dans le cas de manque d'eau le condenseur est construit « à ruissellement » et les serpentins au lieu de se développer en spirales se développent chacun dans un plan différent formant ainsi chacun une plaque tubulaire. Ces plaques tubulaires réunies par des collecteurs sont montées à l'air libre parallèlement les unes aux autres dans un réservoir très peu profond. Le fait que l'eau que l'on fait ruisseler sur ces plaques tubulaires s'évapore en partie, permet de réduire beaucoup la quantité de cette dernière, nécessaire à la réfrigération.

Dans le but non seulement de liquéfier mais encore de réfrigérer le plus possible l'acide carbonique liquide avant son arrivée à la vanne de détente (dite « de réglage »), la maison Escher Wyss et C^{ie} ajoute, soit après le condenseur immergé, soit après le condenseur à ruissellement, un deuxième condenseur dit « complémentaire » le Nachkühler des Allemands dans lequel l'acide carbonique liquide circule à contre courant avec l'eau réfrigérante arrivant à la machine.

Dans la tuyauterie réunissant les appareils précédents sont intercalés les trois appareils suivants : Entre le réfrigérant et le compresseur, soit sur l'aspiration de ce dernier, se trouve un dégraisseur, appareil qui tamise l'acide carbonique afin d'empêcher des corps étrangers d'aller dans les soupapes du compresseur. Entre le compresseur et le condenseur, un réservoir amortisseur des coups de piston du compresseur et des vibrations pouvant s'ensuivre. Entre le condenseur complémentaire et le réfrigérant une vanne double de réglage permet aussi lors de la charge de la machine d'envoyer l'acide carbonique soit dans les condenseurs soit dans le réfrigérant.

Le processus de détente et de compression de l'acide carbonique n'est pas intermittent, mais bien continu. A la mise en marche du

compresseur la vanne de réglage placée entre les condenseurs et le

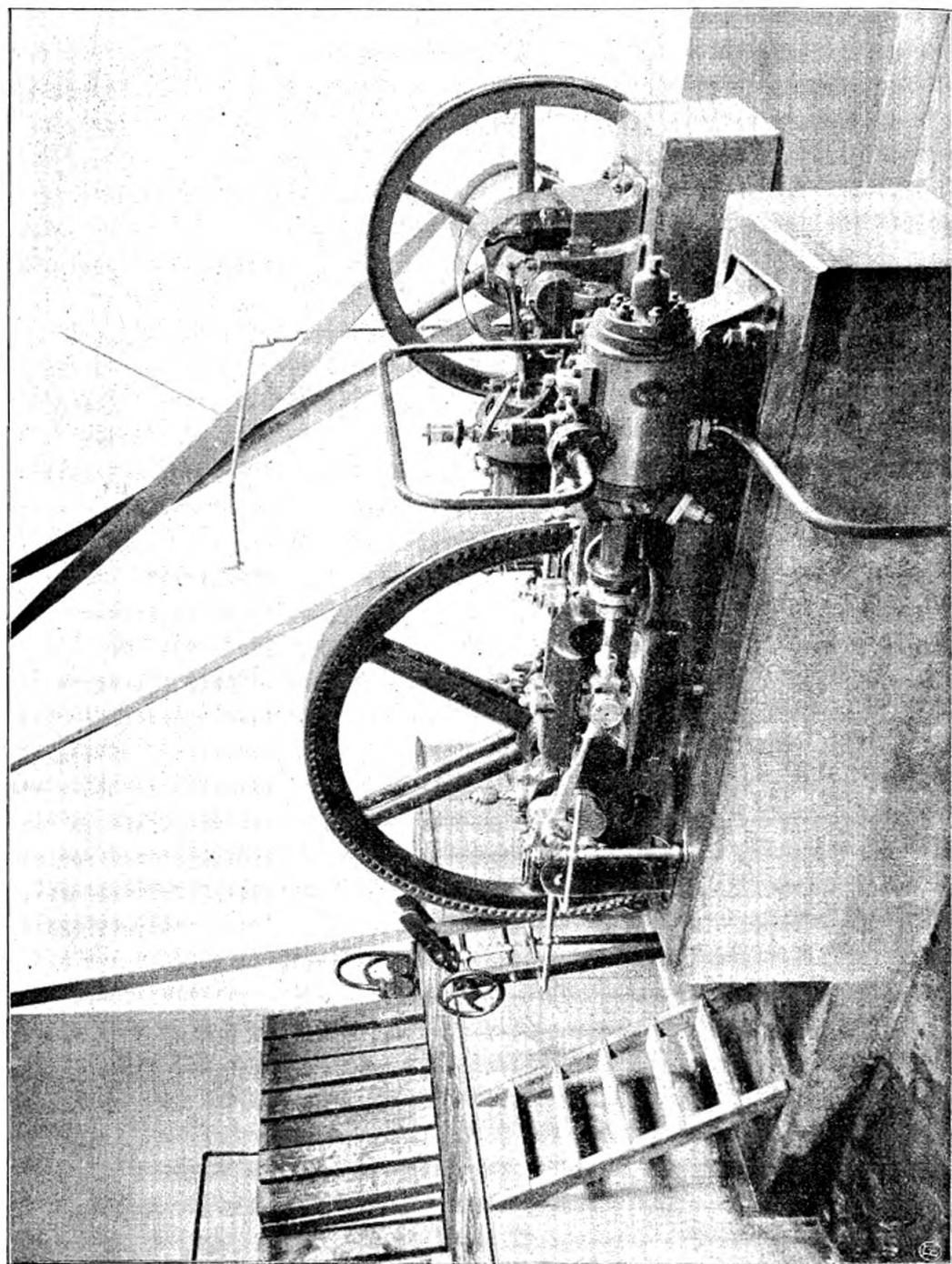


Fig. 62. — Machine Escher Wyss à froid et à glace de 30.000 frigories actionnée par un moteur à gaz.

réfrigérant est ouverte, puis réglée de façon à laisser passer une quantité d'acide carbonique égale à celle que le compresseur aspire.

Ce résultat est obtenu lorsque la conduite de refoulement du compresseur est à une température légèrement supérieure à celle de la main.

Les différentes constantes de ces machines sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Modèle N°	Oh	I	II	III	IIIa	IV	IVa	IVb	V	Va	VI
Frigories par heure mesurées au réfrigérant { de + 40° C. à + 1° C. de - 2° C. à - 5° C.	3.000	5.400	10.800	24.000	30.000	42.000	60.000	84.000	96.000	120.000	240.000
	2.500	4.500	9.000	20.000	25.000	35.000	50.000	70.000	80.000	100.000	200.000
Production de glace par heure en kilogrammes	45	30	60	140	180	250	350	500	600	800	1.500
Eau de condensation (1) nécessaire par heure en hectolitres	4	7	15	30	35	50	70	95	110	150	280
Force motrice nécessaire (1) en chevaux	1,5	2,5	4,3	7,5	8,00	13	18	25	28	35	65
Poids de la machine à froid kg.	1.600	2.400	3.200	5.900	6.600	8.500	13.300	15.000	17.400	21.000	35.000
Poids de la machine sans moteur.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Pour glace opaque kg.	1.700	2.200	3.500	7.300	10.400	12.800	18.400	22.200	27.200	34.400	60.000
— transparente kg	—	—	—	10.700	12.200	15.900	24.100	29.900	35.900	46.100	80.000

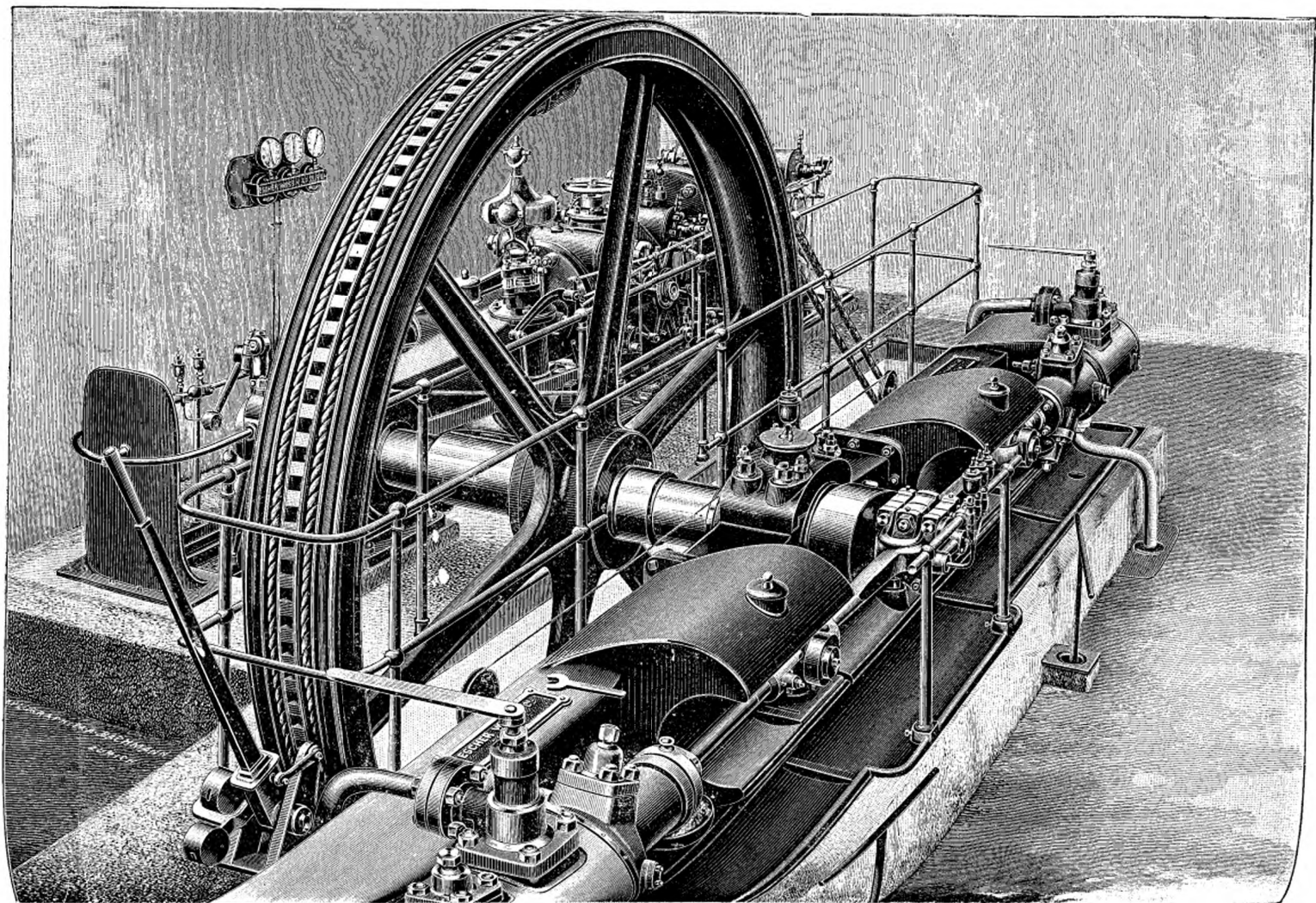
1. L'eau de condensation et la force motrice sont indiquées pour une température de l'eau de condensation de + 40° C; elles varient avec la température de cette eau.

Il existe un modèle plus restreint de ces machines produisant environ 12 kg. de glace par heure et dont les dimensions sont:

Longueur	2 m.
Largeur	1
Hauteur	1,80

La machine n'occupe pour elle-même qu'un espace de 2 m² et est directement accouplée à un moteur (si possible une dynamo branchée sur un réseau électrique urbain); aucunes fondations, transmissions ni courroies ne sont nécessaires.

Toutes ces machines présentent des qualités particulières de solidité et de rendement dues à l'excellence même des matières premières et à leur remarquable construction. En effet, leurs serpentins ainsi que leurs collecteurs sont en fer forgé sans soudure, tous les sièges des soupapes et vannes sont en bronze phosphoreux avec



soupape en acier trempé, toutes les pièces en contact avec l'acide carbonique sont éprouvées à la pression de 250 atmosphères.

Le bon rendement obtenu grâce à ces soins de construction et à l'emploi du condenseur complémentaire est encore augmenté par la marche à vapeur surchauffée, rendue possible dans ces machines grâce au piston métallique et à la propriété de l'acide carbonique de rester neutre à l'égard du lubrifiant employé (glycérine), même à l'état surchauffé. D'ailleurs, la machine à glace exposée par la maison Escher Wyss et C^o en 1900 était tout à fait digne d'attention par ses dimensions, son fonctionnement parfait et les résultats qu'elle donnait.

Nous exposerons plus loin un certain nombre d'installations industrielles ayant adopté ces machines ; tels sont les abattoirs de Bâle, la brasserie d'Athènes et la brasserie Hilty à Buchs, la chocolaterie Matte à Montpellier, la laiterie Lombarde à Suzzara (Italie), la margarinerie C. Kuhn à Vienne.

Nous donnerons à ce propos les plans de ces installations.

MACHINES J. ET E. HALL

Dans les machines frigorifiques J. et E. Hall les trois parties principales présentent les caractères suivants :

Les COMPRESSEURS pour les machines puissantes sont percés dans de solides blocs d'acier forgé, non seulement pour en assurer la résistance, mais surtout pour donner la certitude d'une grande compacité de la matière. On obtient ainsi un cylindre parfaitement calibré, dans lequel travaillent les cuirs emboutis, qui assurent l'étanchéité des pistons.

Les compresseurs des petites machines sont fabriqués avec un bronze spécial qui permet de compter sur les deux qualités essentielles : la compacité et la résistance. Les soupapes d'entrée et de sortie sont identiques, par conséquent interchangeables.

Les fuites de gaz à travers le presse-étoupes sont évitées au moyen de deux rondelles de cuir embouti placées sur la tige du piston. On introduit de la glycérine dans l'espace compris entre ces cuirs à une pression supérieure à la pression la plus élevée du gaz dans le compresseur ; de

cette façon, s'il se produit une fuite dans le presse-étoupes, c'est la glycérine qui s'échappe dans le compresseur ou dans l'atmosphère, et non point l'acide carbonique. La glycérine qui s'introduit dans le compresseur a l'avantage de le lubrifier; de plus, elle en remplit tous les vides et augmente ainsi son rendement pratique.

Pour obtenir cette pression plus élevée de la glycérine, on emploie le moyen suivant: Dans un cylindre creux est adapté un piston auquel est fixée une tige qui traverse le fond du cylindre au moyen d'un presse-étoupes. L'autre extrémité du cylindre est en communication avec le

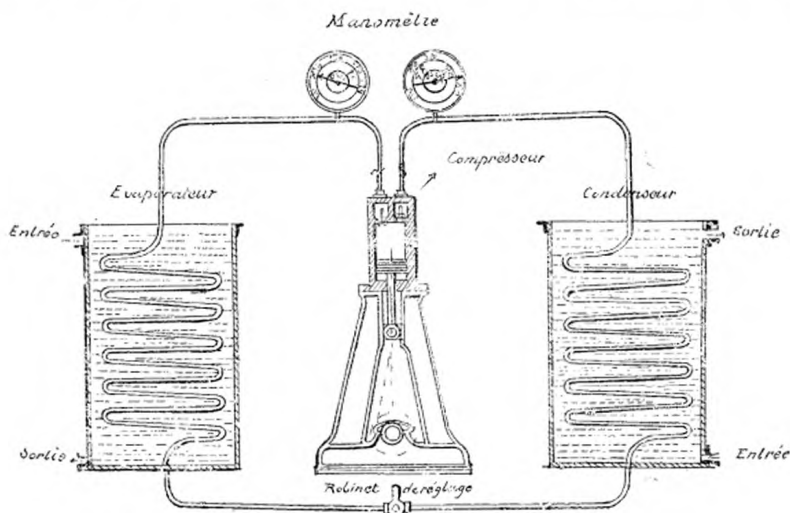


Fig. 64. — Schéma de la machine frigorifique système J. et E. Hall.

condenseur d'acide carbonique, dont la pression s'exerce sur la surface pleine du piston. La glycérine est comprimée dans le cylindre, du côté du presse-étoupes, à une pression plus élevée que celle du condenseur, en raison de la différence de surface des deux faces du piston. La partie du cylindre renfermant la glycérine est en communication avec l'espace compris entre les cuirs emboutis de la garniture du compresseur.

Une petite pompe hydraulique à main permet de remplacer la glycérine qui s'échappe du graisseur.

Quelques coups de piston de cette pompe sont nécessaires toutes les cinq ou six heures. Cette nécessité est relevée par la position de la tige du piston à glycérine.

La glycérine qui passe dans le compresseur en plus de ce qui est né-

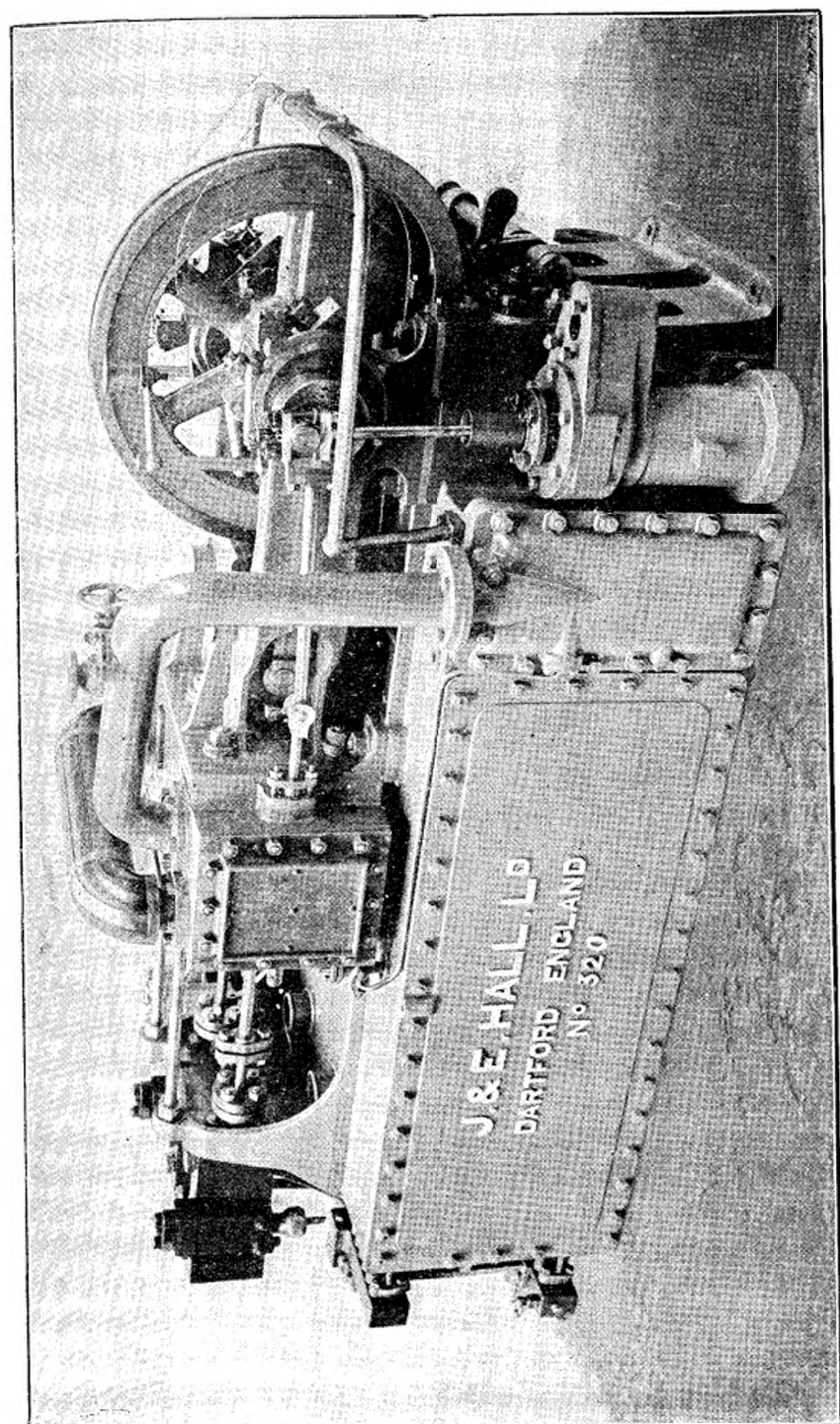


Fig. 68. — Machine horizontale Duplex « Type Marine », n° 9 à 14.

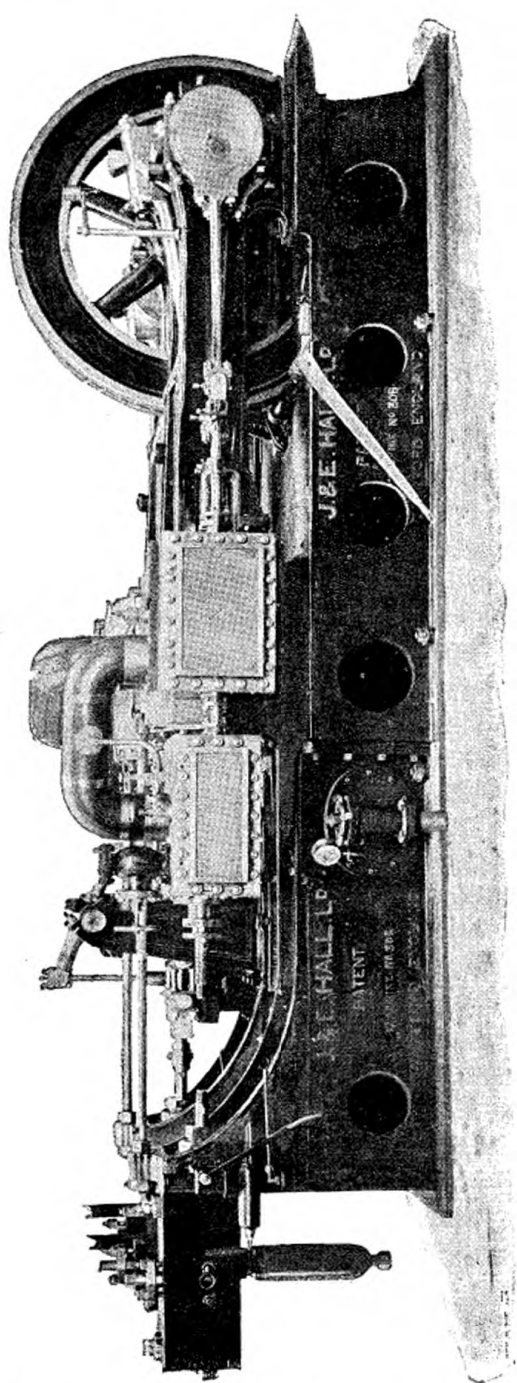


Fig. 66. — Machine horizontale Duplex « Type Marine » à triple expansion avec trois cylindres à vapeur compound.

cessaire pour combler les espaces vides est entraînée par le gaz dans les soupapes de sortie.

Afin d'empêcher son introduction dans le serpentin du condenseur, le gaz vient frapper contre les parois d'une *séparateur*. La glycérine adhère à ces parois et s'écoule au fond du vase d'où on l'extrait de temps en temps. Le gaz comprimé sort par un orifice situé au sommet et passe dans le condenseur.

Le CONDENSEUR est formé par des serpentins en fer forgé, ordinairement de 32 à 40 mm, qui sont placés dans une cuve et entourés d'eau, ou bien qui sont disposés de telle sorte que l'eau coule au-dessus, formant ainsi le condenseur atmosphérique bien connu. Ces serpentins sont soudés, et d'une longueur telle que les joints sont entièrement évités dans la cuve,

là où ils seraient inaccessibles. A titre de renseignement, ces tubes

sont soudés dans les ateliers de la maison Hall par une méthode électrique, qui donne des résultats très efficaces et très sûrs.

En ce qui concerne le condenseur, ainsi que nous l'avons vu l'acide carbonique n'a aucun effet sur le cuivre, ce qui permet d'employer ce métal dans la construction des condenseurs, dans les cas très nombreux où l'on ne dispose que d'eau de mer pour les besoins de la condensation.

L'ÉVAPORATEUR consiste aussi en faisceaux de tubes de fer soudés et de grande longueur, dans lesquels s'évapore l'acide carbonique. La chaleur nécessaire à l'évaporation est enlevée habituellement, soit à un liquide salin qui entoure les tubes lorsque ce liquide est pris comme agent intermédiaire du froid, soit à l'air qui entoure les tuyaux, lorsque cet air est appelé à être refroidi directement. Un robinet valve, placé entre le condenseur et l'évaporateur, permet de régler la quantité d'acide carbonique liquide s'écoulant du condenseur.

Afin de permettre l'ouverture du compresseur et l'examen des soupapes et du piston, sans qu'il y ait perte d'acide carbonique, il est nécessaire d'intercaler un robinet d'arrêt sur l'aspiration et un sur le refoulement. Il peut arriver qu'un mécanicien négligent remette la machine en marche sans avoir ouvert la soupape d'échappement ; il se développerait dans ce cas, une pression énorme dans le tuyau d'échappement qui ne présenterait aucune issue.

Pour éviter ce danger on a adopté une soupape de sûreté à ressort à la partie inférieure de laquelle est placé un disque de cuivre bien réglé pour être rompu, sous une pression de 120 kg., chiffre qui correspond à environ la moitié de la pression hydraulique à laquelle toutes les pièces sont soumises. Ce disque est absolument imperméable, ce que l'on n'obtiendrait pas au moyen de la soupape de sûreté à ressort fonctionnant seule ; celle-ci doit agir seulement lorsque le disque est rompu. Un grand soin doit être apporté à la fabrication de ces disques pour prévenir les différences de résistance résultant, soit de l'épaisseur, soit de la dureté des feuilles de cuivre dans lesquelles les disques sont découpés. Chaque disque a été préalablement essayé à une pression hydraulique de 90 kg. et on a enregistré

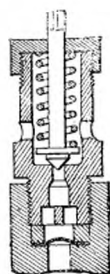


Fig. 67. — Soupape de sûreté à ressort.

la pression nécessaire pour briser de temps en temps un de ces disques.

Les joints de toutes ces pièces doivent résister à des pressions élevées. Ceux qui ne sont pas soumis à une haute température peuvent être confectionnés avec une matière quelconque appropriée, telle que le cuir; mais pour les joints soumis à la chaleur, la difficulté était de trouver une matière susceptible de résister à cette chaleur et possédant l'élasticité suffisante pour assurer aux joints un serrage parfait, non seulement à chaud, mais aussi à froid. La solution a été trouvée dans l'emploi d'anneaux d'un alliage de cuivre particulier qui satisfait entièrement aux conditions exigées. On vérifie l'étanchéité absolue de tous les joints en les brossant avec de l'eau de savon, qui révèle la plus légère fuite.

Des expériences très minutieuses sont faites par les constructeurs pour assurer la résistance complète de toutes les parties sujettes à la pression du gaz. Ces pressions varient de 52 kg. par centimètre carré dans les climats tempérés, avec de l'eau à 10°, à environ 70 kg. sous les tropiques, avec de l'eau à 29°. Cette température est même quelquefois dépassée dans certains pays exceptionnellement chauds.

Le faible diamètre de tous les organes, même dans les grandes machines, permet d'obtenir une marge assez grande dans la puissance. Toutes les parties des appareils soumises à la pression de l'acide carbonique sont tout d'abord essayées, comme résistance, à la pression hydraulique de 200 kg. par centimètre carré, et, comme étanchéité au gaz, à une pression de 100 kg., les pièces étant immergées dans l'eau chaude. Les plus petites porosités des parois sont révélées par les bulles d'air qui montent à la surface de l'eau.

C'est donc en somme toujours la même théorie; le compresseur prend le gaz de l'évaporateur et le comprime jusqu'à un certain degré, variable suivant la température de l'eau de circulation. La chaleur produite par cette compression est alors absorbée par la circulation de l'eau dans le condenseur, et le gaz, circulant ainsi dans les serpentins du condenseur, arrive liquéfié à l'extrémité de ces serpentins.

L'acide carbonique liquéfié est amené dans les serpentins de l'évaporateur où il se vaporise et se détend. Cette double opération absorbe la chaleur des liquides entourant les serpentins de l'évaporateur et permet de ramener l'eau de 37° à 15°, ou de maintenir le liquide incongelable, la saumure à — 25°. Les surfaces des ser-

serpentins d'évaporation sont calculées de manière à ce que tout le liquide qui entre par l'extrémité inférieure soit bien évaporé lorsqu'il arrive au sommet : on obtient ainsi le maximum d'efficacité. Le compresseur aspire alors les gaz formés, les comprime, et ceux-ci continuent le cycle en se liquéfiant dans le condenseur.

La charge d'acide carbonique mise dans la machine est employée indéfiniment, suivant toujours le même cycle fermé : compression, condensation, évaporation. Il est nécessaire de temps en temps d'en ajouter une très petite quantité pour remplacer les pertes qui ont pu se produire. Les charges de ces machines sont très petites : c'est à peine si le prix de la charge nécessaire à une machine, de 25 tonnes de production de glace en vingt-quatre heures, atteint 175 francs.

Les modèles de machine construits d'après ces principes sont de plusieurs sortes. Les MACHINES HORIZONTALES DUPLEX « TYPE MARINE » sont surtout destinées aux installations à bord des navires.

L'ensemble est formé par des machines à triple expansion comportant 3 cylindres à vapeur compound.

Les cylindres de haute et basse pression sont situés d'un côté de la machine. Le cylindre à moyenne pression est placé de l'autre côté.

Les machines comprennent également un condenseur par surface.

Les compresseurs sont placés dans le prolongement de l'axe des cylindres de vapeur, et les manivelles sont calées à 90° sur les arbres, de façon à pouvoir immédiatement mettre en marche, quelle que soit la position d'arrêt de la machine.

Chaque compresseur correspond à un condenseur indépendant qui est contenu dans la cuve formant base de la machine et dans lequel la liquéfaction de l'acide carbonique est obtenu par une circulation d'eau de mer.

Le condenseur se compose de tubes de cuivre, plus coûteux que les serpentins en fer, mais qui s'usent beaucoup moins vite, car l'eau de mer attaque rapidement les serpentins en fer et nécessite fréquemment leur remplacement. On ne peut pas employer le cuivre dans les machines employant l'ammoniac ou l'acide sulfureux, car ces corps attaquent ce métal.

Chacun des évaporateurs est relié à un des côtés de la machine. Ils consistent en serpentins entourés de liquide incongelable de saumure ou *brine* et dans lesquels s'évapore l'acide carbonique. On fait circuler ce liquide incongelable au moyen de pompes faisant partie

de la machine. La saumure ainsi refroidie circule dans des tuyaux frigorifères dans les chambres et abaisse ainsi la température autant qu'il est nécessaire.

Les deux machines sont disposées de manière à pouvoir travailler ensemble ou séparément, ou même à fonctionner en croix, c'est-à-dire le

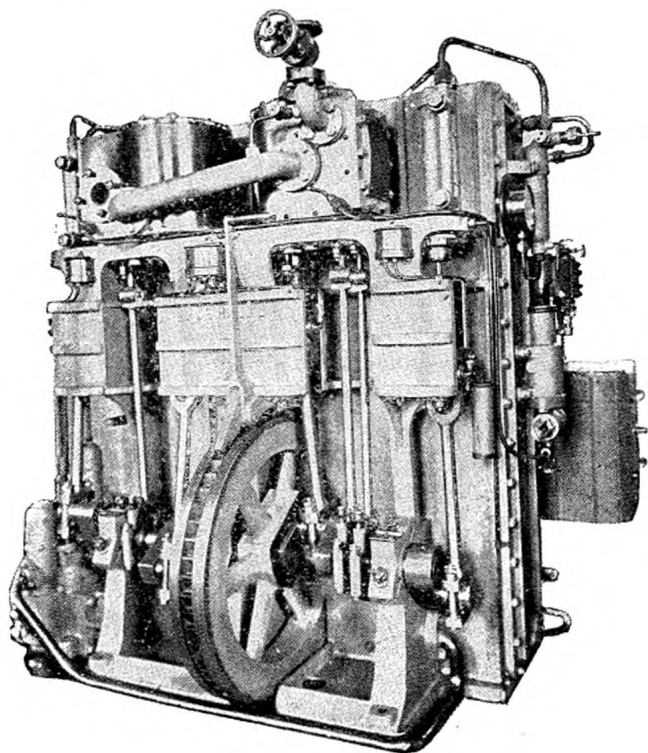


Fig. 68. — Machine verticale Duplex
« Type Marine » à cylindre à vapeur compound et à deux compresseurs.

groupe vapeur de droite avec le groupe compresseur de gauche ou inversement, ce qui donne la plus entière sécurité de marche dans tous les cas. On a pour ainsi dire trois machines.

Ce type a été spécialement construit pour tenir le moins de place possible à bord des navires et pour convenir à la hauteur usuelle de l'entre-pont, tout en étant très puissant. La plus forte machine cons-

truite dans ces conditions est capable de conserver une cargaison de 140.000 moutons congelés et n'occupe qu'une hauteur de 1^m,95.

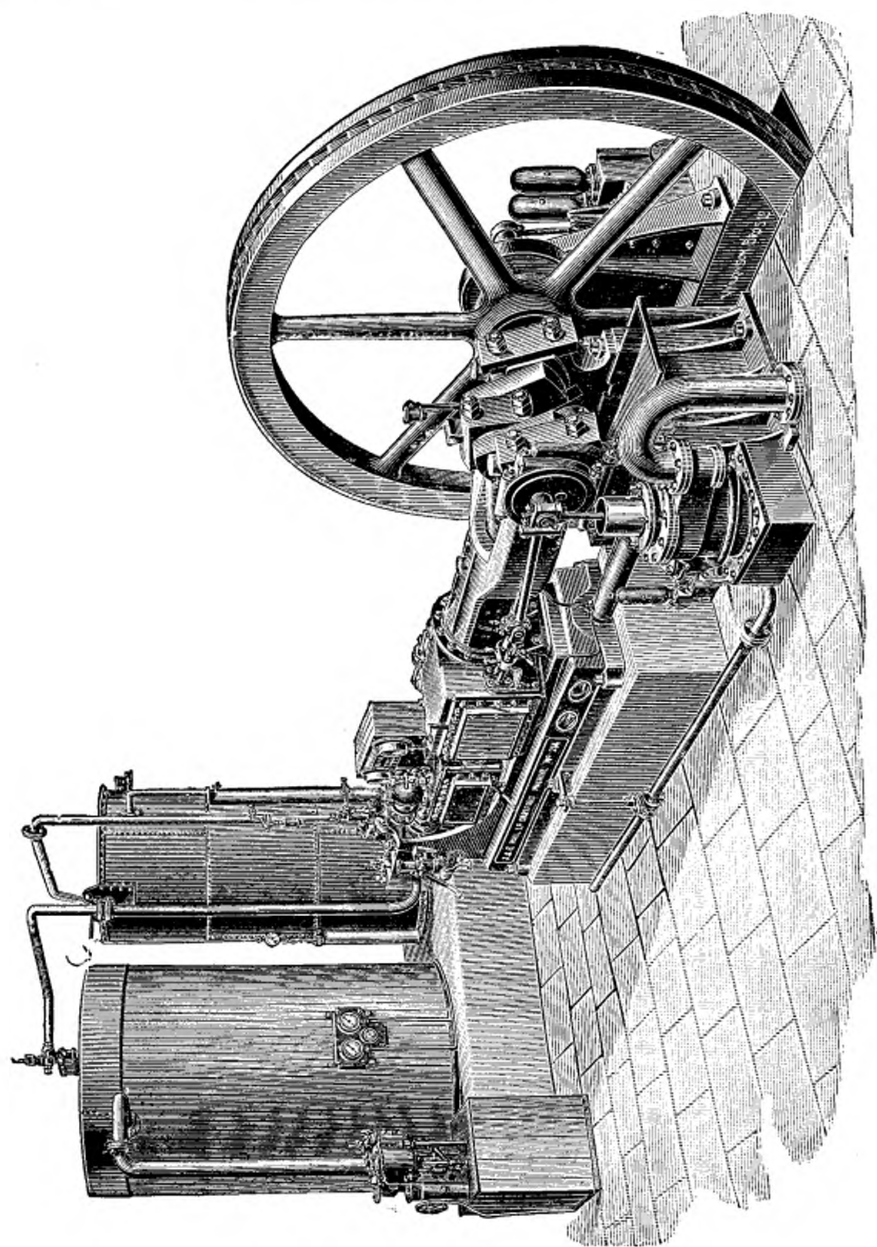


Fig. 69. — Machine horizontale Simplex « Type Terre ».

Les **machines marines et verticales** de puissance moyenne comprennent un seul cylindre à vapeur actionnant un compresseur.

Les deux appareils sont placés côte à côte sur une cuve formant la carcasse de la machine : cette cuve contient les serpentins du conden-

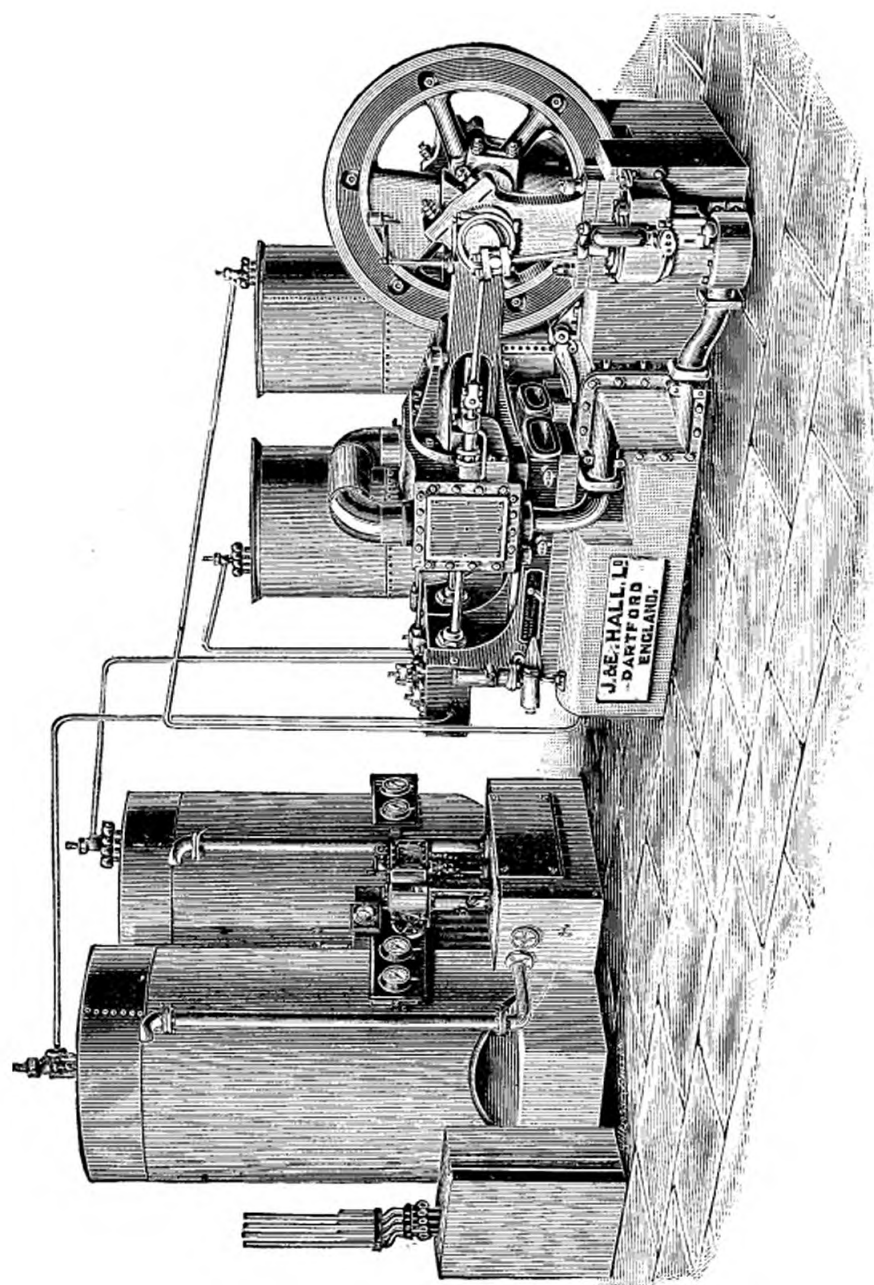


Fig. 70. — Machine horizontale Duplex « Type Terre ».

seur en cuivre, et derrière le condenseur les serpentins de l'évaporateur. Le tout forme un bloc très compact.

Ces petites machines sont très simples, travaillent sans bruit, et peuvent être conduites par une personne d'intelligence moyenne et sans grandes connaissances mécaniques. La conduite ne demande qu'une très faible attention, l'usure est faible et les rechanges peu importants. Dans un steamer elle n'augmente pas d'une façon appréciable la besogne

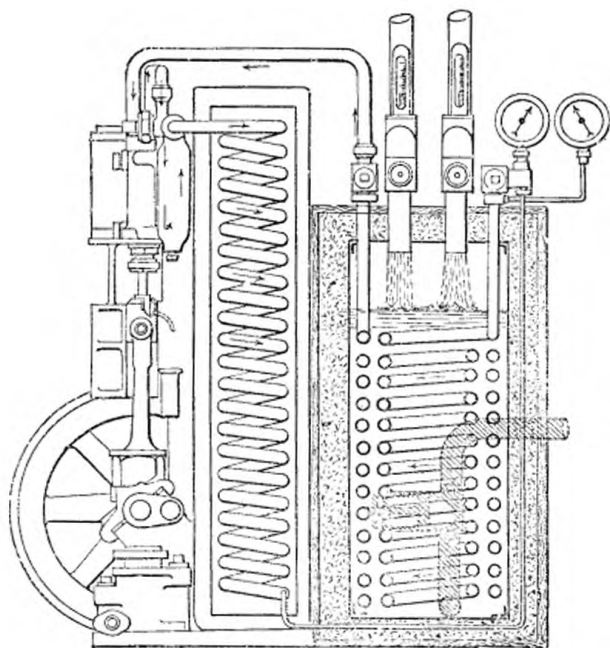


Fig. 71. — Machine marine verticale (section).
Machine de puissance moyenne.

du mécanicien, et la machine placée dans un coin visible de la chambre des machines, peut être surveillée simplement par le mécanicien de quart,

LES MACHINES VERTICALES DUPLEX « TYPE MARINE » sont construites avec cylindre à vapeur compound et deux compresseurs. Il y a en effet deux machines séparées dont l'une peut être arrêtée pendant que l'autre continue à marcher avec la machine compound.

Les machines de terre présentent les mêmes dispositions générales, les mêmes pièces et le même mode de fonctionnement que les

machines marines. Il n'y a néanmoins plus besoin de dispositions

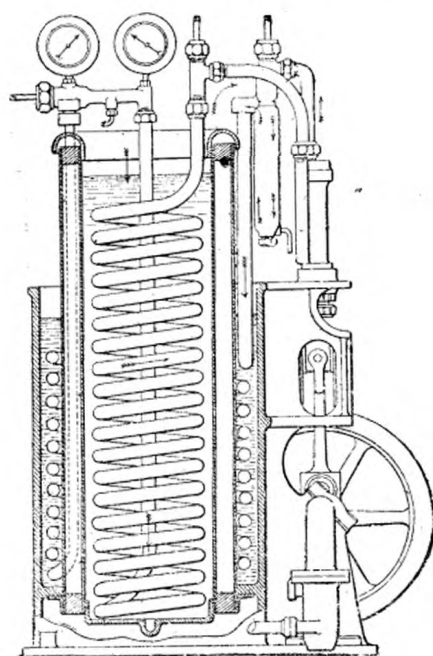


Fig. 72. — Machine verticale type terre pour petites installations (Coupe).
Machine de puissance moyenne J. et E. Hall.

particulières pour obvier aux inconvénients du manque de place, de l'emploi d'eau de mer comme eau de circulation, etc.

Les grandes installations faites à terre se font dans les mêmes conditions et avec les mêmes dispositions générales que les installations sur navires. Aussi les machines appartiennent-elles aux mêmes dispositions fondamentales et sont de plusieurs types, suivant le travail qu'elles sont destinées à fournir.

Elles peuvent être :

Horizontales Simplex.	à un seul cylindre
Horizontales Duplex	à deux cylindres compound.
Horizontales.	à trois cylindres compound.

LES MACHINES HORIZONTALES SIMPLEX « TYPE TERRE » sont ordinairement formées d'un moteur compound, en tandem, conduisant le compresseur d'acide carbonique. L'évaporateur et le condenseur sont séparés et peuvent être placés indifféremment à l'avant ou à l'arrière, ou même dans une chambre séparée.

LES MACHINES HORIZONTALES DUPLEX « TYPE TERRE » sont construites avec 2 cylindres situés de part et d'autre et avec un condenseur par surface situé à côté de la machine. Les deux compresseurs sont commandés par des bielles calées à angle droit.

Chaque compresseur envoie l'acide carbonique dans deux condenseurs, qui sont figurés à l'arrière de la machine. Avec chaque condenseur

communiqué un évaporateur sur lequel est fixée la pompe faisant circuler la saumure.

La machine est pour ainsi dire double et on peut faire fonctionner séparément un seul cylindre avec un seul compresseur et un seul évaporateur, ou utiliser les deux cylindres et toute la machinerie.

Les machines de puissance moyenne du type Terre sont de petites

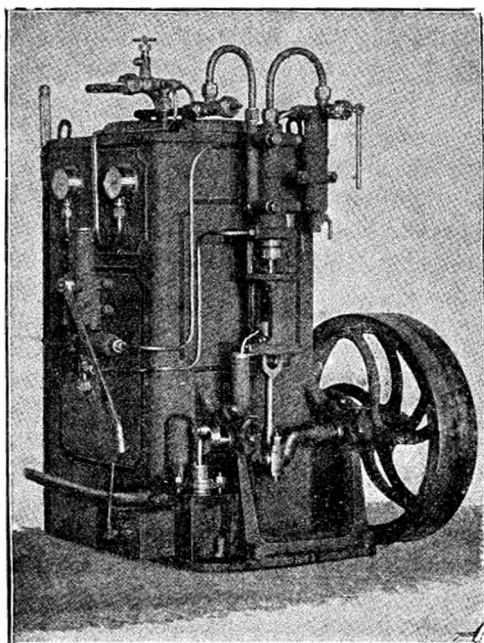


Fig. 73. — Machine verticale type terre n° 3 conduite par courroie.

machines qui consistent en un bac rectangulaire en fonte supportant la plate-forme sur laquelle est fixé le compresseur; à l'intérieur de ce bac, on trouve le serpentin du condenseur et, à l'intérieur, le serpentin de l'évaporateur; ces deux serpentins ont une isolation entre eux. Ces types de petites machines sont quelquefois combinés avec une machine à vapeur à un cylindre horizontal placé sur le côté de la cuve principale et agissant sur l'extrémité de l'arbre de couche. Les serpentins du condenseur et des évaporateurs sont toujours composés de grandes lon-

guez de tuyaux sans aucun joint, si bien que tous les joints, réduits

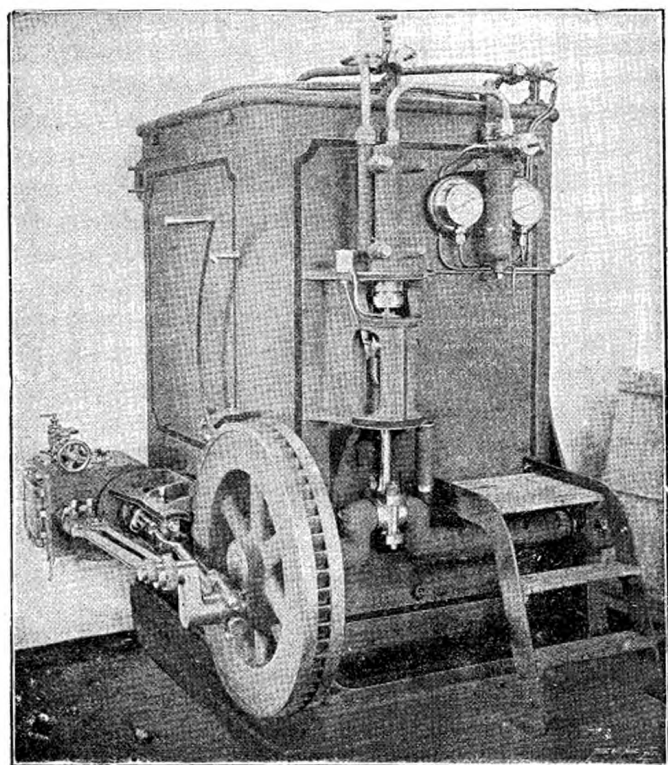


Fig. 74. — Machine verticale n° 4 à 8 type terre avec moteur combiné.

à un très petit nombre, sont tous parfaitement accessibles. Les dimensions principales de ces machines sont :

Dimensions.

Nos	Largeur	Longueur	Hauteur
2	1 ^m ,55	1 ^m ,15	1 ^m ,17
3	1 ^m ,68	1 ^m ,15	1 ^m ,27
4	1 ^m ,93	1 ^m ,15	1 ^m ,32
5	2 ^m ,09	1 ^m ,25	1 ^m ,50
6	2 ^m ,32	1 ^m ,25	1 ^m ,50
7	2 ^m ,16	1 ^m ,73	2 ^m ,06
8	2 ^m ,21	1 ^m ,73	2 ^m ,06

La marche de ces machines ne demande qu'un peu d'attention, et

n'exige pas de la part de la personne chargée de la conduire des aptitudes spéciales.

Chaque machine possède une soupape de sûreté qui rend tout accident impossible, même en cas de faute lourde du mécanicien.

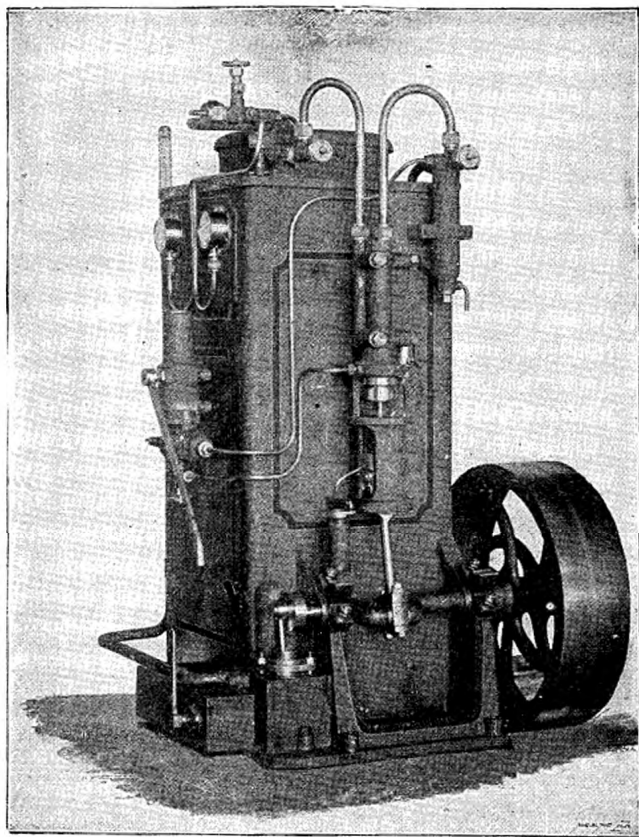


Fig. 75. — Machine verticale, type terre n° 4 conduite par courroie.

Elles peuvent être conduites par moteurs électriques, hydrauliques, à vapeur, à gaz, à pétrole, etc., etc.

Quand les machines sont utilisées pour la fabrication de la glace, le liquide incongelable, refroidi dans l'évaporateur, circule dans un bac contenant un certain nombre de mouleaux en fer galvanisé dans lesquels se trouve l'eau à congeler. On peut ainsi obtenir des blocs de glace de toutes dimensions et de tous poids.

Les installations pour la fabrication de la glace avec machines Hall, fonctionnent actuellement sous tous les climats, tempérés ou tropicaux, aussi bien pour la fabrication de la glace opaque que pour celle de la glace transparente.

Plusieurs machines de ce système ont été employées dans les pays chauds; une installation entre autres se trouve sur les bords de la mer Rouge, en Abyssinie. L'eau de circulation y atteint 36° et la machine fonctionne parfaitement.

CHAPITRE IX

MACHINES A AMMONIAC A ABSORPTION

En 1838 parut une machine assez originale, la machine Carré, du nom de son inventeur.

En élevant la température d'une solution concentrée ammoniacale (25 0/0 d'ammoniac, 75 0/0 d'eau) on met en liberté le gaz ammoniac qui produit ainsi une compression de 8 à 10 kg.

Le gaz comprimé est refroidi dans un condenseur et passe à l'état liquide. On le détend dans un troisième appareil, le réfrigérant, où il s'évapore en produisant du froid.

Les vapeurs produites par cette évaporation sont absorbées par l'eau mère qui a servi à la première opération. Cette eau, ayant abandonné le gaz ammoniac qu'elle contenait a été refroidie entre temps, de sorte qu'elle est redevenue propre à dissoudre l'ammoniac abandonné par suite du chauffage.

En résumé, dans ce système on fait jouer à l'eau le rôle d'un compresseur, en utilisant la grande affinité que l'eau possède pour le gaz ammoniac. (L'eau absorbe 700 fois son volume d'ammoniac.) Le chauffage produit la compression, l'affinité de l'eau pour l'ammoniac détermine l'aspiration.

MACHINES CARRÉ ET MACHINES ROUART

La machine Carré ordinaire est essentiellement formée par un récipient ou chaudière qui contient une dissolution ammoniacale d'un titre élevé, 28 à 29° B. Cette chaudière est chauffée par l'action directe d'un foyer ou mieux par un courant de vapeur d'eau ; le gaz se dégage. La

température et la pression s'élèvent dans le récipient ; le gaz est chassé de la solution, passe dans un appareil appelé *liquéfacteur* ou *condenseur*, ou sous l'influence d'un courant d'eau qui le refroidit, il change d'état et se liquéfie.

Le gaz liquéfié, recueilli dans un réservoir spécial est distribué ensuite par un robinet dans le vaporisateur formé d'un serpentín de grande capacité immergé dans un bain de chlorure de calcium ; l'ensemble de cet appareil constitue le réfrigérant ou congélateur. C'est là le générateur de froid proprement dit.

Dans le serpentín, l'ammoniac liquéfié n'étant plus soumis à la pression élevée qui le maintenait à l'état liquide, se détend et reprend l'état gazeux.

Mais cette transformation exige une grande quantité de chaleur, et ainsi que nous l'avons vu le gaz ammoniac en passant de l'état liquide à l'état gazeux, absorbe les calories correspondantes à sa chaleur de vaporisation.

Pour l'ammoniac, la chaleur de vaporisation est très grande et voisine de 300 calories environ par kilogramme de liquide vaporisé.

Il y a donc de ce fait une production intense de froid, et le bain de chlorure auquel sont soustraites ces calories peut être facilement amené et maintenu à des températures de 20 à 25° au-dessous de 0.

Pour rendre le fonctionnement continu, la disposition est la suivante :

Le gaz détendu, après avoir produit son action frigorigène dans le serpentín du congélateur est envoyé dans un récipient appelé vase d'absorption ou régénérateur. Grâce à l'injection d'une solution de faible teneur en gaz, il y est absorbé complètement et reconstitue une solution concentrée appelée *liquide riche*.

Il suffit donc de ramener cette solution riche à la chaudière où, sous l'influence de la chaleur, elle pourra de nouveau être décomposée, comme il vient d'être expliqué.

Le cycle se trouve ainsi fermé et l'appareil est susceptible d'une marche continue.

Le refoulement du liquide riche à la chaudière se fait en général dans tous les appareils à affinité construits jusqu'à ce jour au moyen d'une pompe puisant le liquide régénéré dans le vase d'absorption, au fur et à mesure de sa production.

Cette pompe est manœuvrée par un petit moteur ou une transmission.

Quant au liquide à faible teneur ou *liquide pauvre* qui sert à l'absorption, il est pris dans la partie basse de la chaudière où se concentre par décantation, au fur et à mesure de la distillation, le liquide le plus dense, qui est aussi le plus pauvre en gaz ammoniac.

Pour compléter cette description générale des appareils à affinité, il

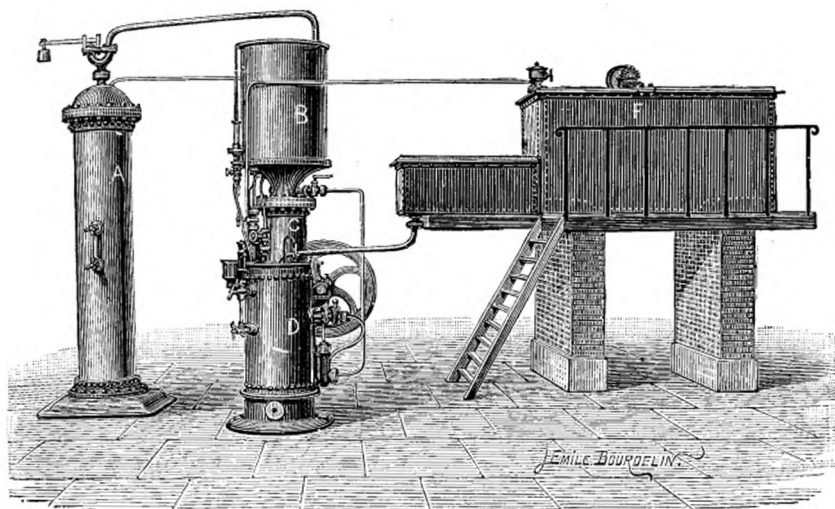


Fig. 76. — Appareil à absorption système Rouart pour la fabrication de la glace opaque.

Il y a lieu d'ajouter que la dissolution du gaz dans le vase d'absorption dégage une grande quantité de chaleur qu'il est nécessaire de soustraire continuellement par un courant d'eau fraîche : sans quoi la dissolution deviendrait de plus en plus difficile et cesserait bientôt de s'accomplir. Pour les mêmes raisons, il est important de refroidir autant que possible le liquide pauvre dissolvant, venant directement de la chaudière à ammoniacque : d'où un certain nombre de dispositions communes à ces sortes de machines.

Dans les appareils à affinité système Rouart, l'évaporation du gaz ammoniac liquéfié a lieu dans des serpentins plongeant dans un liquide incongelable. La température de ce liquide s'abaisse alors rapidement

et sert d'une part à emmagasiner ce refroidissement, d'autre part à le transmettre aux substances liquides ou solides avec lesquels il se trouve ou aux enceintes à refroidir, dans lesquelles il circule.

Une solution d'ammoniaque à 28° B. est contenue dans une *chaudière* A (fig. 76), chauffée soit à feu nu soit à la vapeur à une température de 150° environ. Sous l'influence de la chaleur, le gaz ammoniac se dégage, sort de la chaudière, passe dans une série de serpentins entourés d'eau froide et qu'on appelle le *liquéfacteur* B; là il se refroidit et se liquéfie sous sa propre pression. Il vient alors s'accumuler à l'état liquide dans un vase clos en fer appelé *réceptif de gaz liquéfié* C; de ce réceptif le gaz ammoniac, liquide sous l'influence de la pression, vient aux serpentins du *congélateur* D, où il distille. Cette distillation a lieu à une température de 33° à la pression ordinaire. Il en résulte un abaissement considérable de la température de l'enceinte entourant les serpentins. En sortant du congélateur il arrive dans un réceptif appelé *vase à absorption* E; il y trouve une solution d'ammoniaque pauvre, c'est-à-dire ne marquant que 20° ou 21° B. Il s'y dissout en l'enrichissant. La solution marque alors 27° ou 28° B. Cette absorption, qui permet la détente du gaz dans les serpentins du congélateur, produit une élévation de température que l'on combat par une circulation d'eau rapide. La solution riche est alors prise par une *pompe* H, qui l'envoie de nouveau dans la chaudière en lui faisant traverser l'*échangeur* F.

Le liquide pauvre que renferme le vase à absorption y était venu du fond de la chaudière sous l'influence de la pression.

Ce liquide, parti chaud de la chaudière, doit arriver froid dans le vase à absorption pour être mieux à même d'absorber le gaz. Le liquide enrichi dans le vase à absorption et qui est refoulé par la pompe dans la chaudière doit au contraire y rentrer chaud afin d'économiser le combustible ou la vapeur. C'est dans ce but que l'*ÉCHANGEUR* est disposé : c'est un vase clos dans lequel circulent en sens inverse les deux liquides, la solution riche entourant un serpentin dans lequel circule la solution pauvre : La température de la première s'élève tandis que celle de la seconde s'abaisse.

L'appareil forme donc le circuit dont nous avons parlé dans lequel le gaz ammoniac est successivement liquéfié, évaporé et redissous par l'eau; tandis que la chaleur dégagée pendant la liquéfaction et la dissolution du gaz, est absorbée par un courant d'eau suffisamment énergique; on voit que dans cet appareil la pompe est supprimée et remplacée,

comme effet, par l'affinité du gaz ammoniac pour l'eau, de là le nom de *machine à affinité* sous lequel on la désigne. Comme force motrice, cette machine n'en exige d'autre que celle qui est nécessaire pour le mouvement du liquide régénéré à la chaudière, dépense très minime en somme.

Les différents organes sont disposés sur une *plaque de fondation*.

On construit généralement un petit bloc en maçonnerie, de nature quelconque destiné à porter cette plaque de fondation. Des boulons de scellement servent à assujettir sur cette maçonnerie la plaque de fondation sur laquelle repose tout l'appareil.

Les chaudières employées pour la distillation de l'ammoniaque sont soit des chaudières chauffées à feu nu, soit des chaudières chauffées à la vapeur.

1^{re} Chaudières chauffées à feu nu. — Le fourneau qui entoure la chaudière est généralement en briques.

Il porte vers la partie supérieure de la surface de chauffe une cloison de même nature, destinée à forcer la flamme à contourner la chaudière.

La fumée s'échappe par un tuyau en tôle placé à la partie supérieure et garni d'un registre de fer destiné à régler le feu.

Des ouvertures sont ménagées avec soin d'une part pour la place des tubulures et d'autre part pour le nettoyage des carnaux et des parois de la chaudière.

Le fourneau porte la chaudière qui vient s'appuyer sur lui au moyen de supports. Le plan supérieur doit donc être parfaitement horizontal afin que la chaudière soit bien verticale.

La chaudière, enfin, doit être soigneusement nettoyée afin d'éviter la présence des corps étrangers qui pourraient entraver la marche.

2^e Chaudières chauffées à la vapeur. — Le chauffage par la vapeur de la chaudière de distillation présente les avantages habituels de cette méthode, avantages qui ne sont pas néanmoins dans le cas présent d'un intérêt primordial.

La chaudière est alors placée sur un petit four en maçonnerie et le chauffage s'obtient au moyen d'un serpentin de chauffage ayant à son intérieur une branche en forme d'S.

Ce serpentin est fixé sur la plaque de fondation de la chaudière au moyen de deux joints.

La pression qui est nécessaire pour un bon chauffage à la vapeur varie avec la température des eaux employées à la liquéfaction du gaz ammoniac ; plus ces eaux sont chaudes, plus la pression de la vapeur de chauffage doit être grande ; elle varie généralement entre 4 et 6 atmosphères.

L'arrivée de la vapeur est réglée au moyen de robinets de bronze à vis sans fin.

Quel que soit le système de chauffage employé, la chaudière porte dans sa partie supérieure une série de plateaux en cascade tous reliés entre eux, qui constituent le *rectificateur*.

La partie supérieure est disposée de telle sorte que le rebord de ce rectificateur repose sur un entablement ménagé à la partie supérieure de la chaudière, le plateau supérieur devant être toujours parfaitement horizontal.

Le couvercle est fixé à la chaudière elle-même avec interposition d'une rondelle en caoutchouc destinée à faire un joint hermétique. Le couvercle porte deux tubulures :

À la première s'adapte une pièce en fonte se divisant en deux branches dont la plus petite porte une *soupape de sûreté*, et l'autre reçoit le tuyau de dégagement qui conduit le gaz au liquéfacteur.

La deuxième tubulure est celle de la rentrée du liquide riche.

L'échangeur est placé à côté de la chaudière, puis au-dessus de lui se trouve un robinet servant de support à la pompe.

Le liquéfacteur est enfin placé sur le couvercle même de l'échangeur.

Le récipient de gaz liquéfié est posé sur le support venu de fonte avec le collier fixé sur l'échangeur.

Il est formé d'un vase en fer forgé fermé par un couvercle en fer ayant un bossage au centre, portant une bride par laquelle arrive le gaz liquéfié et une tubulure sur le côté portant une autre bride recevant le tuyau conduisant le gaz au congélateur.

Il porte latéralement un tube de niveau dioptrique dont les garnitures sont en caoutchouc-toile afin d'éviter toute fuite.

La pompe et sa boîte à soupape se fixent sur le corps de l'échangeur.

Le corps de pompe porte à sa partie supérieure une tubulure latérale qui vient aboutir par un petit tube à la tubulure de côté de la boîte à clapets.

À l'intérieur du corps de pompe se meut un piston à anneaux métal-

liques, dont la tige traverse la boîte dans laquelle l'étaupe des pompes ordinaires est remplacée par du caoutchouc.

Le mouvement est donné au piston au moyen d'une bielle mise en mouvement par un arbre placé sur le collier garni de coussinets en bronze. L'arbre porte un volant recevant le mouvement d'un moteur ou mû à bras.

Le vase à absorption est formé d'un cylindre en tôle à faisceau tubulaire boulonné sur la plaque de fondation.

Un tuyau placé dans l'intérieur du vase à absorption et à la partie inférieure traverse la partie supérieure pour venir se relier avec le robinet distributeur de liquide pauvre.

La plaque tubulaire du haut porte un purgeur; la plaque de fondation en fonte forme réservoir, elle porte une tubulure munie d'un robinet servant à régler l'écoulement de l'eau ayant passé dans le faisceau tubulaire.

Un robinet sert de point de départ à un tube allant au manomètre du vase à absorption.

Le refroidisseur est placé au-dessus du vase à absorption. Le congélateur est enfin établi sur des madriers posés à même et calés sur le sol.

Entre la bache et son enveloppe en bois, pour éviter le réchauffement, il existe un vide qui doit être rempli par un corps non conducteur, tel, par exemple et de préférence à tout autre, de la sciure de bois desséchée.

La bache du congélateur contient des serpentins qui se relient à un collecteur en fer placé à la partie inférieure.

La tubulure du collecteur remonte le long de la bache et est reliée au refroidisseur par un tube spécial.

Les serpentins du congélateur se terminent par un collecteur distributeur carré parfaitement horizontal sur lequel se trouve le robinet *a* du gaz liquéfié.

Sur le collecteur distributeur se trouvent, en face de chaque tube du serpentin du congélateur, de petites vis permettant le nettoyage des orifices de distribution, lorsque ceux-ci viennent à se boucher. L'agitation dans le congélateur est faite par une turbine placée sur le côté de la bache et munie d'une poulie.

Les indicateurs de niveau dioptrique placés sur le récipient et sur la chaudière permettent de distinguer fort nettement si le tube est vide

ou plein, ce qui n'est pas toujours facile à première vue dans un tube ordinaire. Si le tube est vide, en regardant à travers l'un des trous pratiqués dans le tube de cuivre on voit l'image du trou placé immédiatement en face se former en ellipse allongée verticalement.

Si le tube est plein, le trou prend au contraire la forme d'une ellipse allongée horizontalement.

Il est urgent de s'assurer, de temps en temps, que le tube de verre du récipient de gaz liquéfié n'est pas obstrué par les bavures du caoutchouc. Dans ce cas pour les nettoyer, on doit employer des baguettes en bois et non en fer.

Sur le parcours des tuyaux, qui servent à réunir entre eux les différents organes dont nous venons de donner la description, se trouvent plusieurs robinets dont voici la nomenclature.

- a) Robinet réglant l'écoulement du gaz liquéfié dans le congélateur.
- c) Robinet réglant l'écoulement du liquide pauvre.
- d) Robinet de rentrée du liquide riche.
- e) Robinet de départ du liquide pauvre.
- h) Robinet d'aspiration de la pompe.
- i) Robinet de refoulement de la pompe.

En outre de ces robinets, il en existe un pour le manomètre de la chaudière, et un pour le manomètre du vase à absorption.

Ces robinets sont faits de manière à rester complètement étanches et à éviter toute perte d'ammoniaque.

La circulation d'eau dans l'appareil est assez complexe.

L'eau est amenée au liquéfacteur par un tube plongeant jusqu'au fond de la bûche.

Une fois réchauffée elle s'échappe par le trop-plein placé à la partie supérieure auquel on raccorde un tuyau pour conduire l'eau à l'égout. Un robinet placé sur le tube d'arrivée sert à régler la dépense.

Le tuyau qui amène l'eau de circulation au vase à absorption est fixé au robinet qui sert à régler la dépense; le trop-plein s'échappe par un orifice placé à la partie supérieure.

Les *purgeurs* enfin sont de petites vis à tête ronde percées d'un trou que l'on peut tourner à l'aide d'une broche. Ils se trouvent sur le vase à absorption; l'échangeur est sur le bossage central du couvercle de l'échangeur.

Les purgeurs de l'échangeur ne doivent jamais être ouverts pendant

la marche ; ils ne servent qu'au moment du remplissage de l'appareil.

L'introduction d'ammoniac dans l'appareil se fait de la façon suivante :

Un orifice est taraudé dans la paroi de la chaudière, un ajutage en fer peut y être vissé ; on y adapte un tube de caoutchouc plongeant dans la solution ammoniacale, on met la pompe en marche et l'appareil se remplit.

Il faut pendant l'opération ouvrir les purgeurs, en particulier, ceux de l'échangeur que l'on ferme dès que le liquide apparaît.

Le remplissage terminé, on remplace l'ajutage par un bouchon en faisant le joint au moyen d'une rondelle d'étain placée sous la tête.

Le rôle de chacun des organes de l'appareil est la conséquence immédiate de la théorie de l'opération.

La solution ammoniacale placée dans la chaudière perd le gaz qu'elle tient en dissolution lorsqu'on la chauffe.

A mesure qu'elle perdra son gaz, elle deviendra de plus en plus lourde, de sorte que le liquide qui contient le moins de gaz ammoniac sera au fond de la chaudière, tandis que le gaz dégagé montera à la surface du liquide et s'échappera par le tube qui l'amène au liquéfacteur.

Suivons le gaz dans son parcours, nous reviendrons plus tard sur le liquide appauvri.

Le gaz arrivé au liquéfacteur, s'y accumule en produisant une pression qui amène bientôt sa liquéfaction : on le voit alors couler sous forme de liquide dans le réservoir à gaz liquéfié. Si on ouvre le robinet de ce réservoir il s'élancera dans le congélateur où, n'étant plus soumis à la pression qui le tenait liquéfié, il se vaporise rapidement en produisant un froid très énergique ; les vapeurs ammoniacales se condensent dans le vase à absorption où elles trouvent du liquide pauvre en ammoniac et froid.

Comment ce liquide y est-il arrivé ?

Nous avons laissé au fond de la chaudière, sous une pression égale à celle du liquéfacteur, c'est-à-dire environ 10 atmosphères, un liquide appauvri. Sous l'influence de la pression il se rend dans le vase à absorption en passant à travers les serpentins de l'échangeur où il se refroidit.

Arrivés ensemble par des chemins différents, le liquide pauvre et le

gaz se recombinent promptement pour former de la solution riche qui est prise par la pompe et refoulée sans cesse dans la chaudière à travers l'échangeur autour des serpentins qui laissent circuler le liquide pauvre et chaud.

Enfin le rectificateur placé à la partie supérieure de la chaudière est un réservoir à liquide très riche.

La première opération de la mise en marche de l'appareil consiste à le débarrasser aussi bien que possible de l'air qu'il renferme.

On allume un petit feu ou on chauffe doucement par la vapeur ; on ferme le robinet de prise de liquide pauvre et on ouvre tous les autres robinets, on remplit d'eau les bâches du liquéfacteur et du vase à absorption, on dévisse de quelques tours le purgeur placé dans ce vase à absorption. La chaleur fait dégager le gaz qui chasse l'air devant lui et comme il n'y a pas d'autres issues que celle qu'on a ménagée au purgeur, l'air s'échappe par ce point en venant crever à la surface de l'eau sous forme de grosses bulles.

Au bout d'un certain temps la dimension de ces bulles diminue ; il sort alors un mélange d'air et de gaz ammoniac ; ce dernier se dissout dans l'eau ; bientôt il ne vient plus que du gaz, on entend alors un sifflement et l'eau s'échauffe rapidement ; à ce moment il faut fermer le purgeur.

Il ne faut jamais enlever les bouchons purgeurs ; ils ne doivent être que desserrés de quelques tours.

Cette opération de la purge doit se faire avec très peu de feu et à une très petite pression : on perd de cette manière moins de gaz ammoniac et la purge est plus complète.

Mais il est d'une extrême importance qu'il existe une certaine pression dans l'appareil, $1/8^e$ d'atmosphère par exemple, autrement on pourrait y faire rentrer de l'eau par le purgeur.

Quelles que soient les précautions prises, la purge n'est jamais radicalement, et en ouvrant de temps à autre pendant le travail le purgeur, on voit sortir de l'air. On doit essayer de faire la purge tous les matins.

Si l'appareil fonctionne seulement pendant le jour, il suffit, après avoir usé tout le gaz liquéfié contenu dans le récipient, de laisser ouvert comme en marche le robinet d'écoulement de gaz liquéfié pendant 10 ou 15 minutes.

Si l'appareil fonctionne nuit et jour, il faut user complètement le gaz liquéfié contenu dans le récipient, puis laisser ouvert comme en

marche normale le robinet d'écoulement de gaz liquéfié pendant 10 à 15 minutes, le fermer ensuite pour laisser monter le niveau du gaz liquéfié et mettre en marche quand le niveau atteint le sommet du récipient.

La marche de l'appareil dépend beaucoup du soin avec lequel cette opération est faite. Ce purgeur une fois fermé l'appareil est prêt à mettre en marche normale.

On active alors légèrement le feu et on commence à faire circuler l'eau dans la bache de liquéfaction, les robinets de l'appareil étant fermés.

Au bout d'un certain temps on voit apparaître dans le récipient C le gaz liquéfié.

La pression à laquelle ce liquide fait son apparition est variable avec la température de l'eau qui sert à la condensation ; elle se fait généralement entre 6 et 9 atmosphères. Dans les pays très chauds, on peut être obligé d'aller jusqu'à 11 atmosphères et à 13 à la mise en marche pour voir apparaître le niveau du gaz liquéfié.

Le gaz ammoniac liquéfié se présente dans le tube de niveau sous la forme d'un liquide transparent et complètement incolore, excepté dans les premiers jours de marche où il a quelquefois une légère teinte bleue.

Son niveau s'élève graduellement jusqu'à remplir le récipient C.

S'il tardait trop longtemps à paraître, cela pourrait tenir à des obstructions dans les tuyaux ; si l'on avait des doutes à cet égard, il vaudrait mieux abaisser la pression et s'assurer que tout est bien régulier.

Quand la pression de la chaudière est devenue de 2 atmosphères à 2 atmosphères $\frac{1}{2}$ supérieure à celle à laquelle s'est faite l'apparition du gaz liquéfié, on ouvre avec une grande précaution et par petits mouvements le robinet de détente. On voit presque instantanément le givre se former à partir de ce robinet.

Lorsque le manomètre du vase à absorption marque une atmosphère $\frac{1}{4}$, il faut ouvrir le robinet de prise de liquide pauvre et ensuite faire fonctionner la pompe de manière à entretenir un niveau à peu près constant, situé aux $\frac{3}{4}$ de la hauteur du tube de verre placé sur le vase à absorption.

Pour cet essai on ne doit pas mettre de liquide incongelable autour des serpentins du congélateur ; on les voit alors se recouvrir de givre et on constate qu'ils travaillent tous également et qu'il n'y a pas d'obs-

truction. S'il en est ainsi, on verse dans la bache du congélateur la solution de chlorure de calcium dans l'eau qui doit servir de liquide incongelable. Il faut qu'elle marque environ 30° à l'aréomètre de Baumé et contienne à peu près en poids 30 0/0 de chlorure de calcium et 70 0/0 d'eau. Il en faut une quantité suffisante pour que les vases à congeler étant en place le niveau de ce liquide vienne couvrir la première rangée des serpents.

Toute la difficulté de la conduite de la machine est concentrée dans le rapport entre l'ouverture du robinet de détente de celui de gaz liquéfié et de celui du liquide pauvre. On ne peut y arriver que par tâtonnement.

On doit ouvrir le robinet de détente de manière à lui faire dépenser à peu près tout le gaz liquéfié qui se produit et par conséquent entretenir dans le récipient C un niveau sensiblement constant. Il y aura moins d'inconvénient à laisser monter un peu trop ce niveau qu'à le laisser trop descendre.

Pour régler l'ouverture du robinet du liquide pauvre il faut se guider sur la pression indiquée par le manomètre du vase à absorption ; cette pression en marche régulière doit être maintenue entre 1 atmosphère $\frac{1}{4}$ et 1 atmosphère $\frac{1}{2}$. Elle augmente si ce robinet est trop fermé, elle diminue s'il est trop ouvert.

Dans la marche normale de l'appareil un certain nombre de conditions doivent être remplies :

1° Le liquide de la chaudière doit conserver un niveau sensiblement constant.

2° Le gaz liquéfié doit conserver dans le réservoir C un niveau à peu près constant.

Il y a peu d'inconvénient à ce que le récipient soit plein de gaz ; il y en a beaucoup à ce qu'il soit vide ; il ne faut pas non plus que le liquéfacteur se remplisse de gaz liquéfié.

3° La pression de la chaudière doit se maintenir constante.

4° La pression du manomètre du vase à absorption doit être maintenue à 1 atmosphère $\frac{1}{4}$ environ.

5° La température du congélateur doit être maintenue constante par un changement rationnel des mouleaux à glace à 12° centigrades environ au-dessous de 0° .

Pour obtenir ces résultats il faut que le chauffage soit lent et régulier.

Il est par suite nécessaire de régler d'une manière convenable avec beaucoup de précautions les ouvertures des robinets de gaz liquéfié et de prise du liquide pauvre et il faut surveiller attentivement le jeu de la pompe. On ne doit jamais laisser le niveau du liquide disparaître ni en haut ni en bas, dans la chaudière et dans le vase à absorption et jamais en bas dans le réservoir de gaz liquéfié.

Il est important que le liquide pauvre arrive au vase à absorption suffisamment appauvri; on peut s'en assurer au moyen d'un robinet-éprouvette sur le tuyau arrivant au robinet distributeur de liquide pauvre. Le liquide pauvre tiré par ce robinet en pleine marche de l'appareil, ne doit pas marquer plus de 18 à 20° à l'aréomètre de Cartier. S'il marquait seulement 16 à 17°, la solution serait trop pauvre et il faudrait l'enrichir.

Cette opération est pratiquée de la façon suivante :

On jette bas le feu ou on ferme le robinet d'arrivée de vapeur pour laisser refroidir la chaudière pendant quelques heures. On tire ensuite par le petit robinet d'éprouvette placé sur le tuyau vertical du complément d'échangeur la moitié environ de la solution appauvrie contenue dans la chaudière. On remplace par une égale quantité de solution riche que l'on introduit, en faisant mouvoir la pompe par l'ajutage prolongé d'un tube de caoutchouc comme pour le remplissage. Cet ajutage se visse dans l'épaisseur de la bride d'aspiration de la pompe.

La chaudière, le récipient de gaz liquéfié et l'échangeur doivent être vidés et nettoyés tous les 6 mois.

La température du vase à absorption ne doit jamais excéder 40° et doit être moins élevée autant que possible. On doit s'assurer de temps en temps que la circulation de l'eau dans le faisceau tubulaire n'est pas gênée, soit par le dépôt qu'elle aurait pu former, soit par des corps étrangers entraînés.

La pompe très simple d'ailleurs, est la seule partie mécanique de l'appareil; on doit en faire avec soin la garniture en caoutchouc de la partie supérieure; elle doit être très peu serrée, mais suffisamment pour éviter les fuites d'ammoniac. On doit lubrifier cette garniture avec de la glycérine ou un mélange d'huile et de cette substance.

Glycérine	75
Huile	25

Si la pompe ne donnait pas, ce dont on s'aperçoit facilement à l'élé-

vation du liquide dans le vase à absorption et au peu de résistance qu'elle donne quand elle est manœuvrée à bras, il se trouverait probablement des corps étrangers logés dans le clapet d'aspiration.

On s'en assure facilement en le démontant, après avoir eu soin de fermer tous les robinets et d'arrêter le feu ou la vapeur.

On ne doit jamais toucher à la boîte à clapets sans avoir fermé, au préalable le robinet de refoulement de la pompe et celui d'aspiration.

Il arrive aussi quelquefois que la pompe ne donne pas, parce qu'il n'y a pas de pression dans le vase à absorption, ou bien parce que le liquide enfermé dans ce vase est trop riche et laisse échapper son gaz sans être entraîné.

Dans le premier cas, il faut augmenter l'arrivée du gaz venant du congélateur. Dans le second cas, il faut au contraire arrêter l'arrivée du gaz venant du congélateur, continuer à pomper, et si l'effet se maintenait trop longtemps, démonter le couvercle de la boîte à clapets, et introduire un peu d'eau pour l'amorçage.

La force motrice qu'il est nécessaire d'employer, tant pour la manœuvre de la pompe que pour l'agitation dépend de la quantité de chaleur absorbée et par suite de la quantité de glace produite.

Le tableau ci-dessous donne la force motrice nécessaire dans les machines Rouart correspondant aux diverses productions des modèles de différentes tailles.

Quantité de glace produite à l'heure	Quantité de chaleur absorbée correspondante	Force motrice nécessaire pour la pompe et l'agitation
12 kilogrammes	1.200 calories	1/8 de cheval
25 —	2 500 —	1/6 —
50 —	5.000 —	1/4 —
100 —	10 000 —	2/3 —
200 —	20.000 —	1 cheval 1/3
300 —	30.000 —	2 chevaux 1/2
500 —	50.000 —	—

Signalons enfin dans la marche de l'appareil un accident qui peut se produire. Il arrive quelquefois que par suite de mauvaise direction de l'appareil on amène dans le congélateur une partie de la solution ammoniacale qui s'y rend, soit par le tuyau plongeant dans le vase à absorption, soit lorsqu'il y a eu projection de solution ammoniacale, de la chaudière dans le liquéfacteur.

Pour éviter ces projections, il faut chauffer bien régulièrement et ne

jamais brusquer le robinet de gaz liquéfié. Dans tous les cas, cette solution projetée est extraite sans qu'il y ait autrement besoin de s'en occuper par le fait de la circulation, l'action refroidissante de l'appareil a seulement été entravée pendant un temps qui peut être quelquefois assez long.

Cet inconvénient n'existe pas dans les appareils où le congélateur est élevé au-dessus du vase à absorption.

A côté de ces grands appareils, la maison Rouart construit aussi des appareils Carré de petites dimensions, dits *appareils domestiques*, formés ainsi que le montre la figure des mêmes organes: une chaudière A renfermant la solution ammoniacale que l'on place sur le feu ou dans un bassin plein d'eau suivant que l'on veut faire dégager l'ammoniac ou la dissoudre, et un liquéfacteur ou condenseur B formé par un vase à double enveloppe. L'ammoniac se liquéfie dans l'espace annulaire, tandis que dans la partie centrale E se place l'objet à congeler.

L'appareil forme une

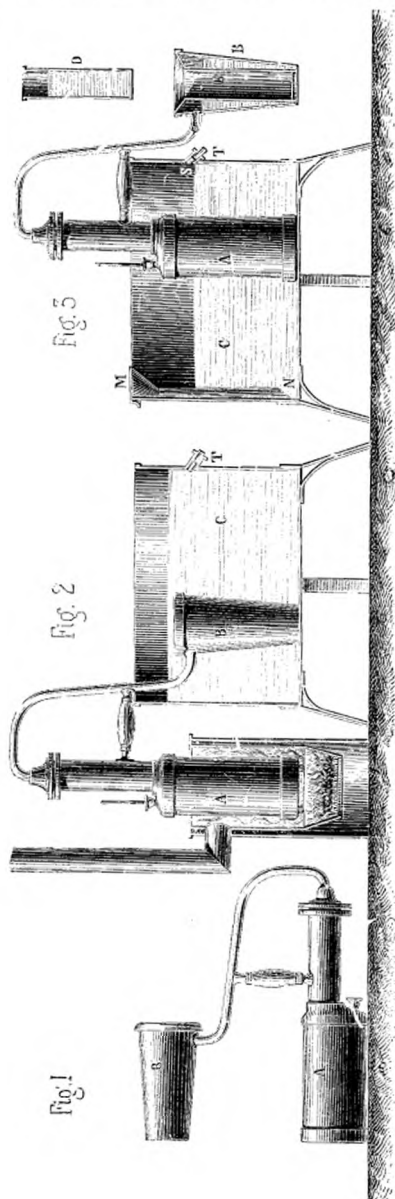


Fig. 77. — Appareil domestique Carré.

enceinte absolument fermée et complètement isolée du milieu extérieur.

La chaudière est remplie aux $\frac{3}{4}$ d'une solution ammoniacale concentrée qui sert indéfiniment. Pendant le chauffage, le gaz ammoniac se dégage de cette solution et passe à l'état liquide dans le congélateur. Pendant la congélation, ce gaz liquéfié se volatilise et retourne dans la chaudière. C'est en se volatilisant qu'il produit une assez grande quantité de froid pour congeler l'eau ou toute autre substance placée dans le vase D.

Lorsque l'on veut mettre l'appareil en marche on doit effectuer un certain nombre de manœuvres.

Avant chaque opération, il est nécessaire de coucher l'appareil et de le maintenir environ 10 minutes dans la position représentée à la fig. 1, c'est-à-dire le congélateur au-dessus de la chaudière A.

Puis on redresse lentement la chaudière A dans la position verticale, on la place dans le fourneau, et le congélateur B dans un baquet C rempli d'eau froide, de telle sorte que le sommet du congélateur soit recouvert de 2 à 3 cm par l'eau ; on verse alors un peu d'huile dans le petit tube qui se trouve à la partie supérieure de la chaudière, et on place un thermomètre dans ce tube ; on doit s'assurer que ce thermomètre baigne bien dans l'huile. — On chauffe *modérément*, jusqu'à environ 130° centigrades.

On enlève la chaudière du feu, on laisse couler entièrement l'eau qui se trouve dans le vase interne E, on bouche le trou du congélateur, on place la chaudière dans le baquet C après avoir eu soin d'enlever le bouchon T, de manière qu'elle plonge dans l'eau seulement jusqu'aux $\frac{3}{4}$ de sa hauteur ; on met dans le vase interne E le vase D rempli aux $\frac{3}{4}$ de l'eau à congeler, on remplit avec de l'alcool l'espace restant libre entre ces deux vases, on entoure le congélateur d'une enveloppe en laine bien sèche. Le travail s'opère alors sans qu'il soit besoin de s'en occuper. Pour détacher la glace, il suffit de plonger extérieurement le vase D dans l'eau du baquet. Pour recueillir l'alcool, on débouche le trou qui est au fond du congélateur, et on incline l'appareil.

L'appareil en fonction ne doit jamais être renversé ni même incliné notablement.

Lorsque l'appareil a été renversé, ce qui arrive toujours dans les transports, il faut, avant de le mettre en fonction, le maintenir pendant une heure environ dans la position de la figure I, afin qu'il ne reste pas

de solution ammoniacale dans le congélateur, plonger ensuite le bas de celui-ci dans de l'eau chaude pendant un quart d'heure, et ramener l'appareil dans la position de la figure pendant le même temps.

De temps en temps, avant de commencer une opération, il faut plonger le congélateur dans un seau d'eau chaude pendant un quart d'heure et ensuite coucher l'appareil pendant le même temps, dans la position indiquée par la fig. 76 — Le but de cette opération est de faciliter le retour dans la chaudière de la solution ammoniacale qui s'est accumulée dans le congélateur.

Pendant le chauffage et pendant la congélation, il est bon d'agiter de temps en temps l'eau du baquet et pendant la congélation il faut renouveler l'eau au moins une fois. Le meilleur moyen de renouveler l'eau du baquet pendant la congélation, c'est de verser l'eau froide dans l'entonnoir MN qui plonge jusqu'au fond du baquet; de cette manière l'eau la plus chaude, qui se trouve toujours dans la partie supérieure, est celle qui s'écoule par le trou S. Dans tous les cas l'eau la plus fraîche donne les meilleurs résultats.

La température de 130° indiquée pour le chauffage de l'appareil est suffisante lorsque l'eau du baquet C servant à la liquéfaction du gaz ammoniac est à la température commune des puits, soit 12 degrés; si l'on n'avait que des eaux plus chaudes, il faudrait pousser plus loin le chauffage pour obtenir une opération complète; ainsi avec de l'eau à 25° il faut chauffer jusqu'à environ 150 degrés.

La durée du chauffage pour l'appareil de 1 kg. est environ de 55 minutes.

La durée du chauffage pour l'appareil de 2 kg. est environ 1 heure 30 minutes.

La durée de la congélation est à peu près la même que celle du chauffage. Le chauffage doit être fait au charbon de bois.

On peut dans ces appareils se servir d'un thermomètre spécial qui donne les indications suivantes :

Une flèche indique	130° centigrades
Une marque qui se trouve au-dessus indique.	140° —
Et la dernière indique	150° —

Cette température de 150° ne doit jamais être dépassée.

Il est essentiel de s'assurer que le tube où l'on place le thermomètre renferme toujours de l'huile.

Tous les ans avant de remettre l'appareil en marche, il est utile de le purger, c'est-à-dire de chasser l'air qu'il peut contenir et dont la présence empêcherait le fonctionnement de l'appareil. Voici comment on doit opérer :

1° Placer l'appareil dans l'eau froide pendant une heure ou deux, en ayant soin de le secouer de temps en temps, pour que l'absorption du gaz soit bien complète et que, par suite, il n'y ait plus de pression dans l'appareil.

2° Desserrer la vis à tête ronde du purgeur placé sur le congélateur jusqu'au petit trou de purge percé latéralement.

3° Mettre la chaudière sur le fourneau et plonger le congélateur dans l'eau jusqu'à la partie inférieure du purgeur (si le purgeur plongeait entièrement dans l'eau avant que la purge ne soit commencée, l'eau pourrait s'introduire dans le congélateur).

4° Chauffer *très lentement* (avec 2 ou 3 morceaux de charbon de bois). Au bout de quelques minutes, la purge commence, c'est-à-dire que le gaz ammoniac, en se dégageant, chasse devant lui l'air renfermé dans l'appareil, cet air s'échappe par le purgeur ; il faut alors ajouter de l'eau pour couvrir entièrement le purgeur, et l'on voit les bulles d'air venir crever à la surface de l'eau. Après un certain temps il sort par le purgeur un mélange d'air et de gaz ammoniac, ce dernier se dissout dans l'eau et cela indique que la purge commence à avancer. Lorsque les bulles sont excessivement petites et se dissolvent entièrement dans l'eau en faisant entendre un léger sifflement, en échauffant l'eau qui se trouve en contact immédiat avec le purgeur et en blanchissant l'eau, c'est qu'il ne sort plus que du gaz ammoniac pur et que la purge est terminée. On serre alors la vis du purgeur suffisamment pour écraser la petite bague d'étain placée sous la vis et former un joint hermétique. Dans cet état l'appareil est prêt à fonctionner.

La température à laquelle se fait la purge varie avec la température ambiante, elle se fait ordinairement lorsque le thermomètre de la chaudière indique 40 à 45 degrés centigrades.

Enfin lorsqu'il s'agit de changer la solution ammoniacale épuisée, on doit placer l'appareil dans l'eau froide pendant une heure ou deux, en ayant soin de le secouer de temps en temps, pour que l'absorption du gaz soit bien complète et que, par suite, il n'y ait plus de pression dans

l'appareil, puis desserrer presque entièrement la vis à tête ronde du purgeur placé sur le congélateur. Ceci fait on desserre et on enlève entièrement le bouchon à vis placé sur le couvercle de la chaudière ; par l'ouverture formée ainsi on fait sortir lentement et entièrement la solution d'ammoniaque appauvrie qui se trouve dans la chaudière, en ayant soin de retourner plusieurs fois l'appareil pour s'assurer qu'il est bien vide.

On bouche alors les fuites par une soudure formée à parties égales de plomb et d'étain ; on remplit aux $\frac{3}{4}$ la chaudière avec la solution d'ammoniaque concentrée à 28° Cartier, on revisse le bouchon sur le couvercle de la chaudière et on le serre en écrasant la bague d'étain. Le joint est ainsi hermétique. Il est alors nécessaire de purger d'air l'appareil et cette opération terminée, il est alors prêt à fonctionner.

MACHINE WALLICELY

La machine à affinité Wallicely est encore fondée sur le même principe, mais elle présente une modification particulière : la pompe qui sert à refouler le liquide riche dans la chaudière est actionnée et réglée par la machine elle-même.

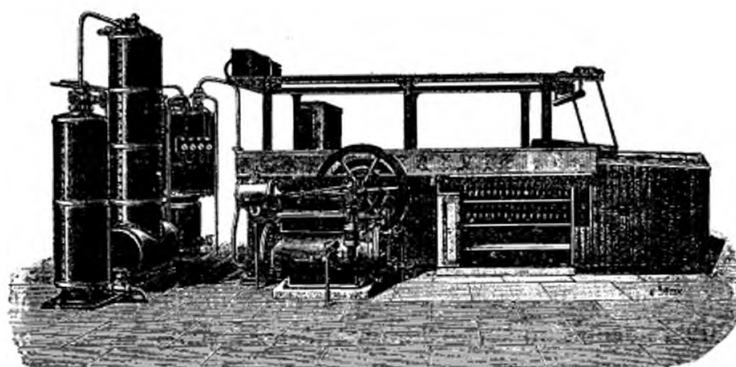
L'appareil comprend encore une *chaudière* A chauffée par la vapeur d'où le gaz se dégage et passe dans le liquéfacteur à travers un serpentín périphérique où il se refroidit et se liquéfie. Il est alors recueilli dans un réservoir de gaz liquéfié F d'où il passe dans le congélateur G où il se détend et se vaporise en produisant un certain abaissement de température. Le gaz détendu passe alors dans la partie centrale du liquéfacteur où il rencontre le liquide pauvre qu'il sature ; la manœuvre de la pompe est assurée par un organe de la machine frigorifique elle-même, susceptible de produire la quantité de travail mécanique nécessaire.

C'est cet organe nouveau qu'on a appelé *pompe automotrice*.

A cet effet, on utilise la chute de pression déterminée à chaque instant par le fait de l'absorption continue du gaz dans le régénérateur, et l'on intercale sur le circuit du gaz un cylindre moteur par lequel on oblige celui-ci à passer, avant de se rendre au régénérateur.

L'écoulement du gaz étant continu, de même que l'absorption, on a ainsi un véritable moteur à basse pression.

Le régénérateur fonctionne d'une façon analogue au condenseur d'une machine à vapeur.



Vue générale.

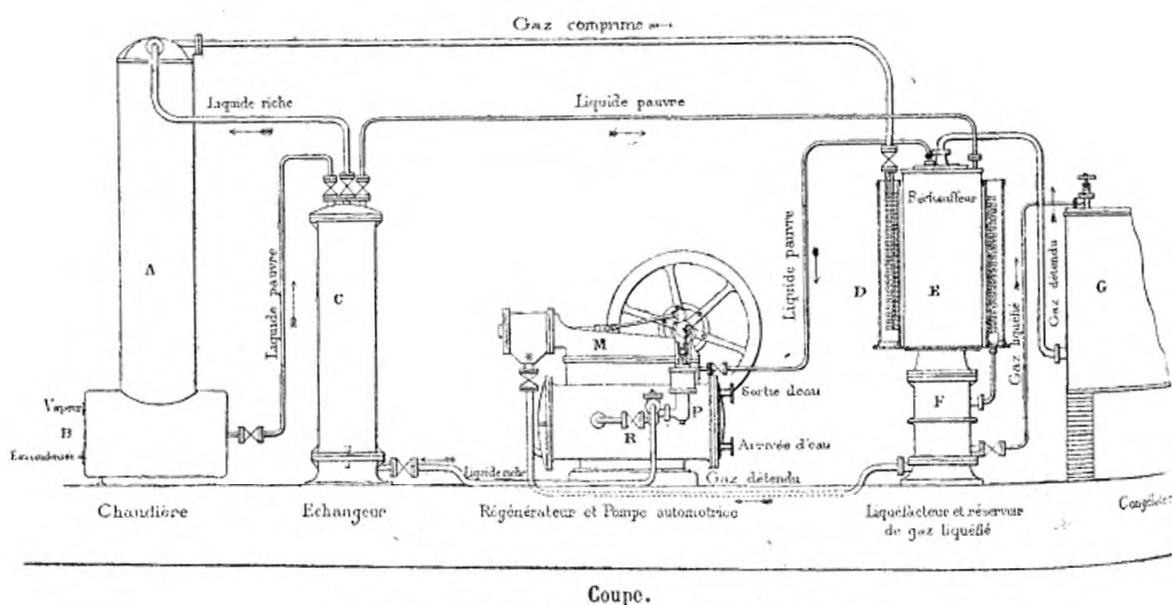


Fig. 78. — Machine à glace automatique système Wallicely.

Il devient dès lors facile d'actionner la pompe en utilisant la force ainsi produite.

On voit immédiatement les avantages d'une pareille disposition :

1° *Utilisation* du travail de détente à accomplir une des fonctions les

plus importantes de la machine, celle sur laquelle repose la continuité du fonctionnement : *auto-régulation* qui en résulte, due à ce que les courants gazeux et liquides étant ainsi rendus solidaires, le régime établi peut se conserver indéfiniment sans qu'il soit besoin d'intervenir.

L'organe automoteur fonctionne en effet comme un véritable *distributeur* de gaz et de liquide à régime invariable.

Il en résulte que la marche est régulière, ne nécessite qu'une surveillance générale peu absorbante, et qu'elle peut se poursuivre des journées entières sans qu'il soit besoin de toucher à un seul robinet.

La conduite devient extrêmement facile.

2° *Récupération* du travail de détente non utilisé, et récupération possible, sous forme de travail mécanique, comme on le verra plus loin, d'un certain nombre de calories jusqu'ici perdues dans les appareils frigorifiques.

Des explications précédentes, il résulte que c'est surtout en vue de la régularisation reconnue indispensable qu'on a imaginé de se servir du travail de détente du gaz.

Mais l'introduction de l'organe moteur et les conditions nécessaires à son bon fonctionnement permettent de réaliser une autre récupération nouvelle et intéressante.

Avant d'introduire le gaz très froid venant du réfrigérant, dans le cylindre moteur, il est nécessaire de le réchauffer pour éviter la congélation des lubrifiants, les grincements des segments du piston et les condensations sur les parois extérieures. Ce réchauffage est encore utile pour vaporiser les entraînements aqueux en faible quantité, il est vrai, qui accompagnent toujours le gaz ammoniac et qui ont réussi à passer à travers les appareils sécheurs. Ces entraînements dissolvent le gaz dans des proportions d'autant plus grandes que la température est plus basse. Le réchauffage vaporise complètement ces entraînements et on augmente ainsi le travail disponible au moteur.

On remarque qu'une telle disposition permet d'utiliser, pour faire ce réchauffage, un certain nombre de calories qui sont ordinairement emportées par les eaux de rafraîchissement et qui sont ainsi totalement perdues. Il suffit de faire entre ces corps chauds et froids des échanges appropriés. C'est ce que réalise la machine Wallicély. Les calories ainsi fournies gratuitement au gaz sont restituées en grande partie sous forme de travail mécanique utilisable.

Cette récupération partielle de la chaleur employée à produire le froid dans les appareils frigorifiques est assez nouvelle : elle procure non seulement une économie mais, comme on verra plus loin, de grandes facilités pour la distribution du froid dans les installations frigorifiques.

La consommation de vapeur varie avec la température des eaux servant à la liquéfaction du gaz.

Température de l'eau servant à la liquéfaction	12 degrés	20 degrés
Quantité de vapeur dépensée pour une production de 10.000 frigories.	40 kilog.	50 kilog.
Quantité de frigories produites par un kilog. de vapeur	250 —	200 —
Quantité de glace produite par un kilog. de vapeur	2 kg. 5	2 —

Dans la machine automotrice, les appareils à haute pression c'est-à-dire 8 à 9 kg. minimum, sont de simples réservoirs, dont certains sont munis de soupapes de sûreté et de robinets d'arrêts, soigneusement clos et ne comportant aucun organe mécanique en mouvement.

Quant au moteur à ammoniac, il fonctionne à une pression normale de un demi-kilogramme au-dessus de la pression atmosphérique, pression très faible par conséquent. Il n'y a donc, par ce fait, aucune difficulté à tenir les joints et les presse-étoupes, aucun danger à redouter.

Les garnitures ne sont serrées que très modérément et ne déterminent aucune usure anormale sur les tiges. Elles sont d'ailleurs très simples et faciles à placer et à entretenir.

La pompe à ammoniac est construite sur le même principe. Les garnitures n'ont pas à supporter la pression de refoulement, mais seulement une pression très voisine de la pression atmosphérique.

Il n'y a ainsi aucune fuite, aucun suintement à craindre et par conséquent aucune mauvaise odeur à redouter.

C'est là un certain avantage sur les systèmes à compression, dans lesquels le compresseur est un organe à haute pression, dont les garnitures de presse-étoupes sont compliquées et exigent des soins délicats et un serrage énergique, usant rapidement les tiges de piston.

Si, pendant une absence prolongée du conducteur, il vient à se produire une anomalie dans la marche, due à une obstruction, un manque

d'eau ou de vapeur, etc., le moteur ralentit progressivement sa marche et finit simplement par s'arrêter sans que cet accident entraîne de plus graves conséquences.

L'allure du moteur est d'ailleurs un excellent indicateur du fonctionnement, auquel on ne saurait se tromper et qui permet même d'exercer la surveillance à distance.

Les principales constances des machines Wallicély sont données dans le tableau ci-dessous.

Numéros	Production à l'heure		Consommation de vapeur	Consommation d'eau fraîche à 10° C.
	En calories négatives	En kilogr. de glace	— Kilog. à l'heure	— Hect. à l'heure
1	10.000	100	40	15
2	20.000	200	70	30
3	30.000	300	110	45
4	40.000	400	140	60
5	50.000	500	175	75
6	60.000	600	210	90
7	80.000	800	280	120
8	100.000	1.000	350	150

La consommation d'eau est calculée pour une température des eaux de refroidissement de 10°. Au-dessus de cette température, il y a lieu d'augmenter le chiffre indiqué. La consommation de vapeur est peu variable.

Pour la fabrication de la glace le réfrigérant est disposé de manière à permettre le démoulage et le remplissage mécanique des mouleaux.

Ces mouleaux sont très solidement construits en tôle galvanisée de 1 mm d'épaisseur. Ils peuvent faire ainsi un long usage sans se détériorer. Ils sont établis pour pains de glace de 20 kg.

MACHINE HIGNETTE

Dans les machines Hignette on a cherché à remédier autant que possible aux causes de mauvais rendement des machines à affinité.

Et, d'abord, quand on chauffe la solution ammoniacale, le gaz se dégage, ce qui est un effet utile. Mais il s'évapore de l'eau en même temps, effet absolument inutile, consommation inutile du charbon em-

Le régénérateur des machines Hignette cherche à produire une dissolution aussi concentrée que possible. Le liquide pauvre arrivant dans l'appareil y chemine lentement et s'enrichit par un contact rendu intime avec le gaz ammoniac, sans que jamais il y ait possibilité pour le liquide pauvre de venir altérer la teneur du liquide riche ainsi obtenu, en s'y mêlant d'une façon quelconque. Dans ce même régénérateur la question de refroidissement a été résolue de façon à chercher à le rendre aussi rationnel que possible.

Le rectificateur se compose en principe d'un faisceau de tubes dans lequel est amené directement à sa sortie du régénérateur le liquide riche et froid qui est obtenu dans ce dernier. Ce liquide circule à l'intérieur des tubes. Le gaz ammoniac entraînant la vapeur d'eau passe au contraire à l'extérieur des tubes à sa sortie de la colonne dans laquelle est chauffée la solution ammoniacale. Sous l'influence du refroidissement produit par la circulation du liquide riche, la vapeur contenue dans le gaz ammoniac se liquéfie et se dépose. L'appareil est conçu de façon que le refroidissement soit méthodique, c'est-à-dire que le gaz rencontre, à travers les parois des tubes, des couches de liquide de plus en plus froides, au fur et à mesure qu'il se dépouille de sa vapeur. Les dimensions des surfaces refroidissantes ont été calculées de façon que, à la sortie du rectificateur, le gaz soit aussi sec que possible. L'eau de condensation est ramenée à la partie inférieure de la colonne de chauffage.

Le régénérateur est disposé comme il suit : à l'extérieur de l'appareil le gaz qui servira à enrichir le liquide pauvre et ce dernier arrivent simultanément dans un même tuyau qui les conduit au régénérateur proprement dit. Celui-ci se compose de séries de tubes horizontaux superposés et mandrinés sur deux plaques tubulaires. Les plaques sont fermées par des portes munies de chicanes de telle sorte que le liquide et le gaz pénétrant simultanément dans les tubes de la partie inférieure de l'appareil soient obligés de circuler dans chaque série horizontale avant de gagner la série supérieure. Chaque tuyau contient à l'intérieur un cloisonnement percé de trous, de façon que l'eau et le gaz subissent un brassage énergique, qui facilite l'absorption de ce dernier. Le refroidissement est obtenu par une circulation d'eau tombant en pluie de la partie supérieure de l'appareil. La solution qui arrive dans l'appareil à la partie inférieure rencontre de l'eau de refroidissement de plus en plus froide et s'enrichit constamment dans sa marche as-

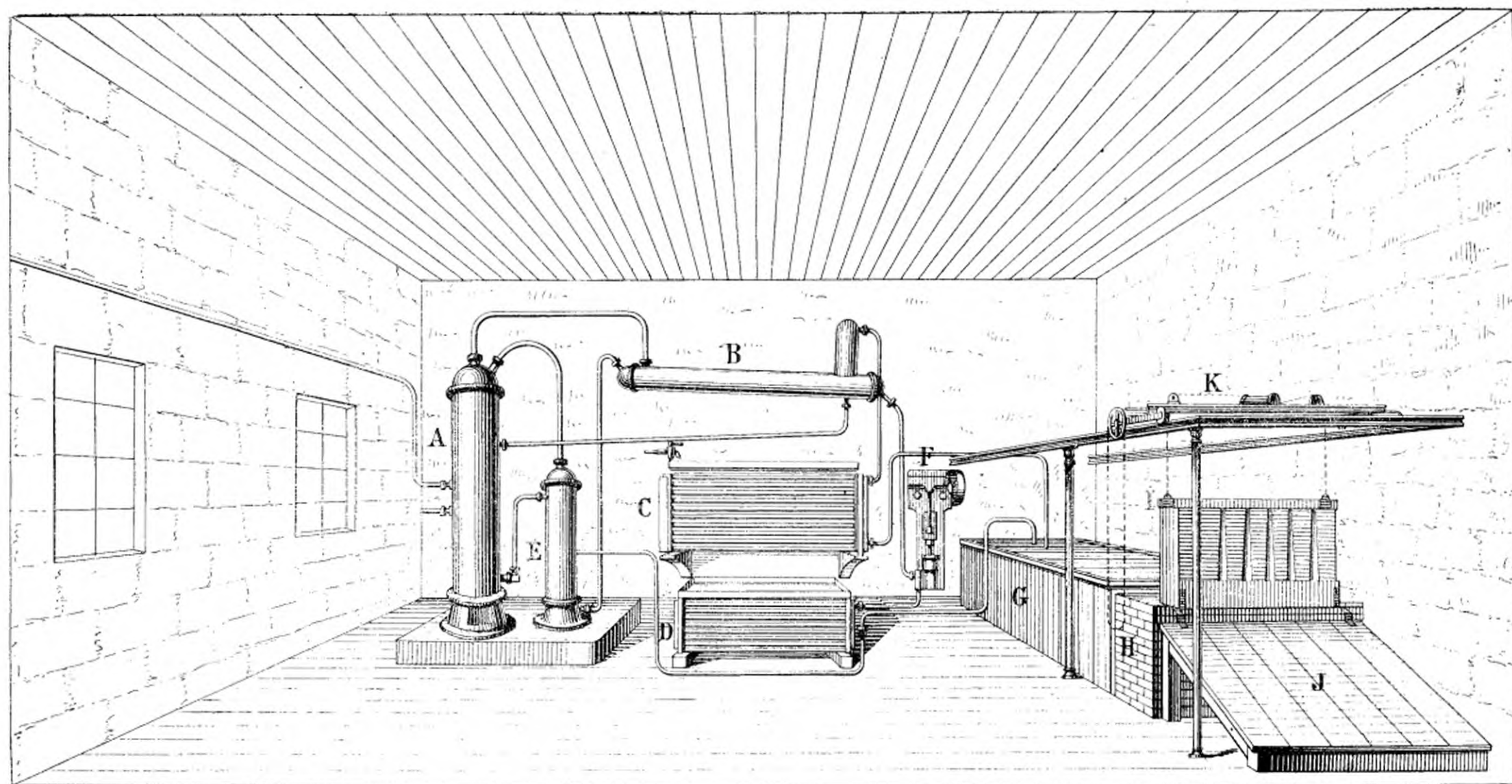


Fig. 80. — Machine frigorifique à affinité de Hignette (300 kgs).

A Colonne à ammoniac.
B Rectificateur.
C Condenseur ou liquéfacteur.

D Régénérateur.
E Vase échangeur.
F Pompe.

G Réfrigérant contenant le liquide incongelable et les mouleaux.
H Cuve à eau chaude pour le démoulage.
I Palonnier pour enlever les mouleaux.

J Plan incliné pour le déchargement des mouleaux.
K Pont roulant.

censionnelle tout en restant complètement isolée pendant ce travail d'enrichissement. A son arrivée dans les rangées supérieures des tubes l'absorption est complète.

Les autres parties de l'appareil ne présentent pas de caractères bien distincts.

CHAPITRE X

DÉTERMINATION DU RENDEMENT ET ÉTUDE COMPARATIVE DES MACHINES A GLACE

Lorsqu'une machine est définitivement installée, que son régime est bien établi, il est de toute nécessité pour un industriel de se rendre compte de la valeur même du rendement de cette machine. C'est là une opération courante en Allemagne, où les applications du froid ont reçu une bien plus grande extension que dans notre pays ; les expériences industrielles sont venues dans ce pays apporter des documents sérieux aux études que les savants allemands ont entreprises et poursuivies pour la comparaison des machines à glace et leur valeur respective.

Nous trouvons dans le remarquable ouvrage de Richard Stetefeld *Der Eis- und Kälte Erzeugungs-Maschinen* une excellente étude sur les recherches que l'on doit effectuer dans la pratique, tant au point de vue industriel, pour la détermination du rendement, qu'au point de vue scientifique, pour la comparaison même des trois principaux agents frigorifiques ⁽¹⁾.

Nous savons que la loi thermique qui régit les machines frigorifiques est représentée par la formule

$$Q_2 + A L_i = Q_1$$

formule dans laquelle :

L_i est le travail du compresseur ;

A l'équivalent mécanique de la chaleur 637 par cheval-vapeur ;

Q_2 la quantité de chaleur que le compresseur a perdu au contact de l'agent frigorifique ;

(1) VI — *Leistungs-Versuche an Kälte Maschinen in der Praxis*, p. 448-470.

Q_1 la quantité de chaleur perdue par l'agent frigorifique dans le réfrigérant.

Chacune de ces quantités doit être déterminée expérimentalement et plus le rapport trouvé pour

$$\frac{Q_2 + A L_i}{Q_1}$$

est voisin de l'unité, plus le rendement de la machine est parfait. Dans une machine parfaite il serait égal à 1, mais il n'en est jamais ainsi étant donné les pertes par rayonnement et par conductibilité qui se produisent dans les différentes fractions de l'appareil. Nous verrons plus loin une autre conception du rendement fondé sur la considération du rapport entre le travail du compresseur et le froid produit.

La détermination de Q_1 , c'est-à-dire de la quantité de chaleur perdue dans le réfrigérant par l'agent frigorifique peut se mesurer en déterminant la quantité de chaleur perdue absorbée par l'eau. Cette détermination comprend :

1° La mesure de la température de l'eau ou plus exactement de la saumure à l'entrée et à la sortie du réfrigérant, mesure qui se fait en plongeant dans le liquide en ces deux points un thermomètre gradué au dixième de degré.

2° La mesure du poids spécifique et de la chaleur spécifique de ces solutions. La première se prend au moyen d'un densimètre spécial et la seconde en se rapportant à des tables toutes dressées.

Les quantités physiques des solutions salines ainsi nécessaires sont résumées dans le tableau ci-après :

Poids spécifique à 48° C.	1,02	1,02	1,04	1,06	1,08	1,10	1,12	1,14	1,16	1,18	1,20
Pression manométrique : $\left\{ \begin{array}{l} \text{CO}^2 \text{ . . .} \\ \text{Az H}^3 \text{ . . .} \\ \text{SO}^2 \text{ . . .} \end{array} \right.$	34,5 3,40 0,59	32,5 3,05 0,45	30,5 2,70 0,33	29,0 2,40 0,22	27,5 2,15 0,10	26,0 1,90 0,02 ^{1/2}	24,5 1,70 6 cm	23,0 1,50 11	28,0 1,30 15	21,0 1,20 18	20,0 1,00 21
Point de fusion	0	-2,0	-4,4	-6,5	-8,5	-10,5	-12,5	-14	-16	-17,6	-18
Poids de sel contenu dans 100 de solution.	0	3,0	4,5	8,0	11,0	13,0	16	18	22	24	27
Chaleur spécifique par kg. de la solution.	1,00	0,97	0,938	0,91	0,88	0,86	0,84	0,82	0,806	0,79	0,78
Pression manométrique : $\left\{ \begin{array}{l} \text{CO}^2 \text{ . . .} \\ \text{Az H}^3 \text{ . . .} \\ \text{SO}^2 \text{ . . .} \end{array} \right.$	34,5 3,4 0,59	33,5 3,2 0,52	32,5 3,0 0,44	31,5 2,9 0,37	30 2,7 0,28	29 2,5 0,10	27 7,25 0,11	25,5 2,0 0,03 ^{1/2}	24 1,7 6 cm.	22 1,4 14	20,5 1,4 24 cm. de vide
Point de fusion	0	-4	-2,5	-3,5	-5,0	-7,0	-8,6	-10,7	-13	-15,5	-18,4
Poids de sel contenu dans 100 de solution.	0	3,3	6,0	7,5	10,0	12,5	15	17	18,5	21	23
Chaleur spécifique par kg. de la solution	1,00	0,96	0,93	0,90	0,87	0,845	0,82	0,796	0,778	0,757	0,713
Pression manométrique : $\left\{ \begin{array}{l} \text{CO}^2 \text{ . . .} \\ \text{Az H}^3 \text{ . . .} \\ \text{SO}^2 \text{ . . .} \end{array} \right.$	34,5 3,4 0,59	33 3,1 0,48	31,6 2,85 0,37	30 2,55 0,26	28,5 2,3 0,15	26,5 2,0 0,04 ^{1/2}	24,5 1,75 5,5 cm	22,5 1,45 13	20,5 1,15 22	18,5 0,85 30	16,5 0,55 37
Point de fusion	0	-4,7	-5,5	-5,5	-7,7	-10	-12,7	-15,6	-19	-22	-26
Poids de sel contenu dans 100 de solution.	0	3	5	7	9,5	11,5	14	16	18	20	22,5
Chaleur spécifique par kg. de la solution	1,00	0,965	0,93	0,90	0,87	0,84	0,815	0,79	0,77	0,75	0,75

Chlorure de sodium.
kg. par cm.

Chlorure de calcium.
kg. par cm.

Chlorure de magnésium
(Le poids spécifique étant pris
à la température de 15°).

La détermination de la quantité de liquide qui passe pendant un temps donné, peut se faire de plusieurs façons. Mais la méthode la plus commode consiste à recevoir dans un récipient préalablement taré la quantité de liquide qui s'écoule pendant une minute ou cinq minutes.

Par suite si M_2 est la quantité de liquide qui s'est écoulée en litres par heure.

s_2 le poids spécifique du liquide pris au moyen de l'aréomètre.

c_2 la chaleur spécifique par kilogramme.

$t_0 - t_1$ la différence de température entre l'entrée et la sortie du liquide on a

$$Q_2 = M_2 s_2 c_2 (t_0 - t_1)$$

La quantité de chaleur mobilisée dans le condenseur peut s'évaluer de la même façon que dans le réfrigérant.

Si M_1 est la quantité d'eau froide en litres qui y circule en une heure.

s_1 le poids spécifique de l'eau froide.

c_1 sa chaleur spécifique par kilogramme.

$(t'_1 - t'_0)$ la différence de température entre l'eau à l'entrée et l'eau à la sortie, on a

$$Q_1 = M_1 s_1 c_1 (t'_1 - t'_0)$$

Toutefois cette détermination est assez illusoire dans le cas des condenseurs à ruissellement dans lesquels il se fait des échanges considérables de chaleur entre l'eau de réfrigération et l'air ambiant.

Si l'on a affaire à une machine à glace, la quantité de chaleur perdue au réfrigérant peut s'évaluer d'une façon encore plus simple alors que le régime est bien établi. On détermine dans ce cas la quantité de frigories perdues en déterminant la quantité de chaleur nécessaire à la fabrication d'un poids P de glace, un kilogramme de glace exige pour se produire 79 frigories; la chaleur nécessaire pour solidifier un poids P d'eau est 79 P , quantité à laquelle il faut ajouter la quantité de frigories nécessaire pour abaisser l'eau de la température initiale t'' jusqu'à 0°, puis celle nécessaire pour abaisser la glace (chaleur spécifique 0,5) jusqu'à la température t' du bain, de telle sorte que la quantité totale de frigories est égale à

$$Q_2 = Pt + 79 P + Pt \times 0,5 = P \left(t + 79 + \frac{t'}{2} \right)$$

Pour Q_2 la quantité entre parenthèses doit être augmentée d'environ 3 calories par kilogramme, représentant la quantité de chaleur apportée par les mouleaux et l'expression totale doit être augmentée de 9 0/0 représentant environ la perte au démoulage de telle sorte que l'on a finalement

$$Q_2 = P \times 1.09 \left(t + 79 + \frac{t'}{2} + 3 \right) = 1.09 P \left(82 + \frac{2t + t'}{2} \right)$$

On peut encore enfin déterminer cette même quantité de chaleur dans le cas de frigorifère, c'est-à-dire du refroidissement de l'air en déterminant les mêmes quantités que dans le cas de la saumure : Température initiale et température finale. Quantité d'air. Vitesse au moyen de l'anémomètre, etc.. Ces déterminations sont sensiblement plus difficiles.

La détermination de L_1 , c'est-à-dire du travail du compresseur peut se faire très facilement en lui substituant celui du piston moteur de la machine motrice. Ces deux quantités ne diffèrent que par un rapport constant et la substitution de l'un à l'autre ne présente aucun inconvénient. Il y a lieu par suite de déterminer le travail du piston par les méthodes habituelles employées dans le cas des machines à vapeur et de multiplier le nombre de cheval-heure obtenu par le coefficient 637.

L'ensemble de ces déterminations présente pour l'industriel le plus grand intérêt. Ce sont des méthodes très répandues en Allemagne, où on ne se contente pas comme en France de se rendre compte approximativement de la quantité de glace fabriquée à l'heure.

C'est en s'appuyant sur ces considérations que l'on peut chercher à se rendre compte de la valeur relative des différents agents frigorifiques et des différents modèles des constructeurs.

La comparaison des différents systèmes présente le plus grand intérêt : malheureusement les recherches effectuées dans ce sens sont relativement en petit nombre. Un certain nombre d'essais ont été faits avec des machines à ammoniac. Nous en avons déjà dit quelques mots à propos des machines Linde.

Nous pouvons rappeler encore ici les essais qui ont été exécutés en 1890 par Denton sur une machine frigorifique de la *Consolidated Ice Machine Co* de Chicago, qui était destinée à refroidir un bain à -18° (1).

(1) D'après C. Richard. *Notes et Formules de l'ingénieur*, 1902, Bernard, éditeur.

Les deux cylindres du compresseur, verticaux et à simple effet ont 305×750 de course tandis que la machine à double effet, verticale qui les commande a 460×920 .

L'ammoniac qu'ils aspirent provient d'un serpentín réfrigérant dont les tubes ont 23 mm de diamètre et dont la surface est égale à 743 m^2 ; le serpentín du condenseur a une surface de $464^{\text{m}^2},5$.

Le piston s'arrête à $0^{\text{mm}},8$ du fond supérieur du cylindre et il se trouve que l'espace nuisible occupe un volume d'environ 3 0/0 du volume total du cylindre.

Les soupapes d'aspiration ont $93^{\text{mm}},5$ de diamètre, celles de refoulement 72 mm.

Ces essais ont permis de constater les faits suivants : le débit en poids du compresseur étant proportionnel au produit du débit en volume par la pression absolue d'aspiration, la puissance frigorifique peut être considérée comme proportionnelle au débit en poids du compresseur ou encore au poids d'ammoniac passé par unité de temps.

La pression absolue d'aspiration varie de $1^{\text{kg}},5$, ce qui permet de produire respectivement un froid de -20° , à 3 kg, avec laquelle on n'obtient guère plus de -2° . Et encore pour obtenir cette dernière température, il faut, dans les mêmes conditions, développer le double de frigories que pour produire un froid de -20° , avec $1^{\text{kg}},5$ de pression.

La limite pratique de surface des tubes réfrigérants ne doit que fort peu dépasser $1^{\text{m}},10$ par 1000 frigories-heures effectives, en admettant une pression effective de 2 kg. ou, ce qui revient au même une pression absolue de 3 kg.

La différence des pressions d'aspiration et de refoulement au condenseur, la chute de température du condenseur au réfrigérant sont les facteurs les plus importants du rendement de la machine. Le prix de l'eau entre aussi pour une grande part dans le prix de revient et l'économie à réaliser.

Pour obtenir 24 kg. de glace par kilogramme de charbon ou 18 kg. par cheval indiqué, il faut :

Pression effective à l'aspiration 2 kg.

— — au refoulement $10^{\text{kg}},5$.

avec un moteur qui dépense $1^{\text{kg}},36$ par cheval-heure indiqué.

Il faut de plus, dans ces conditions, dépenser environ 90 litres d'eau

14° pour une puissance effective de 1000 frigories à l'heure, ou en chiffres ronds, 10 litres par kilogramme de glace à l'heure.

On a expérimenté aussi que si la circulation d'eau diminue de 25 0/0, le travail du compresseur est augmenté de 20 0/0 et le rendement primitif de 24 kg. de glace est abaissé à 18 kg. par kilogramme de charbon, en admettant une pression d'aspiration de 2 kg.; l'abaissement arrive même jusqu'à 11^{kg} 1/2 si la pression n'est plus que de 0^{kg},5.

Pour abaisser la pression de refoulement à 7 kg. et diminuer le travail du compresseur de 25 0/0, il faut tripler la quantité d'eau à employer.

Le tableau suivant fait connaître les variations du rendement de la machine ou celui du moteur aux pressions 10 kg. et 7 kg. au refoulement, de 2^{kg},5 et 7 kg. 0^{kg},5 à l'aspiration.

Type de moteurs	Puissance frigorigique en kilog. de glace		Pression au condenseur 10 ^{kg} ,5				Pression au condenseur 7 kil.			
	Dépense par chev. indiqu.		Pression d'aspiration 2 kil.		Pression d'aspiration 0 ^{kg} ,5		Pression d'aspiration 2 kil.		Pression d'aspiration 0 ^{kg} ,5	
	charbon	vapeur	par kil. de charb.	par kil. de vapeur	par kil. de charb.	par kil. de vapeur	par kil. de charb.	par kil. de vapeur	par kil. de charb.	par kil. de vapeur
	k.									
Sans condensation. . . .	1,36	11,3	24	2,90	14	1,69	34,5	4,16	22	2,65
Simple à condensation. . . .	1,09	9,10	30	3,61	17,5	2,11	43	5,18	27,5	3,31
Compound à condensation. . .	0,9	7,26	37,5	4,51	21,5	2,58	54	6,50	34,5	4,16

Le froid de l'ammoniac en circulation calculé d'après le débit en volume des compresseurs est en général supérieur de 25 0/0 à celui préalablement mesuré; cela provient de la surchauffe de l'ammoniac à son arrivée du réfrigérant sur les parois chaudes du compresseur. Pour produire la surchauffe de 33° nécessaire à ce phénomène, il suffit d'un abaissement de 5° par tour des parois du compresseur, et cela sur une épaisseur de 0^{mm},25.

Les espaces nuisibles du cylindre étant extrêmement faibles (1/3 0/0 de la cylindrée), ne retardent pas l'ouverture de la soupape d'aspiration.

Quoique l'enveloppe d'eau du compresseur absorbe 23 0/0 environ de la chaleur équivalente à son travail, la compression se fait suivant l'adiabatique de l'ammoniac surchauffée: $\left(p v^{\frac{4}{3}}\right)$.

Le tableau (page 224) résume les essais que nous venons de décrire.

Mais des recherches beaucoup plus intéressantes sur ce sujet, recherches commencées en 1887 et poursuivies jusqu'à aujourd'hui ont été toute une série d'essais comparatifs exécutés à la station d'essais pour machines frigorifiques, à Munich.

Cette station d'essais est très bien installée et dispose des moyens scientifiques les plus modernes pour assurer l'exactitude des essais. Les résultats obtenus dans ces expériences justifient du reste pleinement les déductions qui avaient été tirées auparavant des propriétés physiques bien connues des gaz liquéfiés.

Machine de la Consolidated Ice Machine Co	Production et économie maxima à une pression d'aspiration de 2, 10	Essai préliminaire approximatif	Puissance et économie maxima avec le bain à -48° et une pression d'aspiration de 0,6		Influence d'un excès d'eau de condensation (approximatif)	Influence d'une dimi- nution de la circulation du bain	Production et rendement maximum à une pression d'aspir. de 0,95 (exact)	Production et économie maxima pour une pression d'aspiration de 2, (exact)
			Appro- ximatif	Exact				
Numéros des essais	1	2	3	4	5	6	7	8
Durée en heures	24	14 1/2	48	24	11 1/2	13 1/2	18	48
Pression de l'ammoniac (effective) au refoulement. Kil.	10,6	9,5	10,8	10,7	8,7	7,4	10,3	11,3
— — — à l'aspiration.	1,96	0,07	0,47	0,57	0,63	0,53	0,91	1,9
Température du bain à l'entrée.	2,5	— 5	-14,7	-14,2	— 15	— 14	— 10	— 2
— — — à la sortie.	— 2	— 16	-18,2	-16,7	— 17	— 19	— 16	— 2
Circulation du bain salé par minute en kilogrammes.	1035	1261	977	985	1025	467	427	1077
Température de l'eau du condenseur à l'entrée.	7	13	13,3	13,4	10,5	7,7	7,7	12,2
— — — à la sortie.	28,7	27	31	30	20,6	15,5	29,7	28
Circulation par minute de l'eau du condenseur en kilog.	200	122	112	143	303	319	147	273
Circulation par minute de l'eau de l'enveloppe des cylindres en kilog.	11,3	12	8	20	16	17	18	6,3
Température de l'eau de l'enveloppe à l'entrée.	7	13	13,3	13,4	10,5	7,7	8	12,3
— — — à la sortie.	20,5	26,3	26,6	22,7	21,1	15,5	17,2	28,5
Circulation de l'ammoniac liquide en mètres cubes par heure.	5,5	5,26	7,37	7,08	7,38	7,07	7,94	13,60
Circulation de l'ammoniac liquide en kilogr. par minute.	12,7	4,94	6,90	6,63	7	6,70	7,57	12,85
Température probable de l'ammoniac liquide à l'en- trée du réfrigérant (calculée).	24,7	14,4	20,5	20	16	11,5	7,6	24,6
Surchauffe de l'ammoniac par l'enveloppe des com- presseurs.	»	72°	»	»	»	60°	90°	37°
Température de l'ammoniac correspondant à la pres- sion d'aspiration.	— 10	— 30	— 23	— 22	— 21,6	— 24	— 20,5	— 10
Température de l'ammoniac au sortir du réfrigérant.	1,25	— 9	— 10	— 9	12	— 15,7	— 16,1	1,6
— — — à l'entrée des compres- seurs t_0	— 3,8	— 3,8	— 3,8	— 3,8	— 6,6	— 9,4	— 23,4	+ 1,1
— — — à la sortie t	400	126	129	128	120	106	115	405
— — — théorique $t = t_0 \left(\frac{p_1}{p_0} \right)^{0,24}$	110	188	167	151	135	126	127	114
— — — à l'entrée du condenseur.	93	98	105	103	96	89	98	76
— — — correspondant à la pres- sion du condenseur.	29	28	30	29	23	19	28	31
Poids spécifique du bain.	1,163	1,174	1,174	1,174	1,174	1,174	1,174	1,174
Chaleur spécifique.	0,82	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
Température extérieure.	20	17	18	18	17	17	19	20
Chaleur par minute <i>cédée</i> à l'ammoniac par le bain.	3695	1327	1865	1800	1900	1732	2135	3662
Chaleur par minute <i>cédée</i> à l'ammoniac par le com- presseur.	700	485	585	580	550	519	630	755
Chaleur par minute <i>cédée</i> à l'ammoniac par l'atmosphère	55	28	38	59	40	39	45	35
Chaleur par minute <i>cédée</i> à l'ammoniac totale Q_1	4430	1840	2488	2419	2490	2290	2800	4452
— — — <i>cédée</i> par l'ammoniac au con- denseur.	4312	1675	1970	2268	3083	2500	2480	4340
Chaleur par minute <i>cédée</i> par l'ammoniac aux en- veloppes.	118	155	107	180	167	134	165	102
Chaleur par minute <i>cédée</i> par l'ammoniac à l'atmosphère	45	70	83	85	80	56	50	63
Chaleur par minute <i>cédée</i> par l'ammoniac totale Q_2	4310	1890	2160	2533	3330	2690	2695	4505
Différence $Q_2 - Q_1$	80	50	328	114	840	400	405	63
— — — en tant p. 100 de Q_1 p. 100	2	3	13	5	34	17	3,5	2
Pourcentage du travail du compresseur absorbé par les enveloppes. p. 100	22	31	18	31	30	25	26	13
Tours par minute.	58	59	58,4	58	59	59	58	59
Pression moyenne au compresseur.	2,20	1,5	2	2	1,8	1,6	1,9	2,3
Puissance indiquée au moteur.	85	59,3	73	72	67	62	73,5	88,6
— — — au compresseur.	66,7	46	55	55	52	48	59,4	71,2
Rendement organique.	77	78	75	76	77	78	80	81
Kilogrammes de glace par kilogramme de charbon au taux de 1 kil. 35 par cheval-heure indiqué.	24	12,6	14,23	14,1	16	16	17,3	23,4
Puissance frigorifique en tonnes de glace par 24 heures.	67,3	23,3	34,2	32	34,3	31,5	40	67,5

Ces essais ont été pratiqués tout d'abord entre une machine Linde et une machine Pictet et les résultats de ces essais ont été publiés par ordre de la commission d'essais, par Schröter. C'est de son rapport que nous tirons les différents renseignements qui suivent.

La machine Linde employée (Société des machines à glace système Linde, à Wiesbaden) présentait comme particularité intéressante, un réfrigérant pouvant être actionné aussi bien avec une surface normale de tuyaux de 66 m² que par une surface double de 132 m².

Le tableau suivant contient les dimensions génériques du cylindre à vapeur et du compresseur relevées sur la machine elle-même.

TABLEAU I
Machine Linde. — Dimensions principales des cylindres.

	Machine à vapeur	Compresseur
Diamètre du cylindre cm.	30,55	25,03
Diamètre de la tige du piston . cm.	4,85	5,5
Surface effective du piston. cm ²		
{avant.	714,54	468,29
{arrière	733,01	492,05
Course m	0,70	0,42
Constante $\frac{F.s}{60.75}$		
{avant.	0,11115	0,04371
{arrière	0,1140	0,04592
Volume engendré par course, (avant.	50,0	19,7
en litres {arrière	51,3	20,7
Volume engendré par course, en litres, en moyenne.	50,6	20,2

Surface d'échauffement et de refroidissement.

	Réfrigérant		Condenseur
	I	II	
Diamètre des tuyaux . mm.			
{extérieur	40,5	40,5	38,5
{intérieur	32	32	30
Longueur totale du circuit immergé m.	556,5	558,5	556,2
Surface totale du circuit im-			
{extérieur	70,8	71,1	67,3
{intérieur	55,9	56,1	52,4
{moyenne	63,3	63,6	59,8
Quantité d'eau salée ou d'eau froide existant dans l'appareil. . . m ³ .	5,40	5,40	5,43

La machine Pictet était exposée par Rudloff Grubs et C^{ie}, à Berlin, exécutée par la Sachsische Maschinenfabrik, de Chemnitz, elle employait le liquide Pictet renfermant un peu d'acide carbonique. Le compresseur, le cylindre à vapeur, sont placés l'un derrière l'autre et les deux pistons sont réunis par une tige commune. Les soupapes d'admission de la machine à vapeur sont actionnées par le mécanisme Hoffner, de soupapes à mouvement forcé, tandis que, pour le mouvement des soupapes d'échappement, on emploie des cames qui peuvent être déplacées pour obtenir la compression voulue. Les soupapes d'admission sont réglées par un régulateur Porter muni d'un contrepoids variable et disposé de manière à permettre de faire varier le nombre de tours de 33 à 75 par minute. La pompe à air à simple effet, actionnée par un levier coudé, est placée dans les fondations. Le cylindre est muni d'une enveloppe de vapeur, ainsi que les deux couvercles; la soupape d'arrêt est placée à la hauteur de l'axe du cylindre et est manœuvrée par un volant à main placé en avant du cylindre. Le compresseur est aussi entouré d'une enveloppe dans laquelle circule de l'eau froide qui, à sa sortie de cette enveloppe, traverse encore la tige creuse du piston; pour introduire l'eau dans la tige et la conduire au dehors après son échauffement, on se sert des deux tuyaux en caoutchouc placés au-dessus de la glissière du compresseur; ces tuyaux suivent d'une part le mouvement de la crosse et sont fixés de l'autre à un support formé par un fer rond cintré. A gauche de ce dernier se trouve le tuyau d'écoulement de l'eau froide de la tige du piston et de l'enveloppe; ce tuyau amène l'eau à la conduite d'évacuation au moyen d'un entonnoir fixé au bâti de la machine; c'est en cet endroit que l'on détermine, au moyen d'un appareil de jaugeage, la quantité et la température de l'eau froide évacuée.

Le compresseur est à double effet avec deux soupapes d'aspiration et deux soupapes de refoulement de chaque côté; à gauche s'élève verticalement la conduite de refoulement et à droite celle d'aspiration, pour se rendre ensuite horizontalement au condenseur et au réfrigérant.

La disposition du condenseur est celle généralement employée. Il se compose de tuyaux en fer forgé roulés en spirales, disposés en quatre systèmes concentriques et réunis, d'une part à la conduite de refoulement et de l'autre à la conduite de liquide, par l'intermédiaire de collecteurs. Il y a lieu de remarquer que l'agitateur du condenseur est mû par un moteur hydraulique Schmidt, intercalé dans la conduite d'in-

jection d'eau de la machine à vapeur et actionné par la chute d'eau disponible dans cette conduite.

La disposition du réfrigérant était essentiellement différente ; elle consiste en deux sections complètement symétriques, placées dans un réservoir en tôle de 5^m,65 de longueur intérieure, 3^m,71 de largeur intérieure et de 1^m,50 de hauteur. Chaque section est formée de 36 tuyaux repliés plusieurs fois dans le plan vertical et se réunissant tous à des collecteurs ; ceux-ci s'étendent sur toute la largeur du réfrigérant. Un tuyau de 3^m,50 de longueur et de 0^m,35 de diamètre intérieur, sert de réservoir pour les gaz ; le liquide venant du condenseur traverse une sorte d'injecteur dans lequel la différence de pression entre le condenseur et le réfrigérant est employée à enlever au compresseur une partie du travail d'aspiration et à favoriser le développement de la vapeur ; le liquide arrive ensuite dans la partie inférieure de tuyau réservoir où il se divise dans le système de tuyaux au moyen du collecteur inférieur, tandis que les vapeurs se rendent dans le tuyau réservoir par le collecteur supérieur. Un agitateur (hélice), mis en mouvement par l'arbre de la machine à vapeur au moyen d'une transmission par un câble en coton, sert à la circulation de la solution saline. D'ailleurs, une partie seulement de l'eau salée contenue dans le réfrigérant circulait dans la conduite vers l'échangeur, la plus grande partie restait toujours dans le réfrigérant et y était maintenue en circulation par l'hélice. Dans les essais avec surface simple, le système de tuyaux d'un des compartiments était isolé du collecteur par des brides pleines, sans autres modifications quelconques.

La machine a été mise en marche avec une charge de 1 637 kg. de liquide Pictet pour la double surface et de 1 070 kg. pour la surface simple ; le liquide a été fourni dans des bonbonnes en fer forgé par la Société Rudloff-Grübs et C^e. Les principales dimensions de la machine sont réunies dans le tableau II.

TABLEAU II

Machine Pictet. — Dimensions principales des cylindres.

	Machine à vapeur	Compresseur
Diamètre du cylindre cm.	31,63	28,06
Diamètre de la tige du piston . . cm. (Le même à l'avant et à l'arrière).	5,0	5,0
Surface effective du piston . {avant. }arrière	766,13	622,78 612,42
Course m.	0,620	0,620
Constante $\frac{F.s}{60 \cdot 75}$ {avant. }arrière	0,10556	0,0858 0,0885
Volume engendré par course, avant. en litres }arrière		38,6 39,8
Volume engendré par course, en litres, en moyenne	47,5	39,2

Surfaces d'échauffement et de refroidissement.

	Réfrigérant		Condenseur
Diamètre des tuyaux . <i>mm.</i> { extérieur 44 intérieur 36	44	44	44
Longueur totale du circuit immergé <i>m.</i>	36, 14, 95 = 538,2	36, 14, 95 = 538,2	483, 1
Surface totale du circuit im- { extérieur 74, 39 mergé <i>m</i> ² { intérieur 60, 87 moyenne 67, 6	74, 39 60, 87 67, 6	74, 39 60, 87 67, 6	66, 8 54, 6 60, 7
Quantité d'eau salée ou d'eau froide existant dans l'appareil . . <i>m</i> ³ .	29, 50		10, 20

Les dimensions du compresseur de la machine exposée sont un peu plus petites que celles du type livré à l'industrie comme n° V. La raison en est que, suivant une déclaration jointe au dossier remis à la Commission, l'exposant a construit cette machine « pour obtenir chaque fois, dans toutes les conditions de marche du programme, l'effet le meilleur et le plus économique, et non dans le but de travailler toujours avec une vitesse constante dans des conditions de marche tellement différentes.

Voici résumés dans les deux tableaux ci-après (tableaux III et IV, pages 230-237), les résultats même de ces essais.

Si au moyen des données de ces tableaux (tableaux III et IV) on cherche à calculer le rendement même de ces machines on doit tout d'abord laisser de côté l'essai n° IX avec la machine Linde et les essais XX et XXI avec la machine Pictet qui ne sont pas comparables.

D'après la théorie, dans une machine à froid parfaite, pour laquelle les températures du liquide actif lors de la réception de chaleur (dans le réfrigérant) et de la cession de chaleur (dans le condenseur) sont respectivement T_1 et T_2 en valeur absolue, c'est-à-dire $t_1 + 273$ et respectivement $t^2 + 273$, le rapport entre le travail de compression L transformé en unités de chaleur AL et le froid produit W , c'est-à-dire le rendement, serait :

$$\frac{AL}{W} = \frac{T_2 - T_1}{T_1} = \eta.$$

Or, si dans une machine essayée ces températures ont les valeurs T'_1 , T'_2 , qui diffèrent peu de T_1 et T_2 , on peut tirer cette conclusion que le rendement de cette machine, si les températures avaient eu les valeurs T_1 et T_2 , aurait été modifié dans le rapport :

$$\frac{\eta_1}{\eta} = \frac{T'_2 - T'_1}{T'_1} : \frac{T_2 - T_1}{T_1}$$

Pratiquement, il n'y a aucune différence si au lieu du travail indiqué au compresseur, représenté par AL dans la machine parfaite, on introduit le travail indiqué à la machine à vapeur, car ce dernier varie à peu près proportionnellement avec le premier et par suite la variation du quotient $\frac{AL}{W}$ peut aussi être rapportée au travail total, d'autant plus qu'ici il n'est question que de variations très petites.

On détermine donc tout d'abord le rapport théorique $\frac{AL}{W}$, puis on introduit dans la formule les valeurs des températures de la solution saline. Avec une certaine correction et comme température moyenne du condenseur $19^{\circ},5$ et respectivement 33° le rendement est alors désigné par $\left(\frac{AL}{W}\right)$ (tableau V).

Tableau III. — Machine Linde.

	I	II	Salats principaux.					Surface double			Surface simple	
			III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X		
1. Date et numéro de l'essai.	41 janv. 90	3 janv. 90	4 janv. 90	7 janv. 90	9 janv. 90	7 mars 90	6 mars 90	5 mars 90	25 janv. 90	27 janv. 90		
2. Limites de température au réfrigérant	+ 6° + 3°	- 3°	- 10° - 13°	- 18° - 21°	- 2° - 5°	+ 6° + 3°	- 2° - 5°	- 18° - 21°	- 2° - 5°	+ 6° + 3°		
3. Conditions particulières de l'essai.												
a. — Machine à vapeur. Eau d'alimentation.												
4. Eau d'alimentation totale par heure.	495,3	490,1	481,4	477,2	255,7	193,5	493,7	473,6	488,7	445,2		
5. Vapeur condensée dans la conduite par heure	41,7	42,1	42,8	42,7	42,2	41,2	44,5	44,4	41,6	41,6		
6. En 0/0 de la quantité totale	6,0	6,1	6,2	7,4	4,8	5,8	5,9	6,6	6,4	8,0		
7. Eau d'alimentation effective par heure	483,6	468,2	468,2	464,5	243,5	482,3	482,2	462,2	477,4	433,6		
8. Température moyenne de celle-ci.	21,6	20,5	15,6	23,3	21,6	29,4	26,0	48,2	20,4	49,5		
9. Pression moyenne effective dans la chaudière de distillation.	5,33	5,2	5,31	5,31	5,33	5,34	5,31	5,29	5,24	5,27		
10. Pression moyenne indiquée dans le cylindre	4,848	4,8	4,762	4,648	2,363	4,842	4,857	4,671	4,747	4,809		
11. à vapeur, kil. par cmq.	4,742	4,7	4,598	4,470	2,457	4,725	4,741	4,481	4,566	4,615		
12. Nombre de tours moyen par minute.	44,91	45,1	45,05	44,76	44,97	45,48	45,42	44,74	45,03	31,68		
13. Travail moyen indiqué	9,22	9,2	8,82	8,20	11,81	9,25	9,31	8,31	8,59	6,37		
14. en chevaux.	8,92	8,8	8,21	7,50	12,60	8,88	8,96	7,55	8,04	5,83		
15. Travail total indiqué en chevaux.	48,14	48,2	47,03	45,70	24,41	48,43	48,27	45,86	46,63	42,20		
16. Eau d'alimentation par heure et par cheval indiqué	10,42	10,2	10,31	10,48	9,98	10,06	9,97	10,23	10,65	10,95		
17. Pression moyenne effective à l'admission	5,25	5,3	5,29	5,25	5,28	5,24	5,23	5,21	5,45	5,22		
18. Vide moyen en centimètres de mercure	67,4	66,0	67,3	67,3	66,7	66,0	65,4	66,8	67,3	66,6		
19. Hauteur moyenne du baromètre en centimètres de mercure	72,6	71,5	72,3	73,7	73,2	71,7	71,2	74,4	72,3	72,0		
20. Température moyenne dans la salle	47,3	46,5	46,8	46,9	48,2	45,6	42,2	41,6	47,9	44,0		
21. des machines.	47,4	46,6	46,6	46,9	48,4	45,3	41,9	41,2	47,5	44,1		
22. Vapeur condensée par heure dans l'enveloppe de vapeur.	28,9	26,9	24,8	23,7	24,0	29,5	27,3	20,8	33,4	21,5		
23. Vapeur condensée en 0/0 de l'eau d'alimentation effective	43,7	44,9	44,1	44,4	9,9	46,2	45,0	42,8	48,9	46,1		
24. Vapeur admise dans le cylindre à vapeur par heure	454,7	460,2	450,8	440,8	219,5	452,8	454,9	441,4	443,7	442,1		
25. Débit total de la pompe à air par heure	7.779,7	6.779,7	6.707,4	3.896,2	6.363,3	7.571	6.994,4	7.525,0	7.097,5	7.023,2		
26. Eau injectée par heure.	7.625,0	6.719,7	6.556,6	3.753,4	6.443,8	7.448,6	6.836,5	7.384,4	6.953,8	6.941,1		
27. Rapport : $\frac{\text{Eau injectée}}{\text{Vapeur admise dans le cylindre}}$	49,3	41,6	43,5	26,7	28,0	48,6	44,4	52,2	48,4	61,7		
28. Température de l'eau injectée.	49,6	49,5	47,5	47,9	43,4	49,4	49,4	41,4	45,2	49,0		
29. Température à la sortie de la pompe à air.	31,4	31,9	36,6	36,3	31,9	30,9	32,0	21,5	26,9	27,9		
b. — Compresseur.												
30. Rapport : $\frac{\text{Travail indiqué au compresseur}}{\text{Travail indiqué à la machine à vapeur}}$	0,8561	0,82	0,8403	0,8046	0,8954	0,8935	0,8792	0,8197	0,8647	0,8516		
31. Travail indiqué au compresseur en chevaux	45,53	45,2	44,31	42,63	24,86	46,20	46,06	43,00	44,38	40,39		
32. Equivalent thermique de celui-ci.	Cal. 9.890	9.880	9.110	3.040	13920	10.320	10.320	8.280	9.460	6.620		
33. Pression moyenne absolue	9,52	9,3	9,00	8,89	14,03	9,55	9,24	8,82	8,22	9,44		
34. en kil. par cmq.	3,89	2,9	2,43	4,56	2,95	av. 4,42	av. 3,30	av. 4,80	2,88	4,24		
35. Température correspondante des vapeurs d'ammoniaque saturées.	+ 22,45	+ 21,5	+ 20,72	+ 20,34	+ 35,30	+ 22,55	+ 21,53	+ 48,22	+ 17,94	+ 21,48		
	- 2,91	- 2,7	- 17,43	- 24,30	- 9,77	av. + 0,46	av. - 7,03	av. - 21,47	- 40,32	- 0,66		
						arr. - 4,98	arr. - 9,04	arr. - 24,44				

Tableau III (suite). — Machine Linde.

Résultats principaux.

	Surface simple		Surface double			Surface simple	
	I	II	III	IV	V	VI	X
c. — Réfrigérant.							
37. Température moyenne { Entrée.	+ 6,00	- 2,42	- 9,99	- 17,92	- 2,03	+ 6,49	+ 6,00
38. de la solution saline. { Sortie.	+ 2,89	- 5,42	- 12,91	- 20,82	- 3,01	+ 2,91	+ 2,95
39. Abaissement de température	3,41	- 3,42	2,92	2,91	2,98	3,58	3,05
40. Température extérieure mesurée { l'entrée.	20,0	3,42	2,92	18,0	21,2	17,6	16,9
41. au thermomètre pour { la sortie	19,6	16,2	14,2	17,5	20,4	17,0	17,1
42. Quantité de solution saline par heure. litres .	29569	18,1	17,2	11030	19598	29247	22538
43. Poids spécifique à + 17°5.	1,250	2880	16168	1,250	1,247	1,261	1,272
44. Chaleur spécifique par litre pour les limites de température ci-dessus	0,850	1,25	1,251	0,840	0,843	0,850	0,849
45. Production de froid mesurée au réfrigérant Calories par heure.	78170	0,84	0,843	26870	49350	89000	58360
46. Température { Commencement.	+ 5,98	58160	39800	- 9,95	- 17,97	+ 6,51	+ 5,97
47. à l'entrée. { Fin	5,97	- 2,42	- 9,97	17,96	2,03	6,53	6,01
48. Température { Commencement.	+ 2,89	2,42	- 12,94	- 20,83	- 3,00	+ 2,91	+ 2,89
49. à la sortie. { Fin	2,94	- 5,42	12,89	20,83	3,01	2,91	2,92
50. Correction de la production au réfrigérant en raison des différences ci-dessus. Cal.	- 30	5,04	12,89	- 10	+ 10	- 20	- 130
51. Production effective, au réfrigérant Calories par heure.	78140	+ 10	- 20	- 10	+ 10	- 20	- 130
d. — Condenseur.							
52. Température moyenne de l'eau { l'entrée .	+ 9,56	9,54	9,61	9,61	9,68	9,23	9,50
53. de condensation à { la sortie.	+ 19,76	19,63	19,84	19,72	33,33	19,68	19,39
54. Élévation de température.	10,20	10,09	10,23	10,11	23,65	10,45	9,89
55. Température extérieure mesurée { l'entrée .	17,0	16,4	16,4	16,4	18,1	16,3	16,4
56. au thermomètre pour { la sortie.	21,9	21,0	21,5	20,9	23,1	19,8	19,3
57. Quantité d'eau de condensation par heure. litres.	8790	683	4867	3526	2442	9512	6913
58. Production mesurée au condenseur par heure. Cal.	89660	6890	49790	35650	62640	99400	68420
59. Température { Commencement.	+ 9,56	9,53	9,61	9,64	9,68	9,23	9,46
60. à l'entrée. { Fin	9,57	9,54	9,60	9,56	9,63	9,23	9,54
61. Température { Commencement.	+ 19,74	19,42	19,82	19,79	33,43	19,57	19,32
62. à la sortie { Fin	19,74	19,47	19,89	19,88	33,44	19,54	19,32
63. Correction de la production au condenseur en raison des différences ci dessus. Cal.	+ 10	+ 10	+ 30	+ 10	+ 20	- 20	+ 90
64. Production effective au condenseur. Calories par heure.	89670	6906	49820	35660	62620	99380	68510
e. — Bilan thermique.							
65. Production de froid effective.	78140	5816	39780	26860	49360	88980	58230
66. Équivalent thermique du travail indiqué au compresseur	9890	989	9110	8040	43920	10320	6620
67. Total Calories par	88030	6775	48890	34900	63,280	99300	64850
68. Production effective au condenseur.	89670	6906	49820	35600	62620	99380	68510
69. Différence	- 1640	- 121	- 930	- 760	+ 660	- 80	- 3660
70. Différence en 0/0 de la production au condenseur.	1,8	1,3	1,9	- 2,1	+ 1,4	- 0,4	- 5,3
f. — Résultat final. Rendement							
71. Froid effectif produit au réfrigérant { 1 kg. d'eau d'alimentation.	425,6	312,1	226,5	163,3	202,7	488,1	435,9
72. par heure et par : { 1 cheval indiqué à la machine à vapeur.	4308	3182	2336	1711	2022	4908	4773

Tableau IV. — Machine Pictet.

	Surface simple		Surface double						Surface simple		
	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX	XXI
1. Date et numéro de l'essai	21 déc. 89	19 déc. 89	18 déc. 89	30 déc. 89	20 déc. 89	11 déc. 89	40 déc. 89	13 déc. 89	21 déc. 89	20 déc. 89	30 déc. 89
2. Limites de température au réfrigérant	+ 6° + 3°	+ 6° + 3°	+ 6° + 3°	+ 6° + 3°	+ 6° + 3°	+ 6° + 3°	+ 6° + 3°	+ 6° + 3°	+ 6° + 3°	+ 6° + 3°	+ 6° + 3°
3. Conditions particulières de l'essai											
a. — Machine à vapeur. Eau d'alimentation.											
4. Eau d'alimentation totale par heure kil.	264,8	264,8	264,8	201,6	324,4	275,2	264,3	204,7	473,6	262,4	453,9
5. Vapeur condensée dans la conduite, par heure kil.	40,8	41,2	41,7	41,2	41,6	40,7	40,7	41,1	41,3	41,4	42,9
6. En 0/0 de la quantité totale	4,4	4,4	5,0	5,6	3,6	3,9	4,0	5,4	6,5	4,3	8,4
7. Eau d'alimentation effective par heure kil.	224,0	223,6	224,6	160,4	312,8	264,5	223,6	193,6	462,3	221,0	441,0
8. Température moyenne de l'eau d'alimentation	23,3	24,1	24,1	22,1	28,0	27,3	30,0	25,3	27,4	27,2	25,8
9. Pression moyenne effective dans la chaudière de distillation (par cmq.) kil.	5,26	5,24	5,24	5,25	6,40	5,43	5,33	5,44	5,40	5,93	5,22
10. Pression moyenne indiquée dans le cylindre à vapeur avant	4,753	4,76	4,533	4,302	2,438	1,742	4,659	4,294	4,663	2,468	4,366
11. kil. par cmq. } arrière	4,874	4,77	4,581	4,317	2,262	4,872	4,758	4,354	4,718	2,287	4,353
12. Nombre de tours moyen par minute	56,98	56,92	57,06	57,59	59,34	57,34	57,52	57,79	55,26	42,88	54,78
13. Travail moyen indiqué avant	40,54	40,21	9,23	7,92	13,89	40,54	40,07	7,89	6,49	9,84	5,02
14. en chevaux arrière	44,27	40,67	9,32	8,01	14,47	41,33	40,67	8,26	6,39	10,35	4,97
15. Travail total indiqué en chevaux	24,84	20,88	18,75	15,93	27,56	21,87	20,74	16,45	12,58	20,16	9,99
16. Eau d'alimentation par heure et par cheval indiqué kil.	11,65	11,67	11,98	11,95	11,34	12,09	12,23	11,99	12,90	12,45	14,11
17. Pression moyenne effective à l'admission kil. par cmq.	5,26	5,24	5,24	5,25	6,40	5,43	5,33	5,43	5,40	5,93	5,22
18. Vide moyen en centimètres de mercure	66,8	68,1	69,3	69,2	67,0	64,5	64,5	68,4	69,0	68,9	69,8
19. Hauteur moyenne du baromètre en centimètres de mercure	72,4	72,9	73,2	72,9	72,3	71,1	71,3	72,5	72,5	72,3	72,9
20. Température moyenne dans la salle des machines	21,1	19,6	19,3	19,2	22,0	21,6	19,3	22,7	21,7	21,8	21,4
21. Vapeur condensée par heure dans l'enveloppe de vapeur kil.	28,0	28,1	22,7	23,8	28,3	28,1	28,1	28,8	29,0	31,7	27,3
22. Vapeur condensée en 0/0 de l'eau d'alimentation effective	11,0	10,3	10,1	12,5	9,1	10,6	11,5	14,9	17,9	12,6	19,4
23. Vapeur admise dans le cylindre à vapeur par heure kil.	226,0	218,5	201,9	166,6	284,2	236,4	225,5	161,8	433,3	249,3	413,7
24. Débit total de la pompe à air par heure kil.	7,454,0	7,174,5	7,38,3	7,134,6	7,660,2	7,556,2	6,489,3	6,743,9	7,431,8	7,879,9	7,253,6
25. Eau injectée par heure kil	7,228,0	6,956,0	7,356,4	6,963,0	7,376,0	7,349,8	6,263,8	6,579,1	7,298,5	7,660,6	7,139,9
26. Rapport : $\frac{\text{Eau injectée}}{\text{Vapeur admise dans le cylindre}}$	32,0	31,8	35,9	41,8	26,0	31,0	27,8	39,9	54,8	34,9	62,8
b. — Compresseur.											
27. Travail indiqué au compresseur en chevaux	46,82	46,10	44,26	44,83	22,91	48,81	48,08	42,74	9,78	47,49	7,56
28. Equivalent thermique de celui-ci cal.	40 740	40 250	9060	7 530	14390	11980	11540	8110	6230	10950	4810
29. Rapport : $\frac{\text{Travail indiqué au compresseur}}{\text{Travail indiqué à la machine à vapeur}}$	0,7712	0,7711	0,7605	0,7426	0,8313	0,8601	0,8717	0,7889	0,7774	0,8527	0,7568
30. Pression moyenne absolue Condenseur	3,99	3,91	3,84	4,23	6,39	4,29	4,47	4,43	3,82	6,24	4,37
31. kil. par cmq. } Réfrigérant	4,47	4,05	0,68	0,47	4,05	4,57	4,40	0,47	4,56	4,40	0,46
c. — Réfrigérant.											
32. Température moyenne de la solution saline. Entrée	+ 6,40	- 4,96	- 9,92	- 17,93	- 2,04	+ 6,38	- 2,00	- 18,01	+ 5,99	- 2,03	- 17,84
33. Sortie	+ 3,08	- 4,98	- 12,91	- 20,96	- 5,01	+ 3,07	- 5,00	- 20,90	+ 3,07	- 4,93	- 20,72
34. Abaissement de température	3,02	3,02	2,99	3,03	2,97	3,31	3,00	2,89	2,92	2,90	2,88
35. Température extérieure mesurée l'entrée	23,4	21,6	21,4	22,3	23,7	23,4	19,8	21,5	23,9	24,8	24,2
36. la sortie	21,6	21,2	20,8	17,9	22,5	22,3	21,4	22,0	22,5	21,6	19,5
37. Quantité de solution saline par heure litres.	29,837	20848	13740	6723	18669	29802	22741	8405	20438	14,685	5051

Résultats principaux.

Tableau IV (suite). — Machine Pictet.

	Surface		Résultats principaux.			Surface double			Surface simple		
	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX	XXI
38. Poids spécifique à + 17°,5.	1,233	1,233	1,233	1,232	1,233	1,260	1,259	1,260	1,253	1,253	1,252
39. Chaleur spécifique par litre pour les limites de température ci-dessus.	0,850	0,850	0,845	0,841	0,846	0,850	0,848	0,847	0,850	0,846	0,841
40. Production de froid mesurée au réfrigérant Calories par heure.	76590	76590	31720	17130	46910	83850	57780	20370	50730	36030	12230
41. Température à { Commencement.	+ 6,09	+ 6,09	- 9,91	- 18,00	- 1,99	+ 6,31	- 1,89	- 18,15	+ 5,96	- 2,03	- 18,09
42. Péntrée. { Fin	6,11	6,11	9,94	18,00	2,03	6,33	1,90	18,14	5,96	2,04	18,01
43. Température à { Commencement.	+ 3,03	+ 3,03	- 12,91	- 21,00	- 5,02	+ 3,07	- 5,04	- 20,92	+ 3,07	- 4,93	- 20,80
44. la sortie. { Fin	3,03	3,03	12,88	21,00	4,96	3,03	5,00	20,88	3,07	4,90	20,62
45. Correction de la production au réfrigérant en raison des différences ci-dessus Cal.	- 100	- 100	0	0	0	+ 60	- 80	- 140	0	- 370	- 1790
46. Production effective au réfrigérant. Calories par heure.	76490	76490	31720	17130	46910	83910	57700	20430	50730	35660	10440
d. — Condenseur.											
47. Température de l'eau froide à l'entrée.	+ 9,65	9,65	9,61	9,68	9,68	9,62	9,57	9,78	9,68	9,69	9,79
48. Température de l'eau { du condenseur.	+ 19,72	19,72	19,59	19,51	33,18	19,65	19,60	19,92	19,59	34,79	19,53
49. à la sortie. { de l'enveloppe et de la tige du piston.	15,5	15,5	16,8	16,7	18,6	16,4	15,9	17,1	14,6	18,3	15,4
50. Échauffement dans le condenseur.	10,07	10,10	9,98	9,83	23,50	10,03	10,3	10,14	9,91	25,10	9,76
51. Échauffement dans l'enveloppe et la tige du piston.	5,8	6,0	7,2	7,0	8,9	6,5	6,3	7,3	4,9	8,6	5,6
52. Quantité d'eau froide dans le condenseur par heure. litres.	8356	6020	4058	2228	2068	9198	6498	2623	5288	1211	1409
53. Quantité d'eau dans l'enveloppe et la tige par heure. litres.	427	429	431	426	427	423	426	428	430	427	426
54. Quantité totale d'eau par heure litres.	8783	6449	4489	2654	2495	9621	6924	3053	5718	1638	1835
55. Production au condenseur par heure. Cal.	84140	60810	40500	21900	52730	92260	63170	26620	52400	30400	13750
56. Température extérieure mesurée { l'entrée.	18,1	16,5	16,8	16,5	18,1	18,7	17,2	18,5	18,5	18,6	17,9
57. au thermomètre pour { la sortie.	25,2	21,4	22,5	22,2	25,2	24,1	21,9	24,5	23,8	25,4	24,2
58. Température à l'entrée { Commencement.	+ 9,57	9,61	9,58	9,68	9,73	9,64	9,59	9,83	9,68	9,72	9,86
59. dans le condenseur. { Fin	9,67	9,57	9,61	9,72	9,72	9,61	9,59	9,78	9,68	9,68	9,73
60. Température à la sortie { Commencement.	+ 19,71	19,72	19,37	19,52	35,08	19,71	19,92	19,92	19,58	34,68	19,57
61. du condenseur. { Fin	19,71	19,64	19,35	19,59	35,01	19,71	19,87	19,82	19,71	34,66	19,57
62. Correction de la production du condenseur en raison des différences ci-dessus.	+ 100	- 100	+ 10	+ 110	- 80	- 30	- 50	- 160	+ 290	- 170	- 350
63. Production effective au condenseur par heure. Cal.	84210	60610	40510	22010	52630	92230	63120	26460	52690	30230	13420
64. Calories cédées dans l'enveloppe et la tige du piston par heure.	2180	2570	3100	2980	3800	2750	2680	3120	2110	3670	2390
65. Chaleur totale effective, cédée par heure.	86720	63210	43610	24990	56430	94980	67800	29580	54800	33900	15810
66. Chaleur cédée dans l'enveloppe et la tige du piston en 0/0 de la chaleur totale.	2,86	4,07	7,11	11,92	6,73	2,90	3,95	10,55	3,85	10,83	15,12
e. — Bilan thermique.											
67. Production de froid effective Cal.	76490	53360	31720	17130	46910	83910	57700	20430	50730	35660	10440
68. Équivalent thermique du travail indiqué au compresseur.	10710	10250	9080	7330	14390	11980	11510	8110	6230	10930	4810
69. Total.	87200	63610	40800	24660	61300	95890	69210	28540	56960	46610	15250
70. Chaleur cédée, effective.	86720	63210	43610	24990	56450	94980	67800	29580	54800	33900	15810
71. Différence.	+ 480	+ 400	+ 190	- 330	+ 3050	+ 910	+ 1410	- 1040	+ 2160	+ 12710	- 560
72. Différence en 0/0 de la chaleur cédée, effective.	+ 0,6	+ 0,6	+ 0,4	1,3	+ 8,9	+ 1,0	2,1	- 3,5	+ 3,9	+ 37,5	- 3,5
f. — Résultat final. Rendement.											
73. Froid effectif produit au réfrigérant { 1 kg. d'eau d'alimentation.	301,4	219,0	151,6	90,0	150,1	317,2	227,5	105,5	312,6	142,1	74,0
74. par heure et par : { 1 cheval indiqué à la machine à vapeur.	3307	2556	1852	1075	1702	3837	2782	1265	4033	1769	1045

Les éléments de ce calcul sont réunis dans le tableau suivant :

Tableau V. — Machine Linde

No de l'essai (voir tableau III).	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	X
Moyenne des températures d'entrée et de sortie de la solution saline	$t_s + 4,44$	$-3,52$	$-44,45$	$-49,37$	$-3,52$	$+4,70$	$-3,52$	$-49,46$	$+4,47$
Température moyenne de sortie au condenseur	t_c	$49,63$	$49,84$	$49,72$	$35,33$	$49,68$	$49,62$	$49,81$	$49,39$
Rapport théorique $\frac{AL}{W}$	$0,0936$	$0,426$	$0,462$	$0,499$	$0,486$	$0,0843$	$0,448$	$0,490$	$0,0931$
Mêmes valeurs pour les températures normales de la solution saline et les températures du condenseur 19,05° et 35,9°	$t_s + 4,5$ t_c	$-3,5$ $49,5$	$-44,5$ $49,5$	$-49,5$ $49,5$	$-3,5$ $-35,0$	$+4,5$ $49,65$	$-3,5$ $49,5$	$-49,5$ $19,5$	$+4,5$ $19,5$
Facteur de correction pour le rendement $\left(\frac{AL}{W}\right)_n : \frac{AL}{W}$	$0,0924$	$0,426$	$0,461$	$0,499$	$0,485$	$0,0844$	$0,447$	$0,489$	$0,0921$
Rendement calculé pour les températures normales	$420,4$ 4252	$342,4$ 3182	$225,4$ 2322	$463,3$ 4711	$201,7$ 2012	$488,6$ 4913	$350,6$ 3496	$481,1$ 4852	$437,2$ 4787

Machine Pictet.

No de l'essai (voir tableau IV).	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX
Moyenne des températures d'entrée et de sortie de la solution saline	$t_s + 4,59$	$-3,47$	$-44,41$	$-49,44$	$-3,52$	$+4,72$	$-3,50$	$-49,45$	$+4,53$
Température moyenne de sortie au condenseur	t_c	$49,72$	$49,59$	$49,54$	$35,48$	$49,65$	$49,60$	$49,92$	$49,59$
Rapport théorique $\frac{AL}{W}$	$0,0929$	$0,426$	$0,461$	$0,499$	$0,486$	$0,0841$	$0,448$	$0,491$	$0,0926$
Facteur de correction pour le rendement $\left(\frac{AL}{W}\right)_n : \frac{AL}{W}$	$0,0935$	$4,00$	$4,00$	$4,00$	$0,995$	$4,003$	$0,992$	$0,989$	$0,998$
Rendement calculé pour les températures normales	$299,6$ 3489	$219,0$ 2556	$454,6$ 1832	$90,0$ 4075	$449,3$ 4693	$318,2$ 3819	$225,7$ 2760	$404,3$ 1251	$312,0$ 4025

comme nous venons de le dire l'ammoniac anhydre et la compression humide (système Linde) et dans l'autre l'acide carbonique.

La machine à ammoniac soumise aux essais était établie, suivant le type normal du modèle Linde, pour une production de 12 tonnes, tandis que la machine à acide carbonique avait été construite par la Fabrique de Machines d'Augsbourg, aucun des fabricants les plus connus de machines à acide carbonique n'ayant consenti à fournir une machine destinée à des essais. Cependant, d'après les diagrammes donnés plus loin, on verra que cette machine avait un rendement analogue à celui d'une machine de Hall. Nous signalons ce fait seulement pour mon-

trer qu'au point de vue mécanique, la construction, la disposition et le fonctionnement de la machine à acide carbonique soumise aux essais, étaient, semble-t-il, aussi parfaits qu'il fût possible de l'être pratiquement.

Les deux machines furent essayées exactement dans les mêmes conditions, et les résultats de ces essais sont donnés dans le diagramme ci-contre (*Diagramme 1*), qui permet au lecteur de comparer, d'un seul coup d'œil, d'après ces essais, l'efficacité relative des deux agents réfrigérants.

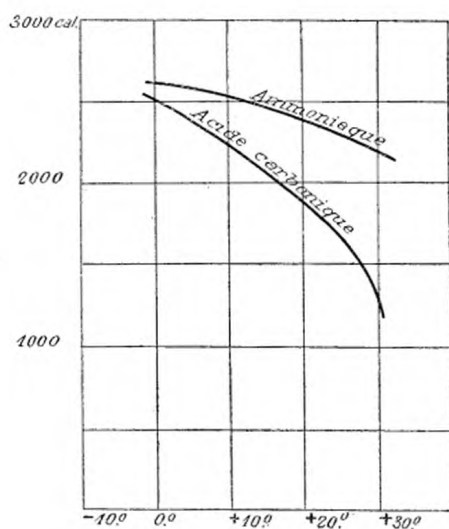


Fig. 81. — Diagramme 1.

La courbe supérieure du diagramme représente les résultats obtenus avec l'ammoniac, la courbe inférieure, ceux fournis par l'acide carbonique. Les ordonnées indiquent le nombre de calories enlevées au réfrigérant par cheval indiqué, et les abscisses, la température du milieu réfrigérant, mesurée immédiatement avant son passage dans la valve de réglage.

Ces courbes montrent que le rendement de la machine à acide carbonique décroît rapidement quand la température de l'acide carbonique condensé s'approche de $+31^{\circ}$, qui est son point critique. Avec

l'ammoniac anhydre, la question du point critique n'intervient pas, et quoique son rendement tombe légèrement quand la température de l'ammoniac condensée s'élève, on voit que la chute entre $+ 10^0$ et $+ 31^0,5$, qui atteint, pour la machine à acide carbonique, 49 0/0 du nombre total de calories enlevées par cheval indiqué, est seulement de 13,5 0/0 pour la machine à ammoniac. Même lorsque le corps réfrigérant est à une température assez basse $+ 10^0$ par exemple nous trouvons que l'acide carbonique rendrait 15 0/0 de moins que l'ammoniac, et à une température de $+ 31^0$, la machine à acide carbonique ne pourrait produire que la moitié de la quantité du froid obtenue avec une machine à ammoniac consommant la même force.

Cette chute considérable du rendement de la machine à acide carbonique, a été confirmée par une communication faite à l'Association britannique d'Ipswich, sur la machine à froid à acide carbonique, par M. Hesketh, de la maison J. et E. Hall, (voir le compte rendu dans *Engineering* du 1^{er} novembre 1895). M. Hesketh donne les résultats de plusieurs essais qui ont été faits sur une machine à acide carbonique de Hall, disposée pour fabriquer de la glace.

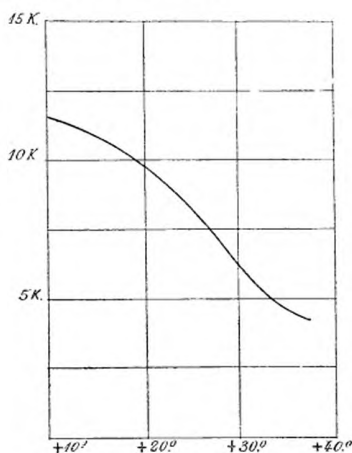


Fig. 82. — Diagramme 2.

Ces résultats sont indiqués sur le diagramme ci-contre (*Diagr. 2*). Les ordonnées représentent le nombre de kilogrammes de glace produite par cheval indiqué, et les abscisses, la température initiale de l'eau de condensation à son entrée dans le condenseur à acide carbonique. Il est permis de supposer que la température de l'acide carbonique liquide, immédiatement avant son passage dans la valve régulatrice, était légèrement plus élevée que la température initiale de l'eau de condensation. En examinant ce diagramme, on trouve que la chute de rendement, c'est-à-dire la quantité de glace produite en moins par cheval indiqué, est de 53 0/0 entre $+ 10^0$ et $+ 31^0,5$; il semble donc démon-

tré que la diminution de rendement s'accroît à mesure que la température de l'acide carbonique condensé s'approche du point critique. Ces résultats confirmeraient par conséquent ceux donnés dans le diagramme A.

Il reste encore un point assez important à considérer ; nous voulons parler du réglage du débit du corps réfrigérant lorsqu'il quitte le condenseur, débit qui doit s'effectuer de façon à obtenir les meilleurs résultats possibles en pratique. Ce point a été soigneusement étudié à Munich, avant qu'on procède à la première série d'essais. Plusieurs essais ont été faits avec les deux machines — ammoniac et acide carbonique — et dans chacun, la température à l'entrée et à la sortie du condenseur et du réfrigérant a été maintenue constante. Le seul point sur lequel ces essais différaient les uns des autres était la température de la vapeur dans le tuyau de refoulement du compresseur, température qui fut maintenue plus élevée ou plus basse. Dans le premier cas, le débit de l'ammoniac ou de l'acide carbonique était intentionnellement trop grand (la valve régulatrice étant trop ouverte) ; les vapeurs aspirées au compresseur étaient alors sursaturées et il en résultait une chute de rendement. Dans l'essai suivant, le débit était réglé de façon à

obtenir les meilleurs résultats possibles, les vapeurs étant aspirées par le compresseur dans les conditions normales de saturation. Dans le troisième essai, le débit du liquide au réfrigérant fut alors réduit de façon que les vapeurs arrivaient au compresseur à l'état de surchauffe, ce qui produi-

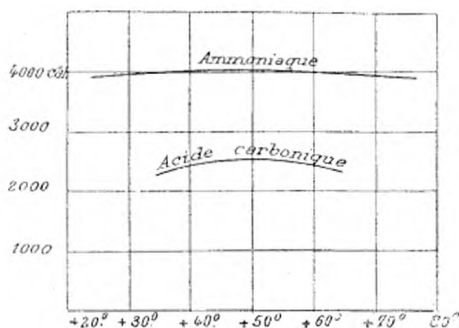


Fig. 83. — Diagramme 3.

rendement, comme ce fut le cas pour la marche avec sursaturation.

Les résultats de ces essais sont représentés par le diagramme ci-contre (*Diagramme 3*). La courbe supérieure est celle de l'ammoniac, la courbe inférieure, celle de l'acide carbonique.

Les ordonnées indiquent le nombre de calories enlevées au réfrigérant par cheval indiqué et les abscisses la température des vapeurs,

mesurée dans la conduite de refoulement, immédiatement après le compresseur. L'examen de ces deux courbes montre que le rendement de la machine à ammoniac ne diminue que de 3,7 0/0 pour un écart de 60°, c'est-à-dire que la température du tuyau de refoulement peut-être de 30° au-dessous de la température normale, sans que pour cela le rendement diminue de plus de 3,7 0/0.

Avec la machine à acide carbonique et pour un même écart de température, la perte de rendement est d'environ 14,7 0/0. Enfin, étant donnée la haute pression de marche de la machine à acide carbonique on aurait reconnu dans ces essais qu'il était nécessaire, là où la température de l'eau de condensation est un peu élevée, d'avoir toujours une bonbonne d'acide carbonique en communication avec la machine. Il y aurait eu, en effet, des pertes constantes de gaz se produisant et se manifestant brusquement à un moment donné, par une chute brusque et considérable de la production. Ces fuites ne semblent pas indiquer une construction parfaite de la machine, et nous allons voir plus loin ce que nous devons penser de cette prétendue supériorité de l'ammoniac sur l'acide carbonique.

Ces essais de comparaison entre les machines à glace de différents systèmes et une telle conclusion ont donné lieu en effet à une très vive controverse entre Hans Lorenz, Ganzenmuller, Linde et Stetefeld (*Zeitschrift für die gesamte Kälte Industrie*, janvier-juin-juillet et août 1902, *Die Eis-und Kälte Erzeugungs-Maschinen*, par R. Stetefeld, Stuttgart, 1901).

M. Stetefeld dans son ouvrage sur les machines à glace dénia toute signification pratique aux essais de Munich, et dans le cours de son ouvrage il déclare équivalents les trois principaux systèmes à ammoniac, à acide sulfureux et à acide carbonique.

M. Ganzenmuller, au contraire (*Annales de la Brasserie*, n° 46) semble admettre les conclusions de Linde, conclusions qui n'ont pourtant guère été adoptées que par la Société Linde et quelques maisons appartenant à la même école.

M. Lorenz, dans les articles cités plus haut soutient avec Richard Stetefeld l'équivalence absolue des trois systèmes de machines. Il donne à l'appui de cette façon de voir le tableau ci-après (tableau VII) où il a fait figurer les résultats qu'il a obtenus avec l'aide d'un certain nombre d'ingénieurs dans toute une série d'essais d'installations en marche industrielle en choisissant ceux dans lesquels la force absorbée par le

compresseur figure à côté de la production frigorifique et dans lesquels des corrections, par suite d'organes accessoires, n'ont pas été nécessaires.

Des résultats de ce tableau M. Lorenz conclut donc à l'équivalence des trois systèmes en conditions normales. En particulier la machine à ammoniaque ne semble pas occuper une place spéciale.

Du reste les résultats portant sur cette dernière concordent bien avec ceux publiés par M. Schroter dans son premier rapport (Munich, 1887) et l'on voit qu'il y a 13 ans la machine à Az H³ avait déjà atteint son rendement actuel. Par rapport aux chiffres obtenus aux essais de Munich ceux de M. Schröter et ceux de M. Lorenz sont sensiblement inférieurs.

M. Linde a essayé de défendre la cause de la machine à ammoniaque et sa supériorité sur les machines à acide carbonique et à acide sulfureux, et cela en s'appuyant sur un certain nombre de considérations portant d'une part sur des considérations théoriques résultant de la comparaison des propriétés physiques des gaz liquides frigorigènes, d'autre part sur des résultats d'essais pratiques. Les considérations de Linde sont les suivantes :

1° *Influence des propriétés physiques* des différents gaz.

a) Diminution de la production frigorifique par la chaleur du liquide.

Si m kilogrammes de liquide frigorigène à la température t' passent par le réglage du condenseur dans le réfrigérant pour se vaporiser à la température t , la quantité de chaleur absorbée W sera égale à la chaleur de vaporisation r moins la différence $q' - q$ des chaleurs du liquide à t' et t .

$$W = m \{ r - (q' - q) \}$$

Si t' variant, les autres conditions restant les mêmes, le travail du compresseur reste aussi le même et la production frigorifique par unité du travail est alors proportionnelle à W . En posant $t' = t$ (sans tenir compte d'autres influences) la production frigorifique des divers corps est la même. Plus t' augmentera, plus ces productions s'écarteront.

La fig. 84, dans laquelle $t = -8^\circ \text{ C}$ et $mr = 100$ montre de quelle façon se comportent les trois agents frigorifiques. Ce résultat était conforme aux expériences de Munich.

b) Perte de charge.

La perte de charge absolue Δp est égale à $\Delta p = \rho v w^2$, c'est-à-dire

Tableau VII. — Tableau de M. Lorenz.

Date de l'essai	Système et provenance	Usage	Eau		Température du bain	Température de liquéfaction	Température de vaporisation	Production frigorigène par heure	Nombre de tours au comp.	Production frigorigène 10° au comp.	Système cond.
			entrée	sortie							
26. IV. 1898	Mach. à AzH ³ Halle de Dresde (Linde).	Refroidissement de viande.	degrés + 8,0	degrés + 22,2	degrés — 3,23	degrés + 27,5	degrés — 7,25	152130	61,0	3100	Cond. à ruissel. av. cond. compl.
28. VII. 1899	" Abattoirs Zwickau (Linde).	"	+ 8,0	+ 24,2	— 4,48	+ 29,0	— 8,61	138360	61,0	2853	"
23. VI. 1899	Abattoirs Mayence (Linde)	"	+ 9,55	+ 20,2	— 2,3 — 4,0	+ 25,4	— 11,5	89690	80,3	2736	Cond. immergé
10. XI. 1899	Abattoirs Burg (Linde).	"	+ 14,8	+ 23,8	— 3,7	+ 27,70	— 10,0	171380	78,4	2700	Cond. à ruissel.
2. VIII. 1900	Abattoirs Munich. (Seyboth).	"	+ 9,9	+ 19,9	— 5,1	+ 25,8	— 13,1	59130	80,5	2913	Cond. immergé.
18. II. 1900	Alkaliwerke Ronnenberg (Humboldt).	Fabrique de glace.	+ 14,0	+ 46,6	— 5,1	+ 49,8	— 15,0	139100	67,5	2829	Cond. à ruissel.
		Fonçage de puits.	+ 10,3	+ 17,5	— 10,3 — 14,0	+ 23,7	— 21,0	273220	80,2	2468	Cond. immergé.
30. VII. 1892	Mach. à CO ² . Tucherbrau Nuremberg. (Riedinger).	Brasserie	+ 9,9	+ 49,5	— 1,3 — 4,9	+ 22,2	— 11,6	123700	40,8	3220	Cond. avec cond. compl.
2. VIII. 1892	Tucherbrau Nuremberg. (Reidinger).	"	+ 10,2	+ 49,5	— 2,2 — 5,4	+ 22,2	— 10,8	103300	41,0	2660	Cond. sans cond. complet.
30. VI. 1899	Vereinsbrauerei Apolda (Riedinger).	"	+ 12,0	—	+ 1,0 — 6,8	+ 29,4	— 9,9	147600	61,5	2876	Cond. à ruissel. av. cond. compl.
28. IV. 1899	Mach. à SO ² Brasserie Kroll, Guben (Borsig).	"	+ 10,4	+ 45,75	— 1,95 — 5,0	+ 17,8	— 10,5	22850	79,0	3420	Cond. immergé.
1. VI. 1900	" Goostemünde (Borsig)	Fabrique de glaces.	+ 10,0	+ 44,6	— 9,3	+ 47,0	— 18,0	102700	59,5	2930	Cond. à ruissel.
13. V. 1899	Vereinsbrauerei. Paderborn (Borsig).	Brasserie.	+ 10,8	+ 20,6	— 1,7 — 6,0	+ 24,0	— 11,0	65430	68,4	2870	Cond. immergé.

proportionnelle à la densité de la vapeur et au carré de la vitesse. L'effet nuisible de cette perte de charge est double, car elle entraîne encore une diminution de la quantité de vapeur aspirée par le compres-

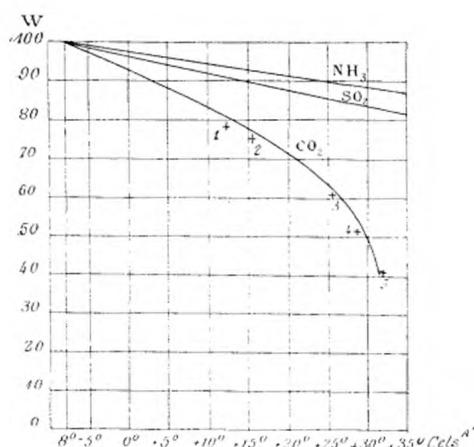


Fig. 84.

seur. Dans le tableau VIII le quotient $\frac{\gamma w^2}{p}$ donne approximativement la mesure de l'influence de la perte de charge.

Tableau VIII

	Az H_3	CO_2	SO_2
w^2	2,5	1	4,8
γ_1	2,31	70,1	3,04
$\gamma_1 w^2$	5,77	70,1	14,59
$\frac{\gamma w^2}{p}$	1,97	2,6	14,09

c) Rendement mécanique.

En admettant le coefficient de frottement (f) égal pour les trois systèmes, la perte serait environ proportionnelle à la dimension des machines, c'est-à-dire la plus forte pour les machines à acide sulfureux et la plus faible pour celles à acide carbonique. Vu les différents

coefficients, cette perte de travail s'égalise entre les machines à ammoniaque et celles à acide sulfureux et la machine à acide carbonique par suite de coefficients plus forts s'égalisera aussi avec celle à ammoniaque. Au surplus ce travail de frottement disparaît lorsque l'on compare les rendements d'après le travail indiqué au compresseur.

En conséquence de ce qui précède, Linde est ramené à des conclusions qu'il avait déjà énoncées dans le *Luegers Lexikon* (5, page 38), soit :

1° Le rendement frigorifique pour le AzH^3 et le SO^2 est à peu près le même (environ 90 0/0) tandis que pour le CO^2 il varie de 80 0/0 à 40 0/0 selon la température de l'eau.

2° Par suite des résistances des soupapes, pertes de charge et résistances passives, toutes conditions égales d'ailleurs, la force prise par le SO^2 sera au moins de 15 0/0 plus forte qu'avec le AzH^3 .

2° *Résultats d'essais pratiques.* — Si les différences précédentes ne se présentaient pas dans les machines exécutées, la faute en serait alors à des exécutions de qualité différente. Mais les données pratiques semblent répondre tout à fait à ces considérations. On peut pour cela se servir du tableau même de Lorenz, à condition, d'après Linde, de l'interpréter judicieusement.

Linde corrige ces chiffres en les ramenant à la même chute de température (25° C.) entre l'eau sortant du condenseur et la température du bain salé. Puis, d'autre part, dans les chiffres fournis par les essais de Dresde (*Hauptmarkthalle Dresden*) on doit considérer la production frigorifique brute au lieu de la production nette ; tenant aussi compte de ce fait que dans ce cas le réfrigérant d'air est combiné au réfrigérant. Il obtient ainsi deux nouvelles colonnes 11 et 12.

Les résultats obtenus ainsi paraissent donc tout en faveur des appareils à ammoniaque.

La production insuffisante de Mayence tiendrait à ce fait que pendant 1/6 de sa course le compresseur n'aspirait pas. D'autre part la machine à acide carbonique de Nuremberg, a été faite dans les mêmes conditions que celle que Lorenz a critiquée à Munich et dont les résultats étaient cependant supérieurs à ceux de Nuremberg.

Les rendements des machines à CO^2 que Lorenz a essayées avec des eaux chaudes, sont soumis à la diminution figurée dans le diagramme précédent :

Lorenz n'a donc en vue, d'après Linde, que de basses températures

Tableau IX. — Tableau de Linde. (Les colonnes 1 à 10 sont identiques à celles de M. Lorenz).

Date de l'essai	Système et provenance	Usage	Eau		Temps du bain	Température de liquéfaction	Température de vaporisation	Prod. frigorifique par heure	Nombre de tours du comp.	Prod. frigorifique p. HPi au comp.	Système cond.	Production frigorifique totale	Prod. frigorifique par heure et HPi p. 25° chute temp.
			entrée	sortie									
1	2	3	3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
26. IV. 1898	Mach. à AzH ₃ Halle de Dresde (Linde).	Refroidissement de viande.	degrés + 8,0	degrés + 22,2	degrés - 3,23	degrés + 27,5	degrés - 7,25	152130	61,0	3100	Cond. à ruissel. av. cond. comp.	175200	3390
28. VII. 1899	» Abattoirs Zwickau (Linde).	»	+ 8,0	+ 24,2	- 4,48	+ 29,0	- 8,61	138360	61,0	2853	»	164100	3740
23. VI. 1899	Abattoirs Mayence (Linde).	»	+ 9,55	+ 20,2	- 2,3 - 4,0	+ 25,4	- 11,5	89690	80,3	2736	Cond. immergé.	103390	3000
10. XI. 1899	Abattoirs Burg (Linde).	»	+ 14,8	+ 23,8	- 3,7	+ 27,7	- 10,0	174380	78,4	2790	Cond. à ruissel.	Lorenz	2880
2. VIII. 1900	Abattoirs Munich (Seyboth).	»	+ 9,9	+ 19,9	- 5,1	+ 25,8	- 13,1	59130	80,5	2913	Cond. immergé.	—	2913
18. II. 1900	Alkaliwerke Ronnenberg (Humboldt).	Fabrique de glace	+ 11,0	+ 16,6	- 5,1	+ 19,8	- 15,0	139400	67,5	2820	Cond. à ruissel.	—	2576
		Fonçage de puits	+ 10,3	+ 17,5	- 10,3 - 14,9	+ 23,7	- 21,0	273220	80,2	2468	Cond. immergé.	—	2830
30. VII. 1892	Mach. à CO ₂ . Tucherbrau Nuremberg (Riedinger).	Brasserie	+ 9,9	+ 19,5	- 1,3 - 4,9	+ 22,2	- 11,6	123700	40,8	3220	Cond. avec cond. compl.	—	2985
2. VIII. 1892	Tucherbrau Nuremberg (Riedinger).	»	+ 10,2	+ 19,5	- 2,2 - 5,4	+ 22,2	- 10,8	103300	41,0	2660	Cond. sans cond. compl.	—	2520
30. VI. 1899	Vereinsbrauerei Apolda (Riedinger).	»	+ 12,0	—	+ 1,0 - 6,8	+ 29,1	- 9,9	147600	61,5	2876	Cond. à ruissel. av.	—	2876
28. IV. 1899	Mach. à SO ₂ . Brasserie Kroll Guben (Borsig).	»	+ 10,4	+ 15,75	- 1,95 - 5,0	+ 17,8	40,5	22850	79,0	3420	Cond. immergé.	—	2820
1. VI. 1900	» Geestemünde (Borsig).	Fabrique de glace	+ 10,0	+ 14,6	- 9,3	+ 17,0	- 18,0	102700	59,5	2930	Cond. à ruissel.	—	2890
13. V. 1899	Vereinsbrauerei Paderborn (Borsig).	Brasserie.	+ 10,8	+ 20,6	- 1,7 - 6,0	+ 24,0	- 11,0	63430	68,4	2870	Cond. immergé.	—	2815

d'eau lorsqu'il parle de l'équivalence en conditions normales des trois systèmes de machines frigorifiques. Il doit déjà excepter les conditions de récupération des eaux de condensation.

Lorenz et Stetefeld ont repris la discussion et ont confirmé leurs anciennes conclusions.

Lorenz tout d'abord réfute à nouveau les essais de Munich au point de vue pratique, parce que les machines essayées dans ce cas, tant comme dimensions des surfaces de serpentins que comme nombre de tours ne correspondent pas aux dimensions pratiques que présentent habituellement les machines Linde. Par ce fait elles devaient donner de meilleurs résultats que celles se trouvant dans l'industrie. On aurait dû, d'autre part, étendre davantage, dans les expériences, les lectures thermométriques.

On ne peut d'ailleurs discuter chaque machine ainsi que Linde l'a fait. On ne doit considérer les chiffres d'essais que comme ils se trouvent. C'était la méthode de Schroter, (rapport de 1887), méthode qui n'a reçue à ce moment aucune critique.

Quant aux machines à acide carbonique qui nécessitent dans le cas de hautes températures, sous les tropiques notamment, l'emploi d'un condenseur complémentaire, elles maintiennent néanmoins un rendement équivalent, et la préférence dont elles jouissent dans la marine, le témoigne suffisamment.

Il faut considérer en moyenne 10°C comme température de l'eau entrant en condition normale et 20° C pour l'eau sortant, et si l'on transforme les chiffres ainsi que l'a fait Linde, il faut tenir bien compte de la bonne réfrigération du gaz liquéfié. On ne doit pas non plus considérer seulement et comparer trois valeurs isolées; on arriverait sans cela à des résultats très fantaisistes.

Le tableau suivant, par exemple, montrerait l'infériorité notoire des machines Linde.

Tableau X

Système et provenance de la machine	Température de l'eau		Température du bain isolé	Production frigorifique	Nombre de tours	Production frigorifique par HP, au compresseur
	entrée	sortie				
Nationalbrauerei Bruns- wick (Riedinger) 1895.	+ 9,4°	+ 16,3°	- 2,9°, - 5°	134.600	50,8	3.390
Stadt. Lagerbierbrauerei Hanovre (Linde) 1897.	+ 9,3°	+ 14,5°	- 4,5°, - 6,8°	124.440	63,3	2.724
Brauerei Kroll, Guben (Borsig) 1899. . . .	+ 10,5°	+ 15,75°	- 3,48	22.850	79,0	3.420

On ne doit pas tenir un compte exagéré non plus des utilisations auxquelles sont destinées les machines.

Que les pertes par rayonnement, dit Lorenz, soient plus fortes dans les abattoirs que dans les brasseries comme Linde le prétend, cela est vrai lorsque ces dernières, comme à Hanovre, Brunswick, Apolda et Ronnenberg, n'ont que des réfrigérants cylindriques; mais cela ne l'est plus, comparé aux grands générateurs de glace des installations de Nuremberg, Guben, Paderborn et Geestemünde. A Burg, la machine Linde est dans un cas semblable et pourtant sa production frigorifique nette n'est guère plus élevée que celle des autres machines Linde.

Par suite, il ne peut être question de la prise en considération de la production frigorifique brute comme le fait Linde pour trois de ses machines à l'exclusion des autres.

Quant aux arguments théoriques de Linde, Lorenz ne croit pas à l'utilité d'une telle discussion en raison de leur peu de signification pratique tout au moins dans le cas particulier qui nous occupe.

Expérimentalement, d'après Lorenz, le rendement mécanique paraît varier entre 0,8 et 0,9; il écarte par suite, par principe, le système du travail effectif au compresseur, qui par son indétermination n'est qu'une cause d'inexactitude et de confusion.

Enfin, au sujet des productions par rapport à l'unité de travail indiqué au compresseur, productions transposées par Linde, d'après sa formule, Lorenz remarque qu'elles se rapportent à la température de sortie de l'eau et de la solution salée. Dans les essais de refroidissement ou dans ceux avec température constante au réfrigérant (par exemple, fabriques de glace, chauffage du bain à la vapeur) on considérera la température moyenne de la solution (ces moyennes figurent seules dans le tableau suivant). Dans un essai en régime, il faudra par contre considérer la température inférieure de la solution. De ce que Linde n'a pas tenu compte de ces circonstances pour quelques essais, il s'ensuit encore que ses chiffres sont en partie inexacts. Il paraît donc indiqué de rappeler ici encore tout le tableau dans lequel les productions sont rapportées à une chute égale de température selon la formule de Linde (colonne 11, tableau XI) avec le rappel déjà fait qu'elle ne tient pas compte de la température d'arrivée de l'eau.

Stetefeld a, d'autre part, réfuté aussi la plupart des assertions de Linde.

La construction de chaque système de machines ne peut être confiée

Tableau N° XI de H. Lorenz.

Date de l'essai	Système et provenance	Usage	Eau		Température du bain	Température de liquéfaction	Température de vaporisation	Prod. frigorif. par heure.	Nomb. de tours du comp.	Prod. frigorif. p. l'p. au comp.	Système cond.	Prod. frigorif. p. h. et l'p. p. 25° chute temp.	Genre d'essai
			entrée	sortie									
6. IV. 1898	Mach. à Ar H ³ Halle de Dresde (Linde)	Refroidissem ^t de viande	degrés + 8,0	degrés +22,2	degrés — 3,23	degrés +27,5	degrés — 7,25	152130	61	3400	Cond. à ruissel. av. cond. compl.	3134 3163	Refroidissement.
28. VII. 1899	Abat toirs Zwickau (Linde)	»	+ 8,0	+24,2	— 4,48	+29,0	— 8,61	138360	61	2853	»		»
23. VI. 1899	— Mayence (Linde)	»	+ 9,55	+20,0	— 2,3—4,0	+25,4	—11,5	89690	80,3	2736	Cond. immergé	2706	»
10. XI. 1899	— Burg (Linde)	»	+14,8	+23,8	— 3,7	+27,7	—10,0	171380	78,4	2700	Cond. à ruissel.	2880	Temp. const. p. vapeur
2. VIII. 1900	— Munich (Seyboth)	»	+ 9,9	+19,9	— 5,1	+25,8	—13,4	59430	80,5	2913	Cond. immergé	2913	»
18. II. 1900	Alkaliwerke Ronnen- berg (Humboldt)	Fab. de glace	+11,0	+16,6	— 5,1	+19,8	—15,5	139400	67,6	2820	Cond. à ruissel.	2570	Temp. const. fab. glace
		Fonçage de puits	+10,3	+17,5	—10,3—1,40	+23,7	—21,0	273220	80,2	2468	Cond. immergé	2970	Régime const.
30. VIII. 1892	Mach. à CO ² Tuchersbrau Nuren- berg (Reidinger)	Brasserie	+99,0	+19,5	—1,3—4,9	+22,2	—11,6	123700	40,8	3220	Cond. av. cond. comp.	3160	»
2. VIII. 1892	Tuchersbrau Vuren- berg (Reidinger)	»	+10,2	+19,5	—2,2—5,4	+22,2	—10,8	103300	41,0	2660	Cond. s. cond. comp.	2650	»
30. VI. 1999	Vereinsbrauerei Apolda (Reidinger)	»	+12,0	»	+1,0—6,8	+29,1	— 9,9	147600	61,5	2876	Cond. à ruissel. av. cond. compl.	3130	»
28. IV. 1899	Mach. à SO ² Brasserie Kroll Guben (Borsig)	»	+10,4	+15,75	—1,95—5,0	+17,8	—10,5	22850	79,0	3420	Cond. immergé	2830	Refroidissement.
4. VI. 1900	Geestemünde (Borsig)	Fab. de glace	+10,0	+14,6	— 9,3	+17,0	—18,0	102700	59,5	2930	Cond. à ruissel.	2890	Temp. const. fab. glace
13. V. 1899	Vereinsbrauerei Paderborn (Borsig)	Brasserie	+10,8	+20,6	—1,7—6,0	+24,0	—11,0	65430	68,1	2870	Cond. immergé	3020	Régime const.

à un constructeur quelconque, mais doit être au contraire entre les mains même d'un spécialiste.

Il s'ensuit que les fabricants de machines à acide sulfureux ne sont pas préparés pour construire des machines à ammoniac ou des machines à acide carbonique. Chacune a besoin de soins particuliers, de précautions spéciales pour les amener à un rendement maximum et sensiblement égal dans les trois cas.

La qualité d'une machine dépend bien de plusieurs facteurs. Sur ce point, Linde et Stetefeld sont bien d'accord; mais l'interprétation même de ces facteurs n'est pas la même.

C'est ainsi qu'au point de vue de la diminution de la puissance frigorifique par la chaleur du liquide, Stetefeld rappelle ce qu'il a déjà dit dans son ouvrage et envisage deux cas. Dans le premier cas avec une quantité d'eau infinie à $+10^{\circ}$, il obtient par unité de travail avec -10° C au réfrigérant les chiffres suivants :

8.230 frigories pour le AzH^3 ;

7.900 frigories pour le CO^2 ;

8.360 frigories pour le SO^2 .

Dans le deuxième cas avec une quantité d'eau normale, il obtient :

4.830 frigories pour AzH^3 ;

4.270 frigories pour CO^2 ;

4.900 frigories pour SO^2 .

Avec une température de liquéfaction de $+33^{\circ}$ C, il obtient :

3.820 frigories pour AzH^3 ;

3.550 frigories pour CO^2 ;

3.880 frigories pour SO^2 .

Ces chiffres ne laissent pas reconnaître une égalité de production frigorifique par unité de travail, mais ils laissent voir que dans la transposition de chiffres d'essais à d'autres températures que celles observées dans ceux-ci, on ne doit pas négliger l'influence du refroidissement complémentaire du gaz liquéfié. Ils laissent aussi voir que l'égalité prétendue par Linde de la production frigorifique par unité de travail lors du refroidissement du gaz liquéfié à la température du réfrigérant n'existe pas, alors qu'il suppose justement une température de réfrigération complémentaire spéciale et très basse dans son exposé, sans cependant en faire mention.

Une autre cause de la différence des résultats de Linde avec les précédents peut être cherchée dans ce fait qu'il appuie ses calculs sur

d'autres bases que celles employées ici et précisées dans diverses publications de Lorenz, Mollier et Stetefeld.

D'autre part, que les pertes de charge soient différentes dans les divers systèmes, ce n'est vrai que d'une façon limitée! On ne doit pas non plus, ne voir dans cette question de pertes de charge qu'une affaire de construction, mais bien au contraire modifier celle-ci pour les réduire au minimum.

Il n'est pas possible non plus, les sections de passage des gaz étant proportionnels à la surface du piston, d'admettre un même nombre de tours et un rapport de course identique. C'était cette conception qui avait conduit Linde au tableau VIII (voir page 246).

Linde ne dit pas d'ailleurs si les vitesses de gaz w étaient prises dans la pratique. Ceci même serait encore erroné car dans les machines à SO_2 la valeur prise pour w n'est pas celle que l'on observe, ainsi que le montre le tableau suivant, dressé par Stetefeld sur trois machines en marche industrielle.

Tableau XII (Stetefeld)

	Schlackhof Mayence (Linde) Az H ³ 442 000 frigories par heure	Verkehrsverein Apolda (Bio- dinger CO ²) 447,600 frigo- ries par heure	Eisfabrik Geestmünde (Bosig) SO ² 402,700 frigo- ries par heure
d = diamètre du cylindre du compres- seur en m.	0,27	0,14	0,48
s = course du piston en m.	0,50	0,50	0,60
$\frac{s}{d}$	1,85	3,57	1,25
nombre de tours par min.	80	61,5	60
$w = \frac{sn}{30}$; vitesse d'écoulement	1,333	1,02	1,2
w^2 = carré de la — — — —	1,78	1,04	1,44
γ = densité de vapeur à -10°	2,32	70	3,04
pression au réfrigérant p en kg. par cm ²	2,92	27,1	1,04
γw^2	4,13	72,8	4,37
quotient $\frac{\gamma w^2}{p}$	1,42	2,69	4,2

On voit par ce tableau que les valeurs de $\frac{\gamma w^2}{p}$ se modifient beaucoup en faveur de l'acide carbonique et de l'acide sulfureux contre l'ammoniaque, on doit en effet considérer pour les pertes de charge non

seulement la vitesse du piston, mais encore la vitesse dans les soupapes et tuyauteries.

Dans les tableaux ci-après, les pertes de charge sont indiquées pour le premier (tableau XIII) dans les soupapes d'aspiration pour le deuxième (tableau XIV) dans les soupapes de refoulement.

Il s'agit d'une machine frigorifique de 50.000 frigories environ. L'introduction de ces valeurs dans ce calcul conduit au résultat suivant :

Les deux tableaux montrent qu'on ne peut *a priori* déduire des propriétés physiques l'inégalité des machines à AzH^3 et SO^2 sans risquer

Tableau XIII. — Perte de charge dans les soupapes d'application (Stetefeld).

Agent frigorifique	NH_3	CO_2	SO_2
Vitesse en mètres par seconde dans les soupapes d'aspiration w_s . . .	12,2	1,8	6,3
Carré de la vitesse w_s^2	149	3,24	39,4
Densité de vapeur à -10° γ_s	2,32	70	3,04
$\gamma_s w_s^2$	346	227	121
Pression au réfrigérant en kg. par cm^2 p_s	2,92	27,1	1,04
Quotient $\frac{\gamma_s w_s^2}{p_s}$	118	8,4	116

Tableau XIV. — Perte de charge dans les soupapes de refroidissement (Stetefeld).

Agent frigorifique	NH_3	CO_2	SO_2
w_d = Vitesse en mètres par seconde dans les soupapes de refoulement.	15,7	5,2	9,3
Carré de la vitesse w_d^2	246	27	86,5
γ_d = Densité de vapeur pour une température de liquéfaction de $+24^\circ$	7,34	227	8,52 = γ_d' (10,7 = γ_d')
$\gamma_d w_d^2$	1810	6130	736 (925)
Pression au cond. p_d en kg. par cm^2	10	63,9	3,84
Quotient $\frac{\gamma_d w_d^2}{p_d}$	181	9,6	190 (240)
Les chiffres () se rapportent au SO^2 surchauffé.			

de donner une vue qui ne correspond pas du tout avec celle fournie réellement par la pratique.

Il est encore à remarquer que pour Az H^3 et CO^2 le quotient $\frac{P_{\text{th}} v_s}{P_s}$ différera encore davantage dans la pratique par suite des particules de liquide aspiré.

Il ressort encore de ces tableaux que la machine à acide carbonique en raison même de sa très petite perte de chute par rapport à celle des machines à ammoniacque et à acide sulfureux regagne en partie l'infériorité de sa production théorique par unité de travail. Elle est encore avantagée (point que Linde ne touche pas) par suite de ses fuites très faibles au piston, fuites qui sont ramenées à leur minimum par le fabricant; son infériorité théorique se trouve par suite annulée par des facteurs de construction.

Quant au rendement mécanique des compresseurs et des résistances passives, Linde admettant l'égalité dans les machines à Az H^3 et à CO^2 alors que les résistances sont plus fortes dans les machines à SO^2 . Cette différence aurait disparu par la comparaison du travail indiqué au lieu de travail effectif.

Il semble sans utilité de discuter la question du travail effectif du compresseur vu le manque de connaissances que l'on possède sur les frottements et vu la variabilité des proportions pratiques des machines en marche. Ce manque de bases pour les calculs théoriques n'est pas à regretter, d'après Stetefeld, car on n'a nullement besoin du travail effectif du compresseur pour juger une machine. Le travail indiqué au compresseur suffit parfaitement.

Nous avons déjà dit que les deux quantités étaient dans les rapports de 0,8 à 0,9. D'après Stetefeld les maximum et les minimum mesurés dans la pratique sont :

pour les machines à	Az H^3	0,854	0,870
—	à SO^2	0,800	0,897

Il n'y a donc pas une infériorité de 15 0/0 attribuable aux machines à SO^2 (Linde-Luegers Lexikon). Nous avons déjà discuté avec Lorenz les résultats d'essais pratiques et nous avons déjà réfuté la nécessité de tout ramener à des chutes de température égales. Stetefeld compare les chiffres obtenus par la formule de Linde à ceux obtenus directement par la théorie et déjà compris dans son ouvrage.

Tableau XV (Stetefeld).

Température de liquéfaction + 24°. Refroidissement à + 11°						
Température au réfrigérant	± 0°			— 20°		
	Az H ₃	CO ₂	SO ₂	Az H ₃	CO ₂	SO ₂
$\frac{w}{N_i}$ d'après Stetefeld.	6912	5220	6880	3226	2690	3244
$\frac{w}{N_i}$ transposé à $t_r = -10$ {	d'après formule de Linde.	4760	3540	4680	4330	3490
	d'après Stetefeld.	4530	3572	4530	3572	4530

D'autre part, le tableau suivant montre la comparaison avec température constante au réfrigérant, mais température variable de l'eau, température de liquéfaction et de refroidissement variables.

Tableau XVI.

	Température au réfrigérant — 10		
Agent frigorifique	Az H ₃	CO ₂	SO ₂
$\frac{w}{N_i}$ pour $t_k = +31, t' = +20$ d'après Stetefeld.		3660	2690
$\frac{w}{N_i}$ transposé à $t_k = +24, t' = +11$ {	d'après formule de Linde.	4420	3240
	d'après Stetefeld.	4530	3512

La différence entre les chiffres transposés et ceux calculés directement est suffisante pour laisser une marge à une fausse interprétation dans bien des essais d'après la formule de Linde. La méthode de calcul donnée par Lorenz, permet de tenir compte de la réfrigération des gaz liquéfiés dont ne tient pas compte la formule de Linde.

Stetefeld publie en outre un tableau dans lequel il a résumé un certain nombre d'essais, en particulier deux machines à acide sulfureux présentant une très forte réfrigération du gaz liquéfié. D'autre part, au point de vue de la production brute dans le réfrigérant, Stetefeld a fait figurer autant que possible la surface de rayonnement du réfrigérant rapportée à 1000 frigories de production nette dans la colonne 14

du tableau XVII. Ces chiffres semblent bien ne pas déplacer les résultats en faveur de AzH^3 .

Dans les réfrigérants Linde combinés aux réfrigérants d'air, Stetefeld n'a compté que le réservoir inférieur jusqu'au niveau d'eau, plus la surface de ce niveau d'eau ; ce qui existe au-dessus n'est pas à considérer. Les essais 3 et 4 sont calculés de cette façon, tandis que 5 avec son réfrigérant générateur de glace ne diffère pas (sauf pour 10-14-15) des autres essais de machines à CO^2 et SO^2 .

Dans ce tableau, Stetefeld a été encore plus loin que Linde et Lorenz car à côté de la réduction à la même différence de température entre l'eau sortant du condenseur et l'eau salée (colonne 11 *a* Stetefeld) il a fait une deuxième réduction comprenant même température de vaporisation — $10^{\circ}C$ au réfrigérant, même température de liquéfaction au condenseur + $24^{\circ}C$ et partant même température du liquide + $11^{\circ}C$ avant le robinet de réglage. Les résultats obtenus sont consignés dans la colonne 11 *b* et com ne ils tiennent compte d'une part de la construction des condenseurs et réfrigérants tant comme grosseur que comme état des surfaces, d'autre part des pertes de charge, ils donnent un aperçu très clair des rendements obtenus chaque jour par de bonnes proportions dans les dimensions des machines tout en restant comme prix d'achat et comme rendement dans les conditions usuelles.

Les conclusions que l'on peut tirer d'un tel ensemble de faits et de considérations seront les suivantes. On doit bien admettre que dans les essais de Munich la machine Linde, la machine à ammoniac, a paru avoir un rendement plus élevé, mais les conditions d'établissement et d'entretien d'une telle machine étaient très onéreuses et tout à fait en dehors des conditions industrielles habituelles. Etant donnée la perfection à laquelle est arrivée la construction des machines à acide sulfureux et à acide carbonique nous pouvons conclure hardiment avec Stetefeld et Lorenz.

Les trois machines frigorifiques à ammoniac, à acide sulfureux et à acide carbonique pour des températures d'eau normales ne présentent pas de différence de rendement en faveur de l'un ou de l'autre système dans la pratique.

1	Date de l'essai	Système et provenance	Usage	Eau		Temp. du bain	Temp. de liquéfaction	Prod. frigorif. p. FP ₂ au comp.			Système cond.	Genre d'essai	Surf. de rayon. du réfrig. en m ² p. 100 frig.
				entrée	sortie			a) réduite à 25° de diff. de temp. entre sortie eau et solution	b) réduite à t _k = +2°	c) réduite à t _r = -10°			
1	26 IV 1898.	Mach. à AzH ³ Halle de Dresde (Linde)	Refroidissement de viande	+ 8,0°	+22,2°	- 3,23°	+ 27,5°	3.434	3.080	3.095	Cond. à ruissel. à r. cond. compl.	Refroidissement.	?
2	28 VII 1899.	Abattoirs Zwickau (Linde)	"	+ 8,0°	+24,2°	- 4,48°	+ 29,0°	3.163	3.430	3.420	"	"	?
3	28 VII 1899.	Abattoirs Zwickau (Linde)	"	+ 9,53°	+20,2°	- 2,3° - 4,0°	+ 25,4°	2.736	2.560	2.985	Cond. immergé.	"	0,60
4	23 VI 1899.	Abattoirs Mayence (Linde)	"	+14,8°	+23,8°	- 3,7°	+ 27,7°	2.700	2.900	3.030	"	Temp. const p. vapeur.	1,27
5	10 XI 1899.	Abattoirs Burg (Linde)	"	+ 9,9°	+19,9°	- 5,4°	+ 25,8°	2.913	2.913	3.280	"	"	(0,61) ^s
6	2 VIII 1900.	Abattoirs Munich (Seyboth)	Fab. de glace	+14,0°	+16,6°	- 5,4°	+ 19,8°	2.820	2.550	3.050	Cond. à ruissel.	Temp. const. fabr. glace.	1,0
7	18 II 1900.	Alkaliwerke Ronnenberg (Humboldt)	Fonçage de puits	+10,3°	+17,5°	-10,3° - 14,0°	+ 23,7°	2.468	2.970	3.110	Cond. immergé.	Régime constant.	0,34
8	30 VII 1892.	Tucherbrau Nuremberg (Riedinger)	Brasserie	+ 9,9°	+19,5°	- 4,3° - 4,9°	+ 22,2°	3.220	3.160	3.080	Cond. avec cond. compl.	"	1,05
9	2 VIII 1892.	Tucherbrau Nuremberg (Riedinger)	"	+10,2°	+19,5°	- 2,2° - 5,4°	+ 22,2°	2.660	2.650	—	Cond. sans cond. compl.	"	—
10	30 VI 1899.	Vereinsbrauerei Apolda (Riedinger)	"	+12,0°	—	+ 4,0° - 6,8°	+ 29,1°	2.876	3.430	3.340	Cond. à ruissel avec cond. compl.	"	0,26
11	28 IV 1899.	Mach. à SO ² Brasserie Kroll Guben (Borsig)	"	+10,4°	+15,75°	- 4,95° - 5,0°	+ 17,8°	2.830	2.825	2.870	Cond. immergé.	Refroidissement.	1,85
12	1 VI 1900.	" Geestemünde (Borsig)	Fab. de glace	+10,0°	+14,6°	- 9,3°	+ 17,0°	2.930	2.890	3.300	Cond. à ruissel.	Temp. const. fabr. glace.	0,98
13	13 V 1899.	Vereinsbrauerei Paderborn (Borsig)	Brasserie	+10,8°	+20,6°	-1,7° - 6,0°	+ 24°	3.020	3.050	3.000	Cond. immergé.	Régime constant.	1,0
14	19 XII 1900.	Abattoirs Essen (Borsig)	Fab. de glace	+ 8,5°	+19,4°	- 3,6°	+ 21,5°	—	3.260	3.470	"	Refroidissement.	0,45
15	13 XI 1901.	Abattoirs Berlin (Borsig)	Refr. de viande et fabr. de glace	+ 9,8°	+19,0°	- 3,53°	+ 23,4°	—	3.090	3.460	"	"	0,48

DEUXIÈME PARTIE

LES APPLICATIONS DU FROID

Les appareils réfrigérants, en outre de la production de la glace opaque ou transparente ont reçu un grand nombre d'applications dans l'industrie.

Ils servent ainsi :

I En brasserie pour le refroidissement :

- 1) de l'eau glacée, qui circule dans les réfrigérants à bière ;
- 2) pour le service des nageurs à eau froide ;
- 3) pour le refroidissement, la dessiccation et la purification de l'air des caves de fermentation ;
- 4) pour le maintien des caves de garde à de basses températures ;
- 5) pour la ventilation des malteries avec de l'air froid et humide ;
- 6) pour la production de la glace.

II Dans les fabriques de beurre et laiteries pour la conservation et le refroidissement du lait pendant la formation de la crème et dans les fabriques de margarine pour le refroidissement des locaux de solidification.

III Dans les chocolateries pour le refroidissement du chocolat.

IV Pour la conservation des viandes fraîches et congelées et des denrées alimentaires, poissons, fruits, etc., leur transport par chemin de fer ou bateau, le refroidissement des soutes à provision à bord des navires, le refroidissement des locaux de conservation dans les abattoirs.

V Pour la clarification et la bonification des vins, le refroidissement

des caves de vins mousseux, la concentration, le dégorgeage des vins de Champagne, le vieillissement des vins, la clarification du vinaigre.

VI Dans les fabriques de produits chimiques pour la séparation des différents produits par cristallisation fractionnée, dans les fabriques de matières colorantes, dans les stéarinerie pour le refroidissement des chambres de solidification, dans les fabriques de paraffine pour la cristallisation et la séparation de la paraffine des huiles de pétrole, pour l'extraction des parfums.

VII Dans les fabriques de caoutchouc pour la solidification de la matière première et la plus grande commodité du travail.

VIII Dans les fabriques de dynamite pour refroidir la glycérine pendant la nitrification.

IX En sucrerie pour le refroidissement et la cristallisation du sucre de la mélasse.

X Dans les distilleries :

- 1) pour le refroidissement des eaux de condensation;
- 2) pour le refroidissement direct des mûts;
- 3) pour la concentration par la séparation de l'eau à l'état de glace.

XI Pour le forage des puits ou des tunnels dans les terrains aquifères.

XII Pour la congélation des skatings rings et des salles de patinage.

XIII Pour la conservation des graines de vers à soie pour empêcher l'éclosion avant la pousse des mûriers; dans les établissements d'horticulture pour le fonctionnement des serres froides et pour faire varier l'époque de floraison des plantes d'ornement.

XIV Pour le refroidissement des établissements publics et privés et en particulier, des Morgues et des hôpitaux; ils servent ainsi à la congélation et la conservation des cadavres.

CHAPITRE PREMIER

FABRICATION DE L'AIR FROID.

FRIGORIFÈRES

Les frigorifères ont pour but de refroidir systématiquement l'air d'une salle, d'en abaisser la température et une fois le degré nécessaire obtenu, de le maintenir constant. On peut faire circuler soit le gaz détendu, soit la saumure froide dans des tuyaux placés à la partie supérieure des chambres, soit faire circuler de l'air dans une série de tuyaux plongeant dans le bac réfrigérant.

Refroidissement par détente directe

C'est la première méthode qui est la plus employée. Le froid est alors obtenu dans les locaux, par détente du gaz comprimé dans des tuyaux disposés convenablement. Le gaz employé peut être l'un quelconque des gaz frigorifères, anhydride sulfureux ou carbonique, ammoniac, chlorure de méthyle. On a souvent émis l'objection à ce système qu'il constitue un danger de fuites dans les locaux refroidis. Mais les fuites sont rendues impossibles par un joint parfaitement établi.

En revanche cette méthode permet de produire le froid au moment et à l'endroit que l'on désire, tandis que par la saumure il faut d'abord travailler à refroidir le bain, et quelque bien isolé que soit le bac, il y a toujours des pertes de froid par rayonnement.

Il y a production instantanée du froid : Aussitôt la machine en route, les tuyaux de détente produisent du froid et commencent à se couvrir de givre. Pour refroidir la saumure en dessous de 0°, il faut quelques heures de travail, ce qui fait qu'une machine mise en route le matin ne peut refroidir que l'après-midi.

Les tuyaux de circulation de saumure s'oxydent à l'intérieur ; cet

oxyde, ainsi que les incrustations, forment une couche isolante s'opposant à la transmission du froid. Ceci ne se produit pas dans la détente directe. L'ammoniac pas plus que les acides sulfureux ou carbonique n'attaque les métaux.

Dans le procédé Cambier, par exemple, on utilise la détente directe de l'acide sulfureux. On établit contre la voûte de la salle une série de tuyaux formant serpentins. C'est dans ces tuyaux que l'acide sulfureux vient se détendre. Leur longueur est calculée de façon à obtenir le froid voulu.

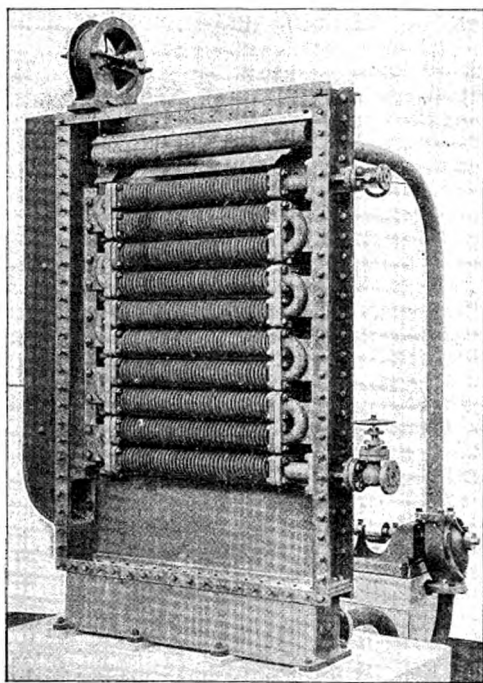


Fig. 83. — Appareil pour la production de l'air froid et sec.

Au début, on établissait simplement une série de tuyaux nus ; actuellement, pour diminuer les frais d'installation en diminuant la grandeur des serpentins, on adapte sur les tuyaux des ailettes en fonte. Ces ailettes sont en deux pièces, facilement ajustables sur les tuyaux, au moyen de deux petits boulons. Elles agissent absolument comme les ailettes des radiateurs à vapeur et suivant les mêmes principes. On ar-

rive ainsi à réduire des trois quarts la longueur des serpentins. On essaye les appareils sitôt installés à une pression de 5 kg.; ils

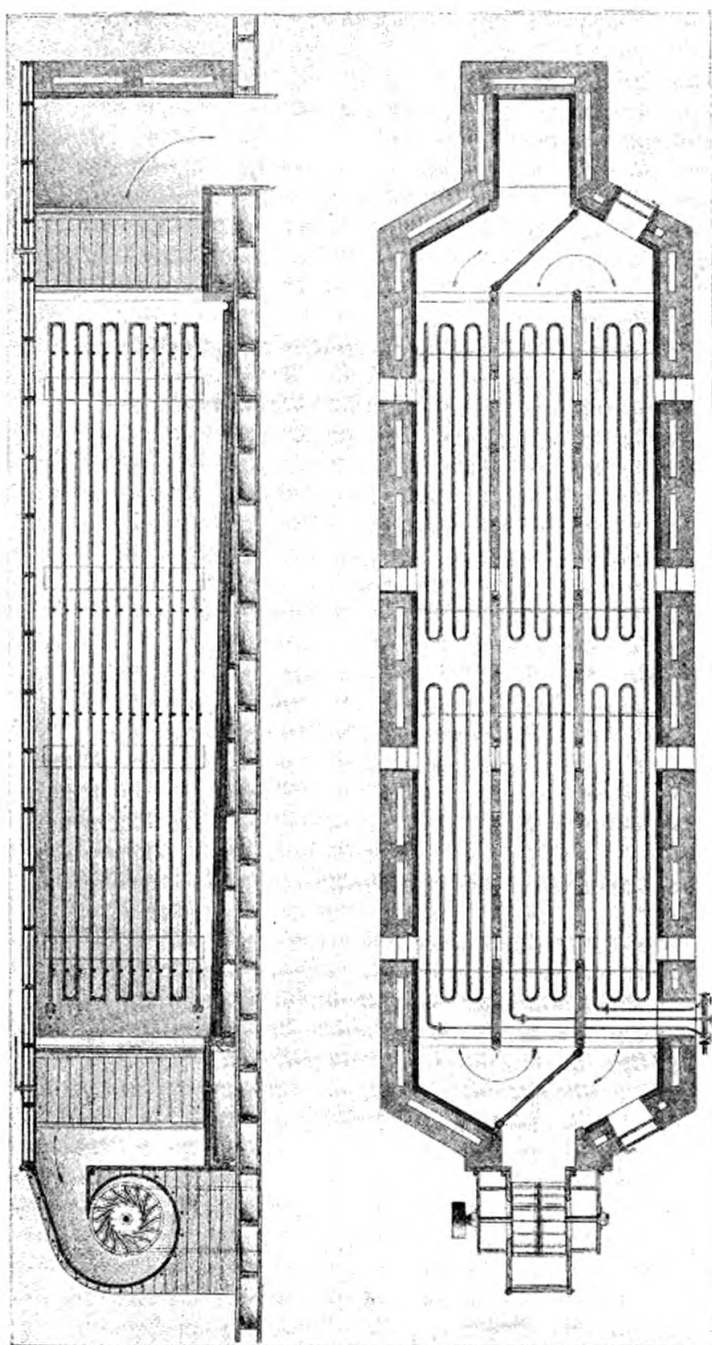


Fig. 86. — Refroidissement fait à variation système B. Lebrun (Coupe longitudinale).

doivent conserver cette pression sans en rien perdre pendant plusieurs heures. Or, en pleine marche, il n'y a aucune pression dans ces tuyaux

dans lesquels s'opère l'aspiration de la pompe. Les fuites ne peuvent donc se produire et si, par extraordinaire, il s'en déclarait, elles entraî-

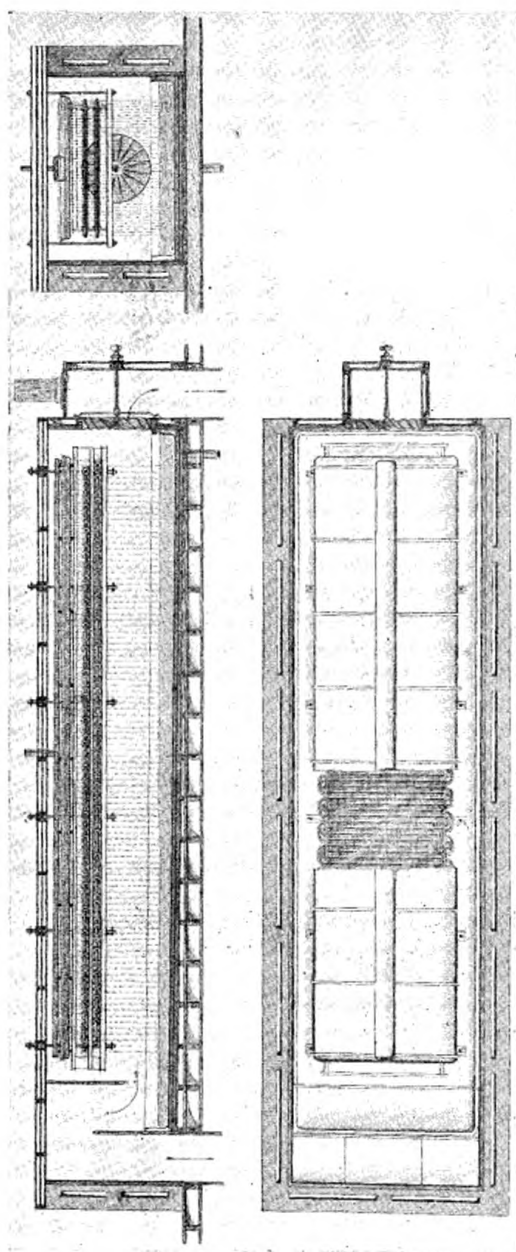


Fig. 87 — Refroidissement fait à ruissellement. Système B. Lebrun. (Coupe longitudinale)

neraient plutôt une rentrée d'air dans la machine, ce qui se constaterait par une augmentation de pression.

La détente directe de l'ammoniac est employée par un certain nombre de constructeurs de préférence à la circulation de saumure. C'est ainsi que Roussel et Duponchelle, de Lille ont pu installer par détente directe de l'ammoniac le refroidissement total de la brasserie Karcher.

On aspire l'ammoniac dans le compresseur à une pression peu élevée. On peut dans ce cas comparer commodément la méthode par détente directe et la méthode par circulation de solution saline refroidie. Par exemple, à 0 atmosphère, la température des tuyaux d'expansion sera à -10° , tandis qu'en supposant une circulation de saumure à -5° , la pression à l'aspiration est de 0,2, donc augmentation de rendement par la détente directe.

B. Lebrun a disposé deux séries d'appareils un peu différents les uns des autres pour le refroidissement de l'air par détente directe de l'ammoniac. Dans le système à radiation, l'air est refroidi par une série de faisceaux tubulaires en acier étamé dans lesquels se détend le gaz. Mais comme par suite du contact de l'air chaud avec ces tuyaux il se dépose à la surface une couche de givre qui diminue leur effet réfrigérant, il est nécessaire d'assurer un dégivrement méthodique. On obtient ce dégivrement au moyen de jeux de vannes particuliers qui modifient la circulation de l'air chaud dans l'appareil et provoquent par conséquent la fusion alternative du givre sur les différents tuyaux.

Dans le système par ruissellement, l'air froid est obtenu à l'aide d'un appareil spécial, appareil qui se compose d'un serpentin formé de tuyaux en fonte à ailettes, et fixé dans une caisse en bois ou en métal, à parois isolées. Une pompe, centrifuge ou autre, vient verser sur les tuyaux un liquide incongelable qui est toujours repris à la partie inférieure formant réservoir.

L'ammoniac anhydre, en se détendant dans les tuyaux en fonte, porte le liquide salin à une température très basse et l'air à refroidir est lancé par un ventilateur sur le faisceau de tuyaux et aspiré à la partie inférieure. L'air se trouve donc en contact avec une énorme surface de liquide, d'autant plus considérable que les parois de la caisse portent des chicanes destinées à ramener le liquide sur les tuyaux en même temps qu'elles augmentent les surfaces de contact.

On voit que ce système est intermédiaire entre la détente directe et le refroidissement par saumure.

Le frigorigère Rouart est établi sur le même principe. Il se compose

d'une bache métallique isolée, d'un ventilateur, d'un serpentín de refroidissement. Un robinet distributeur placé à la partie supérieure du frigorifère règle la détente du gaz ammoniac dans le serpentín au-dessus duquel est un petit réservoir dont le fond est percé de petits trous ; il est alimenté par une pompe de circulation élevant une solution aqueuse de chlorure de calcium contenue dans le fond de la bache sur une hauteur déterminée.

L'axe du ventilateur est muni d'un jeu de poulies fixe et folle lui permettant d'être mù par une courroie ; de plus une troisième poulie est clavetée sur cet axe et transmet le mouvement à la pompe de circulation.

L'air extérieur étant aspiré par le ventilateur traverse le faisceau tubulaire formé par le serpentín sur lequel le réservoir laisse échapper en pluie la solution incongelable par les trous percés dans le fond de la bache ; le robinet étant ouvert au moment de la mise en marche, le gaz ammoniac se détend dans le serpentín au contact duquel l'air se refroidit.

L'un des principaux avantages de ces différents systèmes est d'obtenir un effet plus énergique sous un plus petit volume. De plus l'air aspiré rencontre dans le frigorifère pour échanger sa température, non seulement la surface refroidissante du serpentín, mais encore la pluie de solution de chlorure de calcium se refroidissant continuellement au contact du serpentín et dont le but principal est d'empêcher la formation du givre sur les spires de ce dernier. Par ce procédé, l'air refroidi et refoulé se trouve débarrassé d'une bonne partie des vapeurs d'eau qu'il contient, lesquels se condensent à leur contact avec les surfaces refroidissantes.

Si la solution de chlorure de calcium devenait à la longue trop aqueuse, il suffirait d'en retirer une partie que l'on concentrerait à chaud et que l'on remettrait ensuite dans la bache.

Les frigorifères Fixary sont de deux sortes :

1° Les *Frigorifères de conservation*, employés lorsqu'il s'agit de refroidir et de maintenir à une température supérieure à 0 degré les chambres ou caves destinées généralement à la conservation de produits alimentaires.

2° Les *Frigorifères de congélation*, employés lorsqu'il s'agit de maintenir des locaux à des températures inférieures à zéro ou de produire de l'air froid à très basse température, de 0° à — 25°, pour la congélation rapide de tous produits ou la conservation à longue échéance des produits congelés.

Les *Frigorifères de conservation* permettent de réaliser la production industrielle de l'air froid et sec avec une certaine économie de fonctionnement et un établissement relativement très simple. Leur action permet d'utiliser la formation du givre sur les organes de refroidissement. L'air froid et sec est distribué à l'aide de conduites de circulation d'air en bois ou en tôle, peu coûteuses, faciles à poser et susceptibles d'une divisibilité pratiquement indéfinie permettant d'apporter et de ne dépenser l'air froid que là où l'on en a besoin. Les chambres à refroidir peuvent être maintenues à des températures différentes et variables suivant les produits qu'elles renferment.

Les *Frigorifères de congélation* sont des appareils à grandes surfaces refroidissantes et où la formation du givre est empêchée par un ruissellement, graduable à volonté, de liquide incongelable sur les organes de refroidissement.

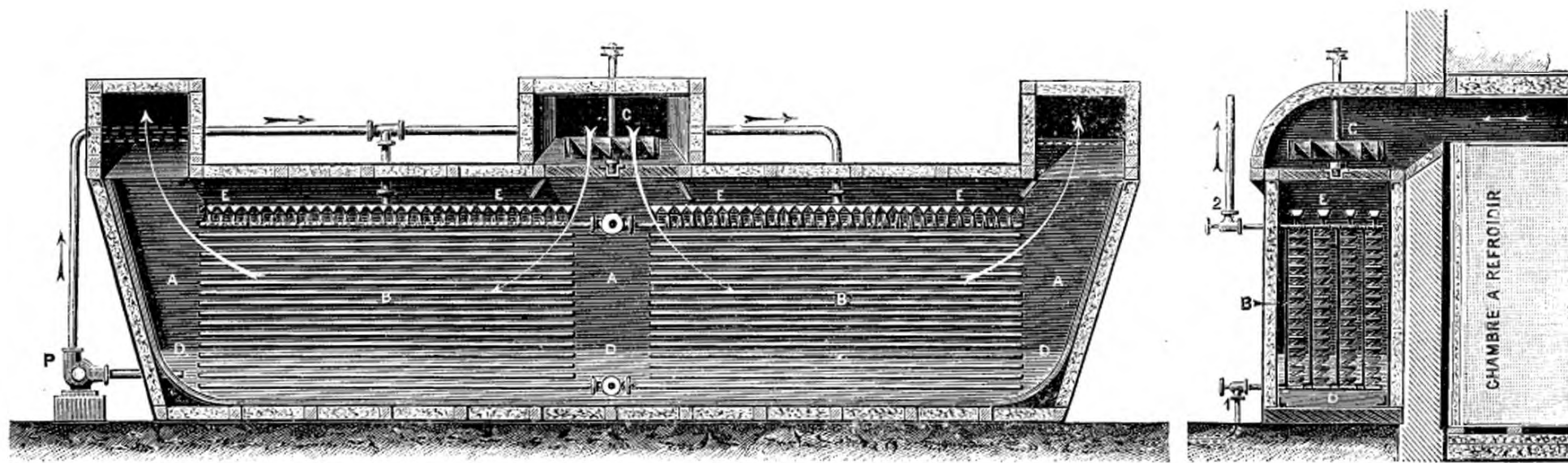
Ils sont par suite analogues à ceux que nous avons déjà décrits sous le nom de système par ruissellement.

Là encore l'air est ainsi doublement refroidi par contact direct avec les surfaces évaporatoires et refroidissantes et par son passage et son brassage à travers la pluie de liquide incongelable, refroidie à très basse température; il la traverse ainsi que nous l'avons dit en se lavant et en lui abandonnant son humidité et ses ferments putrescibles. L'on sait, en effet, que lorsqu'on fait passer de l'air à travers une pluie de liquide plus froid que cet air, celui-ci, au lieu de s'humidifier au contact du liquide, se sèche en lui abandonnant son humidité.

Ces appareils sont simples et robustes, car ils ne comportent aucun mécanisme, ni disques rotatifs, ni appareils mobiles.

Les machines à air froid Fixary se composent d'une machine réfrigérante combinée avec le Frigorifère approprié aux conditions à remplir. Le tableau suivant donne les quantités d'air refroidi par heure à différentes températures.

Numéros des machines			2	3	4	5	6	7	8	9
Quantités d'air refroidi par heure en mètres cubes	De	30° à 10°	850	1.800	3.600	7.200	10.500	18.000	36.000	50.000
	De	15° à 5°	1.150	2.400	4.800	9.600	14.000	24.000	48.000	65.000
	De +	5° à 0°	2.000	4.000	8.000	16.000	24.000	40.000	80.000	120.000
	De +	5° à — 5°	800	1.600	3.200	6.400	9.600	16.000	32.000	48.000
	De	0° à — 10°	550	1.100	2.300	4.500	6.700	11.000	24.000	34.000



VUE EN PLAN

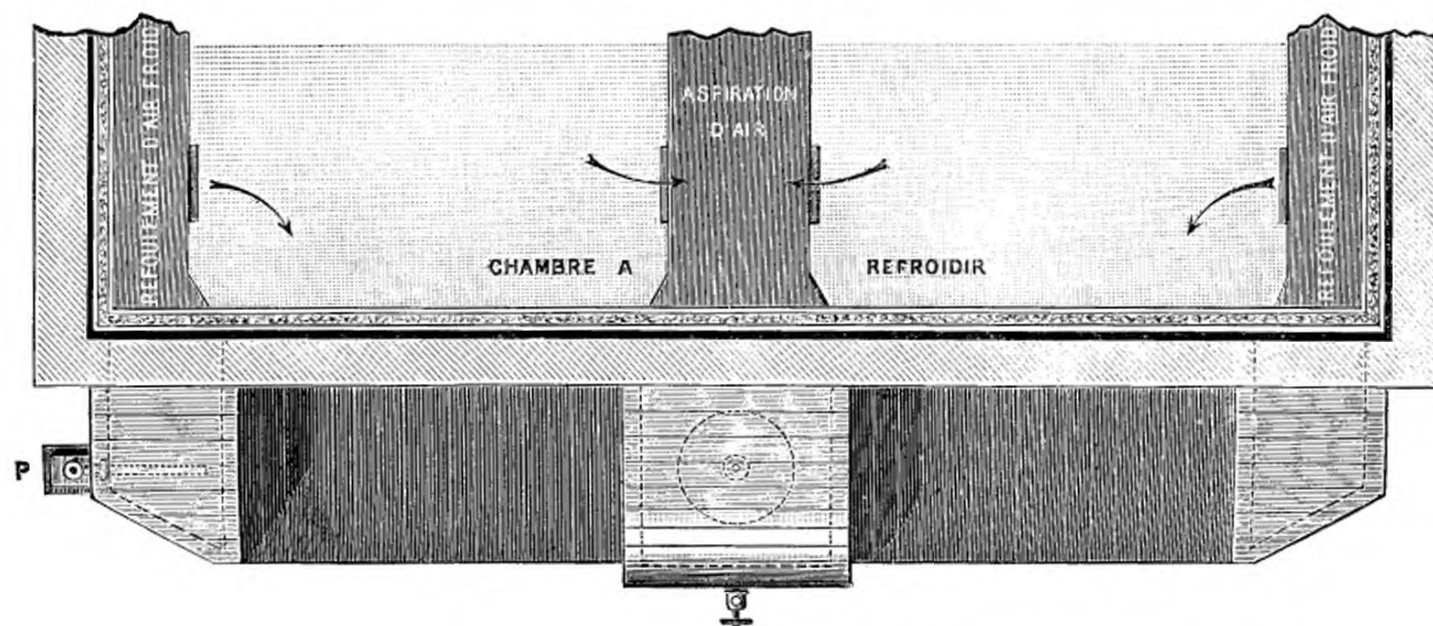


Fig. 88. — Frigorifère Fixary.

Une installation du système Fixary renouvelant l'air de la chambre à froid construite par les ateliers Humboldt a été décrite dans le *Zeitschrift der Vereines deutschen Ingenieur* (d'après les *Annales Industrielles* du 20 janvier 1889).

Le principe essentiel de l'appareil 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 serpentín ne se refroidit pas seulement au-dessous de zéro, mais il dépose toute son humidité, sous 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 serpentín 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 serpentín, en séparant le givre qui est reçu sous forme d'eau dans le premier réservoir, et passe ensuite autour du deuxième serpentín 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 serpentín en fer d'une seule pièce.

« En dehors de la caisse, les quatre serpentíns sont reliés à un tuyau horizontal au moyen de brides et de robinets, de sorte que chaque serpentín puisse être rempli et 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 serpent, l'air refroidi ne peut pas être vicié par les vapeurs sortant du tuyau. La caisse contenant les tuyaux en serpent 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 serpent, les compartiments I, II, III, IV ; 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, III, d'où il passe refroidi et desséché, dans la conduite de refoulement du réfrigérant. Le serpent 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 serpent II est entièrement libre de givre, et là s'évaporent les vapeurs ammoniacales produisant le froid. Il en est de même du serpent III (placé au-dessus du serpent II). Le compartiment et le serpent IV n'entrent en action que plus tard. L'air chaud fait fondre entièrement le givre qui entoure le serpent 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 serpent en forme de givre. Le compartiment et le serpent III complètent le refroidissement et le dessèchement de l'air. La fusion du givre entourant le serpent I se fait rapidement ; le recouvrement de givre des serpents I et II dure, selon les circonstances locales, 4, 8 et 12 heures, et même plus longtemps.

« Cette durée est, du reste, facile à déterminer pour chaque cas particulier. Mais, comme les serpents 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 serpents II et III, et en le laissant circuler dans les serpents I et IV (celui-ci est placé au-dessous de celui-là) ; l'air passe de II en I, puis en IV, et ainsi de suite.

« Pour faire fondre le givre qui entoure le serpent III, on peut se servir avantageusement d'un jet de vapeur ; après quoi ce serpent 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 brasserie, 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 serpentins jusqu'à une tension de 2,3 atmosphères. La température correspondante est de -15° . La température de l'air sortant de l'appareil réfrigérant varie naturellement avec son volume ; elle est de -1° à -4° . 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 m³ de capacité, ait pu être maintenue à $+1^{\circ}$ et $+3^{\circ}$ 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 0/0 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.

« Une installation prévue pour une production de 10 000 frigories à l'heure, comprend un compresseur d'ammoniac, mû par transmission de courroies, qui aspire les vapeurs ammoniacales des serpentins, les comprime et les refoule vers le condenseur 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'ammoniac 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'ammoniac anhydre, au moyen de sel ammoniac que l'on trouve dans le commerce.

« L'eau fraîche, nécessaire pour la condensation de l'ammoniaque, est pompée au moyen d'une pompe centrifuge. Au-dessus, on a placé le ventilateur qui refoule l'air dans l'appareil réfrigérant. »

CHAPITRE II

FABRICATION DE LA GLACE

La consommation annuellement croissante de la glace artificielle, dénommée glace alimentaire, a classé cette industrie parmi celles des produits alimentaires de première nécessité et les municipalités des principales villes de France et d'Europe, à la suite des rapports des conseils d'hygiène, ont réglementé cette industrie en exigeant, pour la fabrication de la glace, l'emploi d'eau potable, c'est-à-dire reconnue bonne pour l'alimentation ou, mieux encore, l'emploi d'eau stérilisée et distillée, c'est-à-dire vaporisée, puis condensée, puis congelée, procédé qui offre l'avantage de détruire, par ébullition à haute température, tous les microbes et germes dangereux dont quelques-uns nécessitent la température de 120 à 130° pour être détruits.

L'application du froid à la fabrication de la glace s'est tellement répandue ces dernières années qu'elle est universellement connue, d'autant plus qu'elle est commune à tous les systèmes, quel que soit l'agent frigorifique employé, ammoniac, acide carbonique et acide sulfureux. Les appareils ne diffèrent que pour la fabrication de la glace alimentaire transparente et pure.

La glace est obtenue par la congélation de l'eau renfermée dans des mouleaux mobiles, de forme généralement rectangulaire et plongés dans un liquide incongelable formé par une dissolution de sel et maintenu à basse température par des serpentins réfrigérants immergés dans le liquide salin et réunis extérieurement à l'appareil frigorifique. Le congélateur ou bac à glace, qui contient la masse du liquide incongelable,

est enveloppé avec soin d'isolants pour éviter les déperditions de chaleur et ouvert par le haut pour le service des mouleaux. Une petite hélice,

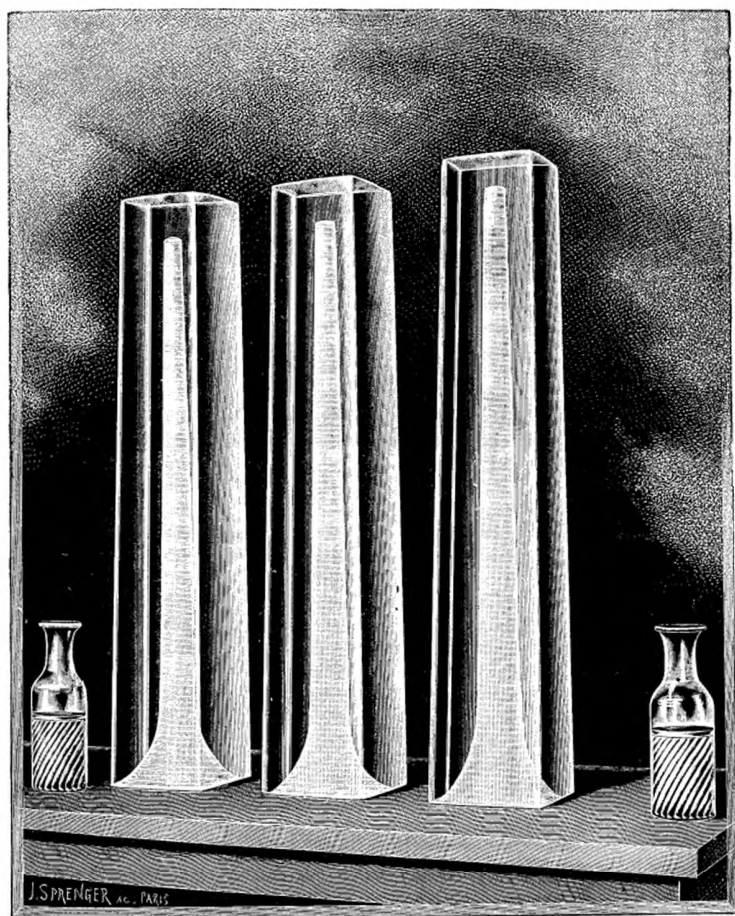


Fig. 89. — Blocs de glace artificielle montrant la périphérie transparente et le centre opaque par suite de la présence de bulles d'air emprisonnées.

actionnée mécaniquement, entretient la circulation du liquide inconge-
lable autour des serpentins et des mouleaux, afin d'activer l'absorption
du froid et la congélation. Au fur et à mesure que la congélation se pro-

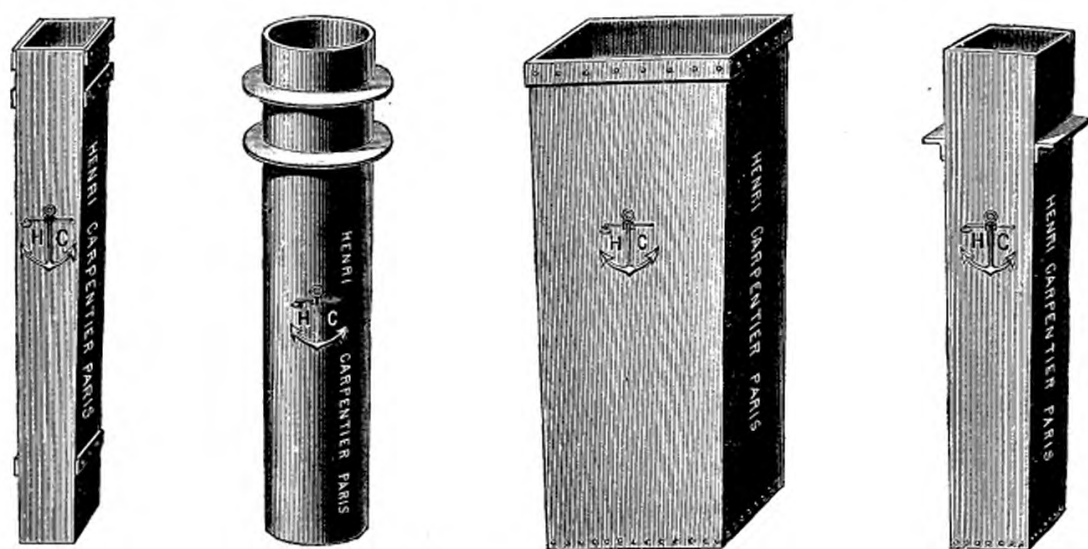


Fig. 90. — Mouleaux à glace.

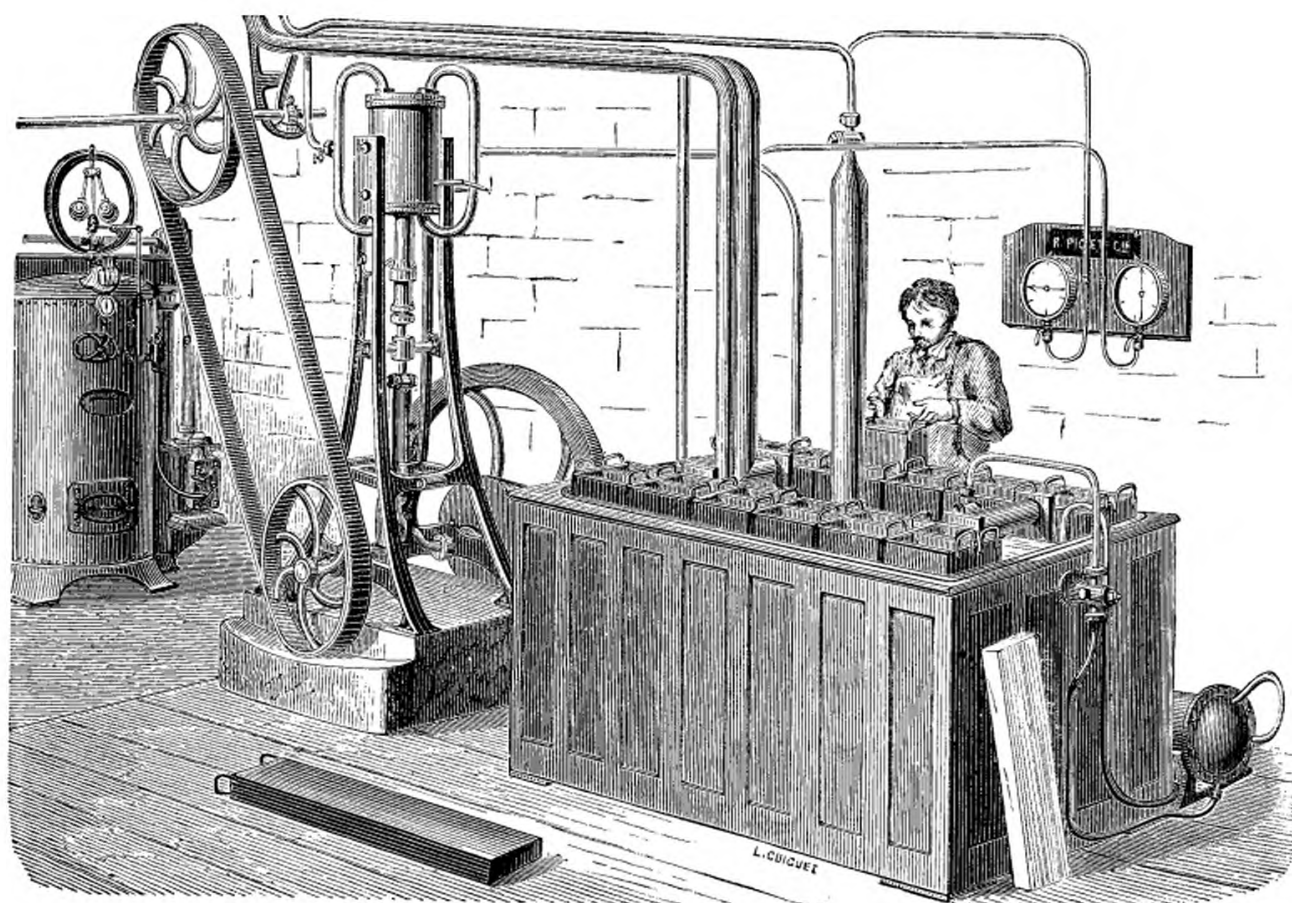


Fig. 91. — Fabrication de mouleaux de glace avec une machine Pictet, type 1875.

duit, on sort les mouleaux une fois solides à la main pour les petits appareils, mécaniquement et par série de 15 à 20 mouleaux pour les appareils industriels. Les mouleaux sortis du bac sont plongés un instant dans un bac à eau chaude pour décoller la glace et faciliter le démoulage.

Les mouleaux sont généralement en tôle galvanisée, ils peuvent affecter toutes les formes pourvu qu'elles permettent le démoulage ;

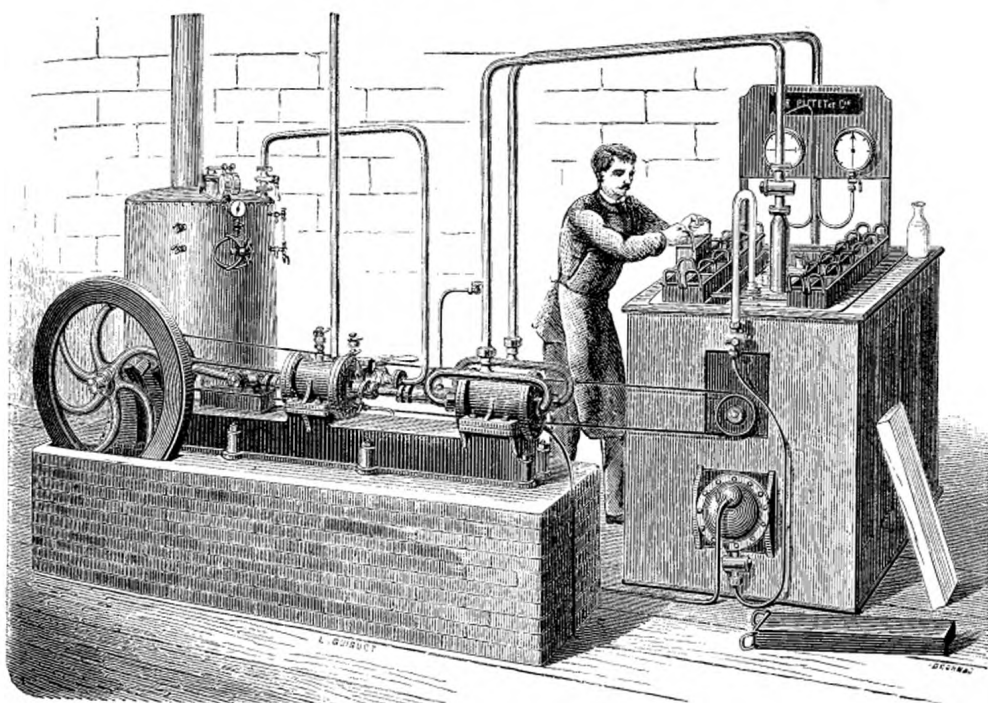


Fig. 92. — Fabrication de mouleaux de glace par une machine Pictet.

c'est sous la forme de prismes à section rectangulaire, carrée ou ronde, qu'on les construit le plus souvent.

On peut donner aux blocs de glace des poids quelconques en agissant sur deux des dimensions des prismes, sur la hauteur et sur l'une des dimensions de la section ; si cette section est carrée ou ronde, le choix de la dimension est tout fait. Mais ici se présente une question intéressante qui est celle de *l'épaisseur des blocs de glace*. On entend par épaisseur, le côté du carré pour les prismes à section carrée, le dia-

mètre pour ceux à section ronde et le plus petit côté du rectangle pour ceux à section rectangulaire. On pourrait croire qu'il peut être indifférent de faire produire à un appareil à glace quelconque des blocs de dimensions variables. La durée seule de la congélation varierait.

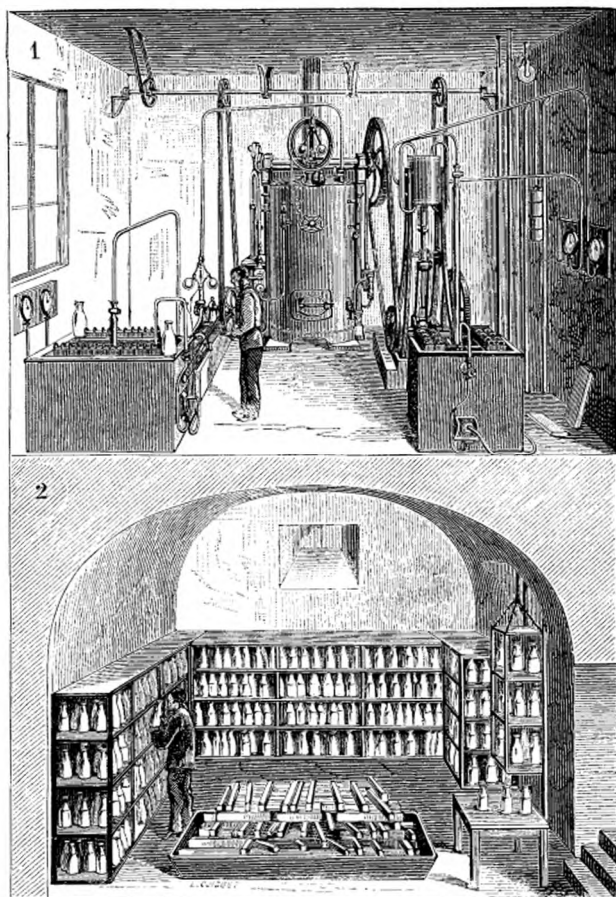


Fig. 93. — Production des carafes frappées avec une machine Pictet.

Il n'en est rien, car le temps de la congélation ne varie pas proportionnellement à l'épaisseur de la glace. La formation de la glace sur les parois des mouleaux, d'abord assez rapide aux débuts, va en diminuant

alors que la couche de glace s'épaissit. Comme l'appareil donne régulièrement la même production de froid, il faut lui donner régulièrement la même quantité d'eau à congeler, sous peine de voir le froid s'accumuler dans la saumure, ce qui la fait descendre à une température telle que le rendement général baisse. Il faut, pour atteindre une production régulière de glace dans les mouleaux, en augmenter le nombre quand on augmente l'épaisseur des blocs. Cette augmentation des dimensions et du nombre des mouleaux entraîne à des congélateurs plus grands.

L'amplification du congélateur en développant la surface des parois entraîne, malgré l'isolant dont elles sont recouvertes, à de plus grandes déperditions extérieures qu'avec un congélateur normal. En fait, les partisans de blocs épais comptent sur ce fait que pour un poids déterminé de glace, la fonte, pendant le démoulage, les transports et les manutentions de la glace, est beaucoup moins grande si ce poids se présente en quelques blocs de grosse épaisseur au lieu de se présenter en une grande quantité de petits blocs. C'est donc le désir d'économiser la glace qui les guide, mais si pour économiser cette fusion de la glace ils sont entraînés à des déperditions par les parois du congélateur, qui se traduisent par de la glace fabriquée en moins, on se demande si leur désir d'avoir des blocs épais est bien justifié.

Fabrication de la glace transparente. — La glace obtenue sans précautions spéciales est opaque. Elle contient l'air dissous dans l'eau et la plus ou moins grande quantité de sels et impuretés de toute nature contenue dans l'eau employée pour la congélation, en particulier les facteurs pathogènes qu'elle peut renfermer, le bacille d'Eberth par exemple. Le froid n'ayant aucune action sur ces ferments, l'emploi de glace opaque doit être absolument rejeté de l'alimentation.

Pour obtenir de la glace transparente, mais non parfaitement pure, il suffit d'éliminer l'air dissous dans l'eau, ce qui s'obtient par l'agitation mécanique de l'eau durant sa congélation.

Pour obtenir de la glace transparente et pure, il faut éliminer l'air ainsi que les sels et impuretés de toute nature, ce qui s'obtient par la stérilisation, c'est-à-dire par la distillation, l'ébullition de l'eau à congeler.

Ce dernier procédé est sensiblement plus coûteux d'installation, il a par contre l'avantage de produire de la glace de meilleure qualité et de plus bel aspect; aussi, est-il de beaucoup le plus répandu, surtout pour la vente industrielle en gros.

I. — Procédé par agitation mécanique. — Il laisse au cœur du bloc transparent un noyau opaque produit par le fait que les palettes qui agitent l'eau doivent être retirées avant la congélation du centre du bloc sous peine de rester emprisonnées dans la glace.

Il exige également une fabrication ininterrompue de jour et de nuit, sinon la glace produite sans agitation durant les arrêts de nuit est opaque et les palettes restent emprisonnées dans la glace si l'on n'a pas le soin de les enlever durant les heures d'arrêt.

Néanmoins quand on a affaire à de l'eau de source propre à l'alimentation, une eau faiblement saline et privée totalement de bactéries pathogènes on peut se servir du système à agitation. Il faut encore que les appareils soient construits et établis dans de très bonnes conditions. Nous pouvons prendre pour type d'un appareil de ce genre, le générateur de glace avec appareil d'agitation de MM. Escher Wyss de Zurich. L'appareil se compose essentiellement d'un bac à glace renfermant les mouleaux. Sur le côté du bac se trouve un serpentín dans lequel circule la saumure froide. Dans chaque mouleau se trouve une tige agitatrice.

Sur chaque côté de ce bac à glace se trouve un fer en U (F) fixé à une de ses extrémités à un pivot (K) et ayant ses deux autres extrémités réunies par une traverse actionnée d'un mouvement de va-et-vient par une manivelle (M) et une bielle (N). Sur ces fers en U reposent des fers cornières (G), lesquels portent autant d'agitateurs *tt* qu'il y a de mouleaux dans chaque série.

Les séries au fur et à mesure de leur congélation parfaite avancent vers la gauche, les nouvelles séries remplies d'eau étant toujours introduites vers la droite.

Dans leur marche vers la gauche elles se rapprochent du point de pivot de l'agitateur dont l'amplitude de la course devient ainsi automatiquement de plus en plus petite avec l'espace libre laissé par la congélation au centre du bloc de glace. Dans chaque nouvelle série de mouleaux pleins d'eau aérée on place la série d'agitateurs que l'on sort à la main un peu avant le point de pivot où leur mouvement serait nul.

Avec des appareils aussi soigneusement construits et une eau parfaitement potable on obtient de la bonne glace alimentaire.

II. — Procédé par distillation. — Le deuxième procédé par distillation de l'eau et condensation de la vapeur nécessite les opérations suivantes :

1° Transformation de l'eau à congeler en vapeur.

- 2° Condensation de cette vapeur.
- 3° Epuration et écumage de la vapeur condensée.
- 4° Ebullition de la vapeur condensée pour éliminer l'air en dissolution.
- 5° Refroidissement de l'eau après son ébullition.
- 6° Filtrage et décantage de l'eau refroidie avant sa mise en mouleaux.
- 7° Remplissage automatique des mouleaux évitant les prises d'air durant le remplissage.

Industriellement, le coût du combustible nécessaire pour la vaporisation d'un litre d'eau est assez élevé pour faire persister à employer la vaporisation directe dans les fabriques de glace où le prix de revient de fabrication ne doit pas dépasser 5 à 6 francs par tonne de glace produite.

Pour obtenir un rendement suffisant on emploie alors des appareils à multiple effet dans lesquels la vapeur qui est produite dans une première section sert à volatiliser l'eau que renferme la seconde et ainsi de suite. Le point d'ébullition est successivement abaissé dans les différentes sections par des différences de pression graduées.

L'appareil fondé sur ce principe que construit M. Montupet se compose de plusieurs bouilleurs ou évaporateurs avec tubes à dilatations libres, dans lesquels circulent les vapeurs de chauffage ainsi que les liquides provenant des condensations.

La figure 94 représente un appareil à triple effet comprenant deux bouilleurs C, C_1 et un condenseur C_2 . Chaque bouilleur est formé, ainsi que le condenseur, de deux caisses A et B, A_1 et B_1, A_2 et B_2 , placées à la partie inférieure, surmontées de récipients C, C_1 et C_2 recevant l'eau à évaporer ou de réfrigération. Les caisses B, B_1 et B_2 portent les tubes fermés évaporateurs T, T_1 et de condensation T_2 et les caisses A, A_1, A_2 portent des petits tubes de circulation qui pénètrent à l'intérieur des autres et débouchent à quelques centimètres de leurs extrémités.

Le bouilleur C étant rempli d'eau jusqu'en nn par un robinet de remplissage ou par la soupape S on fait arriver la vapeur vive de la chaudière par la tubulure V dans la caisse A , cette vapeur passe par les tubes t et TT pour se rendre dans la caisse B en chauffant et vaporisant l'eau qui se trouve dans C ; la vapeur formée se rend par le robinet R et le tuyau RV_1 dans la caisse A_1 du deuxième bouilleur.

Le bouilleur C est alimenté d'eau par une pompe ou un injecteur et

lorsque l'eau arrive au niveau *mn* elle se rend dans le purgeur automatique P, et de là dans le bouilleur C₁ où elle est chauffée et vaporisée par la vapeur venant de C dans A₁ et qui passe par *t*₁ et T₁ pour venir en B₁. La vapeur produite dans C₁ se rend par le robinet R₁ et le tuyau R₁, V₂ dans la caisse A₂ et les tuyaux *t*₂ T₂ où elle est condensée par l'eau froide qui passe dans C₂ autour des tubes T₂.

Voyons maintenant comment circulent les condensations :

La vapeur vive qui arrive dans A se condense un peu dans cette caisse et dans les tubes *t* et elle se condense complètement dans les tubes T de telle sorte que les condensations se réunissent dans A et dans B.

On fait monter automatiquement dans la caisse B l'eau qui se trouve dans A par la différence de pression qui existe entre les deux caisses en prolongeant un ou plusieurs petits tubes *t* jusqu'à une faible distance du fond de la caisse A, puis nous faisons passer dans la caisse A₁ toute l'eau de condensation qui se trouve en B par le purgeur automatique P'.

Les condensations réunies en A₁ sont élevées en B₁ par les tubes plongeurs *t*₁ en cédant une partie de leurs calories à l'eau contenue en C₁ et celles réunies en B₁ sont également envoyées au condenseur par le purgeur P'₁.

Toutes les condensations des deux bouilleurs étant ainsi amenées en A₂ sont élevées en B₂, comme dans les deux bouilleurs, et toute l'eau distillée produite par les condensations des appareils C et C₁ et par celle de la vapeur venant de C₁ sort par l'orifice K après avoir passé dans le serpentín qui entoure les tubes T₂ de réfrigération.

Si on le désire, on peut renvoyer à la bêche d'alimentation ou au condenseur de la machine l'eau de condensation produite par la vapeur venant de la chaudière.

Cet appareil s'installe à trois, quatre ou cinq effets et fonctionne dans les mêmes conditions.

La circulation de vapeur qui existe dans tous les tubes vaporisateurs entraîne l'air contenu dans l'eau vaporisée et cet air est expulsé par les purgeurs qui assurent le fonctionnement continu et automatique de tout l'ensemble sans aucune pompe de circulation ou à vide.

Cet appareil fonctionne sous pression ou avec le vide.

Il est d'un fonctionnement très simple et n'exige que l'examen des niveaux d'eau des caisses C, C₁ sans aucune autre surveillance.

Il est construit avec des gros tubes bouilleurs de 60 mm de diamètre

pour toutes les parties et il ne ressemble ainsi en rien aux appareils similaires établis avec des tubes de 20 à 25 mm de diamètre. Les volumes

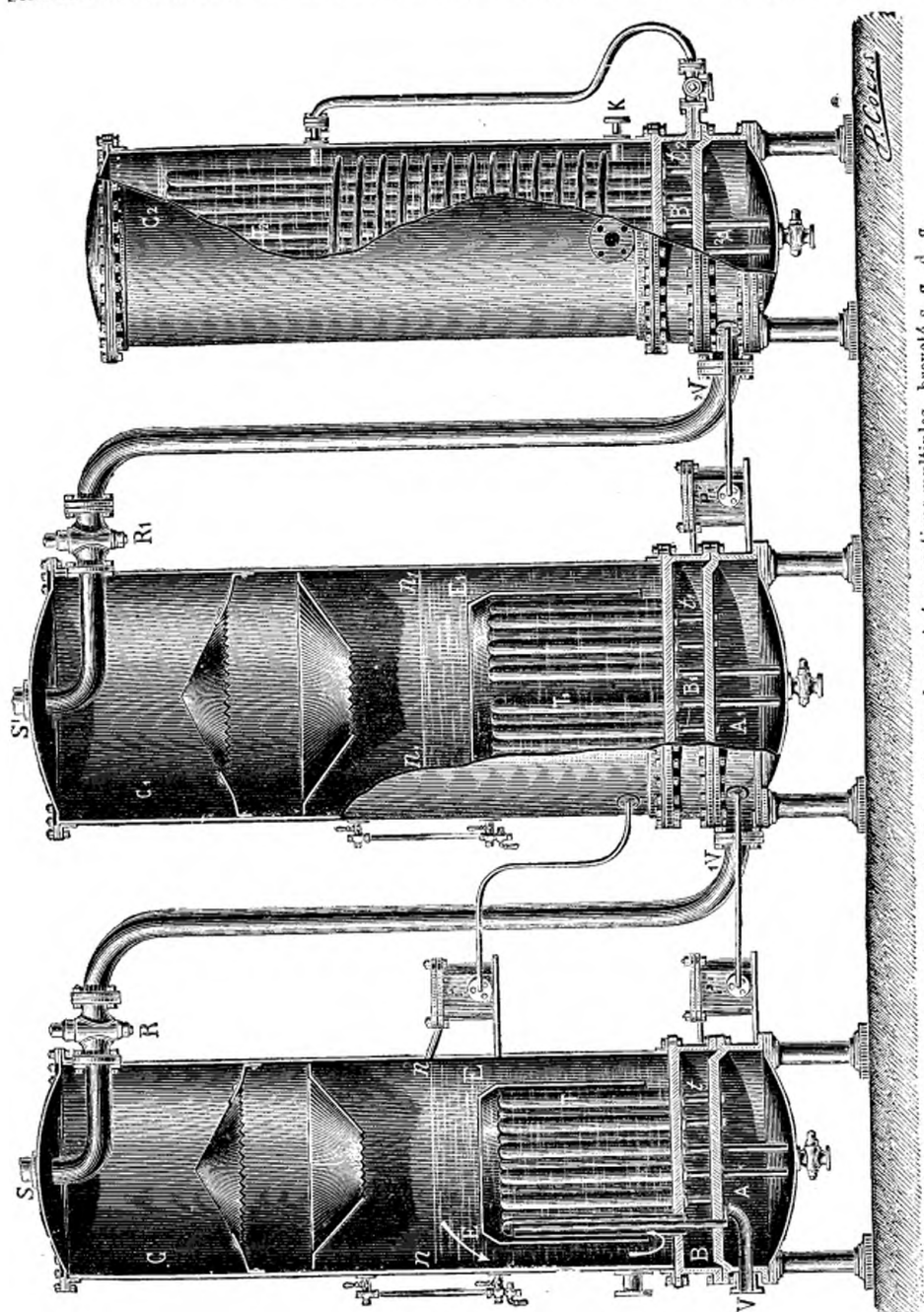
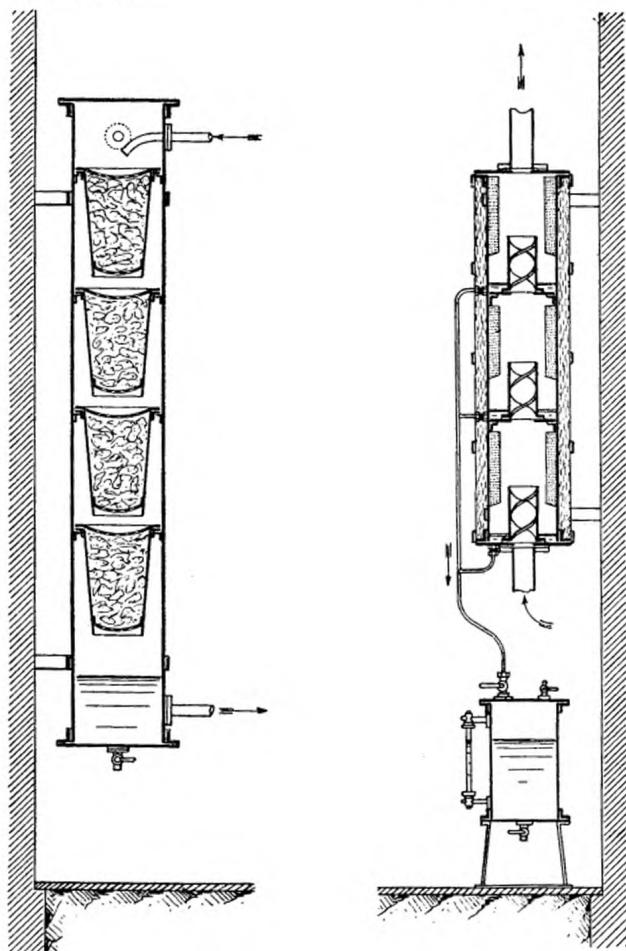


Fig. 94. — Appareil à eau distillée et à eau douce, à évaporations multiples, breveté s. g. d. g.

intérieurs sont beaucoup plus grands, les nettoyages sont moins fréquents et le fonctionnement plus régulier.

La fig. 94 représente un appareil donnant environ 2^k,300 d'eau distillée par kilo de vapeur venant de la chaudière.

Pour maintenir l'appareil en bon état de fonctionnement et de rendement, il est nécessaire de faire des extractions pour empêcher la saturation de l'eau et le dépôt des sels calcaires et de faire quelquefois de grands nettoyages.



Filtre Douane.

Fig. 95. Séparateur d'eau et d'huile Douane

Ces nettoyages se font en enlevant les couvercles des récipients ainsi que les tampons autoclaves du bas et en lavant à grande eau.

Lorsque les tubes des différents éléments sont recouverts de dépôts calcaires, on enlève ces dépôts comme il est dit ci-dessous. On met l'appareil en pression et on commence par nettoyer le réfrigérant en faisant arriver dans le faisceau tubulaire la vapeur produite dans le second vaporisateur. On conserve la pression de marche pendant quelques minutes, puis on ferme le robinet d'amenée de vapeur et on arrose les tubes avec de l'eau froide.

Le chauffage des tubes non entourés d'eau provoque des dilatations qui font briser et détacher les dépôts calcaires et l'arrosage avec de l'eau provoque des contractions qui les font tomber. S'il est nécessaire, on répète cette opération et on enlève les dépôts par les trous des tampons. Au besoin on peut démonter l'enveloppe en tôle pour gratter les tubes.

On procède de la même manière pour enlever les dépôts calcaires du deuxième vaporisateur en faisant arriver dans son faisceau tubulaire la vapeur produite dans le premier vaporisateur, puis de celui-ci en chauffant ses tubes par la vapeur venant de la chaudière.

Il reste ensuite à remonter toutes les parties de l'appareil pour le remettre en marche.

III. — *Utilisation des vapeurs d'échappement.* — La vaporisation directe même obtenue dans ces conditions est d'un prix encore assez élevé.

Aussi a-t-on cherché à utiliser, pour cette vaporisation, les chaleurs perdues et, tout spécialement, la chaleur de la vapeur d'échappement des moteurs actionnant les appareils frigorifiques. L'utilisation des vapeurs d'échappement nécessite l'emploi d'appareils secondaires, tel que filtre à sable et séparateur d'huile et d'eau, permettant une séparation aussi complète que possible de l'eau condensée et une élimination totale des huiles minérales qui ont servi au graissage.

Ce système de condensation simple de l'eau est appliqué aux appareils Douane, principalement pour ceux de petite dimension.

Il donne de l'eau distillée par condensation de la vapeur sans vide ni pompe d'aucune sorte.

Il comprend les organes suivants :

- | | |
|--|---|
| <p>A. — Séparateur d'huile.</p> <p>B. — Bâche de condensation.</p> <p>C. — Rafraichisseur d'eau distillée.</p> <p>D. — Filtre — —</p> <p>E. — Réservoir — —</p> <p>F. — Mouleau à glace en remplissage.</p> <p>1. — Tuyauterie d'échappement du moteur.</p> <p>2. — Tuyauterie d'échappement à l'air libre.</p> <p>3. — Robinet dirigeant la vapeur dans la bâche de condensation.</p> <p>4. — Echappement de l'excès de vapeur non condensée.</p> | <p>5. — Sortie de l'eau distillée.</p> <p>6. — Tuyau d'eau distillée allant au rafraichisseur.</p> <p>7. — Tuyau d'eau distillée allant du filtre au réservoir.</p> <p>8. — Robinet de remplissage des mouleaux.</p> <p>9. — Arrivée d'eau froide ordinaire au rafraichisseur.</p> <p>10. — Sortie d'eau ordinaire du rafraichisseur et entrée à la bâche de condensation.</p> <p>11. — Départ en trop plein de l'eau chaude.</p> |
|--|---|

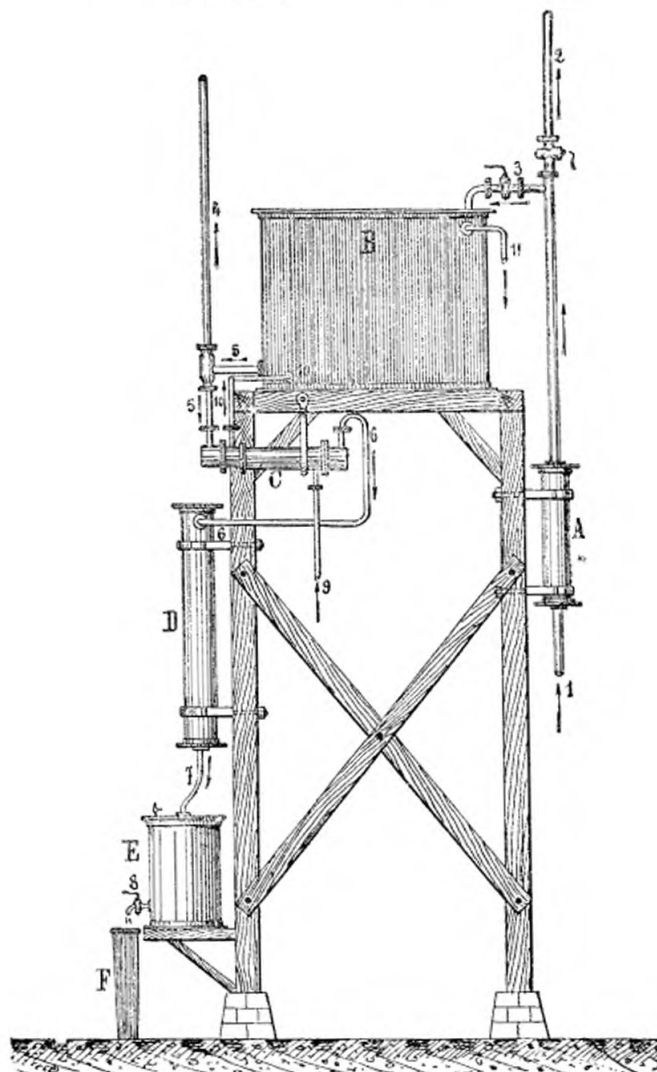


Fig. 96. — Appareil Douane à condenser la vapeur d'échappement sans vide.

L'eau que l'on obtient dans ces conditions est parfaitement pure et stérile à la condition toutefois qu'on ne la contamine pas par des manœuvres maladroites et des mélanges malencontreux avec de l'eau ordinaire.

C'est ainsi que le plus souvent les blocs sont souillés au moment du démoulage par l'eau chaude et sale le plus souvent que l'on emploie pour permettre un décollage facile du bloc de glace.

La vapeur d'échappement une fois condensée et épurée étant insuffisante, en quantité, on prend, généralement, directement à la chaudière la vapeur additionnelle nécessaire pour parfaire la quantité correspondant à la puissance de production de la machine (généralement un tiers).

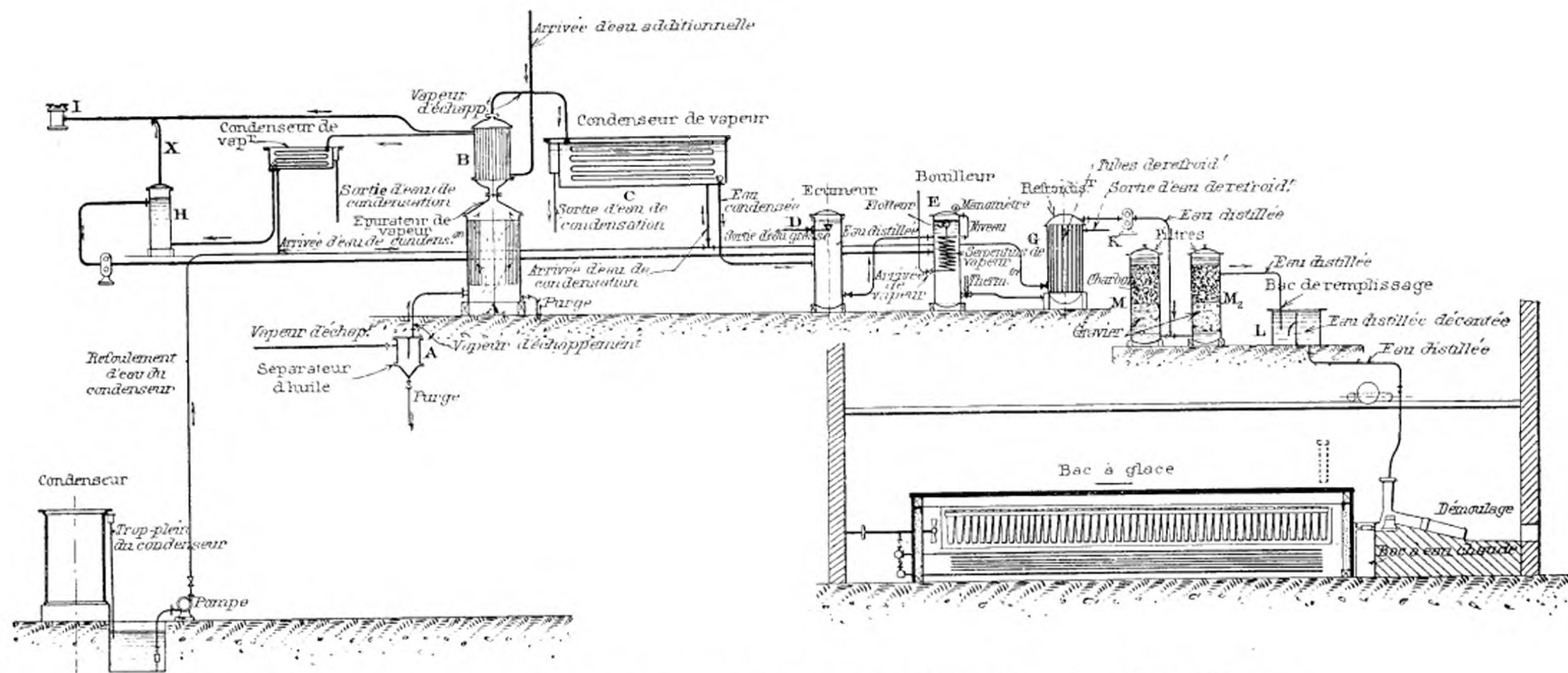


Fig. 97. — Ensemble schématique des appareils de distillation des vapeurs d'échappement (Système Fixary),

Pour éviter cette dépense directe de vapeur, on a imaginé différents procédés dont un des plus simples et des plus commodes est celui de la Compagnie Française des moteurs à gaz et des Constructions mécaniques, concessionnaires des brevets Fixary, et dont nous donnons ci-après la description détaillée.

Ce procédé consiste spécialement dans l'utilisation de la chaleur de la vapeur d'échappement avant sa condensation pour vaporiser, à basse pression, la quantité de vapeur supplémentaire correspondant à la production de la machine.

La vapeur d'échappement à sa sortie du moteur passe par un premier épurateur A, puis par un deuxième épurateur dégraisseur A₂ où elle est débarrassée de tous les corps gras provenant du graissage du moteur.

De ces épurateurs, la vapeur passe à travers l'évaporateur tubulaire B où elle transforme en vapeur l'eau additionnelle destinée à être congelée, ainsi que nous l'expliquons plus loin. De l'évaporateur où se produit une condensation partielle de la vapeur d'échappement, celle-ci passe par le condenseur de vapeur C d'où elle sort condensée pour se rendre à l'écumeur D et de là au bouilleur E où elle est portée à 100° par un petit barbotage de vapeur pour éliminer complètement, par ébullition, l'air en dissolution.

Ce même bouilleur E reçoit la vapeur additionnelle vaporisée dans l'évaporateur B, condensée dans le condenseur supplémentaire F et recueillie dans le récipient H.

Ce récipient est réuni par la conduite X à une petite pompe à air I qui maintient dans l'évaporateur B un vide relatif, afin de produire l'ébullition et la vaporisation de l'eau entre 53 et 60°.

Du récipient H, une petite pompe envoie l'eau additionnelle au bouilleur E où elle s'ajoute à celle provenant de la condensation de la vapeur d'échappement.

De ce bouilleur, l'eau distillée va au refroidisseur G où elle est refroidie par l'eau prise à la sortie du condenseur de la machine à froid.

L'eau distillée refroidie est finalement envoyée par une pompe alimentaire K au bac de remplissage et de décantage des mouleaux L en passant par les filtres à sable M et M₂.

L'expérience a prouvé que la glace produite avec emploi de la vapeur d'échappement n'avait aucune trace de corps gras et était aussi pure et aussi belle que celle produite avec de la vapeur prise directement à la chaudière, ce qui a détruit la prévention qu'avaient, au début, certains

industriels contre l'emploi de la vapeur d'échappement malgré la grande économie qui en résulte.

Cela s'explique par le fait que, en admettant même que quelques traces d'huile soient entraînées dans les mouleaux par insuffisance d'entretien des filtres, l'huile employée pour le graissage du moteur étant minérale, et par suite incongelable jusqu'à -20° , l'huile entraînée ne gèle pas avec le bloc; elle surnage à la partie supérieure et est complètement éliminée lors du démoulage à l'eau chaude.

M. Montupet construit un appareil fondé sur le même principe et destiné à la condensation des vapeurs d'échappement et à la distillation de l'eau; le système n'est qu'une modification de son appareil à distiller à effet multiple dont nous avons parlé plus haut. La figure ci-jointe en montre le fonctionnement.

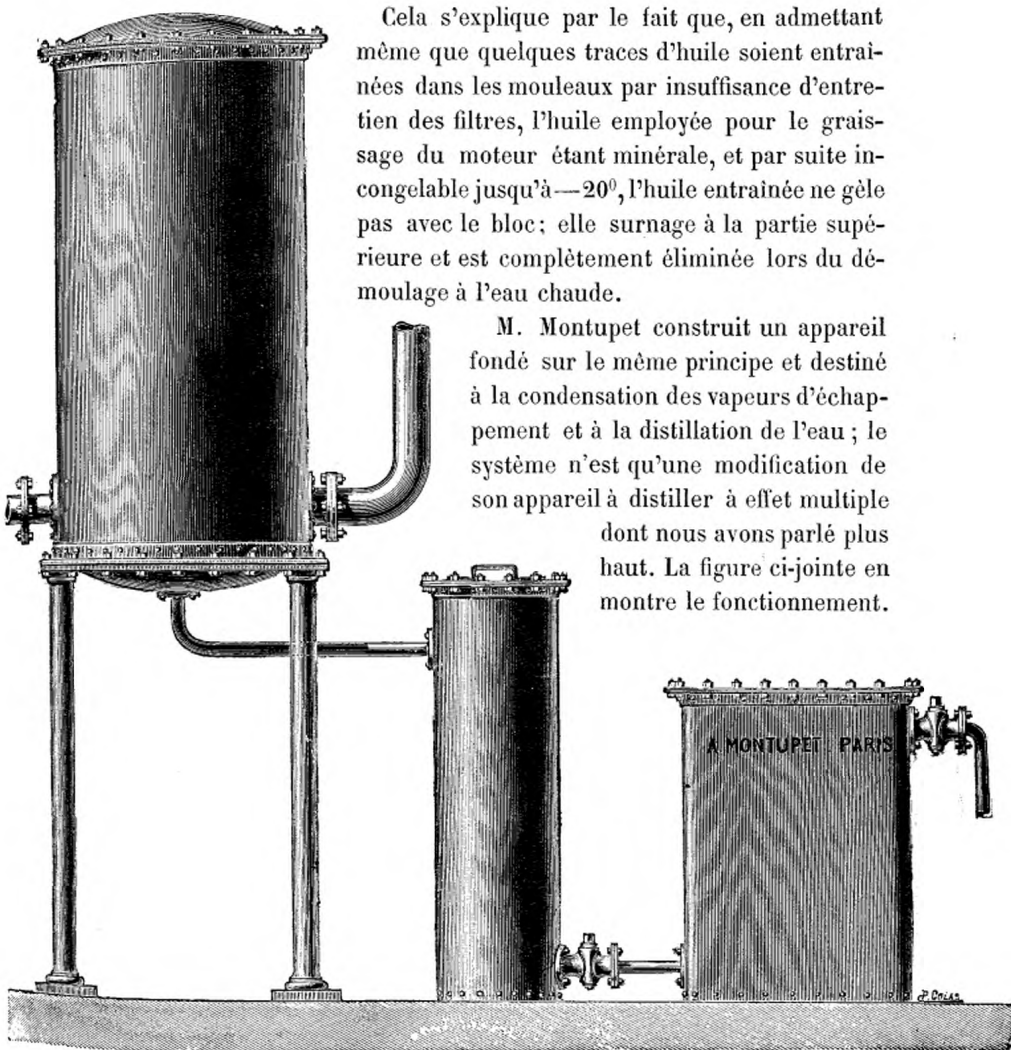


Fig. 98. — Appareil Montupet pour la condensation des vapeurs d'échappement.

Les machines Linde emploient aussi dans le même but, pour la production de la vapeur destinée au moteur, la chaleur latente qui se dégage lors de la condensation de la vapeur dans la chaudière à distiller,

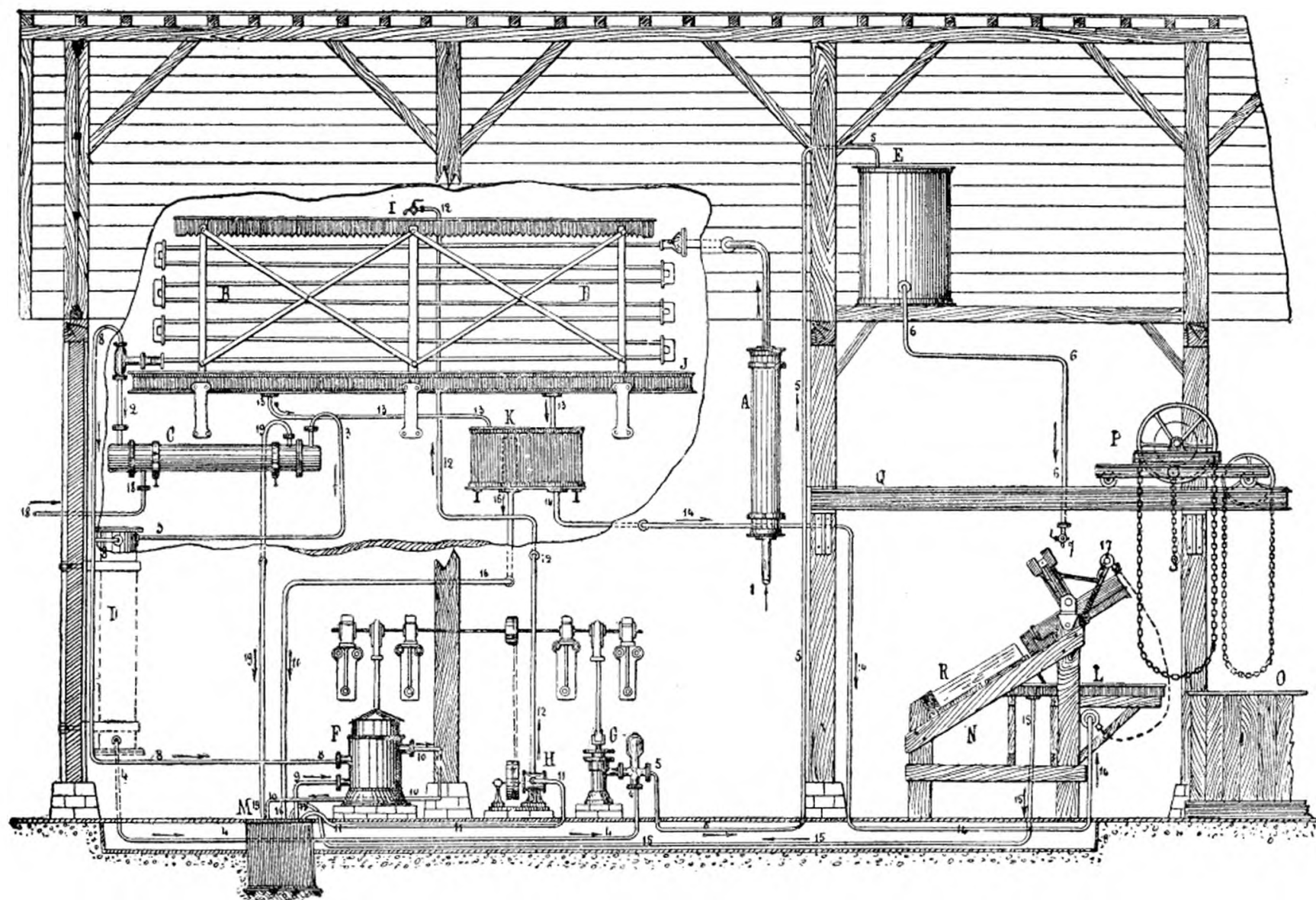


Fig. 99. — Appareil Douane condensant la vapeur d'échappement dans le vide

et en utilisant aussi la plus grande partie de la chaleur de l'eau distillée pour le réchauffement de l'eau d'alimentation.

La vapeur provenant de la chaudière principale produit, en se condensant dans une chaudière tubulaire, la vapeur qui actionne le moteur. L'eau de condensation, après avoir été privée d'air et portée à l'ébullition en supprimant la pression sous laquelle a eu lieu la condensation, est refroidie au moyen de l'eau d'alimentation de la chaudière principale, puis ensuite par l'eau de condensation de la machine à glace, qui la ramène presque à la température initiale, température à laquelle elle est utilisée pour la fabrication de la glace.

Afin de réduire encore la consommation de combustible et d'eau d'alimentation, on a modifié dernièrement la disposition décrite ci-dessus ; au lieu de placer la chaudière tubulaire, déjà mentionnée, entre la chaudière principale et le moteur, on l'intercale entre ce dernier et son condenseur, de sorte que la condensation et l'évaporation n'ont plus lieu sous une haute pression et à une température élevée, mais bien dans le vide et avec une température relativement plus basse. L'échappement de la machine à vapeur cède sa chaleur en se condensant dans le vide ; cette chaleur sert à évaporer — également dans le vide — de l'eau qui, après avoir été recondensée et refroidie à la température de l'eau de source dans un appareil à contre-courant, est utilisée comme eau de congélation.

Les machines Douane, enfin, emploient aussi pour préparer l'eau distillée la chaleur perdue par la vapeur d'échappement d'après les mêmes principes.

Ce système, applicable surtout aux plus grands modèles, donne la condensation de la vapeur d'échappement dans le vide ; il comporte un *condenseur par ruissellement*, les pompes (*pompe à air, pompe à eau distillée, pompe de circulation d'eau de ruissellement*) nécessaires à l'installation et en plus les *séparateurs et filtres* pour la graisse ou l'huile entraînées par les vapeurs sortant de la machine.

Les organes dont il se compose sont :

- | | |
|--|--|
| A. — Séparateur d'huile. | G. Pompe à eau distillée. |
| B. — Condenseur par surface à ruissellement. | H. — — à circulation d'eau de ruisselle- |
| C. — Rafraichisseur d'eau distillée. | ment. |
| D. — Filtre d'eau distillée. | I. — Bac égouttoir d'eau de ruissellement. |
| E. — Réservoir d'eau distillée. | J. — Bac récepteur — — — |
| F. — Pompe à air (faisant le vide). | K. — Bac à eau chaude de démoulage. |

- | | |
|---|---|
| <p>L. — Bac récepteur d'eau de démoulage.
 M. — Bac de retour des eaux de ruissellement, d'injection et de rafraîchissement.
 N. — Basculeur démouleur.
 O. — Congélateur.
 P. — Pont roulant.
 Q. — Chemin de roulement du pont roulant.
 R. — Blocs de glace.
 1. — Tuyauterie d'échappement du moteur à vapeur.
 2. — Tuyauterie d'eau distillée allant au rafraîchisseur.
 3. — Tuyauterie d'eau distillée allant au filtre.
 4. — Tuyauterie d'eau distillée allant à la pompe G.
 5. — Tuyauterie d'eau distillée allant de la pompe G au réservoir E.
 6. — Tuyauterie d'eau distillée pour remplissage des mouleaux.
 7. — Robinet d'eau distillée pour remplissage des mouleaux.</p> | <p>8. — Tuyauterie d'aspiration de la pompe à air F dans le condenseur et dans le filtre.
 9. — Tuyauterie d'injection de la pompe à air.
 10. — Tuyauterie du déversoir de la pompe à air.
 11. — Tuyauterie d'aspiration de la pompe H.
 12. — Tuyauterie de refoulement de la pompe H.
 13. — Tuyauterie d'écoulement d'eau de ruissellement.
 14. — Tuyauterie d'eau chaude de démoulage.
 15. — Tuyauterie d'écoulement du bac L au bac M.
 16. — Tuyauterie d'écoulement du bac K au bac M.
 17. — Tuyau d'arrosage à l'eau chaude des mouleaux.
 18. — Arrivée d'eau ordinaire froide au rafraîchisseur.
 19. — Tuyau d'eau ordinaire allant du rafraîchisseur au bac M.</p> |
|---|---|

Avec ce système, le moteur marche à condensation, ce qui donne une grande économie de combustible et en même temps une dépense d'eau très faible qui peut se limiter à celle sortant du liquéfacteur de la machine à glace.

Dans la figure ci-après (fig. 100) qui représente une fabrique de glace utilisant le système Douane, on voit un certain nombre d'engins accessoires, un pont roulant, un basculeur démouleur.

Le pont roulant est muni d'un appareil de levage, il sert à enlever les batteries de mouleaux du congélateur, à les conduire au basculeur démouleur et ensuite, après remplissage d'eau, à les ramener dans le congélateur.

Les batteries de mouleaux sont amenées par le pont roulant sur un cadre oscillant autour d'un axe, qui permet de les incliner de telle sorte que l'inclinaison corresponde à celle d'un plan incliné qui commence à l'endroit où viennent les batteries après basculage. Un système d'arrosage à eau tiède, inonde l'extérieur des mouleaux, réchauffe le métal et permet aux blocs de glace de se décoller. Sous l'influence de leur propre poids ces blocs suivent le plan incliné où ils s'arrêtent en butant à une traverse.

La batterie vide est remise en position verticale pour être remplie.

IV. — *Quelques installations de fabriques de glace.* — La figure 101 représente une installation de Rouart comprenant une ma-

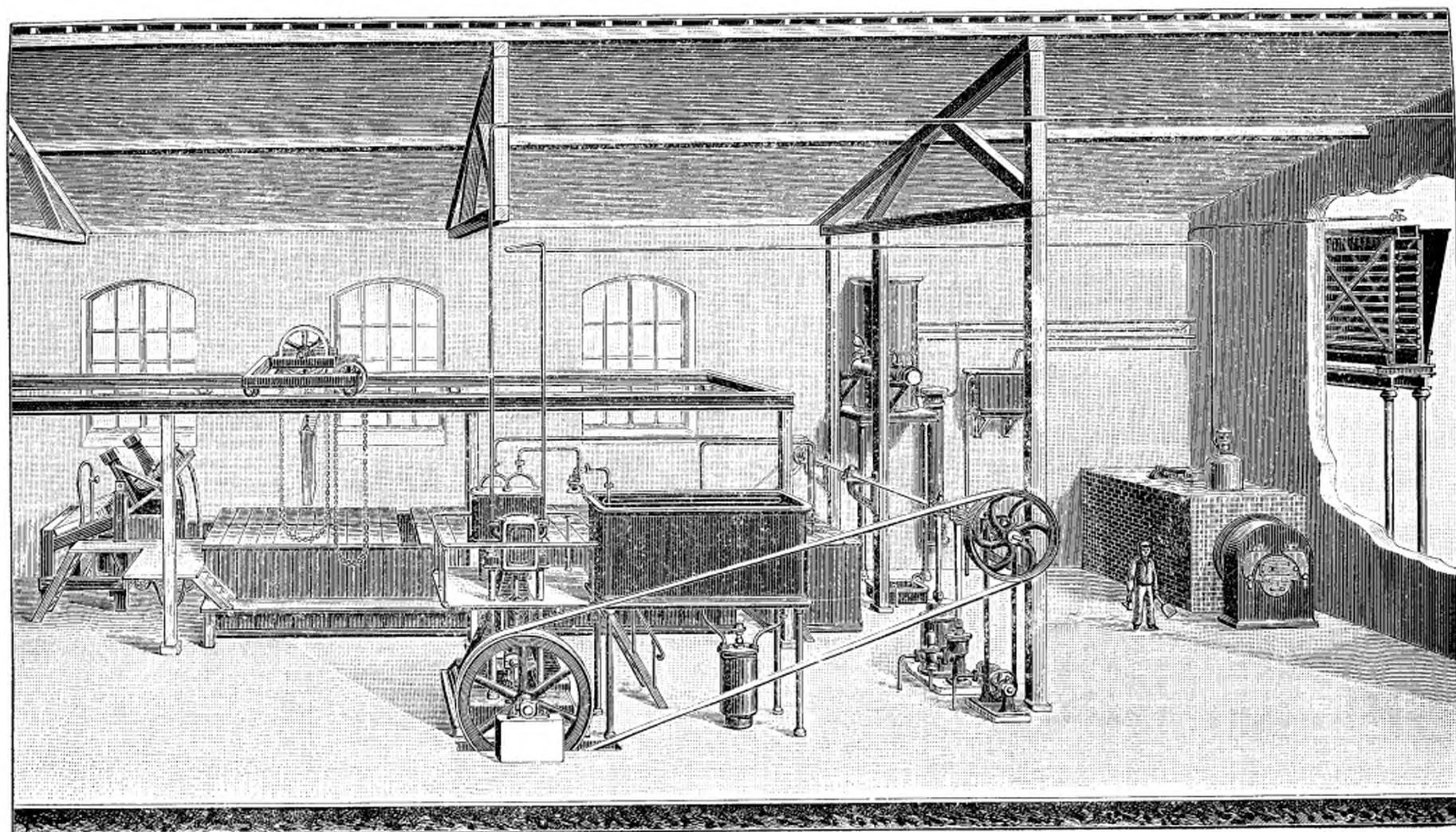


Fig. 400. — Fabrique de glace, installation Douane.

chine à glace du système dit à compression d'ammoniaque, actionnée par un moteur à gaz « Lenoir ». L'appareil est destiné à la production de la glace opaque. — Le porte-vase est aménagé pour pouvoir faire également un certain nombre de carafes frappées.

Au fond se trouve une petite chambre permettant la conservation des denrées alimentaires. — Le refroidissement de cette chambre est fait au moyen de la détente directe du gaz liquéfié, par suite la production de froid dans cette chambre a lieu dès la mise en route de l'appareil.

Des robinets convenablement disposés permettent de produire à la fois la glace et le refroidissement de la chambre ou bien l'un ou l'autre séparément.

Mais de grandes installations sont généralement impossibles à représenter, les salles dans lesquelles elles se trouvent ne permettant pas une photographie claire et nette.

Aussi nous serait-il très difficile d'en montrer une à nos lecteurs, si nous n'avions le cliché représentant l'installation de MM. Escher Wyss de Zurich à l'Exposition de 1900 (fig. 102).

Là la place a permis de prendre une vue aussi complète que possible. Il nous suffirait de recouvrir l'ensemble des appareils par un hangar pour avoir une usine à glace modèle pouvant produire 500 kg. à l'heure avec une eau initiale portée à 22°.

Au centre de la figure se trouve le compresseur, accouplé par contre manivelle à la machine à vapeur. Entre les deux se trouve le volant avec dépiqueurs et la poulie de commande des transmissions.

Le compresseur est à double effet et comporte deux soupapes d'aspiration, celle d'arrivée étant située dans le couvercle même du cylindre; deux soupapes de refoulement placées sur la ligne supérieure du cylindre avec au centre, sur le canal de refoulement, un clapet de retenue (ayant pour but la fermeture automatique du canal, lors du fonctionnement des soupapes de sûreté). L'aspiration du cylindre est à la partie inférieure.

Le cylindre possède en avant à droite et à gauche deux soupapes de sûreté fonctionnant par bris d'une plaque de fonte étalonnée entre 120 et 130 kg.

Du cylindre l'acide carbonique comprimé passe dans un récipient cylindrique amortissant l'effet des coups de piston et permettant de séparer la glycérine par un robinet placé à la partie inférieure. Cet appareil est visible sur la figure entre le cylindre à vapeur et le cylindre compresseur.

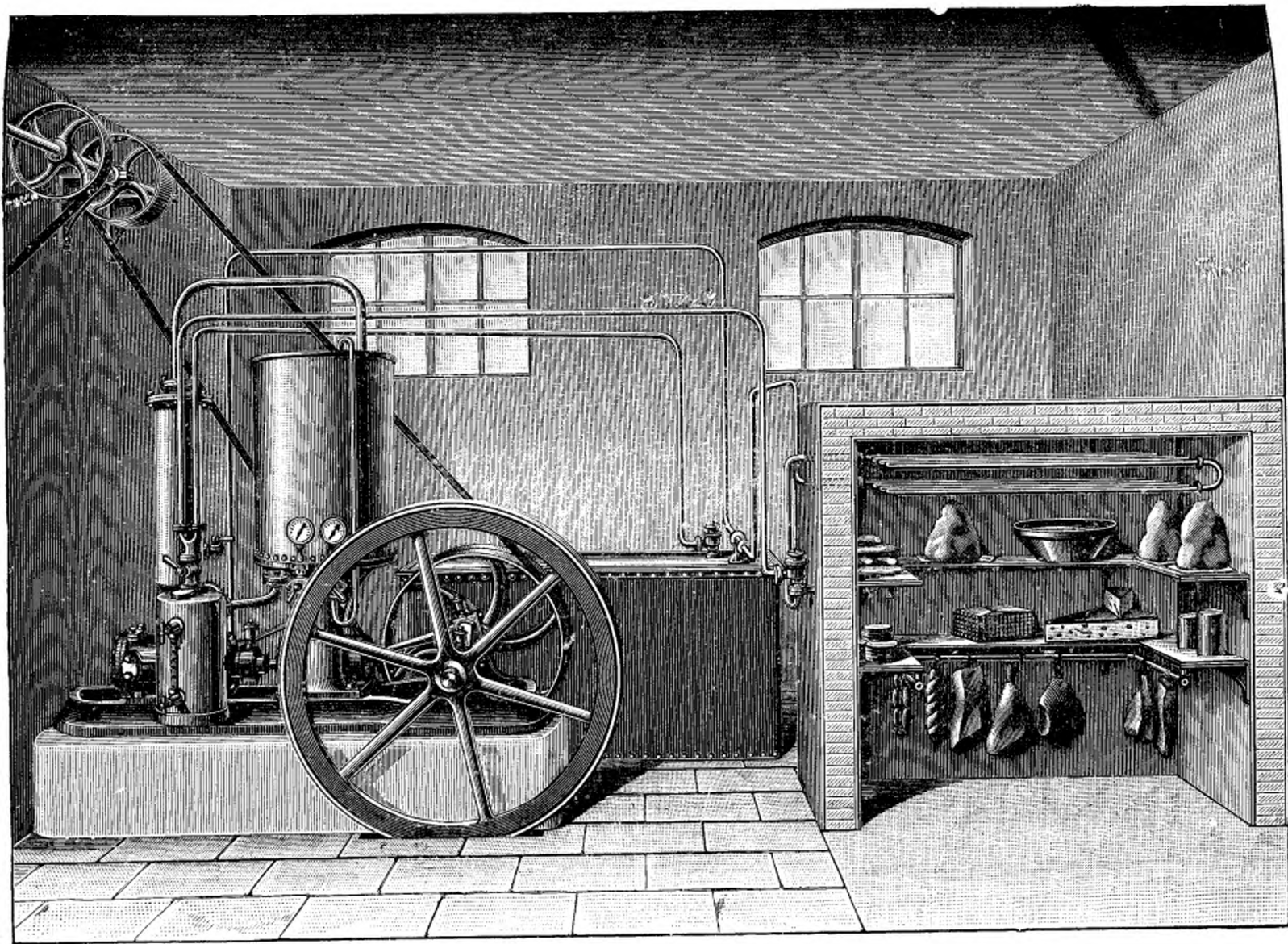


Fig. 101. — Machine à glace pour la production de la glace opaque, des carafes frappées et la conservation des denrées alimentaires.

La machine à vapeur est construite plus forte qu'il n'est nécessaire pour le compresseur en prévision de divers accessoires dépendant des installations. Elle possède un condenseur placé en dessous, non visible sur la gravure. La distribution est à double tiroir système Rieder réglé automatiquement par un régulateur très sensible commandé par chaîne.

L'acide carbonique sortant du compresseur et du purgeur de glycérine se rend dans le condenseur de type immergé où il se refroidit et se liquéfie (appareil situé à l'extrême gauche de la figure). De là il passe toujours à contre-courant dans le condenseur placé à droite du premier et ayant pour but le refroidissement du gaz liquéfié le plus près possible de la température de l'eau de circulation qui entre dans cet appareil et s'en va par le condenseur.

De là le gaz liquéfié et refroidi passe par le robinet de réglage et se détend dans le serpentín placé dans la partie inférieure du générateur de glace ; il en est aspiré de nouveau par le compresseur.

Le générateur presque complètement enterré est placé à l'extrême droite de la figure et contient les mouleaux pour blocs de 25 kg. plongeant dans la solution saline dans laquelle se trouve aussi placés, les serpentins de détente.

Comme tout générateur de glace de quelque importance il possède 2 hélices assurant la circulation énergique de la saumure ainsi qu'un appareil d'avancement des séries de mouleaux. A son extrémité se trouve la cuve à démouler, le culbuteur et le tréteau de décharge, non visible sur la figure. Le service des mouleaux est effectué par un pont roulant à commande télédynamique.

Le remplissage des mouleaux par l'eau ordinaire est effectué par un appareil comprenant une caisse divisée en compartiments chacun de la contenance d'un mouleau, et possédant à la partie inférieure un boyau de caoutchouc terminé par un bec en fer.

Tous ces tuyaux sont montés sur une traverse pivotante et se rabattent sur la série de mouleaux qu'ils remplissent en y laissant couler la quantité d'eau exactement nécessaire. L'appareil est représenté sur la fig. 102 à droite en arrière et suspendu au cadre portant le pont roulant.

En sous-sol se trouve la transmission commandant le pont roulant et les hélices agitatrices et la pompe à eau.

Pour la fabrication de la glace transparente, on emploie l'eau distillée produite par un appareil à quadruple effet visible à la droite des con-

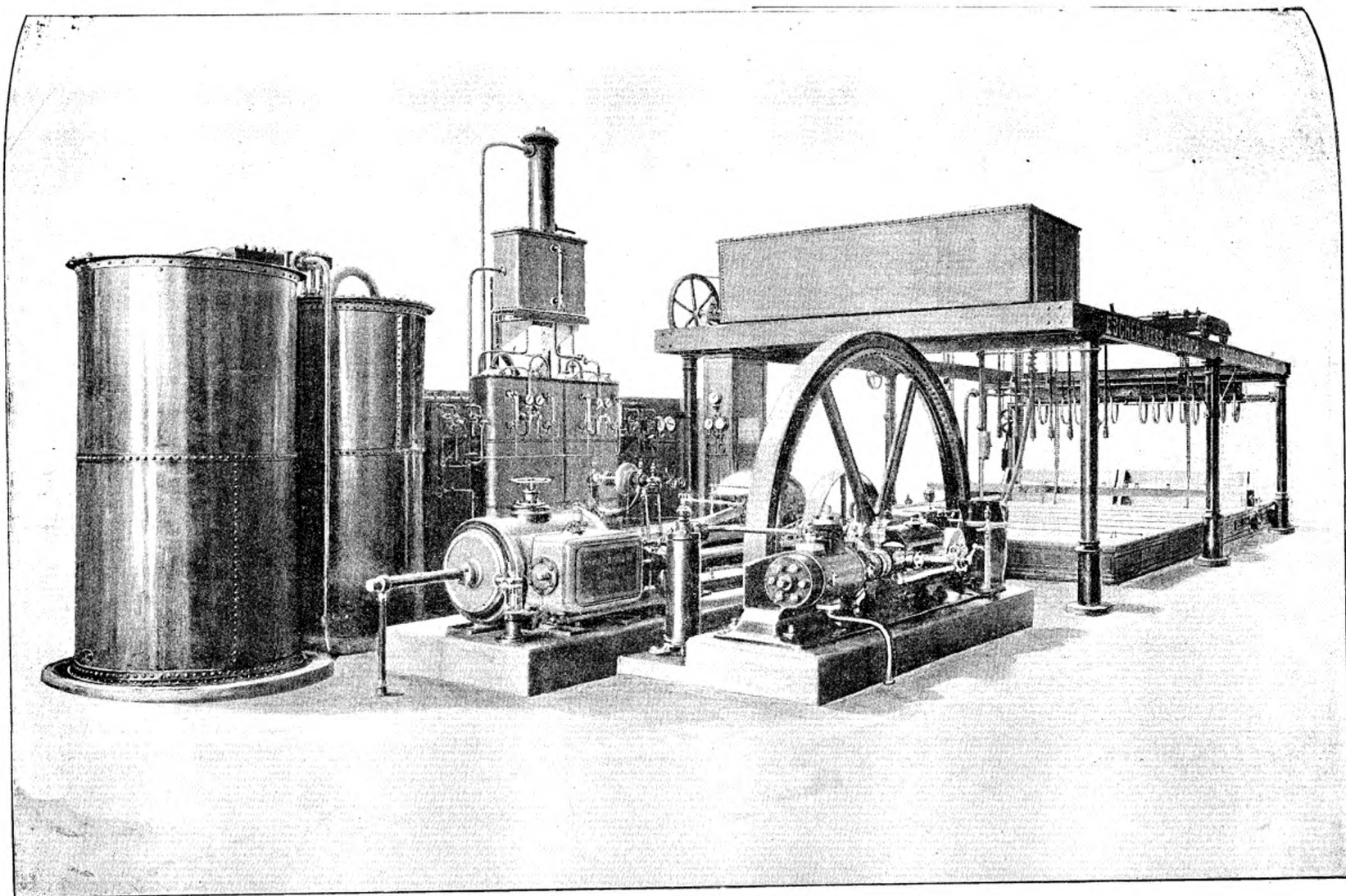


Fig. 102. — Installation Escher Wyss à l'Exposition de 1900 (Section de l'alimentation). — Installation complète pour la production de glace transparente avec l'eau distillée.

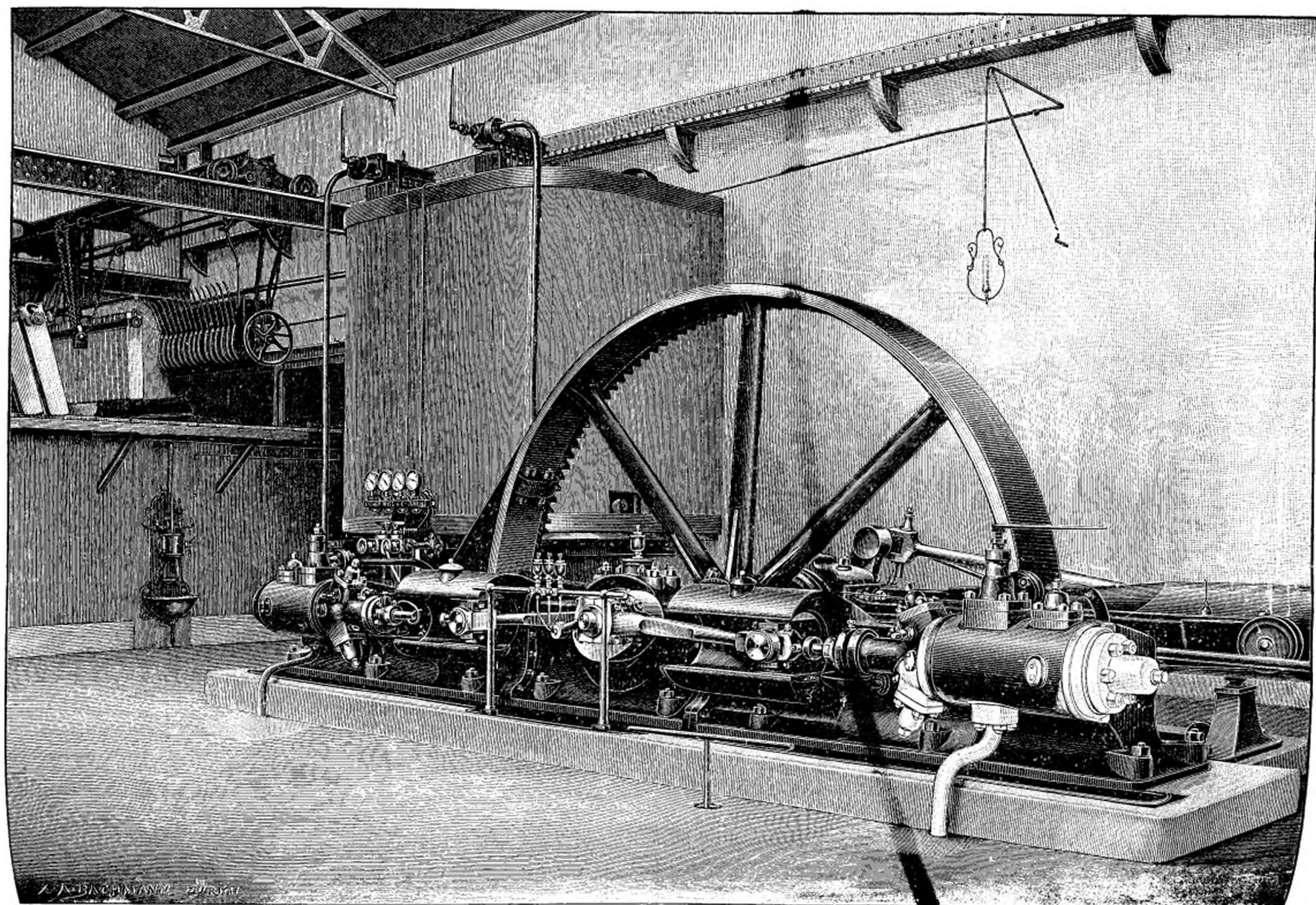


Fig. 103. — Installation Escher-Wyss complète pour la production de 1,800 kilogrammes de verre à chaux.

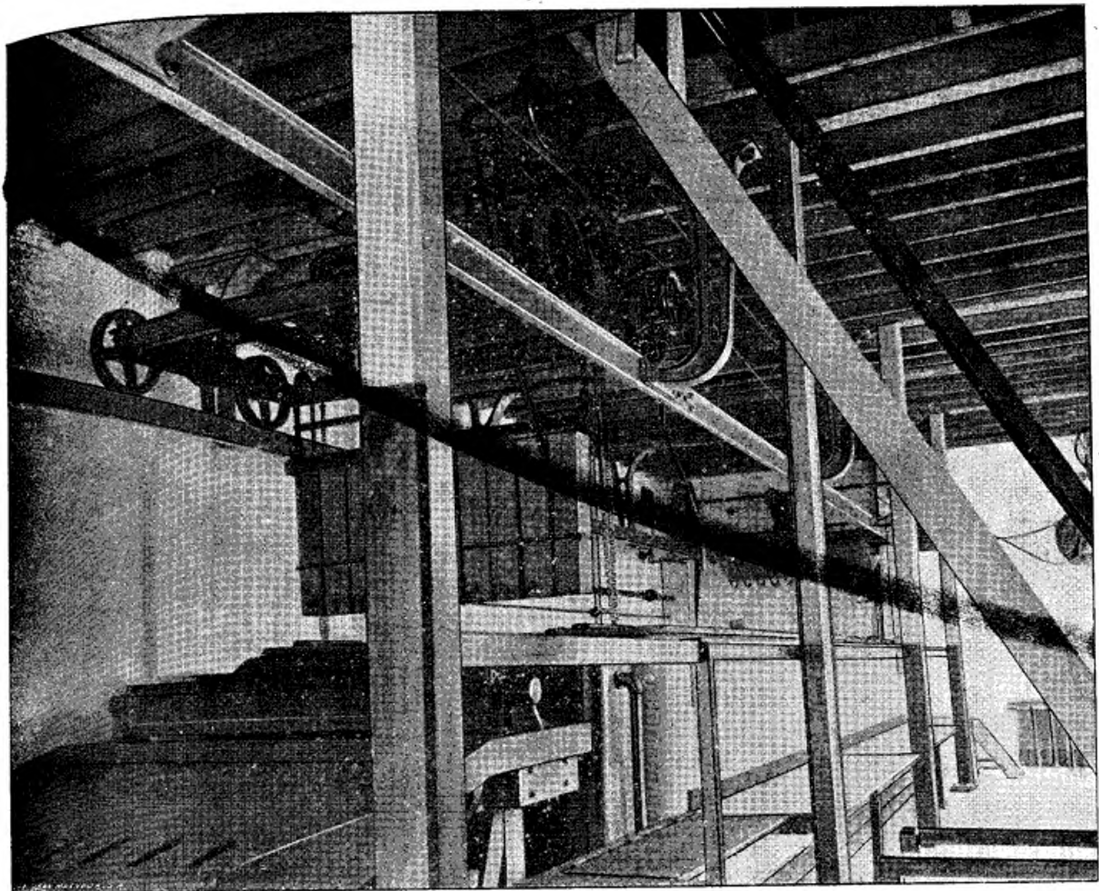


Fig. 404. — Salle des Congélateurs de la Société coopérative Mechelsch Ijs fabriek à Malines.

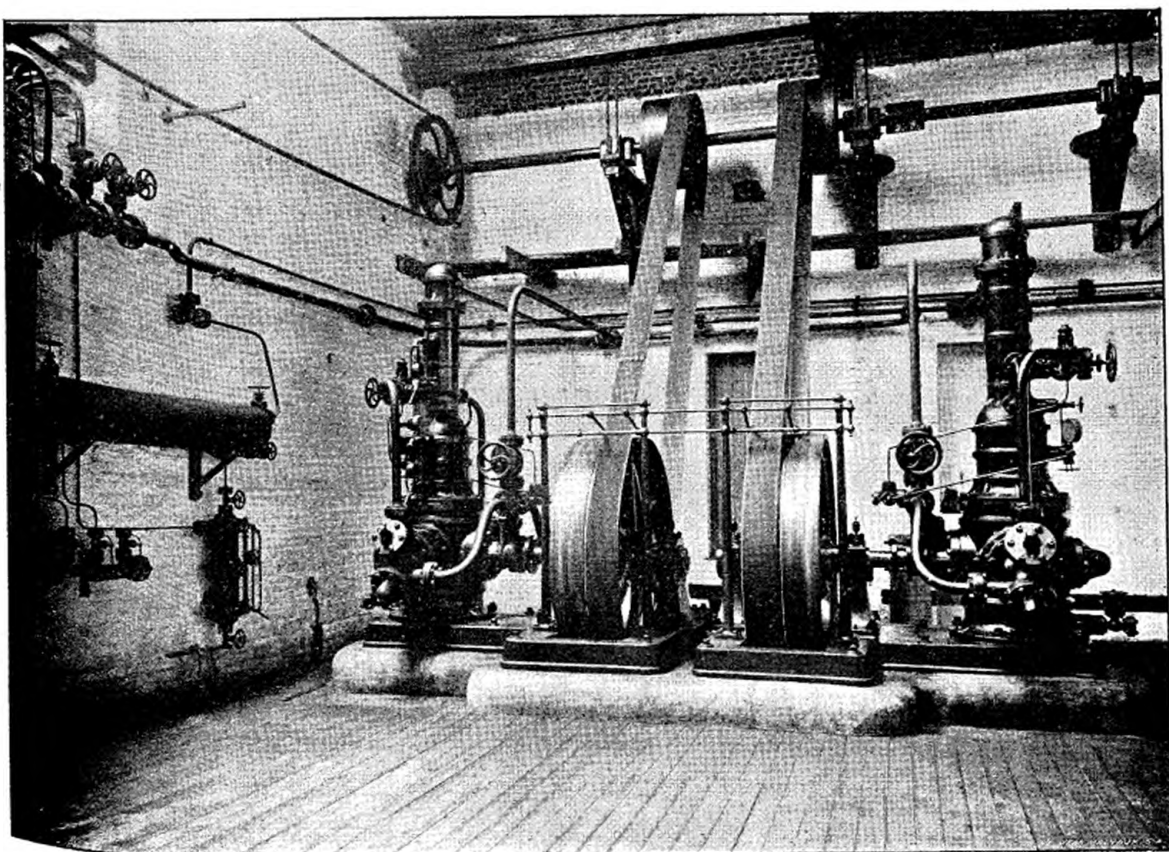


Fig. 405. — Vue des compresseurs et de la batterie de distribution du froid de la Société Anonyme de blanchisserie et frigorifères de Charleroi.

denseurs derrière la machine à vapeur. Cet appareil se compose en principe de 4 chaudières tubulaires, chauffées par la vapeur.

La première reçoit de la vapeur provenant de la chaudière, la deuxième celle de la première et ainsi de suite. La condensation de ces vapeurs est effectuée par des purgeurs automatiques dans un appareil bouilleur

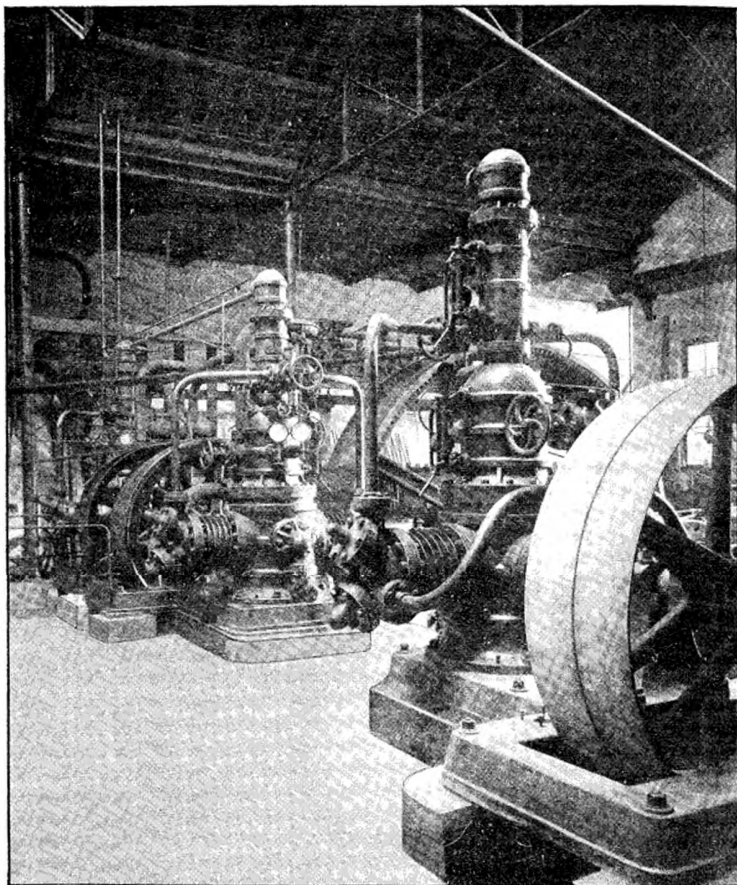


Fig. 106. — Salle des Compresseurs des glaciers et usines frigorifiques de De Beek à Bruxelles.

désaéreur placé au-dessus de l'appareil et surmonté lui-même d'un petit condenseur à surface. La vapeur s'échappant de la quatrième

chaudière sert à faire bouillir l'eau du bouilleur, dont les vapeurs sont liquéfiées dans le condenseur.

L'eau ainsi distillée tombe dans des appareils à contre-courant placés en sous-sol non visibles sur la figure, puis une fois refroidie se rassemble dans la bache placée en avant du bac sur le cadre supérieur.

L'eau est encore refroidie le plus possible dans cette bache au moyen d'un serpentín dans lequel circule la saumure. Le remplissage des mouleaux demande un appareil spécial évitant la rentrée d'air. Il se compose d'un collecteur muni d'une série de tubes verticaux avec une soupape à butoir à la partie inférieure. Le collecteur est en communication avec la bache par un gros boyau de caoutchouc, le tout coulissant sur des glissières, ce qui permet de l'introduire jusqu'au fond des mouleaux qui, butant les soupapes les ouvrent automatiquement. Une fois la série de mouleaux pleine, le remplisseur est soulevé, les soupapes se referment dès qu'elles quittent le fond des mouleaux et on amène la série ainsi remplie à sa place au moyen du pont roulant.

Dans le cas où l'on veut employer la vapeur d'échappement de la machine à vapeur, on emploie un condenseur à surface muni d'un séparateur d'huile. L'eau produite par la vapeur condensée est encore filtrée puis passée dans le bouilleur désaéreur et de là à travers des appareils à contre courant se rend dans la bache à eau distillée.

Généralement on fait agir ainsi le vide du condenseur sur les différents appareils afin d'obtenir un meilleur désaérage et de permettre la meilleure circulation de l'eau dans les appareils. Il est évident que l'eau ne peut sortir du dernier appareil ayant le vide qu'au moyen d'une pompe ou d'une disposition isobarométrique.

La fig. 103 représente aussi une installation complète des mêmes constructeurs pour une production de 1800 kg. de glace à l'heure. En arrière plan à droite se voit la machine motrice, puis en avant les deux compresseurs dont celui de droite fonctionne seul, on le voit givrer sur la photographie. Celui de gauche n'est pas accouplé et se trouve au repos. En arrière et un peu à gauche se voit le grand condenseur, et tout à fait à l'extrémité de la figure se trouve le bac à glace avec le pont roulant, les appareils de remplissage des mouleaux.

Enfin nous pouvons montrer dans les figures 104, 105, 106, quelques vues partielles de glaciers fonctionnant avec des machines Lebrun — Congélateurs de la Société coopérative Mechelsch Ijs fabriek

à Malines — Compresseurs de la Société Anonyme des blanchisseries et frigorifères de Charleroi — Compresseurs des glaciers et usines frigorifiques, de De Beck à Bruxelles.

V. *Procédé Holden*. — Il nous reste enfin à signaler un procédé récemment appliqué aux Etats-Unis, procédé qui produit de la glace en blocs prismatiques parfaitement transparents au prix de 5 francs la tonne.

Une solution ammoniacale est évaporée à température surélevée et le gaz est réuni dans de hautes colonnes où il est puisé par des pompes qui le compriment et le liquéfient.

L'ammoniac liquide est alors détendu dans un appareil spécial formé par un cylindre horizontal animé d'un mouvement de rotation qui le fait tourner dans un grand réservoir plein d'eau.

L'ammoniac en se volatilisant dans le cylindre le refroidit rapidement et il se dépose à la surface du cylindre une couche de glace parfaitement désaérée que des couteaux fixes détachent de la paroi au fur et à mesure de sa formation grâce au mouvement du cylindre.

Les fragments de glace viennent alors nager à la surface de l'eau et sont entraînés par une vis sans fin sous une presse puissante qui détermine, par suite du phénomène du regel, la soudure de tous les débris en un seul bloc prismatique très épais et parfaitement transparent et homogène.

Le procédé Holden qui présente ce fait caractéristique de pouvoir utiliser une eau quelconque méritait au moins d'être signalé.

Avec lui nous terminons l'étude des fabriques de glace. Dans le chapitre suivant nous passerons rapidement en revue les entrepôts frigorifiques.

CHAPITRE III

LES ENTREPOTS FRIGORIFIQUES POUR LA CONSERVATION DES DENRÉES ALIMENTAIRES

La conservation des produits alimentaires par le froid a été de tout temps employée. En 1856, aux Etats-Unis, on en retrouve la première application en grand dans la maison glacière que construisit à cette époque un prédicateur du nom de Benjamin Nyce, dans laquelle il emmagasina un certain nombre de produits altérables, du beurre, des œufs, des oignons, etc. Les maisons glacières se sont répandues et ont fonctionné aux Etats-Unis tant que les machines à glace sont restées dans l'enfance et on en retrouve encore de nos jours au Canada et en Sibérie.

Actuellement les machines frigorifiques permettent avec la plus grande facilité une réfrigération et une conservation parfaites des produits alimentaires et on a appliqué ces résultats dans la plupart des pays principalement en Angleterre. En Irlande même on commence à utiliser le froid pour le commerce du poisson, des volailles et des produits de basse-cour.

C'est ainsi que d'après M. de Loverdo (Rapport sur les applications du froid industriel en agriculture, *Bulletin du Ministère de l'Agriculture*, 1901, n° 5), les importations de denrées alimentaires en Angleterre des pays éloignés grâce à l'application du froid industriel avant, pendant et après le transport se sont élevées à :

PAYS de provenance	NATURE des produits	ANNÉES	QUANTITÉS
Australie	Moutons congelés	1900	6,433,821 carcasses.
Nouvelle-Zélande			
Amérique du Sud			
Queensland et Australie			
Nouvelle-Zélande	Bœuf congelé ou réfrigéré	1900	600,000 quintaux.
Amérique du Sud			
Etats-Unis, Canada			
Continent, etc.			
Australie	Beurre	1900	65,914,800 kilogrammes.
Victoria			
Nouvelle-Zélande			
Canada			
Etats-Unis	Œufs	1900	167,040,000 (nombre).
Maroc			
Egypte			
Russie			
Etats-Unis	Volailles et gibier	1900	15,000,000 de francs.
Canada			
Australie			
Russie, etc.			
Canada	Saumon	1900	Plusieurs millions de kilogrammes.
Etats-Unis			
Canada			
Australie			
Cap. Egypte	Pommes, poires, pêches, abricots, cerises, groseilles, prunes, raisins, fraises, amandes, noix, oranges, citrons, ananas, tomates	1900	Plus d'un million d'hectolitres.
Canaries			
Jamaïque et autres colonies anglaises			
Jamaïque			
	Bananes	1901	50,000 régimes au mois de mars.

Nous reviendrons plus loin sur le développement commercial de l'industrie frigorifique en Angleterre ; mais M. de Loverdo fait très justement remarquer à ce propos qu'à l'abondance des exportations de produits réfrigérés d'outre-mer, tels que le beurre, les œufs, les fruits, etc., à l'étranger, correspond un abaissement considérable de la quantité des produits similaires exportés de France. Cela n'est pas étonnant, si l'on songe que le froid possède le grand avantage de conserver non seulement la fraîcheur, mais aussi l'aspect du produit : les œufs des États-Unis ont beau avoir plusieurs mois de conservation, en vérité quand on les sort du dépôt, ils ont exactement le même goût, la même consistance, la même apparence que le jour où on les y avait déposés. En réalité, ils n'ont donc que deux à six jours. Il en est de même pour les fruits. Tout le monde a remarqué à Paris, vers le mois de mars, le bel aspect des pêches du Cap, qui nous viennent de Londres, après un mois de voyage. Les fruits que les Américains expédient en Angleterre possèdent le même aspect agréable à l'œil, et, quoique moins savoureux, ils sont plus mûrs que les nôtres.

En effet, en France, comme nous ne possédons pas de procédés pouvant assurer la bonne conservation des produits pendant le transport, nous sommes obligés de cueillir un peu verts les fruits destinés à l'exportation, et souvent même à la consommation de Paris. Si nos fruits et nos produits sont préférés, malgré cela, à tous les autres, c'est que leur supériorité est incontestable. Mais afin d'évincer des concurrents aussi bien outillés, il nous faut adopter les procédés employés par eux, ce qui permettra à nos produits d'atteindre le maximum de leur qualité et de leur faculté de conservation.

I. Conditions physiques caractéristiques d'une chambre froide

La conservation est pratiquée dans des entrepôts frigorifiques qui se trouvent placés soit à l'arrivée ou à la sortie des matières réfrigérées, soit dans le voisinage des Halles ou des Abattoirs. Leur bon entretien demande un certain nombre de conditions.

Ces conditions nécessaires pour une bonne conservation des produits alimentaires sont :

1° *Le degré de température.* — Il ne doit être ni trop bas ni trop élevé. Il doit être aussi constant que possible. Il doit être choisi avec soin suivant la nature du produit que l'on conserve. La température optimum pour un certain nombre de produits est d'après *Ice and Refrigeration*, dans les environs des chiffres suivants :

Viande fraîche . . .	+ 4,67	Dattes ; — Figs, etc.	+12,8
— en boîte . . .	»	Fruits secs.	+ 1,7 à + 4,4
— gelée	— 3,9	Raisins.	+ 2,2 à + 3,3
Poisson frais . . .	— 3,9 à — 4,1	Houblon (air sec) . .	+ 1,7 à + 4,4
— sec	— 3,9	— congelé	— 2,2
Huitres en boîtes. .	— 3,9	Citrons.	+ 2,2 à + 4,4
— en coquilles . .	— 4,1	Oranges	+ 7,2 à +10,0
Gibier congelé. . .	— 3,9 à — 2,2	Pêches.	+ 7,2 à +12,8
— à congeler. . . .	— 9,4 à — 2,2	Poires, Melons d'eau, Pa-	
Beurre	— 3,9 à — 4,4	nais, Céleris, Carottes,	
Oléomargarine. . .	+ 1,67	Choux, Tomates, As-	
Fromage	0 à + 0,6	perges	à + 1°,7C.
Oufs	+ 0,5 à + 1,7	Choucroute.	+ 1,7 à + 3,3
Volaille. } gelée . . .	— 2,2 à — 4,4	Pommes de terre. . .	+ 2,2 à + 4,4
} à congeler .	— 7,8 à — 5,6	Oignons	+ 1,7 à + 4,4
Huile ; — Sirops. . .	+ 1,7	Noix ; — Blé sec . . .	+ 1,7
Miel	7,2	Pois secs	+ 4,4
Bière	+ 0,5 à + 4,4	Haricots secs	0 à + 4,4
— en bouteilles . .	+ 7,2	Chataignes.	+ 0,6
Cidre	+ 1,7 à + 4,4	Farines.	+ 4,4
Vins	+ 7,2 à — 0,01	Sardines, Viandes, Fruits	
Pommes	+ 0,5 à + 2,2	en boîtes	+ 1,7
Bananes	+ 4,4 à + 7,2	Cigares.	+ 1,7
Baies fraîches. . .	+ 2,2 à — 4,4	Fourrures naturelles. .	+ 1,7
Airelles	+ 1,4 à + 2,2	Lainages	+ 4 à — 1,1
Cantaloups.	+ 4°,4C.		

D'autre part, les températures les plus favorables seraient pour M. H. Mstr (dans le journal allemand, *les Annales de l'Industrie du froid*) :

Pommes d'été	0 à + 5,5	Melons d'eau	+ 4 à + 5
— d'hiver	0 à + 2	— musqués	+ 2 à + 5
Poires	+ 0,5 à + 3,5	Noix.	+ 0,5
Bananes	+ 1 à + 2	Dattes, — Figues	+ 10 à + 13
Pêches	+ 2 à + 3,5	Fruits secs.	+ 2 à + 4
Pommes acides	+ 1 à + 2,5	Concombres	+ 2 à + 5
Citrons	+ 0,5 à + 2,5	Oignons.	+ 1 à + 5
Raisins.	+ 2 à + 4,5	Choux	+ 0,5
Prunes	+ 2 à + 4,5	Asperges, Haricots, Pois,	
Baies, cerises.	+ 4 à + 5	Choucroute	+ 0° à + 2,5
Tomates	+ 2 à + 6		

Enfin M. de Loverdo, dans son rapport, a indiqué les chiffres suivants :

Les chiffres sont presque identiques à ceux des auteurs anglais et évidemment inspirés par eux.

Nature des produits		Température	Nature des produits		Température
		degrés centigrades			degrés centigrades
Viandes	réfrigérées . . .	1,7	Houblon.	— 2,2 à 2,2	
	congelées . . .	— 3,9	Citrons	2,2 à — 4,4	
Poissons	réfrigérés . . .	4,4	Oranges.	7,2 à 10	
	congelés. . .	— 3,9 à — 4,4	Pêches	0	
Beurre		— 3,9 à — 4,4	Poires	1,7	
Fromages		0 à 0,6	Pastèques	1,7	
Oeufs		0,6 à 1,7	Céleri	1,7	
Volailles	réfrigérées . . .	0,6 à 1,7	Carottes.	1,7	
	congelées. . .	— 2,2 à — 4,4	Choux	1,7	
Gibier réfrigéré. . .		— 3,9 à — 2,2	Tomates	1,7	
Huile		1,7	Asperges	1,7	
Cidre		1,7 à 4,4	Choucroute	1,7 à 3,3	
Vin		7,2 à 10	Pommes de terre	2,2 à 4,4	
Pommes		0,6 à 2,2	Oignons.	1,7 à 4,4	
Bananes		4,4 à 7,2	Noix.	1,7	
Cantaloups		4,4	Fourrures { non apprêtées . . .	1,7	
Dattes, figues, etc. . .		12,8		— 3,9 à 0	
Fruits secs		1,7 à 4,4	Tabac	1,7	
Raisins		2,2 à 3,3			

La conservation de ces différents produits ne peut donc être effectuée dans la même pièce, encore que leur parfum particulier pourrait imprégner les denrées voisines, en altérer la saveur et en diminuer la qualité.

On doit donc distribuer l'abaissement de température des différents locaux suivant leur destination même.

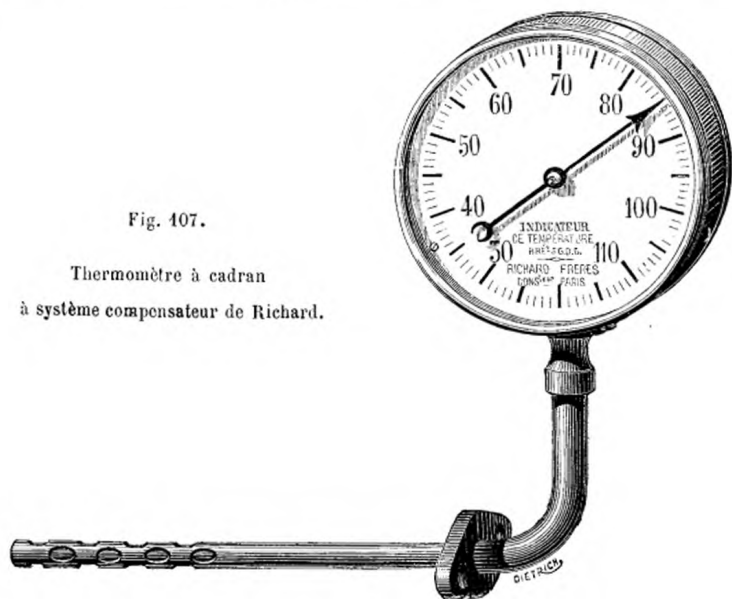
Il est donc nécessaire dans les chambres froides de pouvoir suivre à chaque instant la marche de la température ; il est aussi nécessaire de connaître quelle a été à chaque moment la température dans une enceinte où sont conservées des denrées alimentaires.

De là l'emploi d'appareils différents. Les uns sont de simples thermomètres, thermomètres à tiges ou à cadrans ; les autres sont des appareils enregistreurs, thermomètres indiquant à chaque moment quelle est la température même de l'enceinte et inscrivant sur un graphique la marche même de la température, les différentes oscillations produites par un arrêt de la machine, l'ouverture de la porte et l'introduction de nouvelles matières à réfrigérer, etc.

D'autres enfin signalent par une sonnerie lorsque la température

Fig. 407.

Thermomètre à cadran
à système compensateur de Richard.



devient trop basse ou trop élevée ; ce sont de véritables thermomètres avertisseurs à maxima ou à minima.

Les thermomètres à tige sont d'un emploi peu commode car à moins d'un dispositif spécial, ils ne peuvent donner à l'extérieur l'indication de la température intérieure des chambres. Ils peuvent bien présenter une tige coudée permettant au réservoir de se trouver dans l'enceinte tandis que la tige passant à travers la paroi présente alors un coude qui lui permet de se redresser, mais ces appareils sont très fra-

giles et sont souvent erronés par suite de la courbure entraînant une erreur souvent considérable — 1° quelquefois — dans la notation.

M. Richard a imaginé un thermomètre à cadran à système compensateur qui obvie à ces inconvénients et permet un emploi commode. Il se compose essentiellement d'un réservoir relié par un conduit de faible diamètre, de longueur quelconque, droit ou coudé, avec un tube manométrique Bourdon. Le réservoir, le conduit de communication et le tube manométrique sont remplis par un liquide dont les variations de volume avec la température sont proportionnelles et toujours comparables. Le liquide en se dilatant augmente la pression qui existe dans le tube manométrique et détermine par suite un déplacement du tube.

Le mouvement est transmis à une aiguille se déplaçant sur un cadran au moyen d'un système très simple de leviers. Le liquide et les éléments qui le renferment doivent être exactement privés d'air.

Pour annuler les effets de la température ambiante sur la partie de l'appareil donnant les indications, le thermomètre est muni d'un compensateur qui corrige cette erreur.

La position dans laquelle le cadran est placé n'a pas d'influence sur le mouvement de l'aiguille. Le cadran ne doit pas néanmoins se trouver à plus de 3 m de distance du réservoir.

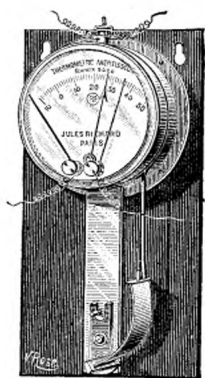


Fig. 108. — Thermomètre avertisseur pour chambres d'air.

Cet appareil peut facilement être transformé en un thermomètre avertisseur à maxima et à minima. Pour cela on dispose sur le cadran deux aiguilles butoirs contre lesquelles l'aiguille mobile vient heurter dans le cas de *trop chaud* ou *trop froid*. Les deux butoirs sont mis en relation avec un circuit électrique dans lequel se trouve un timbre. Le contact de l'aiguille et du butoir ferme le circuit et le timbre signale la trop grande variation de température.

On peut avoir deux timbres différents avec un double circuit et la sonnerie est alors différente suivant qu'il y a perturbation en plus ou en moins dans le réglage de la température.

Ces appareils rendent de très grands services dans la conduite des chambres froides. Ils sont bien plus commodes à employer que les

thermomètres à maxima et à minima à mercure avec contact de platine dont on se sert habituellement dans les laboratoires et dont l'extrême fragilité, le prix et la grande délicatesse en excluent l'emploi courant dans l'industrie.

Le thermomètre métallique à liquide de Richard peut être employé aussi sous la forme de thermomètre enregistreur ; l'aiguille dans ce cas, au lieu de tourner autour d'un cadran se déplace ainsi que le montre la figure devant un tambour tournant sur lui-même en un temps donné

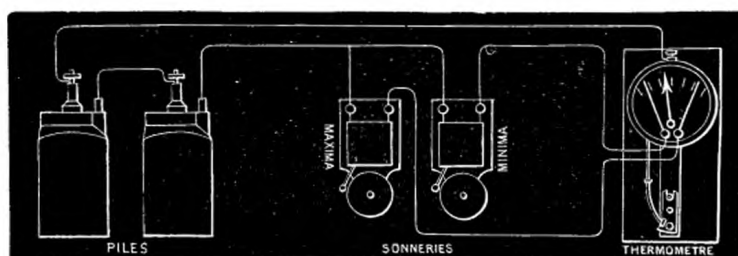


Fig. 409. — Schéma du dispositif d'un thermomètre avertisseur à deux timbres.

au moyen d'un mouvement d'horlogerie, l'aiguille, les leviers, le tambour se trouvent alors renfermés dans une boîte généralement métallique qui les préserve des intempéries ; seul le réservoir est placé directement dans le milieu dont on mesure la température. L'extrémité de l'aiguille est munie d'une plume qui trace sur un papier quadrillé fixé sur le tambour un diagramme correspondant aux variations de température et indiquant par suite à chaque instant le degré thermométrique. De tels tracés présentent le plus grand intérêt pour le contrôle même de la marche d'un entrepôt frigorifique. L'appareil indique de lui-même la totalité des variations qui se sont produites. Il permet de reconnaître ainsi un échauffement intempestif, en rechercher la cause et y remédier.

Il n'est pas besoin d'ailleurs que l'appareil tout entier, la boîte et son contenu d'une part, le réservoir de l'autre soit placé dans l'enceinte. Le réservoir peut y être seul placé. Il est alors formé d'une canne rigide dont l'extrémité sensible est formée par le réservoir pénétrant au travers de la paroi, tandis que la partie entière est en relation avec le système de levier mettant en mouvement l'aiguille inscriptive.

Un autre appareil indicateur de température qui rend aussi de

grands services dans la conduite d'un entrepôt frigorifique est le *Chercheur électrique* dit *scrutateur Richard*.

Cet appareil se compose de deux parties :

1^o Un poste transmetteur.

2^o Un poste récepteur.

Le ou les postes transmetteurs sont des thermomètres métalliques de Richard placés dans les pièces mêmes dont on veut connaître la température.

Ces appareils sont reliés électriquement au poste récepteur qui se trouve dans la salle des machines ; un commutateur permet de fermer

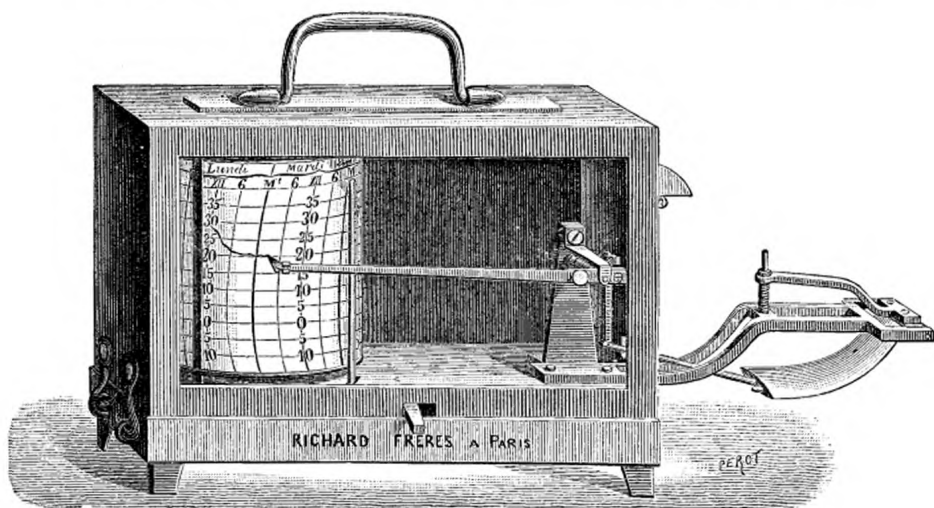


Fig. 410. — Thermomètre enregistreur Richard.

le courant et de mettre le récepteur en relation avec tel ou tel transmetteur.

On a ainsi dans la chambre même des machines l'indication de la température de telle ou telle partie d'un entrepôt frigorifique. Le schéma ci-joint indique la disposition d'un scrutateur présentant trois postes transmetteurs pour un récepteur.

2. *L'état hygrométrique de l'air.* — Il joue un rôle considérable. On croyait il y a quelque temps encore qu'il fallait une dessiccation de l'air aussi parfaite que possible et nous connaissons des entrepôts fri-

gorifiques qui emploient encore l'air sec et cela malgré l'évidence même des inconvénients d'une telle méthode. Sans cette précaution, croyait-on, la moindre variation de température amène la précipitation à la surface du produit d'une certaine quantité d'eau favorisant alors le développement des bactéries et des ferments, *Penicillium*, *Mucor*, etc. La dessiccation de l'air semblant donc être une condition essentielle de bon fonctionnement. La conservation aurait été parfaite, d'après M. de Lo-

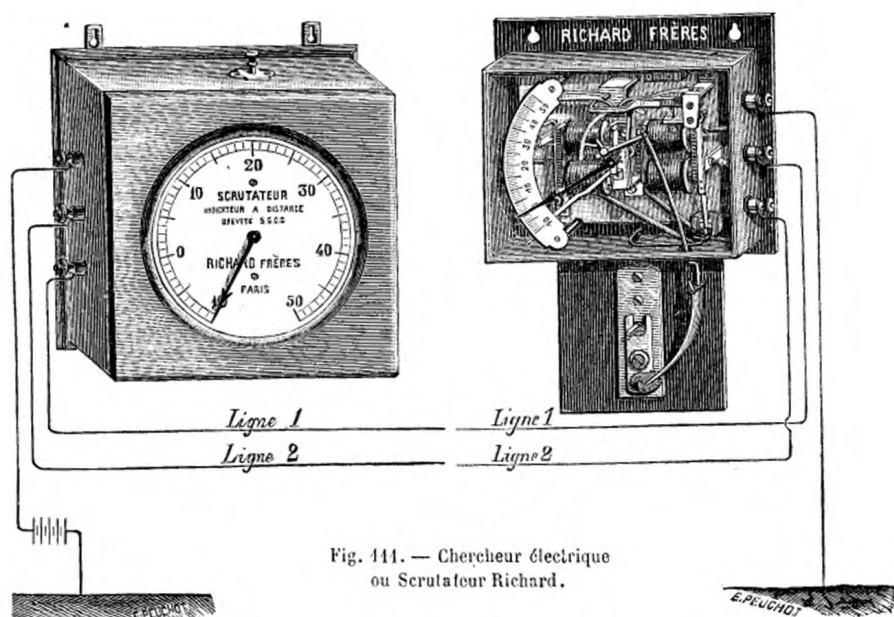


Fig. 441. — Chercheur électrique
ou Scrutateur Richard.

verdo (*op. cit.*) si l'on avait soin de faire circuler sans courant sensible l'air sec et froid. Le froid est souvent amené de la salle des machines dans les entrepôts frigorifiques par des serpentins, suspendus aux plafonds, où circule le liquide incongelable qui baigne le réfrigérant, la température de ce liquide est à plusieurs degrés au-dessous de zéro. Au-dessous de ces serpentins l'humidité de l'air se condense par suite sous forme de givre, on installe alors des gouttières inclinées par lesquelles s'écoule l'eau provenant de la fonte de ce givre. La ventilation se fait au moyen de ventilateurs ordinaires.

L'air froid qui se trouve dans les chambres frigorifiques ainsi aménagées n'est ni sec ni pur; l'humidité introduite avec les denrées reste à l'état latent dans le givre. Dès que se produit une interruption de la circulation du liquide incongelable, l'humidité réapparaît sous forme d'eau fondue, eau rosée et sale, rejetant dans les chambres les impuretés que la condensation sur les serpentins avait recueillies et immobilisées. Par les gouttières, l'eau fondue s'écoule tant bien que mal, mais l'air n'est ni séché ni purifié. Dans les entrepôts frigorifiques bien installés, on ne doit plus employer, d'après M. de Loverdo, de serpentins aux plafonds des salles à refroidir : rien qu'une succession de bouches de refoulement et d'aspiration, par lesquelles l'air, préalablement refroidi, séché et purifié, arrive sans courants sensibles, et s'évacue

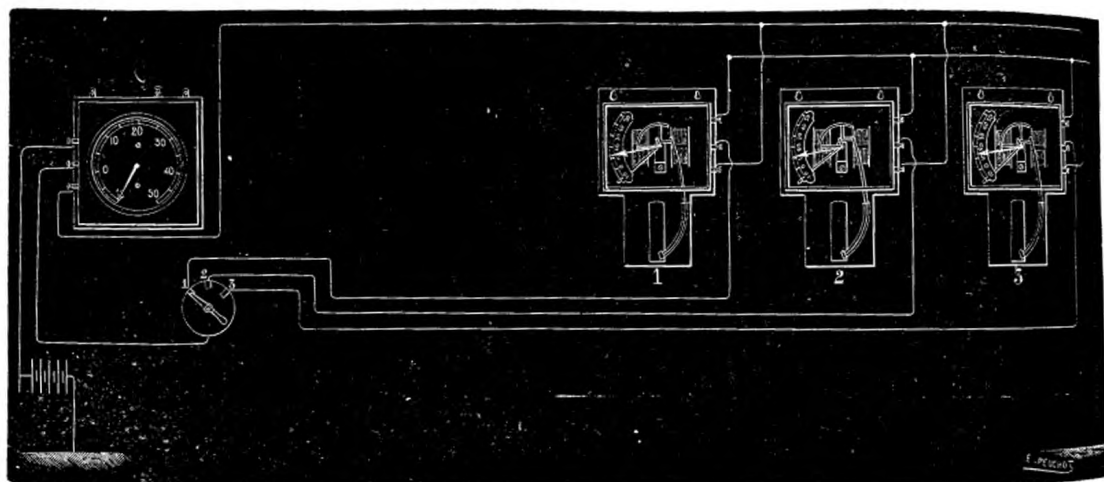


Fig. 112. — Schéma d'installation d'un scrutateur avec 3 postes transmetteurs pour un seul récepteur.

lorsqu'il est imprégné. Le refroidissement et la ventilation se font donc simultanément par une seule et même manœuvre; quant aux diverses opérations de condensation de l'humidité, de captage des impuretés et des germes de décomposition, de dégivrement et d'évacuation de l'eau fondue, tout cela se passe dans la salle des machines, au sein d'un grand appareil, sorte de jeu d'orgues de serpentins avec vannes et mécanismes, donnant des résultats excellents au point de vue de la sécheresse et de la pureté de l'air froid. De la sorte, pas d'atmosphère sta-

gnante et odorante, pas d'humidité latente susceptible de rentrer, à un moment donné, dans la circulation.

Les avantages ainsi indiqués par M. de Loverdo dans son rapport sont loin d'être à dédaigner, mais un air complètement desséché entraîne de graves inconvénients.

C'est ainsi que dans un entrepôt frigorifique bien connu, un essai avait été fait pour la conservation des œufs avec de l'air très sec. On avait obtenu une conservation apparente parfaite. Mais lors de la vente on constata que les œufs étaient à moitié vides et invendables. Cet incident a fait rejeter définitivement l'emploi de l'air sec.

La proportion d'eau la plus favorable varie suivant les substances. C'est ainsi que le degré hygrométrique le plus convenable d'après nous sera, 100 étant le degré hygrométrique de l'air à saturation.

Pour

Les fromages	85
Les œufs	80
Les viandes congelées et réfrigérées	70 à 80
Les volailles	60
Les fourrures	50 à 60
Les fruits secs	50
Les houblons	40 à 45

L'état hygrométrique de l'air peut être indiqué constamment et enregistré automatiquement au moyen des appareils Richard. Ceux-ci sont de deux sortes. Les *hygromètres enregistreurs* et les *psychromètres enregistreurs*.

L'hygromètre enregistreur est un hygromètre à faisceau de cheveux, fixé par ses deux extrémités entre deux pinces et tendu par un levier. L'ensemble ainsi constitué se trouve placé à droite de la figure.

Les variations de longueur du faisceau de cheveux font mouvoir le levier qui transmet ses oscillations à une plume enregistreuse et le tracé de l'état hygrométrique de l'air se trouve ainsi inscrit sur un papier gradué de 0 à 100 ; l'indication est donc donnée immédiatement en centièmes effectifs.

Le psychromètre enregistreur présente sur l'appareil précédent l'inconvénient de nécessiter un calcul, calcul simplifié d'ailleurs par l'usage de tables.

Un psychromètre est un appareil qui donne la force élastique de la

vapeur d'eau dans l'air par comparaison des deux températures t et θ que fourniront au même moment deux thermomètres identiques, l'un normal et l'autre à réservoir conducteur mouillé. L'eau évaporée produit un certain froid et la température θ s'abaisse. La différence de température $t - \theta$ est d'autant plus grande que l'évaporation est plus rapide et par suite que l'air est plus éloigné du point de saturation. Le psychromètre indique t et θ ; il est nécessaire en outre de savoir pour la détermination de la force élastique de la vapeur d'eau froide de connaître la pression atmosphérique.

Si l'on admet que la couche d'air qui enveloppe le thermomètre et qui lui cède de la chaleur a un volume invariable et si m est son poids

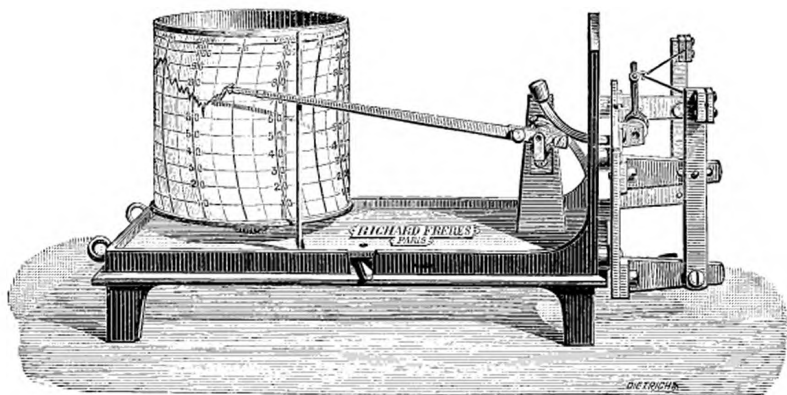


Fig. 413 — Hygromètre enregistreur Richard.

à 0° et à 760 mm, à t° et à la pression $(H - f)$, son poids sera

$$\frac{m(H-f)}{(1+\alpha t)760}$$

La chaleur cédée au thermomètre par cette masse d'air et la vapeur d'eau est égale à la chaleur prise par l'eau pour s'évaporer.

C étant la chaleur spécifique de l'air, C' celle de la vapeur et D sa densité, H la chaleur latente de vaporisation de l'eau à θ° , F la force élastique de la vapeur d'eau on a donc

$$\frac{m}{(1+\alpha t)760} (CH - CF + C'Df)(t - \theta) = \frac{mD}{(1+\alpha t)760} (F - f)$$

On voit donc que $\frac{F-f}{H}$ est une fonction de $(t - \theta)$ et on peut écrire

$$\begin{aligned}\frac{F-f}{H} &= a(t - \theta) \\ f &= F - aH(t - \theta)\end{aligned}$$

La valeur du coefficient a est déterminée expérimentalement et a été trouvée égale à 0,0008 en moyenne par différents expérimentateurs et on peut alors appliquer la formule suivante :

$$f = F - 0,0008 H (t - \theta)$$

Des tables simplifient d'ailleurs beaucoup le calcul.

Le psychromètre enregistreur de Richard se compose de deux thermomètres enregistreurs semblables, dont l'un est sec et dont l'autre

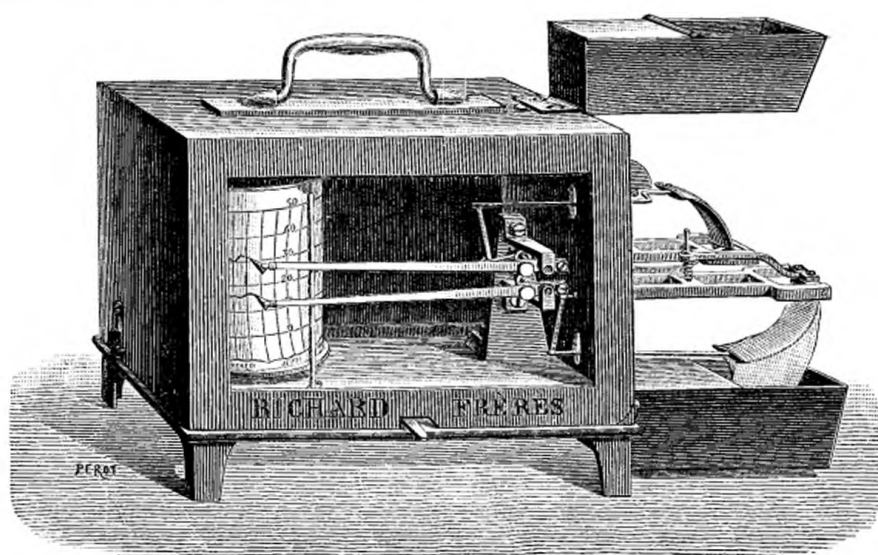


Fig. 114. — Psychromètre enregistreur de Richard.

présente un réservoir maintenu constamment mouillé au moyen d'une mousseline et d'une mèche de coton qui trempe dans un réservoir complètement rempli d'eau.

Le thermomètre sec trace ses indications à 10° au-dessus du chiffre réel, de telle sorte que l'on doit diminuer de cette quantité les indications qu'il donne. Les deux températures sont enregistrées simultanément.

ment sur la même ordonnée et sont par conséquent pour un même indicateur rigoureusement correspondantes.

A côté de ces appareils vient encore se placer le polymètre de Lambrecht qui est une combinaison du thermomètre et de l'hygromètre. Il se compose d'un cadran avec aiguille, surmonté d'une large tige plate, double, en bronze phosphoré, servant de support à un thermomètre centigrade. Un faisceau de cheveux est installé sur toute la longueur de l'appareil et abrité entre les deux joues métalliques que forme la tige plate. Sur le cadran sont gravées deux échelles superposées. Audessous, les degrés hygrométriques ordinaires ; au-dessus, des chiffres en regard des degrés. Or les chiffres ont été calculés de façon que si, pour chaque degré hygrométrique marqué par l'aiguille, on les soustrait de la température ambiante indiquée par les divisions de l'échelle de gauche du thermomètre, on a aussitôt le point de rosée, c'est-à-dire la température à laquelle la vapeur contenue à ce moment dans l'air se déposerait à l'état liquide.

D'autre part, le thermomètre construit en verre d'Iéna porte à gauche et à droite deux graduations différentes : d'un côté, l'échelle centigrade de température ; de l'autre, des chiffres et des divisions exprimant en millimètres de mercure la tension de la vapeur d'eau à la température marquée en regard, lorsqu'il y a saturation. Au moyen de cette double échelle, on obtient aussitôt encore le point de rosée et le poids de vapeur d'eau contenu dans l'air à telle ou telle température. Le polymètre est ainsi un hygromètre assez pratique.

Nous voyons donc que le polymètre donne les indications suivantes :

- 1° la température de l'air en degrés centigrades, sur la gauche du thermomètre ;
- 2° l'humidité relative de l'air ou état hygrométrique ;
- 3° la tension maximum ou la force élastique de la vapeur d'eau renfermée dans l'atmosphère (évaluée en millimètres de hauteur de mercure) ;
- 4° le poids (évalué en grammes) de la quantité de vapeur d'eau contenue dans un mètre cube d'air ;
- 5° la température du point de rosée ou de saturation.

Par humidité relative de l'air on entend le rapport de la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air à la quantité qui s'y trouverait s'il était entièrement saturé à la même température ; c'est ce que nous

avons nommé encore l'état hygrométrique ou la fraction de saturation de l'air. C'est ce que nous avons précisément indiqué dans ce tableau donné plus haut.

Le degré d'humidité de l'atmosphère ne dépend donc pas de la quantité absolue de vapeur d'eau qu'elle contient, mais de la tension de cette vapeur. L'air, lorsqu'il est froid, est très humide avec peu de vapeur.

L'échelle placée dans ce polymètre au-dessus de celle qui indique les pour cent d'humidité permet de déterminer par simple lecture la température du point de rosée. Il suffit de retrancher des degrés centigrades indiquant la température ceux de cette échelle pour obtenir la température de saturation de la couche d'air ambiante ou point de rosée.

Cette température du point de rosée peut être obtenue, encore, à l'aide du polymètre, d'une façon plus précise. Il suffit de multiplier le nombre représentant la tension maximum de la vapeur d'eau, pour une température t , par celui indiquant le tant pour cent d'humidité relative ; le produit divisé par 100 donne la pression actuelle de la vapeur d'eau que contient l'air. Il n'y a plus qu'à lire sur l'échelle des températures le nombre se trouvant en regard de celui qu'on vient ainsi d'obtenir.

La détermination très exacte de ce point n'est d'ailleurs pas, pour la conduite de chambres froides, d'une très grande nécessité.

Il est enfin dans les chambres froides un autre coefficient qui a une grande importance au point de vue de la dessiccation, c'est la quantité d'air qui y passe. Il faut pour la connaître déterminer par suite la vitesse du courant d'air refroidi que l'on y envoie ; c'est que l'on fait au moyen des anémomètres.

L'anémomètre Richard se compose d'un moulinet à ailettes en aluminium extrêmement léger et très solide perpendiculairement fixé à un axe qui affecte la forme d'une vis sans fin. Cette vis engrène avec une petite roue dont l'axe est assez long pour aller transmettre son

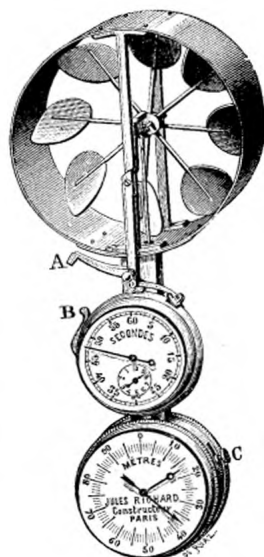


Fig. 113. — Anémomètre enregistreur Richard.

mouvement à un compteur totalisateur contenu dans un boîtier de montre.

L'anémomètre déclanché est placé dans le sens du courant d'air après avoir eu soin de noter les indications portées par le cadran. Le moulinet est alors mis en relation avec le compteur en appuyant sur le levier A tandis qu'on note le départ sur une montre à secondes. Au bout d'un temps déterminé, 15,30 secondes ou une minute on lit directement sur le cadran le chiffre indiqué par l'aiguille. La différence entre la deuxième et la première lecture indique le nombre de mètres parcourus pendant la durée de l'observation.

Dans le modèle à compte-secondes tel que le représente la fig. 115, le déclanchement des deux aiguilles se fait simultanément par l'intermédiaire du levier A. La remise au zéro du compte-secondes se fait au moyen du levier B dont la manœuvre a également pour effet de remonter le mouvement. Quel que soit l'anémomètre, les aiguilles du compteur de tours sont ramenées à zéro en appuyant sur le bouton C et en tournant les aiguilles au moyen d'une clef. Le bouton C est ensuite ramené dans sa position primitive.

II. Dispositions fondamentales des chambres froides. — Isolants

Nous venons de voir quelles sont les conditions toutes particulières dans lesquelles doit se trouver une chambre froide. Ces conditions entraînent des dispositions de constructions toutes particulières. La bonne température qui y règne, l'humidité de l'atmosphère, la circulation de l'air, la richesse des denrées que l'on y conserve nécessitent des dispositions spéciales. Quelques-unes sont spéciales, inhérentes à telles ou telles denrées. Les autres sont générales et en premier lieu nous devons considérer l'*isolement* même des parois au point de vue calorifuge.

L'*isolement* aussi parfait que possible des chambres froides au point de vue de la conductibilité calorifique assure naturellement une plus grande économie de force motrice.

Cet *isolement* est obtenu en entourant les parois, murs, plafonds et parquets des chambres froides de substances mauvaises conductrices de la chaleur, généralement des matières poreuses qui doivent leurs propriétés à l'air qu'ils tiennent inclus dans leurs cavités. Ces substances doivent posséder les qualités suivantes :

1° Être très mauvaises conductrices de la chaleur ;

- 2° Être imputrescibles ;
- 3° Être inodores ;
- 4° Enfin être incombustibles.

Parmi les matières employées on peut citer :

Le *feutre* assez médiocre, car il est assez bon conducteur de la chaleur il absorbe très vite l'humidité et attire l'eau par sa capillarité et sa perméabilité et sa valeur isolante est faible. Tallayrac (*Ann. de Méd. Milit.*, nov. 1900) signale le cas de l'ancien store du marché de Smithfield de Londres, qui employait le feutre comme agent isolant. Le résultat obtenu était si imparfait que les pièces voisines étaient suffisamment froides pour que les bouchers puissent y conserver leurs viandes.

Cependant on a pu améliorer beaucoup les propriétés des isolants en les imprégnant de compositions particulières ; tel est le produit P. et B. dont est imbibé le *Rubéroïd* et certains papiers isolants.

Le *Rubéroïd* est un feutre de paille de lin entièrement imbibé de la composition P. et B. et enduit ensuite des deux côtés d'une dissolution plus consistante de même nature. Ces deux couches extérieures lui servent d'armature et le garantissent plus ou moins parfaitement des effets de l'air et des intempéries ; elles l'empêchent de sécher et lui assurent une élasticité et une souplesse durables.

Le *Rubéroïd* est imperméable à l'eau et à l'air ; il est inattaquable par les acides et les alcalis, il est aussi incombustible ; des corps enflammés jetés sur le *Rubéroïd* ne le font pas brûler. Insensible aux changements de température, il ne se fend pas sous l'action du froid ou de la chaleur, du moins jusqu'à une température de 150° C. Par cela même il conserve aux locaux qu'il recouvre une température uniforme. Il est également, au point de vue électrique, un isolant puissant.

Mais ce sont surtout les papiers que l'on peut enduire avec intérêt et profit de préparations isolantes, par exemple du produit P. et B.

Tel est le papier Géant qui a pour base un papier très fort et très résistant saturé de cette composition spéciale et qui en est recouvert des deux côtés.

La condition essentielle pour exécuter une pose efficace du papier Géant est d'empêcher toute circulation d'air entre le mur et le papier.

Pour arriver à ce but, le papier Géant doit être appliqué contre le mur en le fixant au moyen de pointes ; les bords sont fixés à la paroi au moyen d'une colle spéciale. Les têtes des clous appliquant le papier

Géant contre le mur doivent en être badigeonnées. Le mur étant entièrement tapissé de papier Géant, les joints doivent être à nouveau repassés à la colle.

Dans ces conditions on a un produit qui rend de grands services dans la construction des chambres froides.

Le *crin animal* dégage une mauvaise odeur et peut de plus servir de repaire à un grand nombre de parasites.

Les *plumes* se tassent, s'altèrent et sont ainsi rapidement contaminées.

La *sciure de bois* peut être dévorée par les rats ; elle est hygrométrique, altérable. Elle fermente et donne de mauvaises odeurs quand elle est humide. On peut la mélanger soit avec du Kieselgühr dilué pulvérulent, soit avec de la tourbe.

Récemment, la balle de riz a été offerte comme isolant, mais elle contient environ 73 0/0 de matières végétales. Elle fermente et se moisit en quelques jours lorsqu'elle est mouillée ou humide. L'acide provenant de la fermentation est nuisible pour le bois et le fer. La balle elle-même attire les rongeurs.

Le *liège* en poudre ou en plaques, bien que légèrement altérable donne d'assez bons résultats. Il doit ses propriétés isolantes à sa très grande porosité qui immobilise ainsi une très grande quantité d'air formant manteau et s'opposant énergiquement à toute variation de température. On peut le rendre imputrescible et empêcher sa destruction par les rongeurs en l'imprégnant de sulfate de cuivre.

C'est surtout sous la forme d'agglomérés de briques que l'on emploie utilement la poudre de liège.

Les agglomérés de liège pour être isolants ne doivent contenir que du liège neuf provenant de coupes, tournures ou déchets des bouchonniers. Les vieux lièges, les vieux bouchons ayant servi ou séjourné dans l'eau ont perdu leurs propriétés isolantes et doivent être rejetés.

Ils ne peuvent d'ailleurs s'agglomérer qu'avec une matière interstielle abondante, foisonnant et enrobant complètement chaque grain. Les briques de liège mesurent généralement $0,06 \times 0,11 \times 0,21$ et pèsent environ 230 grammes. Trois procédés peuvent être appliqués pour déterminer quelle est la nature du liège employé dans les briques. Une simple coupe laisse voir la proportion de matière étrangère, plâtre, chaux, ciment, brai, glaise, silicate et l'aspect du grain laisse facilement voir si le liège était neuf ou s'il avait besoin d'une forte proportion

d'agglomérant. Le poids est en outre fortement accru ; il peut atteindre 450 à 600 grammes.

Le plâtre, le ciment sont des corps très conducteurs, qui n'offrent que peu de liant ; c'est pour donner une cohésion suffisante au produit, qu'ils doivent être employés en grande quantité, et que la qualité du produit se trouve être naturellement fortement diminuée.

L'aggloméré à base de chlorure est très lourd et souvent très hygrométrique, et l'on peut constater par les temps humides que les matériaux établis par ce procédé changent de couleur et absorbent l'eau : celle-ci y forme des gouttelettes. Il est inutile de faire ressortir les inconvénients qui peuvent résulter de l'emploi de ces matériaux dans la plupart des cas et principalement pour l'établissement des glacières.

L'agglutinant à base organique : colle, gélatine, caséine, etc., n'est pas justifié par les résultats obtenus ; malgré les insolubilisants ajoutés au mélange, celui-ci se désagrège lorsqu'il se trouve exposé à une humidité prolongée et dans ce cas il se dégage une odeur capable de mettre en fuite les partisans les plus intéressés du produit. A ce défaut, l'aggloméré à base organique ajoute encore ceux de n'avoir qu'une faible cohésion et d'être fortement rétractile.

Il n'y rentre guère que 100 grammes de liège et un tel produit sera par suite moins isolant qu'une brique qui pèse 230 grammes et où il rentre 225 grammes de liège neuf sous un même volume.

La brique ou les carreaux de liège doivent enfin comme le liège naturel être inodores ; s'ils ont une odeur de moisi, c'est que le liège est abimé ou usé ; si c'est une odeur de fromage, c'est qu'ils sont agglomérés avec du petit lait putréfié ; et ainsi de suite pour tous les agglomérants qui dégagent une odeur, sauf peut être les agglomérés au brai dont l'odeur légère disparaît rapidement quand ils sont bien faits. En un mot il faut surtout pour les frigorifiques n'employer que des matériaux sans odeur.

Il faut demander à une brique de liège une résistance qui lui permette de ne pas se désagréger en la manipulant ou la mettant en œuvre et non une ténacité analogue à la terre cuite ou à la pierre, les agglomérés qui veulent avoir cette qualité sont soumis à une forte pression qui resserre les molécules du liège et lui enlève partiellement avec son élasticité son pouvoir isolant.

Il ne suffit pas d'avoir de bons matériaux de liège il faut les mettre en œuvre de façon à utiliser toutes leurs propriétés isolantes.

Il y a à Paris des ouvriers spéciaux pour l'emploi de ces matériaux ; ils évitent de mouiller les briques, car l'humidité ne s'évapore que difficilement du liège ; ils serrent autant que possible les joints et garnissent de liège les manques ou écornures. Les enduits se font en deux opérations, gobetage et talochage, comme pour les enduits ordinaires.

Pour les caves glacières ou entrepôts frigorifiques les enduits se font en ciment, pour les étuves ils se font en plâtre ou terre réfractaire.

Si les plafonds ou murs doivent recevoir des scellements pour suspendre des objets ou fixer des appareils, il sera prévu en faisant la maçonnerie des lambourdes ou tampons en bois noyés dans la brique.

Le sol et le plafond doivent être l'objet de grands soins de la part du constructeur.

Sous le sol il est d'usage de faire une forme en mâchefer ou sable, ou ce qui est préférable un lit de coton minéral de 0^m,06 à 0^m,08 d'épaisseur et par dessus carreler sur deux épaisseurs avec des briques ou carreaux de 0^m,06 d'épaisseur, en ayant soin de contrarier les joints et de les boucher au ciment ; sur le deuxième rang on fera un carrelage céramique ou dallage en ciment.

Le sol aura une pente assez forte pour que l'écoulement de l'eau se fasse rapidement et la vidange sera soigneusement siphonnée et constamment amorcée.

Le plafond sera isolé d'une épaisseur variant de 0^m,20 à 0^m,25 d'épaisseur et sera composé de voutins sur deux épaisseurs en contrariant les joints.

Si au-dessus du plafond il se trouve une chambre parquetée, il faudra remplir avec soin les augets sous parquet avec de la poudre de liège ou du coton minéral ; ce dernier est préférable si on n'a qu'une faible épaisseur à garnir.

Tels sont les produits de la Société de Liège français fabriqués dans le Lot-et-Garonne en plein centre producteur de liège et au milieu des fabricants de bouchons. Tels sont aussi les produits que fabrique la Société des Lièges plastiques de Ravannes.

Les lièges plastiques de Ravannes sont fabriqués avec des déchets provenant de la fabrication des bouchons. Ces déchets ou copeaux de liège sont broyés de manière à former des grains de la grosseur d'un pois ; ils sont débarrassés par le blutage de toutes les poussières étrangères au liège, de façon à avoir un produit absolument pur. On procède

ensuite à l'agglomération des grains ainsi obtenus à l'aide d'un agglomérant spécial. Le liège est pressé dans des moules qui sont soumis pendant 5 à 6 heures à une température de 150° centigrades. On obtient ainsi des blocs de liège de toutes les épaisseurs désirées et de dimensions variables, jusqu'à des surfaces de un mètre carré. Par le traitement ci-dessus, les lièges sont naturellement débarrassés de tous ferments et peuvent résister indéfiniment.

La densité de ces produits varie de 0,18 à 0,20. Signalons aussi les produits analogues de la Société des Lièges agglomérés fabriqués avec des débris de liège aggloméré par du brai.

Enfin la masse isolante qui a servi lors de l'installation frigorifique des abattoirs de La Villette est constituée par des déchets de poudre de liège agglomérés au moyen de sang et de chaux.

La cendre est très mauvaise conductrice, mais elle présente le grave inconvénient de se tasser dans de grandes proportions.

Le charbon de bois, par exemple le *Flake Charcoal* (charbon de bois en paillettes) est extrêmement employé pour les parois des chambres froides des bateaux glacières. Il présente l'inconvénient d'être combustible. La modification la plus généralement employée porte le nom de *Cartvale Flake Charcoal*. Elle est préparée de telle façon qu'elle est absolument inodore et possède même la propriété d'absorber les mauvaises odeurs.

Le *Flake Charcoal* présente l'avantage d'une très grande légèreté. Il pèse lorsqu'il quitte la fabrique environ 150 kg. par mètre cube et lorsque sur place il est bien tassé dans les parois il atteint environ 180 kg. au mètre cube. Il ne doit pas d'ailleurs se tasser davantage et doit occuper toujours ce même volume.

Il est combustible, mais il n'est pas sujet à l'ignition spontanée. Il faut au moins une température de 500° C. pour l'enflammer et il brûle alors sans flamme et à la surface seulement, 25 cm au-dessous il serait tout à fait froid. Ces avantages sont dus en grande partie au procédé particulier de fabrication et à la qualité du bois employé.

L'amiante a l'avantage d'être incombustible, mais ce n'est pas un isolant parfait. Il faut pour pouvoir l'employer lui faire subir une préparation spéciale. Telle est par exemple l'association de la poudre de liège avec l'amiante comme on le fait à la Société des Lièges agglomérés pour la fabrication de coquilles en liège calorifuge devant servir à l'enveloppement des conduites. Tel est aussi le procédé de M. Imsche-

netaki qui mélange à l'amiante de la chaux, de la silice, de l'acide sulfurique à 30° B., de l'argile, du noir de fumée et un peu de minium pour colorer.

La *laine de scories*, *Slagwool* ou *Silicate cotton* est un produit d'invention récente, qui a, par ses éléments constitutifs et ses propriétés naturelles, beaucoup d'analogie avec l'amiante; elle en diffère, cependant, par sa valeur commerciale qui lui est grandement inférieure. Ce résultat a été obtenu par MM. Mc. Neill, grâce à un procédé breveté de leur invention, qui leur permet de produire aujourd'hui cet article à un bon marché tel qu'il peut être utilisé dans une foule de cas où le prix élevé de l'amiante interdisait d'y songer.

La scorie laineuse est une matière essentiellement minérale; ses éléments se composent, dans des proportions variables, de silice, de magnésie, de chaux, d'alumine, de potasse et de soude. C'est donc une sorte de verre filé provenant des scories des hauts fourneaux. C'est un silicate complexe d'alumine, chaux, magnésie, fer (au minimum) avec sulfate de chaux et acide phosphorique.

Elle se présente sous forme de fibres vitreuses qui se croisent et s'enchevêtrent les unes dans les autres en formant des flocons blanchâtres qui ont toute l'apparence de flocons de laine. Bien que de même composition que le verre, elle n'est pas fragile; elle est même flexible sans être élastique.

Etant donné la grande quantité d'air interposée entre les fibres, le *Slagwool* possède un très grand pouvoir isolant.

L'emploi de la laine minérale pour protéger les murs, parquets, plafonds et toitures des chambres froides, magasins frigorifiques, glaciers, brasseries, etc., contre la pénétration de la chaleur ou du froid, varie, dans ses applications, suivant le degré de température désiré, l'exposition des bâtiments, le climat, l'épaisseur des murs et la nature des matériaux utilisés dans leur construction.

Quand la laine est sans aucune protection, c'est-à-dire qu'elle doit se protéger par elle-même, comme cela se produit, lorsque la construction, dans laquelle elle est employée, n'est qu'un simplesquelette, en bois ou autres matériaux, les espaces libres doivent être remplis d'une couche de laine de 0^m,20 d'épaisseur au minimum. Si les murs sont en briques, l'intérieur doit être revêtu d'une couche de 0^m,15 à 0^m,20 de laine minérale. Lorsque des murs de cette nature sont solidement établis, il suffira de laisser, entre eux et le revêtement en laine,

un espace de 0^m,025, pour empêcher l'humidité d'atteindre la matière isolante. Les magasins frigorifiques ou autres constructions de même nature, ainsi appropriés, seront suffisamment isolés contre la pénétration à la chaleur ou au froid.

Quand, par suite de la nature de ses matériaux et du sol sur lequel il est établi, le mur est bien sec et impénétrable à l'humidité, une couche de laine minérale de 0^m,07 à 0^m,08 sera suffisante pour les simples chambres froides. En ce qui concerne les murs et cloisons de séparation, les parquets et plafonds, il faut, pour les protéger, porter l'épaisseur de 0^m,15 à 0^m,22. Il est aussi nécessaire d'insérer un papier, ou un feutre, imperméable à l'eau, entre le bois et la laine minérale, à fixer le long des murs et cloisons, ou sous les parquets, plafonds et toitures. La laine minérale conserve d'autant plus sa puissance isolante qu'elle est plus complètement à l'abri de l'eau et de l'humidité.

Nous reviendrons un peu plus loin sur la façon de disposer les murs et les parois.

La laine minérale a cependant l'inconvénient de se pulvériser, et les particules très minces de ce verre léger, volant dans l'air et pénétrant dans les yeux et sous la peau, rendent la fabrication des parois dans ces conditions très pénibles et même dangereuses pour les ouvriers.

La *Pierre ponce* a été aussi appliquée mais elle pèse deux fois autant que le *Cartvale Flake Charcoal*.

On a cherché à déterminer expérimentalement la valeur des différents isolants. C'est ainsi que MM. Lorenz en Allemagne et Coleman en Angleterre ont attribué aux isolants les propriétés respectives suivantes en allant en décroissant quant à leur valeur isolante.

La laine minérale, le *Flake Charcoal*, la poudre de liège, le coton, la laine de mouton, la terre d'infusoires, le charbon de bois en poudre, le liège en morceaux, le coke pulvérisé, la sciure de bois, le bois, la cendre de bois et la pierre ponce, tel serait l'ordre de mérite de ces produits.

D'autre part si l'on représente par 100 la valeur isolante de la poudre de liège on a le tableau suivant :

Poudre de liège	100
Plâtre	20
Mur en brique.	11, 1
Mur en moellons.	6

M. Wallace, chimiste de la ville de Glasgow, a recherché aussi expérimentalement la valeur de quelques isolants.

La méthode suivie pour ces essais était la suivante :

Une boîte en fer blanc de 1 pied cube était entourée d'une autre de 3 pieds sur 2 pieds, ce qui laissait un espace de 6 pouces de tous côtés à remplir par l'isolant. Cet espace contenait donc 7 pieds cubes d'isolant.

La boîte intérieure, remplie de glace, portait un tuyautage qui permettait de soutirer l'eau provenant de la glace qui fondait, et de la mesurer.

Huit appareils furent employés à la fois pour être sûr que les essais étaient bien faits dans les mêmes conditions de température extérieure et le tableau ci-dessous donne le résultat des expériences et les calculs basés sur ces résultats :

ISOLANT	cms. cubes moyenne par jour	Poids de l'isolant	Chaleur comparative perdue	Poids compara- tif	Poids théorique
Laine minérale	789	75 lbs.	0.860	1	0.860
Cartvale flake charcoal. .	917	75	1	1	1.000
Fentre.	980	57	1.070	0.76	0.813
Terre d'infusoire. . . .	1.044	100	1.138	1.33	1.513
Briques de liège. . . .	1.168	106	1.273	1.413	1.798
— goudronnées	1.217	128	1.327	1.7	2.255
Charbon de bois en petits morceaux (*)	1.326	139	1.446	1.853	2.679
Cendres	1.943	273	2.110	3.64	7.716

1. Le charbon de bois employé a été d'abord concassé en petits morceaux d'un centimètre cube.

La première colonne représente la moyenne de centimètres cubes d'eau soutirés par 24 heures pendant 12 jours. La deuxième le poids total d'isolant employé pour l'essai (occupant un volume de 7 pieds cubes). La troisième indique la chaleur perdue par chaque isolant sans tenir compte du poids même de cet isolant. Dans la colonne 4 nous donnons les poids même de la substance, celui du Charcoal ou de la laine minérale étant pris pour unité. Enfin dans la dernière prenant le Charcoal pour unité sont indiqués les poids des différents isolants donnant les mêmes résultats.

Au Laboratoire de Carlsberg, on a procédé aussi à un certain nombre d'expériences sur la valeur isolante de certaines substances.

Les expériences ont été faites à l'aide de moules à glace en zinc d'un mètre de haut et de 35 centimètres de large, enfermés dans plusieurs cylindres en fer galvanisé un peu plus larges et disposés de façon à laisser un espace vide pour recevoir la matière isolante. Les cylindres remplis de glace étaient placés dans un local maintenu à température constante, l'eau de fonte s'écoulait à la partie inférieure et était pesée deux fois par jour. Deux cylindres témoins étaient garnis de paillettes, et la quantité de glace fondue dans ces cylindres servait de terme de comparaison pour les autres matières mauvaises conductrices.

Le tableau suivant donne le résultat de ces expériences :

Matières	Poids en livres de glace fondue en 24 h.	Poids en livres de la matière isolante	Comparaison de la puissance isolante	
			Densité	Poids
Déchets de bou- chons . . .	5.97	47.0	78.2	61.8
Paillons . . .	7.40	48.0	97.0	78.3
Plante de bruyère ferme . . .	7.40	72.5	97.0	118.0
Paillette . . .	7.63	59.5	100.0	100.0
Papier. . . .	7.82	49.5	102.5	85.3
Plante de bruyère lâche. . . .	7.84	38.0	102.3	67.7
Ecorce de riz. .	8.19	85.0	107.3	153.4
Terre d'infusoire.	11.79	201.0	154.5	521.9

Il résulte de ces chiffres que les paillons, les paillettes, la bruyère et le papier ont à peu près le même pouvoir isolateur, aussi longtemps que ces substances sont fraîches et sèches. Le choix entre elles doit donc être déterminé par le prix de revient; et sous ce rapport la préférence doit être donnée aux paillettes et à la bruyère.

Cette dernière présenterait en outre une plus grande résistance à la destruction (1).

Dans les parois des chambres froides il est bon de laisser une couche d'air entre la cloison même et la substance isolante. Le grand dépôt de Sainte-Catherine Stow présente ainsi un isolement parfait avec une paroi formée à partir de la maçonnerie de :

(1) A. Frantz, Matières isolantes pour glacière (*Le petit journal du Brasseur*)

Une couche d'air d'une épaisseur de	0 ^m , 25
Boiserie.	0 , 25
Une couche de papier dit P et B	0 , 30
— de laine de scories.	0 , 00
— de papier P et B	0 , 00
Boiserie.	0 , 25

Les parois d'une chambre froide destinée à la conservation du houblon sont généralement construites de la façon suivante :

Le *plancher* est formé d'un entablement de bois d'une épaisseur de 3^m,75 sur lequel on place une couche de papier imperméable Willesden, on la recouvre d'un second plancher de faible épaisseur sur lequel des cloisons verticales en bois de 13^m,75 sont maintenues par du silicate coton de bonne qualité qui remplit toute la partie laissée vide entre elles. On recouvre d'une autre couche de papier Willesden, puis d'un nouveau plancher.

Les *murs de côté* sont recouverts de silicate coton en couche de 13^m,75, maintenu par des cloisons de bois, le tout est recouvert de papier Willesden imperméable, puis enfin de planches formant murs.

Le *plafond* est formé de même avec des cloisons de bois dont les intervalles sont remplis de silicate coton avec dessus et dessous une couche de papier imperméable.

Les cloisons intérieures sont faites comme le plafond.

Les parquets des chambres froides doivent surtout être préservés de l'humidité qui rend le sol bon conducteur. On peut ainsi isoler le sol d'une chambre froide placé sur un sol humide avec une fondation formée par une couche de béton de 0^m,25 au moins d'épaisseur recouverte par une couche d'asphalte.

L'ouverture des portes constitue aussi l'origine de pertes considérables au point de vue refroidissement.

Et tout d'abord les ouvertures, portes, lucarnes-guichets des chambres froides ne doivent jamais s'ouvrir du côté du soleil ouest ou midi. Elles doivent être à doubles parois, protégées par des feutres aux différentes articulations.

On peut éviter l'ouverture des portes par des guichets volants de fermeture analogue à celles des portes par l'entrebaillement desquels on peut passer de l'extérieur vers l'intérieur ou réciproquement les différents objets dont on veut pratiquer le déplacement.

Il est enfin souvent avantageux dans les grands dépôts de ménager

un corridor à paroi isolatrice du côté de l'ouverture des chambres froides.

III. *Entrepôts frigorifiques.* — Telles sont les principales dispositions relatives à la construction des stores en général. Il nous reste à considérer l'ensemble même des installations de ce genre et nous pouvons schématiquement, avec M. Lambert, représenter un entrepôt frigorifique de la façon suivante :

1° Un grand bâtiment dans lequel sont contenus :

a) Les machines à froid ;

b) Les chambres frigorifiques limitées par des parois isolantes desservies par des couloirs.

2° Un bâtiment adjacent où se trouvent les chaudières. C'est ce que montre la figure ci-jointe (pl. II) (1).

Pratiquement on a pu appliquer de bien des façons les considérations que nous avons énumérées plus haut et nous prendrons pour type une des installations les plus récentes, l'installation frigorifique des abattoirs de la ville de Bâle établie par la maison Escher Wyss, de Zurich.

Les chaudières sont au nombre de deux à foyer intérieur, chacune d'une surface de chauffe de 100 m². Leur alimentation est assurée par une pompe à vapeur Duplex et un injecteur de réserve. L'eau destinée à l'alimentation est préalablement épurée afin de la débarrasser de ses sels calcaires. En vue d'obtenir le meilleur rendement possible la pompe alimentaire est pourvue d'un réchauffeur dans lequel l'eau d'alimentation est réchauffée par l'échappement de ladite pompe. Entre la pompe et les chaudières est encore intercalé un économiseur servant à chauffer l'eau d'alimentation à son maximum avant son entrée dans les chaudières par l'utilisation des gaz chauds allant à la cheminée.

À côté des machines les chaudières fournissent la vapeur aux abattoirs et l'hiver pour le chauffage des frigorifiques.

Les *Machines à vapeur* sont aussi au nombre de deux, l'une de 105 chevaux effectifs, l'autre de 30 chevaux. La machine de 105 chevaux est accouplée par contre-manivelle au double compresseur ; elle est du type horizontal à double détente avec condensation. Son cylindre

(1) Ce schéma nous a été communiqué par M. Lambert.

à haute pression est à distribution par soupapes tandis que celui à basse pression est à distribution Corliss. Cette machine assure seule le service d'été, soit compresseurs, transmissions et accessoires.

Le service d'hiver est fait par la machine de 50 chevaux, qui est du type horizontal monocylindrique à distribution par double tiroir et l'échappement libre.

La transmission principale est pourvue de manchons et arbres creux de façon à pouvoir être indifféremment actionnée par l'une ou l'autre des machines à vapeur.

L'installation frigorifique comprend un double compresseur à acide carbonique accouplé par contre-manivelle à la grande machine à vapeur tandem.

Les deux cylindres de ce double compresseur sont à double effet et pourvus chacun de deux soupapes de sûreté. Les deux condenseurs sont du type dit à immersion et sont pourvus d'un condenseur complémentaire pour refroidir l'acide carbonique liquéfié le plus près possible de la température de l'eau. A cet effet l'eau passe en premier dans ce condenseur complémentaire, puis seulement après dans les condenseurs.

L'acide carbonique liquéfié et refroidi se détend dans un réfrigérant combiné avec le réfrigérant d'air. Dans la partie inférieure de cet appareil se trouve le faisceau de serpentins baignant dans une solution salée incongelable ; dans la partie supérieure sont montées un grand nombre de tôles perforées sur lesquelles ruisselle la solution incongelable amenée de la partie inférieure par une pompe centrifuge.

Cette eau salée après avoir refroidi le faisceau de tôles perforées et le courant d'air qui le traverse se rassemble dans la partie inférieure de l'appareil pour être refroidie elle-même par la détente de l'acide carbonique.

Tout cet appareil est parfaitement isolé afin de réduire les pertes de froid à leur minimum. Les serpentins dans lesquels se fait la détente de l'acide carbonique comme ceux des condenseurs sont en tubes de fer de première qualité, d'une seule pièce, sans soudures obtenus par procédé breveté. Toute cette installation est prévue pour produire 200,000 frigories par heure, et est disposée pour permettre de marcher éventuellement avec un des compresseurs seulement.

Au-dessus du local des appareils frigorifiques se trouve une tour à la partie supérieure de laquelle est placé le réservoir à eau froide de

40 000 litres de contenance. Au-dessous de ce réservoir se trouve le réservoir à eau chaude de 25 000 lit. de contenance destiné aux besoins de l'abattoir. L'eau venant du réservoir supérieur passe en premier dans un réchauffeur à contre-courant placé entre l'échappement de la machine à vapeur et son condenseur. L'eau chauffée par ledit échappement remonte dans le second réservoir (à eau chaude) sous la simple pression du réservoir supérieur.

L'eau froide est fournie au réservoir supérieur par trois pompes d'un débit total d'environ 100 000 lit. par heure aspirant l'eau d'un puits ayant son niveau à 16 m de profondeur.

Le rendement de ces trois pompes est variable à volonté par variabilité de la course des pistons.

Les *Halles frigorifiques* comprennent deux étages de chacun 560 m² de surface de sol et sont refroidis de 2° C. à 3° C.

L'avant-cave et la cave à salaisons ont chacune 360 m² de surface de sol et sont refroidies de + 6° C. à + 8° C.

La réfrigération est effectuée par circulation d'air froid et sec refoulé et aspiré par le ventilateur du réfrigérant d'air à travers des canaux en bois suspendus au plafond des locaux à refroidir. Le réfrigérant d'air a déjà été décrit en partie avec la machine frigorifique, L'air aspiré par un puissant ventilateur de 2^m,200 de diamètre traverse les tôles perforées sur lesquelles coule la solution froide, se refroidit, se sèche et se purifie à ce contact ; par les canaux il est refoulé dans les locaux frigorifiques d'où il est aspiré par d'autres canaux aboutissant au ventilateur.

Pour le renouvellement de l'air un second ventilateur est prévu ; il a pour but de refouler l'air extérieur en contre-courant avec l'air sortant des halles de façon à ce que le premier se refroidisse en employant le froid contenu dans l'air qui s'échappe. Un appareil spécial assure le bon échange des températures.

Il est bien entendu que l'installation possède tous les appareils accessoires tels que saturateur automatique, indicateurs de niveau, de température, hygromètres, etc., employés dans de pareilles installations.

Nous pouvons signaler aussi l'entrepôt frigorifique de la Bourse du Commerce refroidi par des machines à ammoniaque. Il est installé au-dessous de la Bourse du Commerce dont le sous-sol a été creusé partout de 1^m,50 et les fondations reprises en sous-œuvre.

Les chaudières sont au nombre de quatre : trois génératrices Babcock et Wilcox produisant chacune 900 kg. de vapeur et une chaudière Niclausse en donnant 600 kg. La vapeur fournie alimente les machines à ammoniaque et deux groupes électriques servant à l'éclairage et à la manœuvre d'une pompe qui va chercher de l'eau à 60 m. de profondeur.

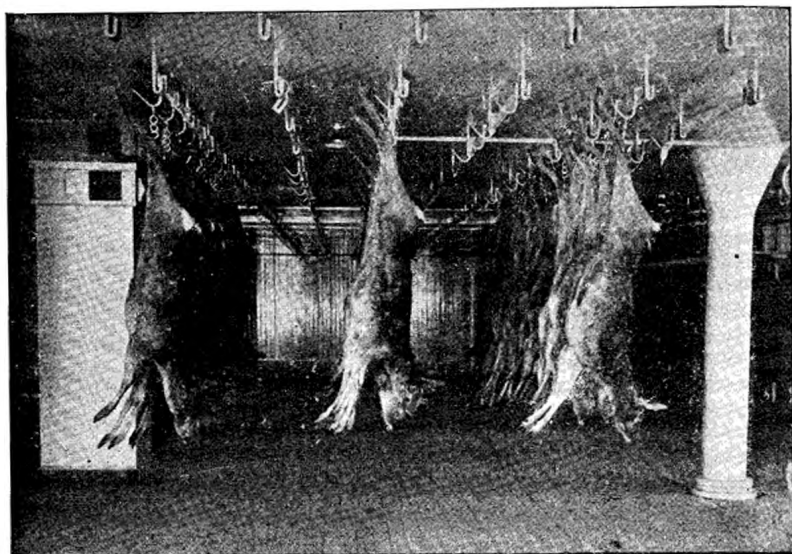


Fig. 149. — Chevreuils conservés dans le frigorifique de la Bourse du Commerce de Paris.

Les machines frigorifiques servent à refroidir l'air envoyé ensuite dans les chambres après avoir été desséché. Dans les chambres qui doivent renfermer des produits odoriférants, comme la poissonnerie, il n'y a pas circulation d'air mais refroidissement par circulation de saumure dans des tuyaux placés au plafond.

Les chambres sont réparties sur deux étages et comprennent 6.400 m³ environ pouvant renfermer 10 000 tonnes de marchandises.

Les murs, plafonds, etc. sont peints en blanc, les parois sont recouvertes de matelas en liège. Les portes sont naturellement bourrées de poudre de liège.

Cette installation est intéressante, autant par son importance que par

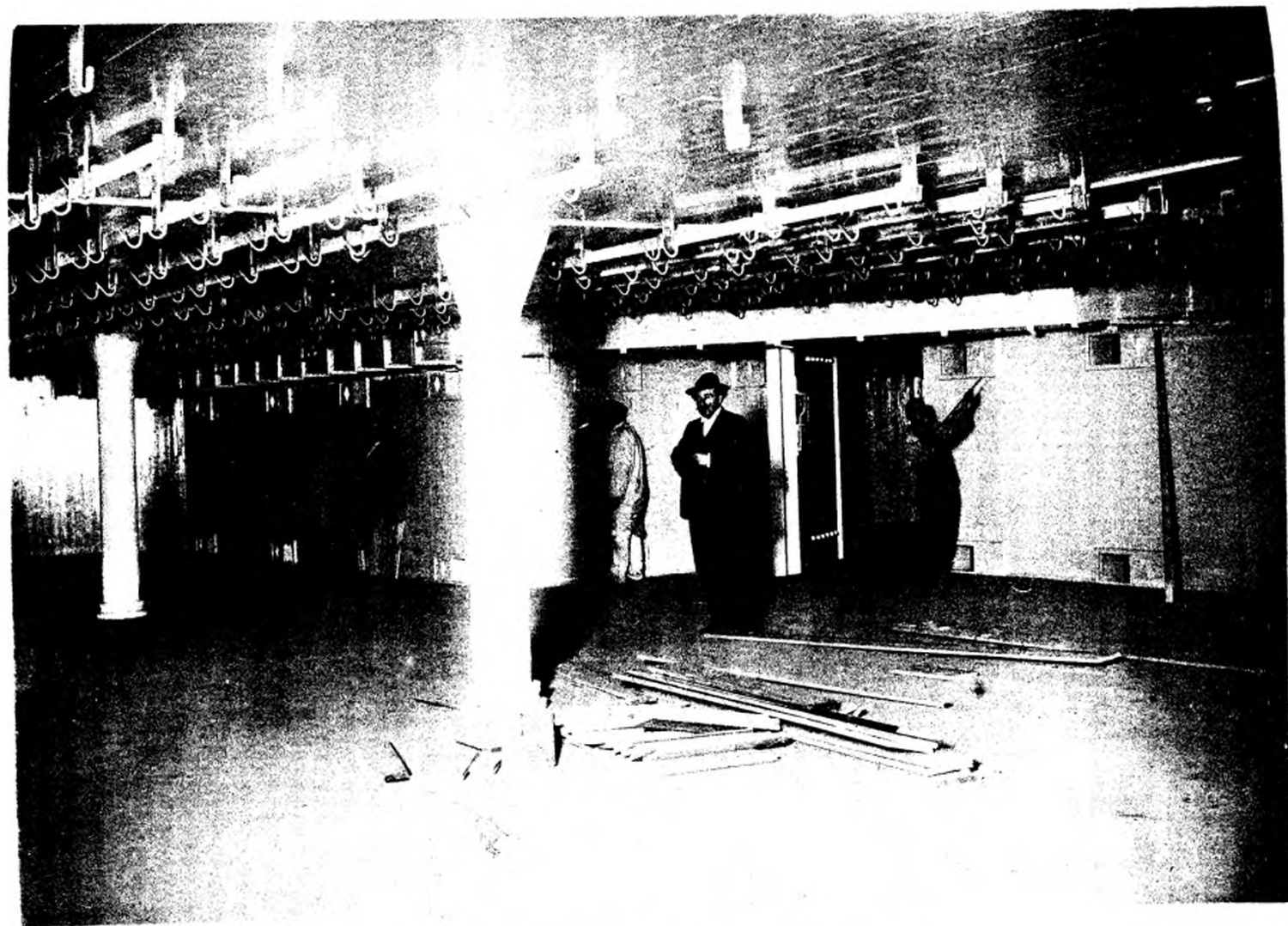


Fig. 120. — Vue d'une des grandes salles communes.

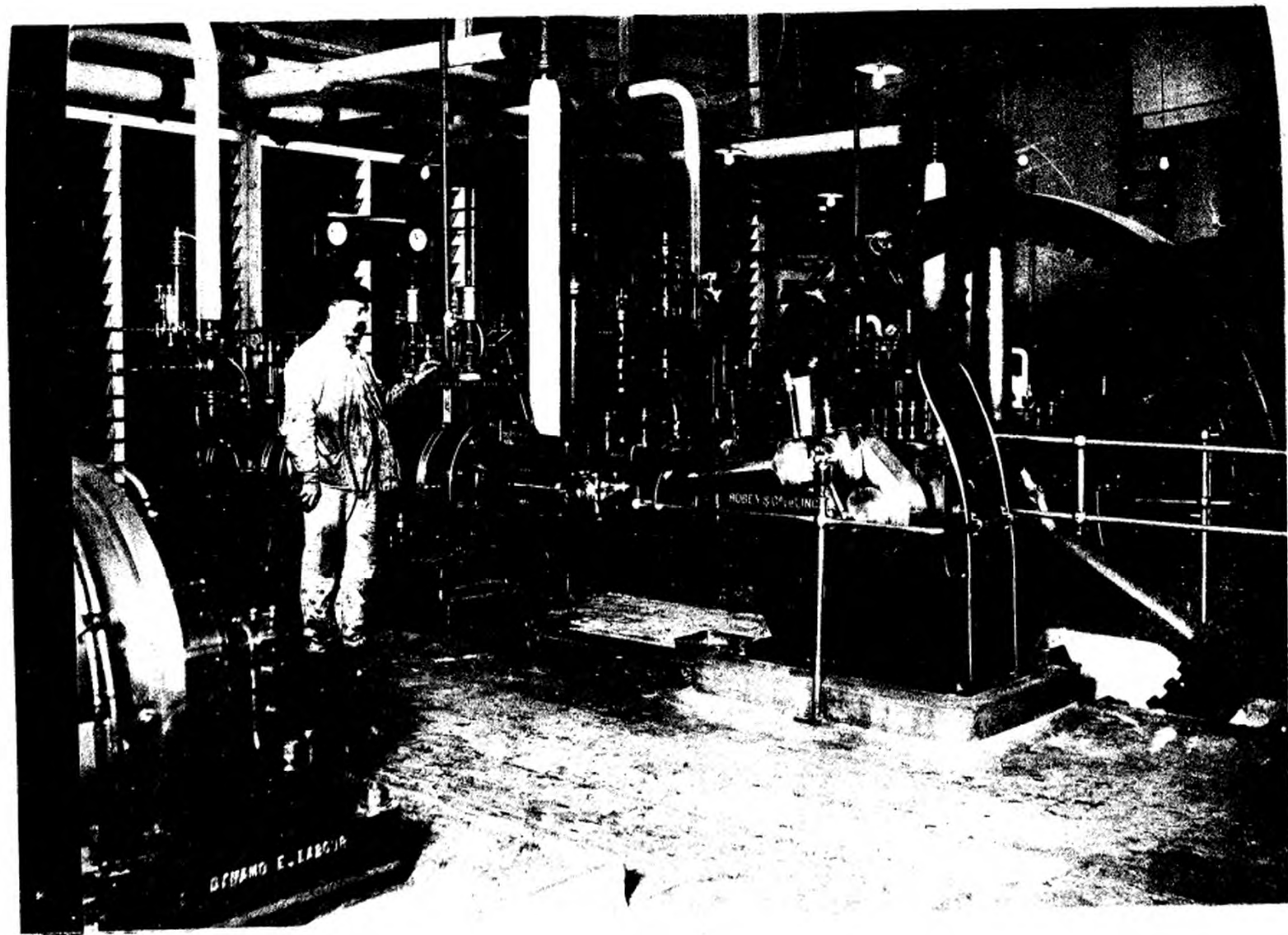


Fig. 121. — Salle des machines.



Fig. 122. — Vue des couloirs des chambres particulières.

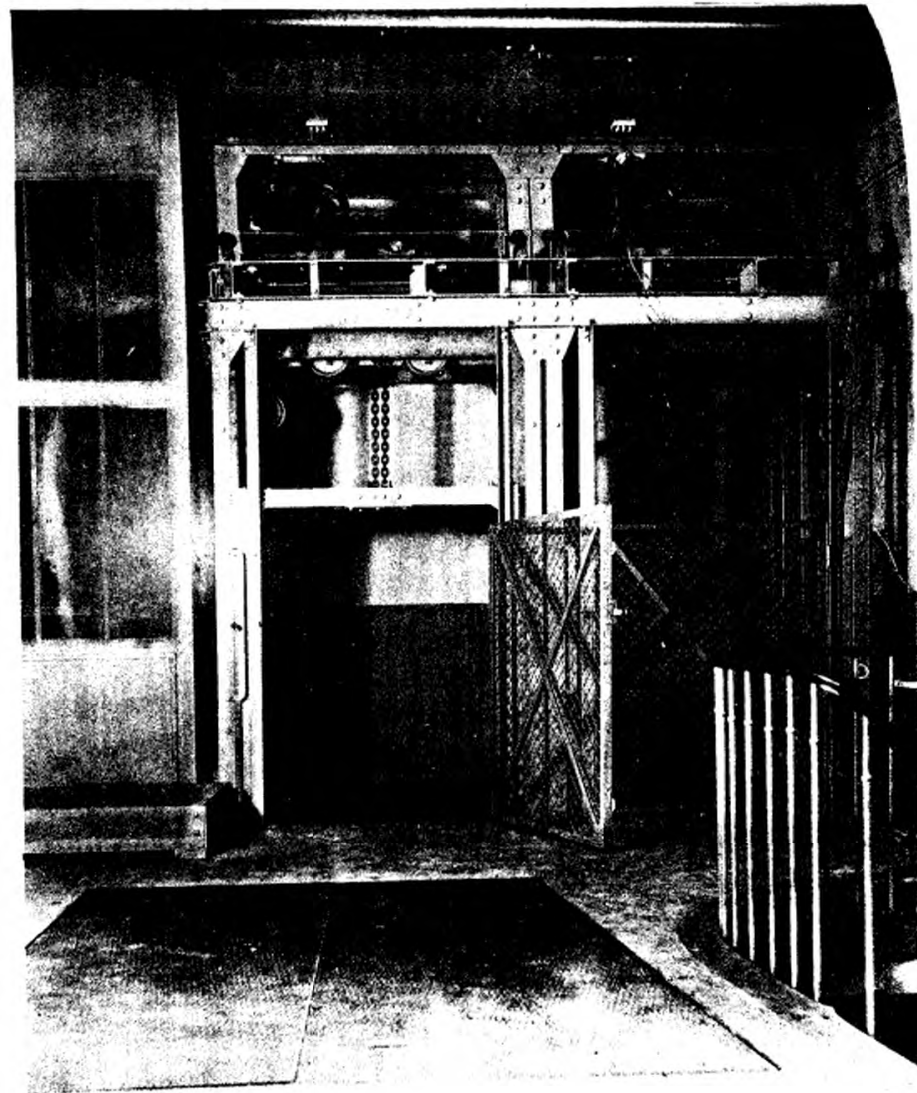


Fig. 123. — Monte-charges.

le début enfin de la mise en œuvre à Paris d'un si puissant moyen de conservation de denrées alimentaires.

Les figures ci-jointes (fig. 124 et 125) montrent aussi certaines dispositions de l'entrepôt *Burton pure ice and cold Storage* de Burton sur le Trent installé avec des machines à ammoniac Lebrun (Salle des compresseurs et vue générale de l'entrepôt).

Enfin signalons aussi les entrepôts dans lesquels les viandes congelées sont reçues à l'arrivée en Angleterre, viandes et produits provenant soit d'Australie ou de Nouvelle-Zélande, soit d'Amérique, ce sont d'énormes chambres froides. En particulier, Nelson's Store sur la Tamise, à proximité de Blackfriars, pouvant renfermer 200 000 carcasses, soit 5 millions de kilogrammes environ que M. de Loverdo décrit de la façon suivante :

Par principe, dans les chambres froides, la circulation de l'air est réduite à son minimum. L'emmagasiner dans ces conditions se pratique d'une façon toute spéciale. La viande qui arrive au store pour être conservée est montée par l'extérieur du bâtiment jusqu'au cinquième étage qui est appelé « distributing floor » ou étage de distribution, d'où le monte-charge le descend aux étages inférieurs. Une autre particularité de cet entrepôt est le système de décongélation de Nelson's : afin d'éviter que les vapeurs de l'atmosphère ne se condensent sur les produits froids sortant des chambres pendant leur décongélation, Nelson's a imaginé le dispositif suivant : sur le sol d'une chambre spéciale pourvue de claies, placées à une certaine hauteur, courent des tuyaux d'eau chaude. Les côtés de la pièce sont garnis, abrités par des toiles, de tuyaux producteurs du froid. Un jeu de robinets placés sur les conduits de chaleur et de froid permet de régler la température. L'opération de la décongélation dure trois jours ; elle est conduite progressivement de 0° à 60°. Le procédé Nelson's permet d'obtenir une viande rouge exempte d'humidité qu'on pourrait prendre à l'œil nu et au toucher pour de la viande fraîchement abattue.

Quel est le prix d'un établissement frigorifique ? Il est éminemment variable avec les dimensions. D'après M. Schwarz (*Zeitschrift für die Gesamte Kälteindustrie*, janvier 1898, p. 6), voici quels sont les prix de revient des grandeurs successives des entrepôts allemands et abattoirs des villes allemandes, établis par la Société Linde.

Les frais de premier établissement d'un frigorifique pour une ville de 60 000 habitants s'élèvent en chiffres ronds à 84 000 marks, soit

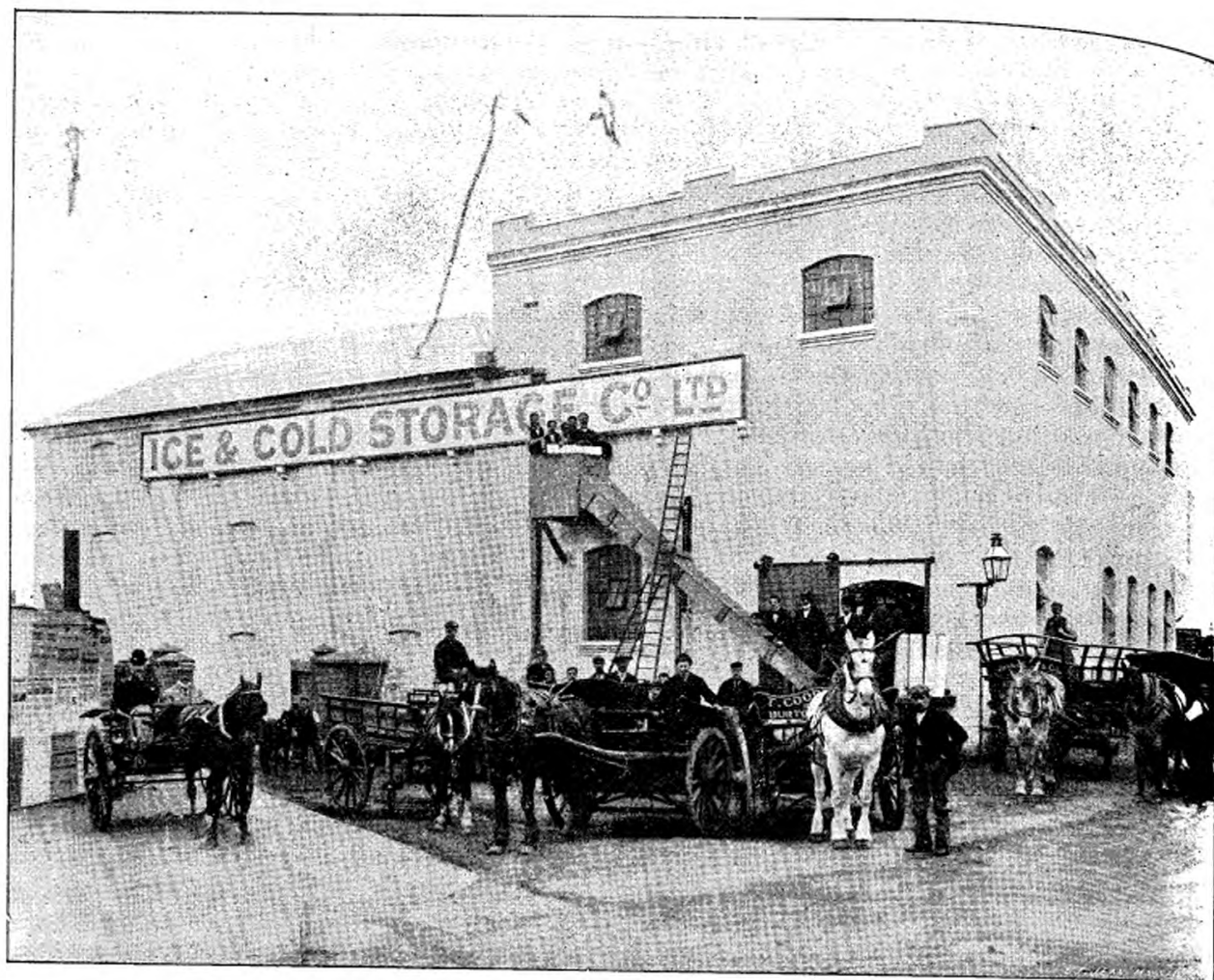


Fig. 124. — Burton pure ice and cold Storage à Burton-on-Trent (Angleterre).

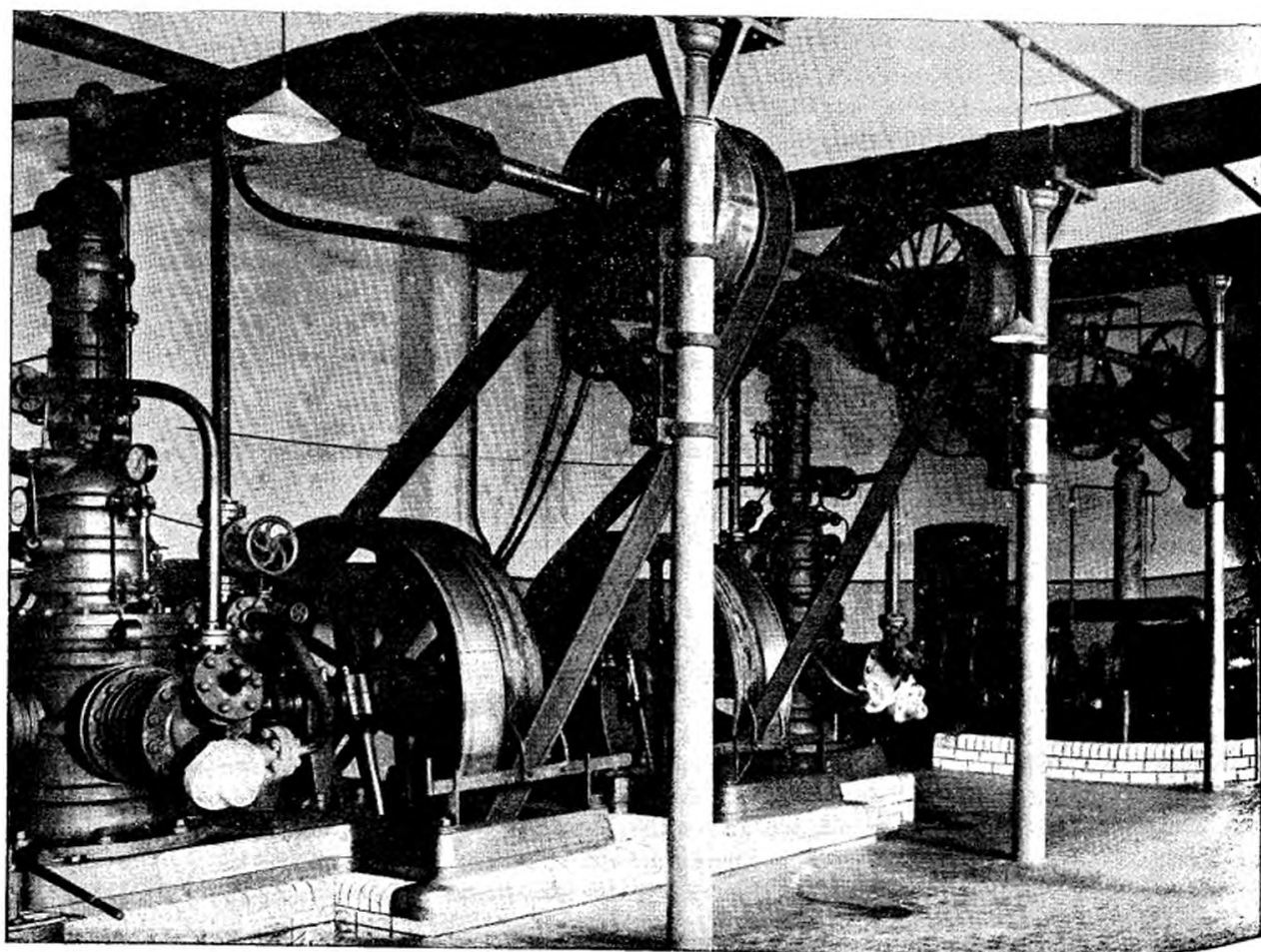


Fig. 125. — Burton pure ice and cold Storage de Burton-on-Trent (Angleterre).
Salle des compresseurs.

104 800 francs et les frais d'entretien annuel à 18 500 marks, soit 23 125 francs.

Pour une ville de 25 000 habitants le capital nécessaire à l'installation peut s'élever à 60 000 marks, soit 75 000 francs, et l'entretien à 7 450 marks, soit 9 312 francs.

Enfin les dépenses d'un frigorifique construit pour une ville de 10 000 habitants se décomposent ainsi :

1. Frais de 1^{er} établissement

	marks	francs
Frais de construction.	—	—
a) Frigorifique d'une superficie de 130 mq à découvert et de 175 mq de construction à raison de 80 marks le mq de construction	14.000	17.500
b) Aménagement des cases dans la chambre froide sur une superficie de 95 mq à raison de 45 marks le mq	4.275	5.294
c) Construction pour les machines et les chaudières s'étendant sur une surface de 110 mq à raison de 70 marks le mq.	7.700	9.625
d) Fondations pour les machines et les chaudières, cheminées, etc.	3.025	3.780
	<u>29.000</u>	<u>36.200</u>

2. Etablissement de la machinerie.

a) Chaudières à vapeur de 75 mq de surface de chauffe avec 7 atmosphères de pression	3.500	4.375
b) Machine à vapeur sans condensation complète	4.120	5.150
c) Machine à froid Linde, d'une production de 18.000 frigories à l'heure complète.	8.000	10.000
d) Appareil réfrigérant, ventilateur, transmission, etc.	5.700	7.125
e) Conduite pour la vapeur, l'eau et l'air, montage des installations des appareils, construction, etc.	4.680	5.850
	<u>26.000</u>	<u>32.500</u>
Frais totaux de premier établissement. .	55.000	68.750

Les frais d'entretien s'élèvent à :

a) Rétribution du personnel variable avec l'endroit.		
b) Charbon (180 jours de travail) . . .	1.800	2.250
c) Usure du matériel, perte d'ammoniaque, etc.	500	625
d) Amortissement et intérêt	3.630	4.538
	<u>5 930</u>	<u>7.413</u>

D'après M. de Loverdo, (*op. cit.*) le prix de revient d'un entrepôt frigorifique serait en Angleterre :

1^o Pour un petit entrepôt dont les dimensions sont :

Capacité utilisable	100 mètres cubes
Longueur des chambres froides	10 —
Largeur	4 —
Hauteur	2 ^m , 50

Les frais d'installation sont :

Machine à froid et moteur à vapeur	12.000 francs
Chaudières	4.000 —
Montage	3.000 —
Construction et isolement des chambres . . .	6.000 —
	<u>25.000 —</u>

Soit avec les imprévus 30 000 francs.

Le coût annuel du travail s'élèvera :

Intérêts et amortissement à 15 %	4.500 francs
Charbon, 28 fr. la tonne (1 kilogramme par cheval et par heure)	1.550 —
Service { Mécanicien	2.200 —
{ Manœuvres	2.000 —
Acide carbonique à 70 francs le kilogramme .	50 —
Huile, graissage, réparations	1.000 —
Eau, éclairage, etc.	1.000 —
Réparations	300 —
Total	<u>10.600 —</u>

Ce coût annuel de 10 600 francs environ fait revenir la dépense de chaque mètre cube d'air à 100 francs environ.

Or, dans un mètre cube, il est possible de loger — en comptant l'espace nécessaire pour les manipulations — de 4 000 à 6 000 œufs, sui-

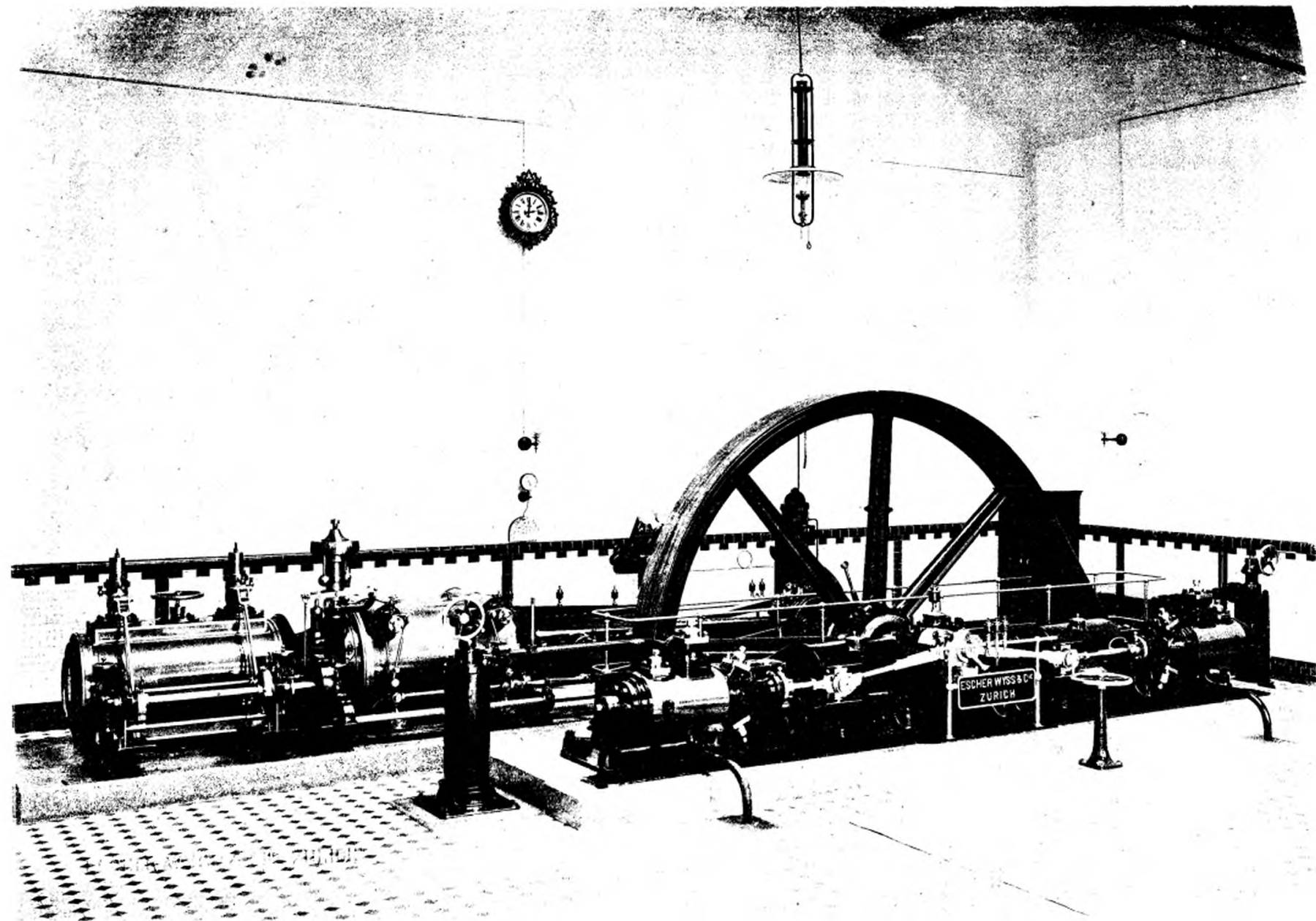


Fig. 116. — Salle des machines (B) de l'installation frigorifique des abattoirs de Bâle.

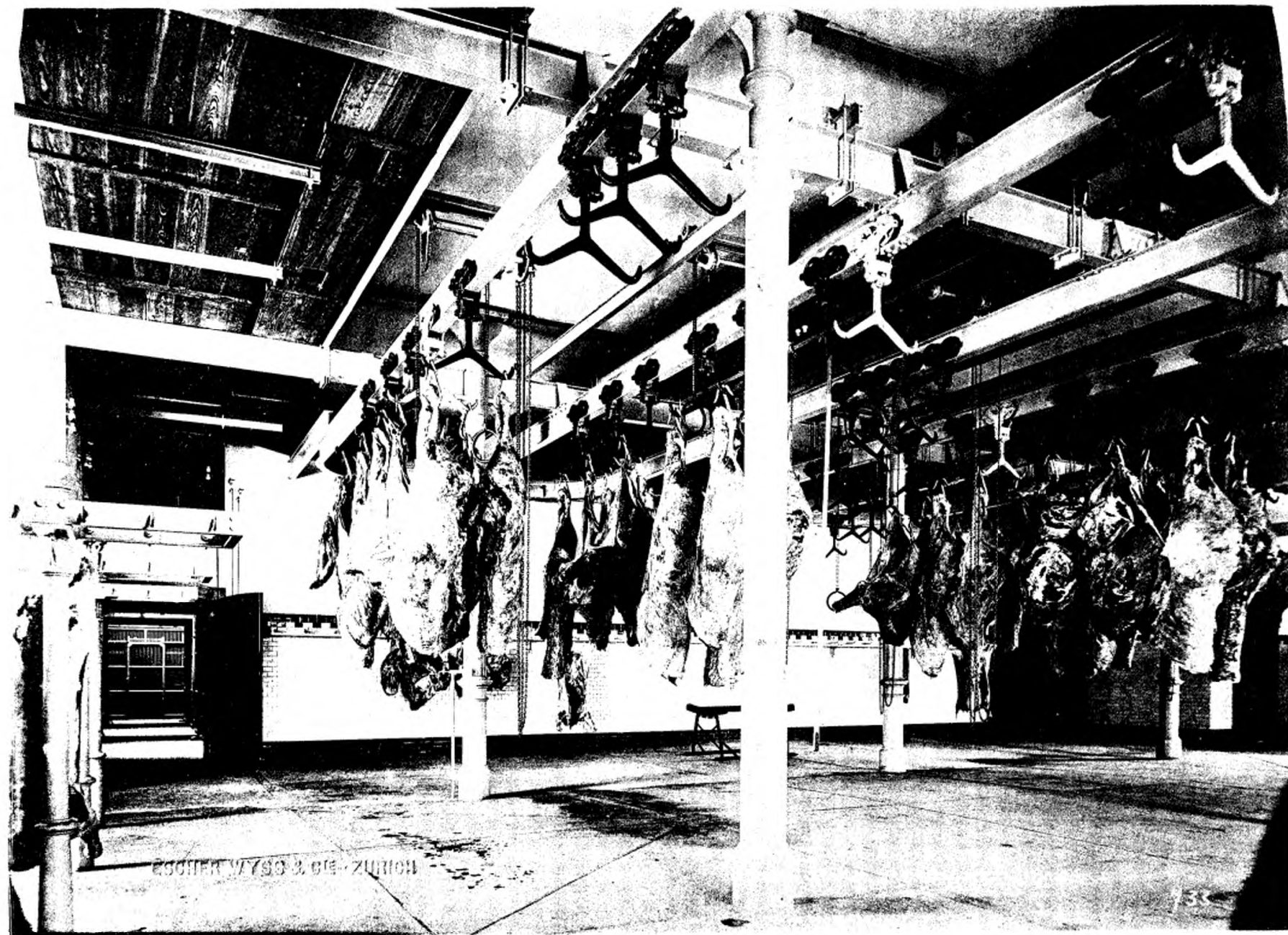


Fig. 147. — Avant-cave (E) des abattoirs de Bâle.



Fig. 118. — Vue d'un des couloirs des halles frigorifiques (D) des abattoirs de Bâle.

vant les dimensions de la caisse, 300 à 400 kg. de beurre et le même poids de volailles et de fruits.

Malgré les variations que ces produits subissent d'une saison de l'année à l'autre, le prix de 100 francs par mètre cube d'air froid est élevé.

Pour un dépôt de 8000 m³, comme ceux de Londres par exemple, les prix de revient sont très onéreux.

Entrepôt de Londres, de 8.000 mètres cubes (250.000 pieds cubes).

Machines à froid, moteur à gaz et appareils producteurs à gaz	135.285 fr.
Accessoires	1.250
Installation de la lumière électrique	12.500
Monte-charges pour les différents étages.	25.000
Total.	174.025 fr.

Construction et isolation des chambres	275.000 fr.
Puits et pompes	8.750
Bascules, poulies, etc.	3.780
Total.	287.500 fr.

Soit un total de 461,535 francs.

Voici maintenant les frais de fonctionnement par semaine :

	fr. c.
2 mécaniciens	125,00
1 graisseur.	35,00
3 ouvriers pour la production du gaz	105,00
12 hommes de peine pour la manipulation des denrées	280,00
1 contremaître.	50,00
2 employés et 1 petit commis	87,50
Consommation de 8 tonnes d'anthracite pour la production du gaz	250,00
Huile et produits chimiques.	87,50
Réparation et entretien	87,50
Rente foncière.	165,00
Patente et assurance.	120,00
Divers	240,00
Total.	1.632,50

Soit 84 890 francs par an; ce qui, avec un amortissement de 46 153 francs, arrive à un total de 137 600 francs de dépenses annuelles. Chaque mètre cube ne coûte plus alors que 16 fr. 50 par an.

Les tarifs de magasinage sont essentiellement variables avec le pays et même la ville. Ils sont actuellement très bas aux Etats-Unis; ils baissent de plus en plus à Londres; ils sont à Birmingham par exemple :

Quartier de bœuf (le quart).	1 jour, 1 ^{fr} ,25; 2 jours, 1 ^{fr} ,85; 3 jours, 2 ^{fr} ,50
Mouton	1 jour, 1 ^{fr} ,60; une semaine, 1 ^{fr} ,85.
Veau	une semaine, 3 ^{fr} ,10.
Volailles et gibier	une semaine, 0 ^{fr} ,10 par tête.
Lapin	0 ^{fr} ,10 par semaine et par tête.
Saumon et turbot	0 ^{fr} ,30 par semaine et par tête.

Ce sont là des prix de détail qui s'abaissent en gros à 25 francs par 1 000 kg. et par mois (1).

En Allemagne, sur 680 abattoirs publics 170, soit environ un quart, sont munis de frigorifiques et le prix de location d'un mètre carré est, suivant les villes (d'après *Z. f. g. K.*) :

	Marks.	Francs.
A Hambourg	60, soit	75
Wesel	53	66, 25
Bochum et à Cologne.	50	62, 50
Landsberg	45	56, 25
Barmen, Fribourg, Holdesheim, etc. . .	40	50
Wurzburg (pour 7 mois) { sous-sol . .	39	48, 75
{ 1 ^{er} étage . .	35	43, 75
Dresde	38	47, 50
Brandebourg	37	46, 25
Kassel et Posen	36	45
Halberstadt.	34	42, 50
Weimar.	33	41, 25
Dortmund, Francfort-sur-le-Mein, Har- burg	32	40
Cleve, Coblentz, Gorlitz, Halle, Heilbronn, Königsberg, Landau, Postdam, Wies- baden, etc.	30	37, 50
Oberhausen Torgau	26	32, 50
Aix-la-Chapelle, Chemnitz, Leipzig, Mun- den, Nordhausen, Nuremberg, Hellin, Zwickau	25	31, 25
Bernbeitz, Eisenach-Celle-Cottbus, etc .	20	25
Gotha Zithau	18	22, 50

(1) J. de Loverdo (*Op. cit.*).

Le tarif de magasinage enfin de la Compagnie d'entrepôts frigorifiques de la Bourse du Commerce de Paris est le suivant :

<i>Viande, Volaille et Gibier frais</i>		
Le premier jour	par 100 kil.	2 fr.
Les jours suivants	» »	1 50
avec un minimum de 0,25		
<i>Viande, Volaille et Gibier frigorifiés</i>		
Jusqu'à 500 kilogs	par 100 kil. et par jour,	0 75
de 500 à 1.000 kil.	» » »	0 50
au-dessus de 1.000 k.	» » »	0 30
<i>Lard et Salaisons</i>		
Magasinage de moins d'un mois :		
Par 100 kil. et par jour.		0 50
Magasinage de plus d'un mois :		
Par 100 kil. et par jour.		0 35
avec un minimum de 0,50		
<i>Saumon congelé</i>		
Par 100 kil. et par jour		0 75
avec un minimum de 0,50		
<i>Poisson frais</i>		
Par 100 kil. et par jour		2 00
avec un minimum de 0,50		
<i>Beurre</i>		
Séjour de 24 heures pour raffermissement avant mise en		
vente aux halles (y compris salaire des forts et camionnage aller et retour au Pavillon X).		
	Par motte.	0 30
Magasinage temporaire :		
Par 100 kil. et par jour, les dix premiers jours.		1 00
» » » les jours suivants		0 50
Au delà de 5.000 kil., par 100 kil. et par mois		10 fr.
<i>Œufs</i>		
Par Mille et par Mois.		4 00
<i>Fromages frais</i>		
Par 100 kil. et par jour jusqu'à 500 kil.		0 75
» » » de 501 à 2.000 kil.		0 50
» » » de 2.001 à 5.000 kil.		0 35
» » » au delà.		0 25
<i>Lait</i>		
Par pot de 20 litres et par jour		0 20
<i>Fruits frais, Fraises, Cerises, Pêches, Raisins</i>		
Magasinage pendant 24 heures, par 100 kil. et par jour.		2 00
avec un minimum de 0,25		

Fruits frais autres

Magasinage de 48 heures à un mois :

Par 100 kil. et par mois 15 00

Au delà d'un mois :

Par 100 kil. et par mois 10 00

Pommes, Citrons, Oranges

En caisse ou en barils :

Par 100 kil. et par mois au-dessous de 5.000 kil. . . . 5 00

» » » de 5.000 à 10.000 kil. . . . 4 00

» » » au delà de 10.000 kil. . . . 3 50

Pruneaux, Raisins secs

Par 100 kil. et par mois. 5 00

Par quantité au-dessus de 5.000 kil. 3 00

Primeurs, Légumes frais, Fleurs

Suivant dimension des paniers :

Par panier et par jour, 0,25, 0,50, 0,75.

Champignons

Par panier et par jour. 0 25

Le prix de location de chambres froides de toutes dimensions dépend naturellement du volume. Il est par mètre cube et par mois.

	De 1 à 5 mc.	De 6 à 10 mc.	De 10 à 20 mc.	De 20 à 40 mc.
1 mois. . .	30 fr.	26 fr.	25 fr.	22 fr.
2 à 3 mois. .	25	23	21	18
4 mois. . .	22	20	18	16
6 mois. . .	20	18	16	15
1 an . . .	15	15	13	12

Avec cet aperçu des tarifs des différents entrepôts frigorifiques nous terminons l'étude même de ces entrepôts. Nous devons maintenant étudier la valeur même de la conservation des denrées alimentaires dans ces entrepôts; c'est ce que nous allons faire dans les chapitres suivants.

CHAPITRE IV

CONSERVATION DES VIANDES

La conservation de la viande par le froid se produit avec la plus grande facilité.

Les viandes conservées par congélation et réfrigération sont de beaucoup parmi toutes les denrées analogues celles qui tiennent le premier rang. Rien que pour l'Angleterre, il y a chaque année une importation de 6 millions et demi de carcasses de mouton représentant 125 millions de kilogrammes de viande. Les grands centres de viande préparée de cette façon sont l'Amérique avec Buenos-Ayres et La Plata, l'Australie, la Nouvelle Zélande.

Mais il semble que l'emploi de la viande conservée dans ces conditions ne se répande en France qu'avec les plus grandes difficultés et qu'un préjugé profondément ancré dans nos mœurs fasse croire à la mauvaise qualité d'un tel produit. Il n'en est cependant rien et deux séries de recherches très intéressantes ont été faites à ce sujet. C'est tout d'abord en 1889, la chambre syndicale de la Boucherie de Paris qui exécuta une série d'expériences sur la durée de la conservation. Elles furent exécutées à l'Exposition Universelle dans un pavillon muni d'un frigorifère Fixary et dont la salle de conservation avait une capacité de 50 m³. Les expériences furent poursuivies pendant trois mois et furent l'objet d'un rapport de la part de M. Lioré, président de la chambre syndicale (1).

(1) Congrès international de mécanique appliquée. J. Richard. — Les machines frigorifiques à l'Exposition Universelle de 1889.

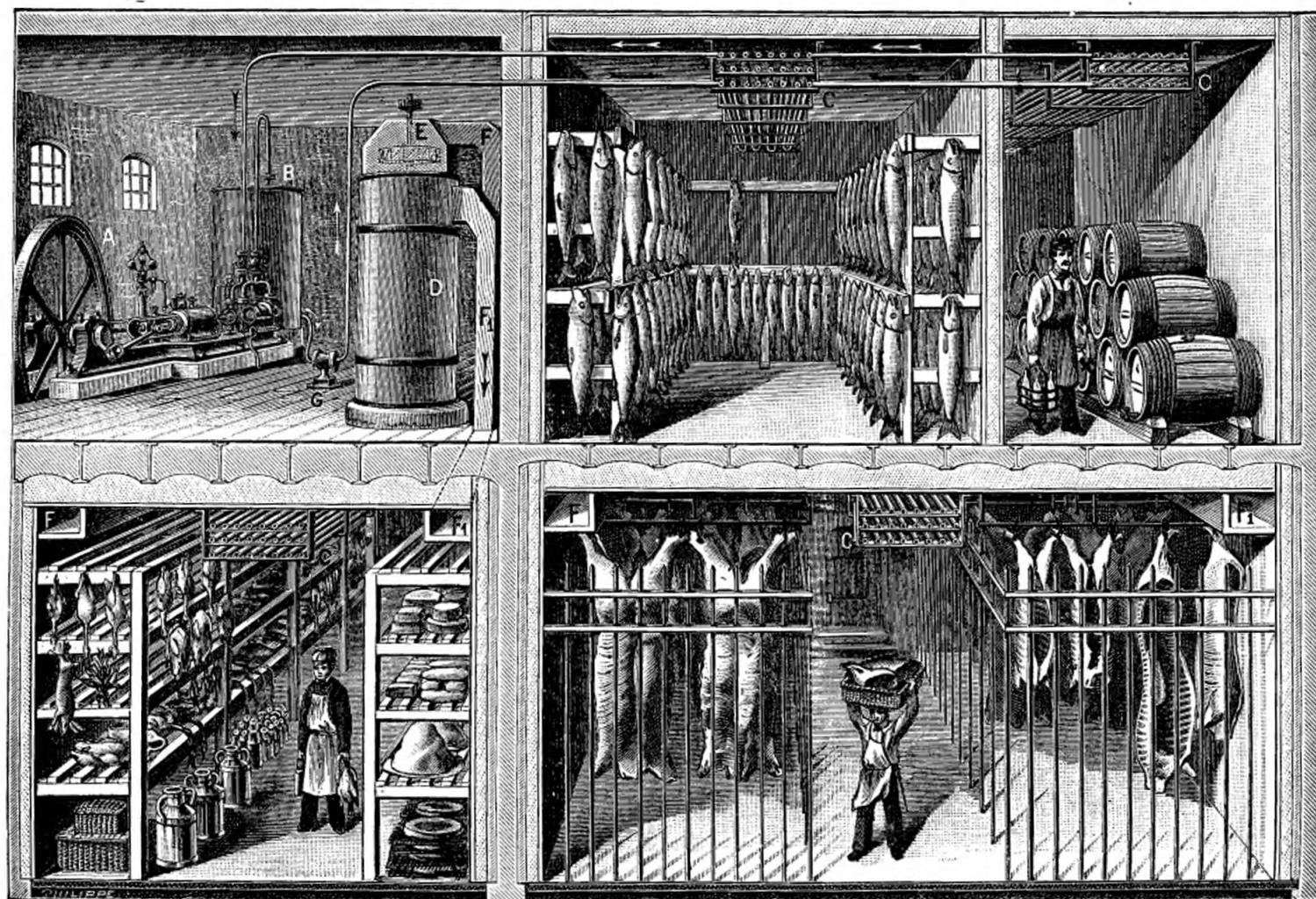


Fig. 126. — Installation frigorifique actionnée par une machine Pictet disposée pour refroidir au rez-de-chaussée des poissons par circulation de liquide incongélable et au sous-sol des viandes par circulation d'air froid sec.

« Le point capital, dit M. Lioré, sur lequel nous avons concentré nos expériences a été 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 en 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 kg. Le quartier de derrière de bœuf pesait 84 kg. 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 kg. 230; c'était le plus lourd.

Le second mouton, qui pesait 23 kg., fut dégraissé: il était d'ailleurs un peu gras.

Le troisième mouton, également gras, moins lourd, fut également dégraissé. Son poids était de 23 kg. 230.

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 kg.

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 $+25^{\circ}$, 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 $+18^{\circ}$.

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 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 kg. 530 gr. A l'entrée dans la chambre frigorifique, il pesait 26 kg. 230 et ce jour son poids n'atteignait plus que 23 kg. 700, soit une perte de 9.70 p. 100.

Le petit mouton, au contraire, avait éprouvé une perte de 2 kg. 600. De 21 kg., poids initial de l'expérience, nous descendons à 18 kg. 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 kg. 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 générale, 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.

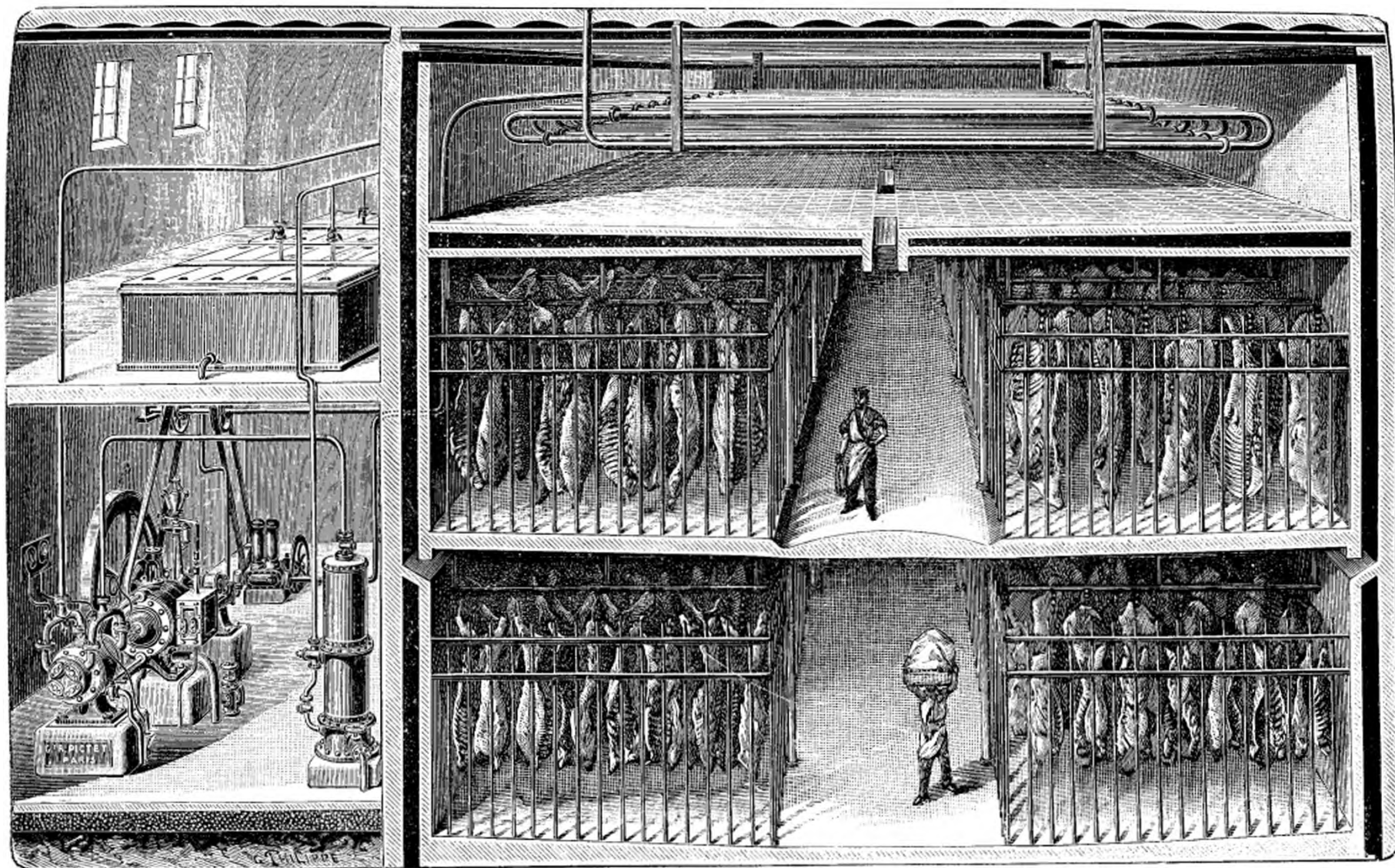


Fig. 127. — Installation frigorifique Piolet dans un abattoir.

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 parfait état 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'aloyau 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'aloyau, 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 2 à 3 cm. Pour rendre cette partie commerciale, il a donc fallu rafraîchir la première coupe de l'aloyau sur une étendue de 3 à 4 cm.

M. Lioré coupa donc un morceau de bavette de 6 kg. environ qui fut réservé pour le rôti et un morceau de bavette de 1^{kg},970 pour le pot-au-feu. Le bifteck pesait environ 650 grammes.

Le restant de l'aloyau 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 avis sur la qualité de la viande et le nombre de jours de tuerie qu'elle pouvait bien avoir. Je lui présentai un morceau de faux-filet de 2^{kg},500 environ qu'il examina dans tous les sens.

Voici sa réponse :

« C'est de la bonne viande que l'on peut donner à tout le monde

sans crainte de reproches. Elle a environ 2 à 3 jours de tuerie. Cependant si elle a été conservée dans un timbre glacière quelconque, il se peut qu'elle ait 2 à 3 jours de tuerie de plus. Elle est ferme et belle.»

On comprend la surprise de M. Labour quand je lui fis *connaître que cette viande avait 43 jours de conserve.*

Le soir assistèrent au banquet de dégustation :

MM. Bary, Besançon et moi, 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^{kg},970 avait été mis dans le pot-au-feu à une heure et demie de l'après-midi. La cuisson fut continuée jusqu'à sept 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.

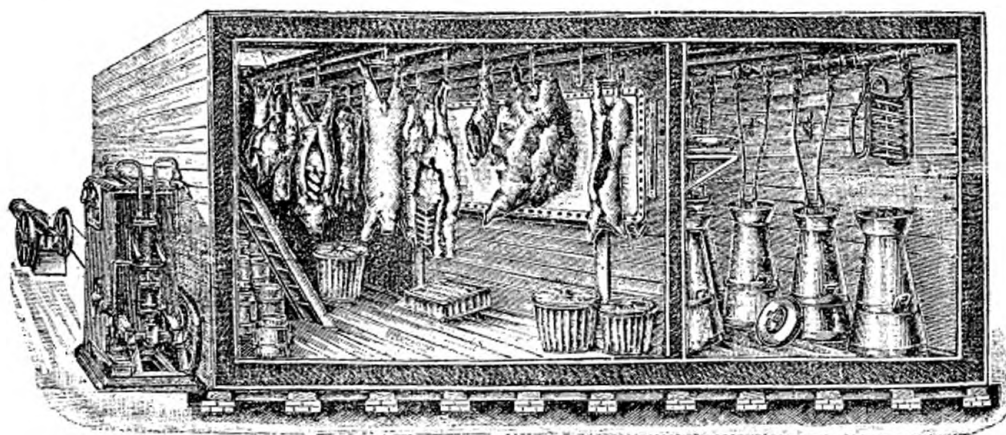


Fig. 128. — Installation J. et F. Hall pour conservation de la viande avec chambre séparée pour le travail du lait.

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 ; ils le reconnurent bon, 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 l'un des bœufs exposés sur mon étal. Tous deux furent cuits côte à côte dans la même poêle.

On les apporta ensemble et je les coupai séparément, la coupe resta la même, bien rosée, et il était impossible à ce moment de les différencier.

Seule, la *mâche* a pu permettre à mes convives de se prononcer et encore cette distinction reposait surtout 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 plus fin.

L'aloyau avait un défaut, celui d'être trop cuit et cependant tous mes convives 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 ; quoiqu'il en soit, l'ensemble de l'aloyau était bon, et personne n'eut pu attester, sans être prévenu, que cet aloyau 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 les 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, *puisqu'elle présente tous les signes de la viande fraîche.*

Le lundi, cette viande a été retirée de l'entrepôt par un temps lourd

orangeux. Le thermomètre marquait de $+26$ à $+30^{\circ}$. L'aloyau 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 parût 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 kg. ne pesait plus en sortant de l'entrepôt que 18^{kg},40: soit une perte de 2^{kg},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 grand 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 $+5^{\circ}$ à sept heures du matin n'a pas dépassé $+15^{\circ}$ 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 coupai la selle des gigots et la préparai 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 envoyés 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. En les adressant à ce gérant, je m'assurais ainsi que cette viande était acceptée sans répugnance par le consommateur non prévenu.

Je débitai à ma clientèle les côtelettes. Les trois premières découvertes durent être épluchées avec soin ; j'enlevai l'os de l'échine sur presque toute sa longueur. Un commencement de détérioration s'était manifesté sur la partie de la viande qui ouvre 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^{kg},230, poids constaté à son entrée dans la chambre froide, il ne pesait plus que 19^{kg},630 soit une perte de 3^{kg},600. Ce mouton a donc perdu 15,05 0/0 de son poids total pendant 56 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 30 septembre, la température se maintient fraîche, presque froide, le thermomètre variant à 7 heures du matin entre +4 et +6° et dans l'après-midi entre +15 et +18°.

Jeudi 20 septembre. — 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 kg. qu'ils ont fait cuire. Nous renvoyons nos lecteurs à la lettre ci-contre qui résume leurs impressions :

Monsieur Lioré,

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 jointure 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.

Le 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 pouvait lui reprocher, c'était la teinte un peu grisâtre de la couverture.

Le tendon de tranche a été également séparé 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 avions 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 morceaux, 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 celle 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 rafraichissement 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 rafraichissement 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 écasillé 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 ravalement 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....

Au même moment à Billancourt le ministre de la guerre chargea une commission présidée par le général Delattre et qui comprenait Berthelot, Schœsing, etc., d'étudier les meilleures conditions pour créer, en vue du ravitaillement des troupes et des camps retranchés, des entrepôts frigorifiques destinés à conserver les viandes surtout en temps de guerre.

La commission constata que la température de 0° est suffisante pour conserver la viande avec toutes ses qualités pour un temps de huit à quinze jours. Elle est insuffisante pour une durée plus longue.

Pour assurer une conservation presque illimitée des viandes il fallait les congeler à cœur et la commission admit qu'il fallait les soumettre à un froid de — 15 à — 20° puis les maintenir dans cet état de congélation aussi longtemps que doit durer la conservation, et pour cela une température de — 4° est suffisante.

Les expériences faites par cette même commission sur le transport des viandes ainsi congelées portèrent sur des wagons entiers qui furent expédiés de Billancourt dans différentes directions à Châlons-sur-Marne, à Montpellier, etc. De ces diverses expériences, le rapporteur tira les conclusions suivantes :

- 1° Le meilleur isolateur est la poussière de tourbe ;
- 2° Le transport en vrac est préférable au transport en caisse ;
- 3° La viande congelée peut supporter un transport de quatre jours et même plus, même par une température élevée ;
- 4° Le transport en voiture est plus désavantageux que celui en chemin de fer, mais, néanmoins, on peut :

a) Transporter la viande en vrac pendant six jours sur une voiture

de réquisition, en entourant la viande de tourbe, et pendant quatre jours en l'entourant de paille ;

b) Porter de six à huit jours, dans l'un et l'autre cas, la durée du transport avec des fourgons du train des équipages.

De plus, à la suite de ces divers transports, la viande peut encore être conservée pendant 48 heures, avant d'être distribuée, dans des magasins dont la température sera de $+ 12^{\circ}$ environ.

Les expériences de Billancourt mettaient donc bien en relief les avantages que l'on pouvait tirer de l'application du froid à la conservation des viandes.

Ces résultats étaient presque identiques à ceux des expériences de M. Lioré et de la Commission de la Chambre syndicale de la Boucherie parisienne.

Simultanément en 1880 et 1890, M. Armand Gautier avait fait avec MM. Levraud et Goubaux, une étude sur les viandes arrivant d'Allemagne en wagons transformés en chambres froides. Ces études furent complétées un peu plus tard par le même auteur dans un mémoire très développé qu'il publia sur ce sujet (*Revue d'Hygiène et de police sanitaire*, 1897, p. 289 et 394, *Des viandes alimentaires fraîches et congelées*).

D'après lui, l'aspect des viandes congelées présente, après un lent retour à la température ordinaire, un aspect tout à fait satisfaisant. M. Armand Gautier a alors recherché si ces viandes laissaient plus de déchet que la viande ordinaire, si elles étaient moins grasses, moins agréables au goût, plus gélatineuses que les fraîches, si elles donnaient un moins bon bouillon, si elles contenaient moins d'éléments nutritifs, si elles étaient d'une digestion plus difficile, enfin, si elles se conservaient moins bien que les viandes ordinaires après leur décongélation.

Tout d'abord, au point de vue de la composition chimique, comparons les chiffres qu'il a trouvés en examinant viandes congelées et viandes fraîches. D'une part, des viandes fraîches provenant de moutons de races normandes dites de pré-salé, les analyses étant faites 48 heures après la mort de l'animal et de bœuf rouge du Quercy, 60 heures après la mort, la température ambiante étant de 8 à 9° au commencement de mars. D'autre part, les viandes congelées étaient celles de moutons et de bœufs congelés à cœur à $- 12$ ou $- 15^{\circ}$ et conservées depuis cinq à six mois à des températures variant de $- 5$ à $- 6^{\circ}$ (les moutons étaient de la race de Rambouillet croisés de Dishley

Mérinos, South Down et Lincoln, les bœufs de Short-Zorn Durham, âgés de 3 à 4 ans.

Composition de 100 parties de viande	Mouton		Bœuf	
	frais (Epaule et cou)	frigorifié conservé 5 à 6 mois de 12° à 15°	frais Rumsteck	frigorifié conservé 5 à 6 mois de 12° à 15°
Eau	74,92	73,66	74,75	73,96
Globulines (mélées d'un peu d'albumine coagulable) contenues dans la partie de ces viandes solubles dans l'eau	3,32	2,44	3,06	2,69
Peptones persistant dans la partie de ces viandes, soluble dans l'eau	4,33	4,29	2,24	2,56
Myosine	8,31	10,33	10,96	9,29
Myostroïne	4,49	4,94	4,30	0,41
Matières indigestibles (Elastine, Keratine, etc).	0,86	0,75	0,24	0,94
Matières extractives (Leucomaines ferments).	0,49	0,95	0,97	1,01
Glycogène	0,40	0,03	0,38	0,16
Graisse et Cholestérine	5,23	5,38	4,97	2,04
Sels minéraux solubles	0,60	0,53	0,65	0,47
— insolubles	0,65	0,44	0,44	0,44
	100,52	100,24	99,96	100,02

En outre de ces essais, M. Armand Gautier a obtenu les résultats suivants pour 100 grammes de viande fraîche ou 100 grammes de viande frigorifiée.

	Mouton		Bœuf	
	frais	frigorifié	frais	frigorifié
Extrait séché à 110° des parties solubles dans l'eau froide (alb. coagulables compris)	5,84	5,34	6,92	6,99
Extrait à froid sans les matières albuminoïdes coagulables	2,523	3,20	3,86	4,50
Extrait séché à 110° du bouillon fait à chaud	3,37	3,62	3,98	4,17
Acidité de l'extrait aqueux de 100 grammes de viande calculé en acide sulfurique.	0,491	0,38	0,24	0,40
Matières réductives de 100 grammes de viande calculée en glucose.	2,72	0,17	2,56	0,11
Parties gélatinisables par chauffage à 115° durant 6 heures en présence de l'eau du résidu insoluble de la viande.	0,56	2,69	0,44	2,15
Acide nucléinique	variable	0,594	variable	0,660

Dans les viandes fraîches brutes il y aurait pour la viande de bœuf sans os :

Déchets et graisse	36
Muscles.	64

Pour la viande de mouton gigot sans os :

Déchets et graisse	17
Muscles.	83

La partie musculaire renferme environ 75 0/0 d'eau et l'ensemble des matières albuminoïdes digestibles s'élève pour cent parties de viande fraîche à 17,4 pour le mouton, à 20,3 pour le bœuf.

Le rapport des parties solubles de la viande privée d'os, de tendons, d'aponévroses, etc., aux parties insolubles dans l'eau est pour cent :

	Mouton	Bœuf
Partie soluble	4,65	5,30
Parties insolubles	12,80	15,26

Si nous tenons compte de la graisse entrant pour une grosse part dans la constitution des parties insolubles on arrive aux chiffres suivants :

	Mouton	Bœuf
Parties solubles.	4,91	5,37
Parties insolubles	13,50	15,44
Total.	18,51	20,81

la partie digestible de la viande de bœuf est donc notablement supérieure à celle de la viande de mouton.

Les parties solubles sont des peptones, des globulines, un peu d'albumine. La myosine et la myostroïne, insolubles dans l'eau mais éminemment nutritives forment environ 12,80 0/0 de la viande de mouton et 13,26 0/0 de celle du bœuf.

La partie indigestible formée de kératine, de fibres élastiques, etc., s'élève seulement à 0,26 0/0 dans le rumsteck de bœuf et 0,86 0/0 dans celle de mouton.

Les matières gélatinisables s'élèvent à 2,56 0/0 dans la viande fraîche de bœuf et à 2,72 0/0 pour celle de mouton.

Les matières grasses et la cholestérine atteignent 5 0/0 du muscle frais chez le mouton; chez le bœuf elles sont beaucoup plus faibles et

d'après des expériences personnelles nous pouvons admettre que le bœuf soigneusement débarrassé mécaniquement de toute graisse visible renferme encore 1,5 à 2 0/0 de matière grasse.

Enfin, les substances extractives solubles dans l'eau bouillante sont surtout formées de leucomaines, d'un peu d'acide lactique et de ferment.

Les leucomaines, créatines, xanthocréatines, xanthines, adénines, donnent à la viande et au bouillon leurs propriétés toniques et excitantes.

Les ferments de la viande permettent après la mort une digestion partielle des tissus, digestion qui a pour effet d'attendrir la viande et de la rendre facile à digérer.

Il se forme par l'action d'une sorte de trypsine une autolyse partielle post-mortem des tissus qui a pour effet de former une sorte de peptone; il existe aussi dans la viande un fibrinogène et enfin une oxydase qui semble être l'agent stimulant de la nutrition; c'est ce ferment qui produit cette action spéciale et favorable qu'exerce la viande crue chez les anémiques, chlorotiques, tuberculeux, dyspeptiques, etc.

Il existe enfin des sels minéraux dans la proportion de 1,3 à 1,4 0/0.

On sait que les viandes frigorifiées, contiennent, d'après les tableaux donnés plus haut, environ 1 0/0 d'eau en moins que les viandes fraîches. Les matières albuminoïdes digestibles sont pour cent parties de viande frigorifiée :

	Mouton	Bœuf
Parties solubles	3,43	5,25
Parties insolubles	15,27	15,70
Total.	18,70	20,95

et en tenant compte de la proportion de corps gras, ces chiffres deviennent pour cent de fibre musculaire frigorifiée :

	Mouton	Bœuf
Parties solubles	3,62	5,36
Parties insolubles	16,12	16,00
Total.	19,74	21,36

Il y a donc une proportion de 2 0/0 en plus d'aliments plastiques de la viande frigorifiée de bœuf sur la viande frigorifiée de mouton. C'est le même chiffre que l'on avait trouvé pour les viandes fraîches.

Les viandes frigorifiées renferment une proportion un peu plus

élevée d'albuminoïdes assimilables que les viandes fraîches et cela en raison de leur pauvreté en eau (1 0/0 en moins).

C'est ce que montre le tableau suivant :

	Mouton naturel	Mouton frigorifié
Albuminoïdes solubles	3,32	2,14
Peptones	1,33	1,29
Myosine et myostroïne	12,80	15,27
Total des albumin. assimilables.	17,45	18,70

	Bœuf naturel	Bœuf frigorifié
Albuminoïdes solubles	3,06	2,69
Peptones	2,24	2,56
Myosine et myostroïne	15,26	15,70
Total des albumin. assimilables.	20,56	20,95

C'est donc une grave erreur de dire que la viande frigorifiée est plus pauvre en principes nutritifs que la viande fraîche ; c'est plutôt le contraire qui se produit.

Les matières gélatinisables sont sensiblement les mêmes dans les deux cas :

Viande fraîche de bœuf	2,56
Bœuf frigorifié	2,15
Viande fraîche de mouton	2,72
Mouton frigorifié	2,69

Les viandes frigorifiées sont donc loin d'être plus gélatineuses que les viandes fraîches.

Les matières grasses sont à près dans la même proportion dans les deux cas et il en est de même des substances extractives.

Le glycogène seul a disparu et produit une légère diminution dans les chiffres obtenus pour la viande frigorifiée.

Les ferments peptonisants ne sont pas détruits ; ils sont simplement rendus inertes et la proportion de peptones semble être la même dans les deux cas.

Abandonnée à la température ordinaire la viande congelée en se réchauffant abandonne une certaine proportion d'un liquide rouge albumineux surtout abondant chez le bœuf sensiblement analogue à celui qui s'écoule de la viande de bœuf ordinaire, mais en bien plus grande quantité.

M. Armand Gautier a trouvé les chiffres suivants par kilogramme de viande :

	Proportion d'exsudat
Bœuf ordinaire	33 centimètres cubes.
Bœuf frigorifié	113 —
Mouton frigorifié	58 —

Dans des analyses faites par M. Aug. Perret sur cet exsudat que donnent les viandes congelées, il a été trouvé pour 1,000 grammes de viande de bœuf congelé, 150 grammes de liquide.

La quantité de matières azotées que contient le jus de viande congelée d'après Aug. Perret, est la suivante dans deux cas différents :

	I	II
Azote total	16,65	16,73
Azote précipité par l'alcool à l'ébullition . .	12,57	12,52
Azote soluble	3,78	3,95
	p. 100 de jus.	

Ce liquide, le sérum musculaire pour mille de jus est analogue à celui que l'on obtient par pression ; c'est ainsi que 804 grammes de viande gelée abandonnée 24 heures à la température du laboratoire ont donné 85 grammes de jus ; puis comprimé fortement, le bloc de viande dégelée a donné encore 342 grammes de sérum.

La composition des deux produits était la suivante :

Sérum écoulé par dégel :

	par litre	par 85 gr. de jus	par kg. de viande
Azote total	14,28	1,215	1,520
Azote précipité	9,59	0,815	1,020
Azote soluble	4,48	0,381	0,475

Sérum écoulé par pression :

	par litre	par 342 gr. de jus	par kg. de viande
Azote total	11,76	4,022	5,025
Azote précipité	7,49	2,57	3,20
Azote soluble	4,20	1,43	1,80

Dans une autre expérience, 910 grammes de viande congelée abandonnée au dégel donnent par écoulement simple 104 centimètres cubes et par pression 287 centimètres cubes.

La composition était

Jus écoulé par dégel :

	par litre	par 104 gr. de jus	par kg. de viande
Azote total	15,40	1,60	1,78
Azote précipité	11,48	1,18	1,31
Azote soluble	3,96	0,41	0,46

Jus écoulé par pression :

	par litre	par 296 cmc. de jus	par kg. de viande
Azote total	12,44	3,60	4,00
Azote précipité	8,68	2,30	2,55
Azote soluble	3,50	1,00	1,11

En comparant ces chiffres avec ceux obtenus au moyen de viande ordinaire, Auguste Perret a trouvé que 750 grammes de viande de bœuf ont donné par pression 265 centimètres cubes de jus qui renfermaient une proportion de matières azotées de :

	par litre	par 265 cmc. de jus	par kg. de viande
Azote total	16,80	4,46	5,93
Azote précipité	12,20	3,18	4,24
Azote soluble	4,38	1,16	1,54

En résumé, pour Aug. Perret, un kilogramme de viande donne une proportion de jus total :

	Viande congelée		Viande fraîche
	I	II	
Azote total	6,545	5,78	5,93
Azote précipité	4,220	4,01	4,24
Azote soluble	2,275	1,57	1,54

Ces chiffres sont donc très voisins les uns des autres.

Nous aurons encore des chiffres intéressants en considérant ceux que M. Armand Gautier a donné pour composition de 100 grammes d'exsudat frais :

Globulines précipitables par le sulfate d'ammoniaque saturé en excès.	4,23
Albumine coagulable à 100° (Sans les globulines précédentes)	1,20
Peptones	3,47
Collagène spécial (coagulant vers 37°)	0,49
Autres matières organiques, ferments, etc.	0,45
Sels solubles.	1,29
Sels insolubles	0,06
Eau	88,81
	<hr/> 100,00

D'après tous ces chiffres la composition des viandes réfrigérées est donc identique à celle des viandes fraîches ; aussi les objections que l'on a pu faire portent-elles surtout sur la différence de goût, sur une digestibilité et une nutritivité plus faibles, sur une conservation très difficile après recongélation.

Pour la question de goût les expériences de M. Lioré nous ont déjà documentés. Mais M. A. Gautier a pu aussi par des expériences personnelles, établir aussi la très faible différence de goût que présentent l'une et l'autre. Ainsi entre des côtelettes frigorifiées et des côtelettes fraîches servies simultanément et à des personnes non prévenues, quatre ont préféré les côtelettes naturelles, quatre les frigorifiées et une ne s'est pas prononcée. Des résultats à peu près identiques ont été obtenus avec du gigot, de la viande de bœuf bouilli, avec le bouillon préparé. La viande réfrigérée est agréable et bonne et ne peut être jugée inférieure que par comparaison directe et attentive, et encore.

Au point de vue de la nutritivité, les expériences de A. Gautier ont bien montré la bonne qualité de la viande réfrigérée. C'est en sa faveur que se trouve plutôt un excès de matières nutritives à poids égal et le service de santé de l'armée a exprimé ainsi son avis. « *La viande conservée par le froid est tout aussi nutritive que la viande fraîche de boucherie* »

La digestibilité est en tout semblable à celle de la viande fraîche.

Le docteur Readel a sur ce point, fait quelques recherches dont voici les résultats. Il constate d'abord l'identité à peu près absolue de 3 types de viande.

	Ecosais frais	Australien frigorifiés	Zélandais
Eau pour 10	74,15	72,45	71,32
Azote p. 100 de viande sèche.	12,38	11,50	11,39

Puis il en prélève des portions qu'il porte à une température de 38°, avec 20 centimètres cubes d'une solution de pepsine à 1 p. 4000 additionnée de 1 centimètre cube d'acide chlorhydrique et 50 centimètres cubes d'eau distillée.

Il obtient les résultats suivants :

Pour 100 de la viande sèche digérée en 1 heure.

1 ^{re} Expérience.	41, 20	37, 40	37, 20
2 ^e Expérience.	43, 30	38, 60	37, 30
Moyenne	42, 25	38	37, 25

Il en conclut que le temps de la digestion est à peu près le même dans les deux cas, que les viandes congelées contiennent un peu moins d'eau que les viandes fraîches, qu'elles possèdent un pouvoir nutritif supérieur. Cette dernière conclusion paraît exagérée au point de vue pratique.

M. A. Gautier a aussi recherché la digestibilité de la viande réfrigérée dans des expériences de laboratoire: 80 grammes de viandes de mouton et de bœuf fraîches et frigorifiées provenant de la même partie de l'animal ont été mis dans quatre flacons en présence de 550 centimètres cubes d'eau, 100 d'acide chlorhydrique et 0 gr. 50 de pepsine ; le tout a été placé à l'étuve et l'on examinait de temps en temps par prélèvement d'un échantillon l'état de la digestion des quatre viandes.

Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Temps écoulé depuis le début de la digestion	Bœuf de boucherie	Bœuf frigorifié	Mouton de boucherie	Mouton frigorifié.
4 h. 30 min.	Par le phosphate sodique. Précipité abondant dans le filtratum.	Par le phosphate sodique. Précipité abondant dans la filtratum.	Par le phosphate sodique Précipité abondant dans le filtratum.	Par le phosphate sodique. Précipité abondant dans le filtratum.
3 h. 30 min.	— Même réactif. Plus de précipité, mais précipité abondant par le ferrocyanure acétique.	— Même réactif Plus de précipité, mais précipité abondant par le ferrocyanure acétique.	— Même réactif Plus de précipité, mais précipité abondant par le ferrocyanure acétique	— Même réactif. Plus de précipité, mais précipité abondant par le ferrocyanure acétique
5 h.; 6 h.; 7 h.	— Par le ferrocyanure acétique. Précipité notable.	— Par le ferrocyanure acétique Précipité notable.	— Par le ferrocyanure acétique. Précipité notable.	— Par le ferrocyanure acétique. Précipité notable.
8 h. 30 min.	— Même réactif. Louche.	— Même réactif Louche.	— Même réactif. Louche.	— Même réactif. Louche.
10 heures	— Même réactif. Plus rien; fin de la peptonisation complète.	— Même réactif Plus rien; fin de la peptonisation complète.	— Même réactif. Plus rien; fin de la peptonisation complète.	— Même réactif. Plus rien; fin de la peptonisation complète.

De tels résultats montrent bien l'identité de la digestibilité des deux qualités de viande. Avec un poids de pepsine quatre fois moindre la digestion n'est pas tout à fait terminée même en seize heures pour les viandes fraîches aussi bien que pour les frigorifiées.

Au point de vue de la conservation M. A. Gautier s'est posé la question.

La viande frigorifiée se conserve-t-elle aussi bien que la fraîche? Pour en juger, il a essayé comparativement avec des blocs de 1 à 2 kg. empruntés à la même partie de l'animal, soit en laissant la viande exposée à l'air libre, soit en la plaçant dans de grands entonnoirs de verre couverts d'une vitre, et attendant que se manifeste l'odeur de relent caractéristique d'un commencement d'altération. Pour la viande placée en entonnoirs couverts, voici le temps qui s'est écoulé depuis qu'elle est sortie de l'abattoir, et qu'elle a été décongelée :

	Temps écoulé jusqu'au commencement d'altération.	Température ambiante.
Viande ordinaire, bœuf.	72	15° à 18°
	106	12° à 13°
	144	—
Viande frigorifiée, bœuf	115	—
	67	—
Viande de mouton ordinaire	78	—
— — frigorifiée	70	—

Ainsi, pour le bœuf placé en vases imparfaitement clos, la moyenne du nombre d'heures de conservation a été, en mars, la température ambiante variant de 12 à 18° :

Bœuf naturel	107 heures (1).
Bœuf frigorifié.	72 —

Le bœuf naturel se conserve donc dans ces conditions un peu mieux que le frigorifié.

Les viandes de bœuf (*tranche*) et de mouton (*selle*) suspendues à l'air libre sous un auvent de bois, du 27 mars au 10 avril, par une température de 5° à 13°, et par un temps à deux reprises orageux, se sont conservées durant ces 14 jours sans présenter trace d'altération putride, aussi bien les viandes fraîches que les frigorifiées. Ces viandes

(1) 92 heures, non compris le temps de la décongélation qui est d'environ 36 heures pour les quartiers avant leur dépeçage.

se sont simplement séchées; elles ont bruni superficiellement et se sont raccornies; mais elles étaient encore parfaitement mangeables et ont été consommées sans aucun accident.

Le mouton frigorifié laissé à l'air libre se conserve aussi bien que le mouton ordinaire pourvu que dans les premiers temps on ait soin d'essuyer la viande avec un linge sec. Un morceau de mouton frigorifié fut conservé en très bon état au mois de mars dans un grenier à des températures variant entre 6° à 15° pendant 33 jours et cela sans aucune putréfaction.

M. A. Gautier a obtenu les mêmes résultats avec du poisson et du gibier. *La viande congelée revenue à la température normale se conserve parfaitement.*

Les tissus eux-mêmes ne sont pas modifiés. M. Gautier a confié à M. Letulle l'examen microscopique de tissu congelé et voici les résultats que ce dernier a obtenus.

Examen microscopique des muscles de mouton et de bœuf congelés et décongelés. — Une première série d'expériences a porté sur les muscles congelés, les coupes et l'examen étant faits directement dans la chambre réfrigérante même. Les fibres musculaires, sur les coupes montées dans la glycérine, apparaissent normales; leur double striation est bien visible. Leurs dimensions varient entre 36 et 50 μ (millièmes de millimètre). Les cellules adipeuses, éparses entre les faisceaux musculaires, ont une forme polygonale très accusée. On leur reconnaît 5 et 6 côtés, accolés aux parois correspondantes des cellules adipeuses voisines. *Le reste du tissu musculaire ne montre aucune altération; on n'aperçoit pas, sous le microscope, trace de cristaux.*

Des prises ayant été faites dans la chambre réfrigérante même, et les fragments de muscles ainsi recueillis ayant été mis soit dans l'alcool à 90°, soit dans alcool picriqué, les flacons qui les contenaient ont ensuite été exposés à la température ordinaire (18 à 20°). L'examen microscopique des coupes donne alors les résultats suivants :

Dans la glycérine, avec ou sans coloration par le picro-carmin, apparaissent des espaces irrégulièrement arrondis séparant brusquement, de place en place, les fibres musculaires; ces écartements, ces vides, sont surtout accusés au niveau des espaces connectifs péri-vasculaires, dans les régions où la gangue interstitielle est normalement le plus lâche, capitonnée souvent par un nombre variable de cellules adipeuses.

Sauf ces lacunes, qu'on trouve occupées d'ordinaire par un coagulum séro-albumineux, tout le reste du muscle est normal. Les faisceaux contractiles, peut-être un peu plus anguleux que sur les coupes encore congelées, mesurent également de 48 à 60, et même 68 μ de diamètre, la glycérine leur donnant sans doute une plus grande réfringence en les imbibant d'une manière notable. Leurs noyaux intra-fasciculaires, le sarcolemme et ses noyaux, les capillaires interstitiels avec leurs longs noyaux endothéliaux, tout est normal, et bien en place. Les globules rouges et les leucocytes font à peu près complètement défaut.

La même remarque est faite au sujet de ces globules, pour les coupes colorées soit à l'hématoxyline, soit à la thionine, et montées dans le baume.

Les manipulations nécessaires pour cette dernière opération contractent d'une manière accusée la substance musculaire; ou du moins on y peut plus aisément reconnaître et mesurer les fibres musculaires, petites ou moyennes, car on en note ayant depuis 20 μ , jusqu'à 32 μ , 44 μ et au delà.

Les cellules adipeuses, dans toutes ces préparations, sont remarquablement mieux arrondies que sur les préparations examinées extemporanément dans la chambre réfrigérante. Sur les coupes montées dans la glycérine, elles atteignent 80, 84, et 80 μ (petit diamètre) sur 100 μ et 104 μ (grand diamètre). Dans la chair de bœuf, on en trouve même qui ont 84 μ (petit diamètre) sur 100 μ , et même 100 sur 104 μ , ce chiffre étant le plus élevé.

Les quelques globules rouges bien reconnaissables que j'ai pu mesurer avaient de 4 μ 66 à 5 μ 82. *Ils étaient parfaitement conservés* (Signé : LETULLE).

La conservation de la viande est donc une opération éminemment pratique. Elle se pratique d'ailleurs actuellement sur une très grande échelle, en particulier pour l'envoi en Europe des viandes d'Amérique.

Dans ce cas la viande subit toute une série d'opérations et les soins apportés à la préparation des viandes frigorifiées sont pour beaucoup pour la bonne conservation du produit.

Les animaux sont choisis, visités par un vétérinaire, abattus et vidés.

Immédiatement après l'abatage, la viande fraîche est transportée dans les salles de conservation, dites *chambres d'essorage* refroidies à basse température.

Le *ressuage* ou *essorage* consiste à exposer la viande à l'air pour l'amener par évaporation à un certain degré de siccité.

Une circulation constante d'air est établie dans ces chambres, ce courant d'air est avant introduction dans les salles, poussé à travers une pluie d'eau salée, absorbant toute l'humidité, et entraînant les bactéries et moisissures contenues dans l'atmosphère, de telle sorte qu'il est dans les chambres d'essorage non seulement froid, mais *sec* et *purifié* d'organismes nuisibles à la conservation.

La température optimum serait pour les uns comme à Chicago de 0° à 2° ; pour d'autres de $+ 2^{\circ}$ à $+ 4^{\circ}$; pour le docteur Sigmund qui le propose d'ailleurs à Bâle $+ 6^{\circ}$.

Sous l'action de l'air froid, la viande se dessèche très vite à la surface et se couvre d'une sorte de peau préservant les morceaux de la corruption et permettant une meilleure absorption du froid.

De la chambre d'essorage, la viande est amenée dans les chambres de refroidissement par des voies de roulement métalliques et aériennes. L'usage des wagonnets poussés à la main est condamné, afin d'éviter le contact malsain des mains de manœuvres ⁽¹⁾.

Dans le frigorifique le degré de froid varie suivant la durée de conservation que l'on s'est proposée. Si cette conservation doit durer trois ou quatre semaines seulement, elle est soumise à une température comprise entre 0° et $+ 3^{\circ}$. Cette simple opération, appelée *réfrigération*, donnent d'excellents résultats, mais il faut la limiter au traitement des produits de conservation à court terme.

Lorsque la viande ne doit au contraire être consommée que plusieurs semaines après l'abatage, la réfrigération ne suffit plus, il faut recourir à la *congélation*. Celle-ci se pratique de deux manières : l'une usitée à Chicago, dite *congélation rapide* et qui s'obtient en soumettant la viande tout de suite après l'abat à $- 20^{\circ}$ C. pendant trois jours ; on la laisse ensuite à $- 6^{\circ}$ C. jusqu'à l'embarquement, pendant environ trois semaines.

L'autre, en usage surtout en Australie, dite *congélation lente* et qui est opérée uniformément à $- 6^{\circ}$ C. dès l'introduction de la viande dans la chambre froide.

Ce dernier procédé paraît préférable, car il fait subir aux tissus moins de mouvements de rétraction et de dilatation et par suite donne une viande beaucoup plus belle lors du dégel.

(1) J. de Loverdo, op. cit.

Au point de vue économique ces deux procédés se valent.

Pour obtenir la congélation rapide à -10° à cœur il faut une exposition de 65 à 70 heures à -20° ; si la viande a été déjà réfrigérée à -4° , 36 à 48 h. suffisent.

Pour obtenir la congélation lente il faut suivant les viandes 3, 6, 7, 11 jours, au maximum 12 jours.

Avec la congélation rapide pour amener 1 kg. de $+20$ à -10 on dépense :

Eau. .	55 0/0 ; refroidissement et congélation . .	57,50 frigories
Tissus. 45 0/0 ;	— — — . .	6,75 —
Soit . . .		64,25 frigories

Par la congélation lente on arrive à 61 frigories.

En moyenne il faut donc compter entre 60 et 65 frigories par kilogramme.

Industriellement étant données les pertes forcées on compte sur 115 à 125 frigories.

Les chambres de congélation doivent cuber 1 mètre cube pour 100 kg.

Les chambres de conservation ne demandent au contraire que 1 mètre cube pour 300 à 350 kg.

Parmi les établissements de ce genre, il faut signaler « *La Nègre* » fondée à Buenos-Ayres par un Français M. Sansinena qui possède dix chambres frigorifiques pouvant contenir plus de 200 000 carcasses. Le nombre de ces carcasses importées en Europe est actuellement de 1 200 000. Cette maison possède des dépôts frigorifiques à Liverpool, Londres, Cardiff, Manchester, Birmingham, Paris, Pantin, Le Havre, Dunkerque, Genève. Les entrepôts de Liverpool, les plus importants de tous, ont une capacité de 3 300 mètres cubes ; un mètre cube de chambre frigorifique peut contenir 200 kg. de mouton (8 carcasses) ou 300 kg. de bœuf frigorifié. La réfrigération est obtenue par des tuyaux à ailettes, accrochés au plafond et dans lesquels le liquide formé par la liquéfaction du gaz ammoniac est volatilisé au moyen d'une pompe. Les viandes sont refroidies à cœur, vers -10° à -12° , en les soumettant pendant deux ou trois jours à une température de -20° . Pour la conservation de ces viandes congelées, la température des cales ou des chambres varie de -5° à -7° .

En Australie c'est surtout le Queensland, le New South Wales qui exportent surtout de la viande de bœuf, l'Etat de Victoria qui exporte du mouton. Au Queensland les bœufs sont amenés des pâturages d'une distance quelquefois supérieure à 100 milles. Ils se reposent quelques jours dans des paddocks attenant à l'abattoir et près de l'usine frigorifique. Ils sont abattus et saignés aussi parfaitement que possible par suspension par les pattes de derrière et ouverture de la gorge.

L'animal est alors paré, partagé en deux et est introduit dans les chambres frigorifiques une heure après avoir été assommé. On lui fait alors subir une première réfrigération d'une durée de 18 heures à une température de 4 à 5° C. Puis on le divise par quartiers et on les introduit dans les chambres de congélation où on les laisse cinq jours à 13° C. Le dernier jour, on place ces quartiers dans des sacs de toile. Ensachés et emballés on les introduit alors dans des chambres froides dont la température est de — 18° C. ce qui permet une congélation telle que la viande peut subir sans inconvénients les changements de température de l'embarquement.

Pour 150 bêtes tuées par jour, il faut trois chambres de réfrigération, au moins cinq de congélation.

Pour les moutons les durées respectives sont de 12 heures dans les chambres de réfrigération et de trois jours dans les chambres de congélation.

Le transport de la viande réfrigérée ou congelée se fait rapidement de l'entrepôt au navire lorsque celui-ci est prêt à partir, puis on la place pendant la traversée dans des appareils réfrigérateurs. Nous étudierons dans un chapitre spécial le transport des denrées frigorifiées.

A leur arrivée en Europe les viandes congelées sont débarquées et emmagasinées dans des dépôts frigorifiques. En Angleterre et dans les pays où la viande congelée arrive en grande quantité elle est soumise avant le débarquement à l'examen d'un inspecteur spécial qui autorise ou interdit l'entrée suivant la plus ou moins parfaite conservation.

La décongélation doit être pratiquée lentement. Elle dure en général de 30 à 36 heures en hiver, 12 à 15 heures en été. La chambre de décongélation doit donc être dans ce dernier cas un peu refroidie pour ralentir l'opération. L'air doit être sec et par suite desséchant. Il faut absolument éviter que pendant son réchauffement la viande se couvre de givre ou d'humidité.

Si l'on n'emploie pas de chambre spéciale de congélation on doit au

moins placer la viande à dégeler dans un courant d'air qui emporte l'humidité au fur et à mesure de sa production.

Les bouchers qui achètent les viandes congelées sont bien au courant de cette manipulation et, sans la différence de race des moutons, il serait parfois bien difficile, dans certaines boucheries, après le parage soigné qu'ils font subir à leurs viandes, de distinguer après un examen superficiel un mouton importé congelé et un mouton abattu à la Villette.

Quelques accidents peuvent survenir aux viandes ainsi conservées.

On peut constater sur les viandes congelées d'Amérique et d'Australie lors de leur arrivée en Europe, des altérations multiples malgré les précautions prises par les industriels ; elles sont dues, pour la plupart, à des changements brusques de température et à l'état hygroscopique de l'air. Celles qui sont observées le plus fréquemment à Londres, à Victoria Docks, dit M. J. Talayrach, sont dues soit à la putréfaction légère, soit à l'atteinte par l'eau de mer. Il n'y a presque jamais de décomposition proprement dite, mais la viande a un très mauvais aspect.

Enfin on peut constater assez souvent la présence de champignons divers à la surface de la viande. A l'œil nu, on voit des touffes blanches, vertes ou rouges. Ces dernières donnent parfois l'aspect de vrais jardins suivant l'expression de l'inspecteur des denrées du port de Londres.

Quand il n'y a que des végétations blanches, la viande est simplement essuyée et mise dans les chambres froides.

Lorsque les filaments verts sont trop luxuriants, la viande est refusée.

On a également constaté dans certains envois des taches noires, pénétrantes, grandes comme une pièce de 0 fr. 50 environ, disséminées à la surface de la viande et attribuées à des cryptogames. Ces taches entraînent toujours le refus de la viande.

M. Matruchot a déterminé la nature des champignons qui se développent à la surface des viandes congelées. Ce sont des *Penicillium*, des *Sporotrichum*, des *Dematium*, des *Mucors*, des levures roses, des bactéries jaunes et blanches.

Aucun de ces ferments n'est toxique. Ils se propagent avec une grande rapidité lorsque la température de l'air se relève légèrement et se sature d'humidité : une condensation se produit à la surface de la viande. C'est un accident désastreux lorsqu'il se produit.

La reconnaissance de la congélation d'une viande bien conservée est

des plus difficiles et cette détermination ne peut guère se faire que de la façon suivante :

Dans le sang normal on voit les hématies colorées en jaune verdâtre nager au milieu d'un sérum tout à fait transparent. Dans le sang dégelé, le sérum offre une teinte verdâtre uniforme, et les globules sont pâles, décolorés et déformés.



Fig. 129. — Chambre frigorifique pour boucherie. Réfrigérant fixé au plafond
Refroidissement par détente directe, *Société Genevoise*.

Sur ces données, repose le moyen indiqué par M. Maljean de reconnaître les viandes congelées et surtout les viandes de mouton vendues aujourd'hui couramment dans les boucheries de nos grandes villes.

Il suffit de prendre à l'intérieur de la viande un peu de sang ou sim-

plement de suc musculaire. Pour obtenir le sang en nature, il faut rechercher les petits vaisseaux qui rampent dans les interstices musculaires ou au voisinage des os, et avec une pince ou des ciseaux, extirper un segment veineux.

Ce lambeau est exposé sur une lame de verre qu'on recouvre immédiatement d'une lamelle.

Pour examiner le suc musculaire, on découpe un fragment de chair et on le comprime entre les mors d'une pince à pression continue.

Toutes ces préparations doivent être faites assez rapidement et sans l'aide d'aucun réactif.

On observe alors les altérations décrites par M. Pouchet.

Ces altérations du sang se révèlent à l'œil nu par des caractères d'une certaine importance ainsi décrits par M. Maljean : « Quand on examine attentivement les surfaces de section d'une viande fraîche, il est toujours facile, par une légère pression, de faire sortir un peu de sang par les orifices vasculaires ; en outre, le trajet des petits vaisseaux est dessiné par une trace rougeâtre ou violacée indiquant la présence du sang.

Il n'en est pas de même dans les viandes congelées et le peu de liquide qu'on en retire n'a pas la coloration habituelle du sang.

Le suc musculaire est plus abondant et plus fluide dans les viandes congelées que dans les viandes fraîches. On observe facilement le fait en recueillant le jus sur du papier pelure. Introduite dans un tube à essai avec un peu d'eau, la viande congelée colore le liquide plus rapidement et avec une plus grande intensité que la viande fraîche.

La viande, pour être congelée à cœur, peut être simplement plongée dans un bac analogue à ceux qui servent pour la fabrication de la glace, bac contenant un liquide rendu incongelable par l'addition d'un produit sans action sur la viande (système Douane). On peut congeler aussi la viande par radiation.

Pour refroidir la viande par radiation dans le procédé de la Société Dyle et Bacalan, on fait circuler la saumure refroidie à travers des murettes, sortes de bacs plats formés de deux lames d'acier placées à petite distance soigneusement rivées et boulonnées pour qu'il ne puisse jamais y avoir de fuites. Ces murettes sont disposées de place en place et on vient placer la viande à congeler tout près de ces appareils : le froid produit par le rayonnement de la saumure est assez intense pour qu'en peu de temps la viande arrive au degré de température désiré.

Pour les très grandes installations, un système spécial permet de transporter la viande sans aucune manipulation ; une suite de crochets reliés ensemble forment une chaîne continue mise en mouvement par un appareil très simple. On y accroche la carcasse et l'on n'a plus à s'en occuper qu'à l'autre extrémité pour la décrocher et l'expédier ou la mettre dans une chambre de conservation. Pendant le trajet, la réfrigération ou la congélation s'effectue au moyen des murettes.

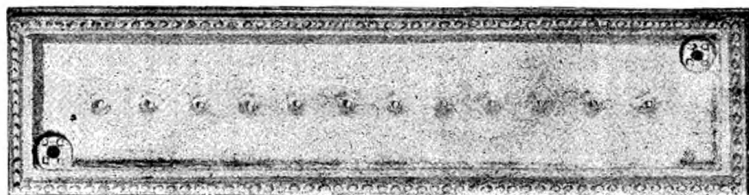


Fig. 130.

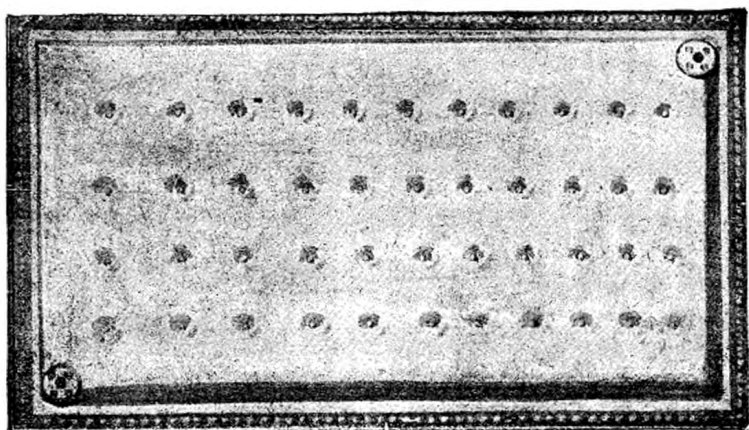


Fig. 131. — Murette pour la congélation et le refroidissement de la viande par radiation.

La rapidité de refroidissement par cette méthode est beaucoup plus rapide que par tout autre moyen ; l'espace nécessaire est moindre, et les constructions moins coûteuses. Cela produit de plus une économie notable de main-d'œuvre et empêche la dépréciation due aux manipulations.

Les fig. 130 et 131 représentent deux types de ces murettes. Elles sont

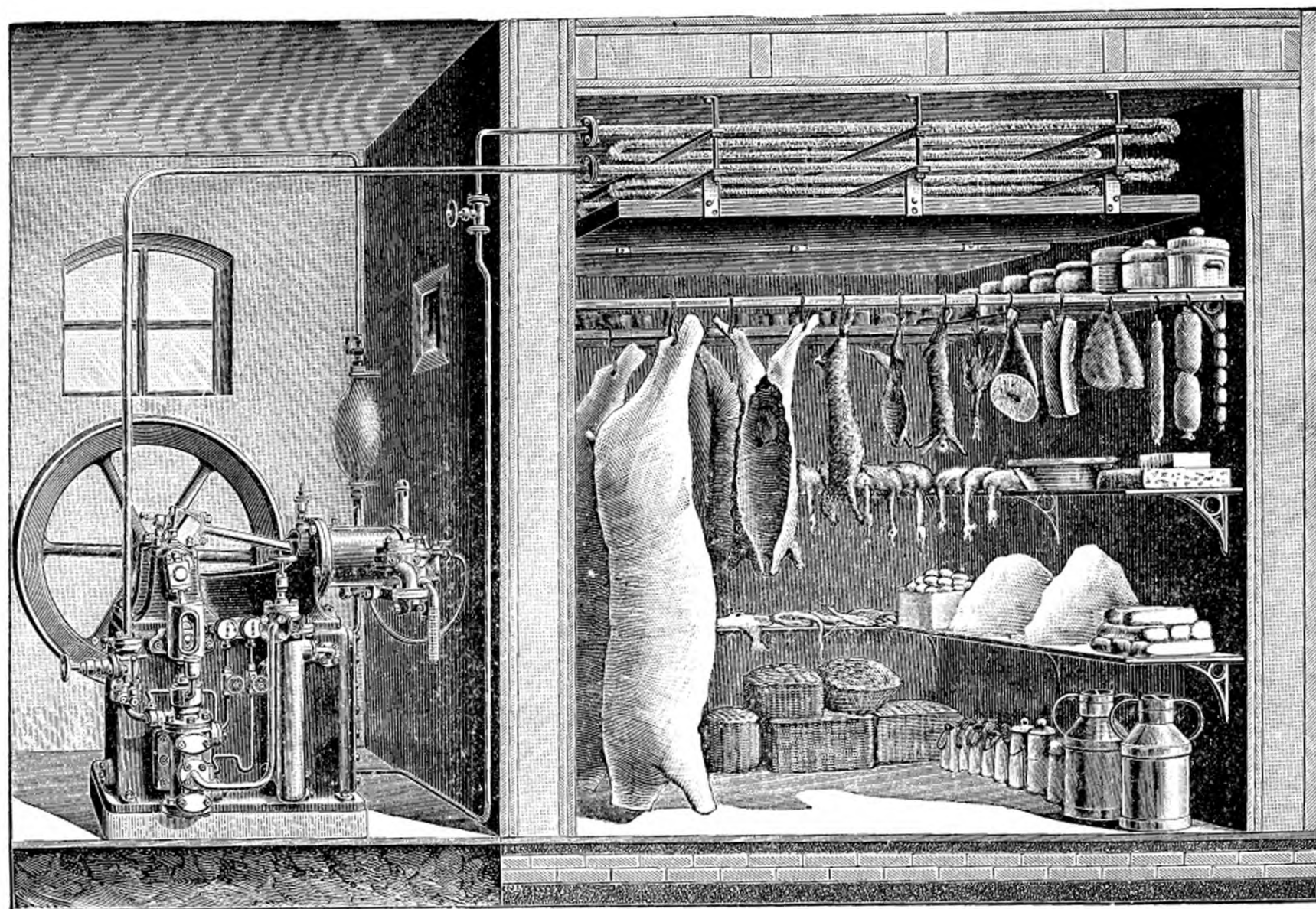


Fig. 132. — Appareil frigorifique combiné avec moteur à gaz ou à pétrole (système Rouart).

de dimensions différentes suivant l'espace dont on dispose pour les placer et surtout suivant le travail qu'elles ont à fournir.

La température des chambres étant maintenue par la réserve de froid constituée par la quantité de saumure contenue dans ces murettes, il n'est pas nécessaire de fonctionner plus de quelques heures par jour.

La congélation de la viande n'est pas, comme nous l'avons vu, le seul

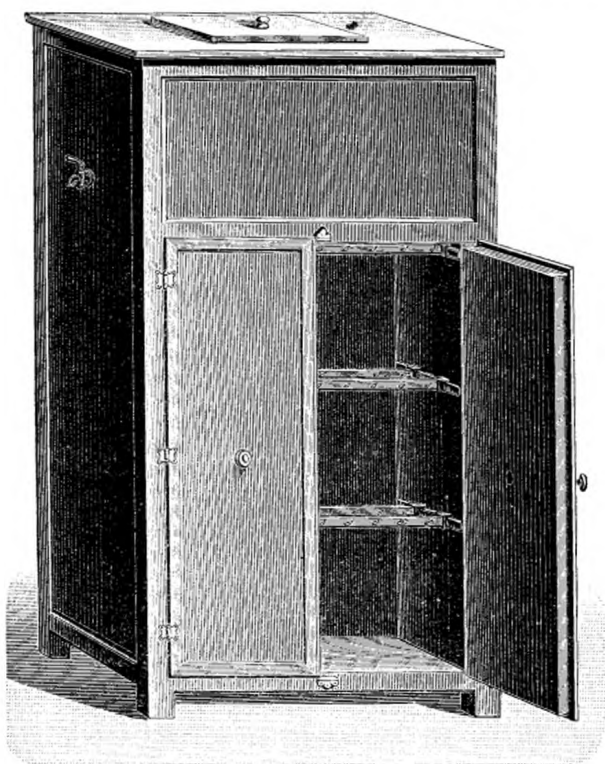


Fig. 133. — Armoire glacière Douane dite bouchère à deux portes. Hauteur 2,50, largeur 1,30, profondeur 0,80.

moyen de conservation ; on peut aussi la réfrigérer simplement en maintenant sa température aux environs de 0°, 1° à 2° au-dessous. La congélation enlève une partie de la saveur des gros quartiers de bœuf, la réfrigération n'a pas cet inconvénient. Les expériences de M. Lioré que nous avons rappelées plus haut étaient conduites de cette façon. Mais la conservation dans ce cas n'est guère assurée pour plus de 15 jours ou 3 semaines.

La conservation des viandes fraîches par réfrigération s'effectue aussi soit dans les abattoirs et les marchés, soit chez les bouchers eux-mêmes. Dans ce dernier cas, on peut employer ou la simple armoire à paroi remplie de glace, l'armoire glacière, ou des dispositifs spéciaux, les systèmes Hall, Rouart, etc.

Dans le système J. et E. Hall, les chambres où sont placés les quartiers de viande sont maintenues à la température convenable par des murettes dans lesquelles circule le liquide froid. Un avantage particu-

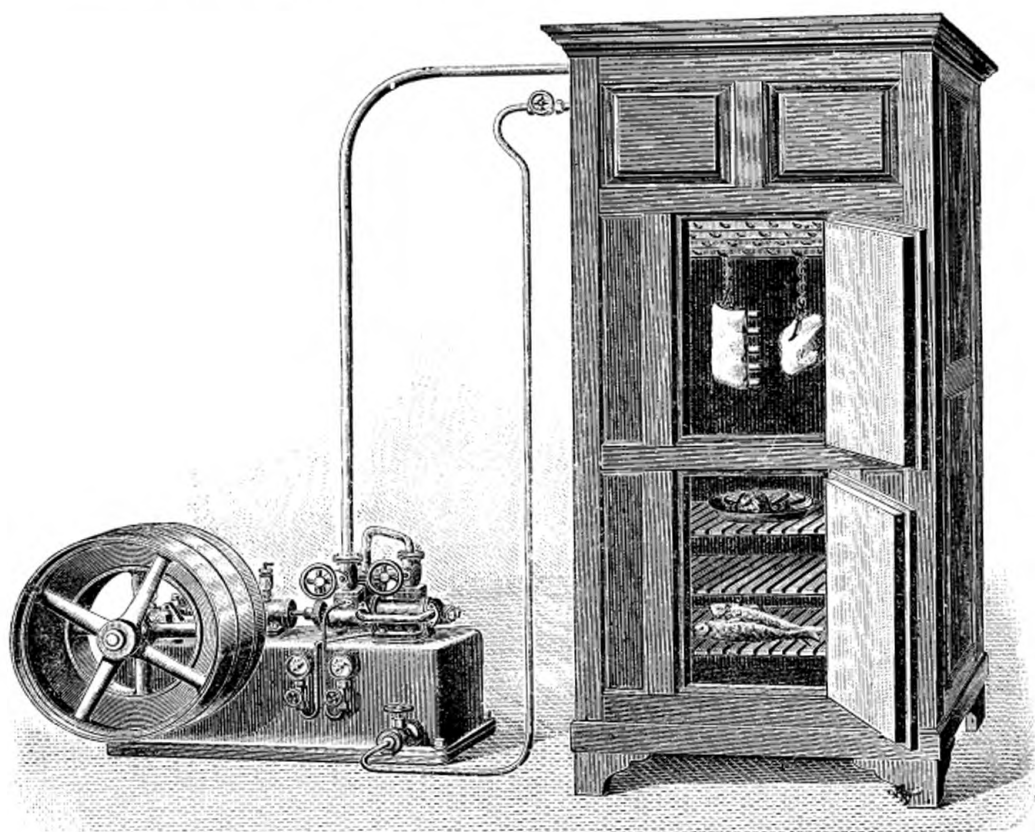


Fig. 134. — Armoire frigorifique refroidie par le système Rouart.

lier de ce système est que, grâce à la grande quantité de saumure en circulation dans ces murettes, l'action du froid peut se continuer longtemps après l'arrêt de la machine. Ainsi, lorsque le samedi les bouchers emmagasinent beaucoup de viande, il n'est pas nécessaire de continuer à marcher beaucoup plus longtemps, et le lendemain dimanche, on peut se dispenser complètement de faire marcher la machine ; la provi-

sion de froid contenue dans les murettes continue son action, et la température ne commencera à s'élever dans la chambre que le lundi matin, au moment où l'on remet de nouveau la machine en marche.

Dans le système H. Rouart, on utilise, en la transformant, l'ancienne armoire frigorifique en usage dans la plupart des boucheries. Au lieu de garnir ces armoires de glace, ce qui produit très peu de froid, donne de l'humidité et entraîne une dépense très élevée, on place à la partie supérieure une tuyauterie dans laquelle la détente du gaz ammoniac produit un froid très intense et très sec.

L'appareil producteur de froid forme un ensemble complet qu'il suffit de fixer sur le sol et de relier à des tuyauteries d'arrivée d'eau et de

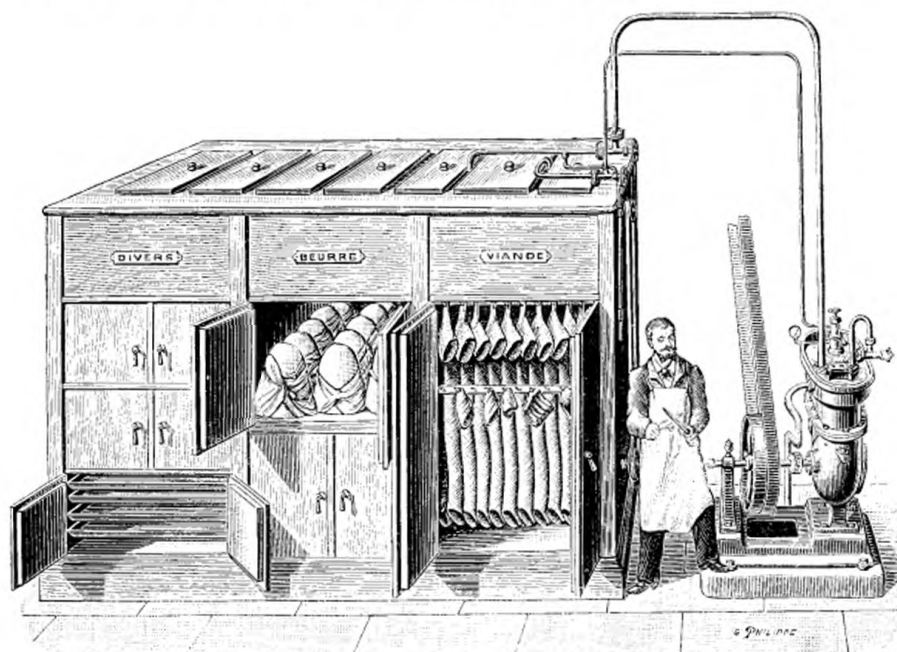


Fig. 433. — Réfrigération d'une armoire par le système Douane.

gaz. Non compris le congélateur ou la tuyauterie de refroidissement (variable suivant les cas), il nécessite un emplacement de $1^{\text{m}},73$ sur $0^{\text{m}},80$ et $1^{\text{m}},43$ de hauteur.

Le socle contient le serpentín liquéfacteur et porte :

1° A sa partie supérieure, le moteur à gaz ou à pétrole ;

2° Sur le côté, le cylindre compresseur actionné directement par l'arbre manivelle, et le séparateur d'huile.

Pour le mettre en route il suffit de donner une impulsion au volant et d'ouvrir les différents robinets. Une fois en marche il fonctionne seul.

Appliqué à la conservation des viandes, poissons, gibiers, volailles, cet appareil permet de produire un air froid et sec, exempt de toute humidité et assure par suite la conservation dans les meilleures conditions de sécurité et d'économie. Il supprime l'emploi de la glace avec ses nombreux inconvénients, humidité, fonte, emmagasinage, manipulation, etc., et produit une sensible économie dans les frais d'exploitation.

Il est difficile d'indiquer très exactement la quantité de matières qui pourront être refroidies et conservées, cette quantité variant avec leur nature, leur température, la nature des isolants, la température extérieure, etc.

On peut cependant admettre que dans les conditions ordinaires et en supposant un abaissement de température de 15° , cet appareil suffira au refroidissement d'une pièce de $1^{\text{m}},75$ sur $2^{\text{m}},50$ sur $2^{\text{m}},30$ contenant de 600 à 1 000 kg. de viande suivant la température et la durée de conservation.

CHAPITRE V

CONSERVATION DES FRUITS PAR LE FROID.

La question de la conservation des fruits n'est pas nouvelle : elle se pratique déjà en grand en Amérique et en Angleterre ; mais elle a paru être longtemps limitée à la conservation pendant le transport, soit par voie ferrée, soit par voie maritime grâce à des wagons frigorifiques et à des chambres froides installées à bord des bateaux.

A l'heure actuelle, l'Angleterre a des fruits de toutes sortes durant toute l'année et cela grâce aux transports frigorifiques.

En effet, la saison des fruits au Cap commence en janvier pour se terminer au mois de mai, au moment où l'Australie commence ses envois à la Mère-Patrie ; après l'Australie, l'Angleterre se fournit elle-même avec l'aide de l'Amérique qui a perfectionné mieux que tout autre pays ses appareils frigorifiques.

Il n'y a pas encore douze ans, pendant une très grande partie de l'année presque tous les fruits, même ceux qui ne passent pas pour rares, comme les pommes par exemple, étaient d'un prix tellement inabordable en Angleterre que la plus grande partie de la population ne pouvait s'en permettre la consommation.

C'est seulement depuis que la production de l'Australie, du Sud-Afrique, des États-Unis a été stimulée par l'établissement de transports frigorifiques que l'Angleterre a vu, sous ce rapport, sa richesse et son bien-être s'accroître d'une façon toute spéciale.

Mais ce résultat n'a pas été obtenu sans tâtonnements.

Il y a dix ans, on envoya du Cap à titre d'essai quelques caisses de fruits, qui furent trouvés en Angleterre mal conservés et de qualité inférieure ; bien que très désappointés par ce résultat peu encourageant, les

cultivateurs travaillèrent avec acharnement à l'amélioration de leurs produits en replantant entièrement leurs vergers avec des plans choisis et soignés. Madère, l'Europe et même le Japon furent mis à contribution.

Quatre ou cinq ans plus tard, les fruits du Cap étaient fort appréciés à Covent-Garden.

Quelques années avant sa mort, Cecil Rhodes s'occupa avec ardeur de l'extension du commerce fruitier au Cap; il fit établir 45 fermes dans les districts de Paarl et de Stellenbosch où le sol et le climat sont favorables; il en obtint les meilleurs résultats. Voici d'ailleurs le nombre de caisses de fruits exportées du Cap en Angleterre pendant les cinq dernières années.

	Gaisses
1899	10.817
1900	17.336
1901	17.263
1902	14.998
1903	21.968

Le raisin, les prunes et les pêches, seuls en remplirent en tout 19,776.

Le reste contenait des poires, des abricots, des brugnons, des coings et quelques ananas.

La méthode d'emballage est fort simple; les boîtes ont $45 \times 25 \times 5$ centimètres intérieurement, quand elles doivent contenir des pêches et des prunes.

Elles contiennent en général 20 à 24 des premières ou 26 à 30 des secondes.

Chaque fruit enveloppé dans un papier très propre est posé sur un lit de sciure de bois qui remplit tous les interstices et empêche ainsi le moindre déplacement du fruit en cas de collision de la boîte. Cet emballage permet cependant dans la boîte l'entrée de l'air froid des frigorifiques.

Les boîtes à raisins ont $60 \times 45 \times 15$ centimètres; elles contiennent de 15 à 20 livres de raisin; l'emballage est le même que pour les fruits ci-dessus désignés.

Jusqu'à ces derniers temps, les commerçants de Capetown manquaient de frigorifiques pour tenir leurs fruits en état avant de les envoyer et ils étaient obligés de les cueillir le plus près possible du moment de l'envoi.

Cette lacune est comblée et le frigorifique a été construit. De cette manière, les cultivateurs peuvent choisir le moment de la cueillette avec beaucoup plus de soin et les fruits en sont plus beaux et plus faciles à conserver.

Ils peuvent ainsi cueillir les fruits bien secs, ce que la rapidité de l'emballage ne leur permettait pas autrefois ; l'humidité causant souvent de grands dégâts, ceux-ci sont maintenant parfaitement évités.

On arrive même à conserver aux fruits leur duvet qu'ils perdent si facilement une fois cueillis et toute l'apparence de fraîcheur et de beauté qu'ils ont sur l'arbre.

Les envois du Cap, si réussis, ont pris maintenant une telle extension que l'Angleterre ne les absorbe plus entièrement et que Paris, Berlin, La Riviera, New-York en ont aussi leur part ⁽¹⁾.

D'autre part, on ne se rend en général pas bien compte de l'importance des dépôts frigorifiques destinés à la conservation des fruits.

C'est ainsi qu'en 1901, sur une surface totale de 43 millions de mètres carrés occupés par des frigorifiques en Amérique, 13 millions de mètres carrés étaient réservés à la conservation des fruits, et représentaient 600 entrepôts.

Depuis cette époque le nombre s'en est fortement accru, en particulier dans les contrées productrices de pommes et auprès des vergers ou des stations de chemins de fer.

La liste suivante représente les villes dans lesquelles on a conservé aux environs de décembre 1902, plus de 75,000 barils de pommes.

	Barils
Chicago	431.700
New-York	200.000
Philadelphie et environs	200.000
Rochester.	150.000
Saint-Louis	120.000
Boston et environs	102.000
Indianapolis	100.000
Leroy (Etat de New-York)	100.000
Brighton —	90.000
Lockport —	90.000
Albion —	86.000

Le tableau suivant représente les Etats dans lesquels plus de 100,000 barils furent emmagasinés à la même époque.

1. Accroissement considérable du commerce des fruits du Cap (*Ice and Cold Storage, février 1904, p. 56*).

New-York	967.000
Illinois	524.400
Missouri	327.000
Pensylvanie	220.000
Ohio	135.800
Massachusetts	118.000
Indiana	108.500

Ces nombres ne comprennent même pas les grandes quantités qui furent conservées dans des caves ou des entrepôts de peu d'importance disséminés un peu partout.

Enfin pour donner une idée rétrospective des quantités de pommes conservées dans des entrepôts communs et dans des frigorifiques, MM. Pardell et Fulton ont donné un tableau relatant les chiffres correspondant depuis 1898.

	En frigorifiques	En entrepôts communs
1898.	800.000	400.000
1899.	1.518.750	634.500
1900.	1.226.900	794.000
1901.	1.771.200	138.000
1902.	2.978.050	1.236.750

Dans ces nombres ne sont pas comprises les quantités de pommes conservées au Canada et dans la Nouvelle-Ecosse, quantités égales à 437,200 en entrepôts communs et 32,800 en frigorifiques (1).

La réfrigération des fruits demande des manipulations et des soins tout spéciaux.

La vie de l'organisme vivant que constitue le fruit doit être très ralentie par la réfrigération mais non pas supprimée. Quand le fruit meurt, c'est de vieillesse en quelque sorte, ou bien il a été tué prématurément par des parasites ou des influences extérieures quelconques. Il a perdu alors toutes ses qualités et ce n'est pas ce but que l'on vise en le mettant dans un entrepôt frigorifique.

Aussi doit-on examiner avec le plus grand soin les fruits avant de les porter au frigorifique; il est incontestable que s'ils sont déjà trop avancés en maturité ou tachés ou s'ils portent des spores de champignons et de moisissures, la réfrigération ne leur rendra pas les qualités qu'ils

(1) *Pommes réfrigérées*, par G. Harold Pardell et S.-H. Fulton. (Bulletin n° 48 du ministère de l'Agriculture des Etats-Unis: Ice and Refrigeration, janvier 1904, p. 43).

ont perdues et elle n'entravera que fort peu de temps la détérioration qui les menace.

La réfrigération des fruits protège ceux-ci contre les attaques ultérieures, mais elle ne les guérit pas de celles qu'ils ont déjà subies.

Pour que la conservation des fruits soit bien faite, il faut que la température du « store » soit parfaitement uniforme ; si elle est sujette à des fluctuations plus ou moins considérables, on ne doit attendre aucun bon résultat de la conservation.

La durée de conservation que peut atteindre les fruits est assez variable.

Des expériences intéressantes ont été exécutées à ce sujet à Dartford dans le comté de Kent, sur l'initiative du Conseil général. La plus grande rigueur scientifique y a présidé ; les essais ont été effectués dans un petit dépôt que les directeurs actuels des établissements Hall ont installé à côté de leur usine.

Les essais, d'après J. de Loverdo (*op. cit.*), ont porté sur un grand nombre de fruits et ont été comparatifs. La température variait avec le compartiment et dans chaque compartiment les fruits étaient déposés dans trois conditions différentes :

- 1° Abandonnés à eux-mêmes ;
- 2° Enveloppés dans du papier de soie ;
- 3° Enveloppés dans du coton.

L'abaissement de la température des chambres était obtenu à l'aide d'un courant d'air refroidi par le contact de la solution incongelable, courant qui balayait incessamment l'humidité qui tend à se former à la surface des fruits. Parmi les fruits les plus répandus, l'auteur a cité :

Fraises. — Les fraises ont été placées dans trois compartiments différents. Dans le premier la température a été maintenue pendant toute la durée de l'expérience à 5°6 centigrades, dans le second à 2°2 centigrades et dans le troisième à — 1°1. Au bout de quelques jours on a reconnu la première température comme insuffisamment basse. Au bout de quinze jours, les fruits exposés à 2°2 commençaient à se ramollir, tandis qu'au contraire, après trois semaines, les fruits maintenus à — 1°1 (30° F) et enveloppés dans du coton présentaient un aspect parfait, et malgré la température si basse, ils n'étaient point gelés.

Dans ce même compartiment, la conservation a été moins bonne pour les fruits enveloppés dans du papier de soie, et tout à fait insuffisante pour les fruits abandonnés à eux-mêmes.

Groseilles. — Les expériences avec les groseilles ont porté sur les températures suivantes : à la case n° 1, la température a été maintenue à 2°2; à la case n° 2, on a commencé à — 1°4, puis on a élevé la température à 0°; au n° 3, on a commencé à — 3°3 et élevé à — 1°1. Les températures du n° 3 ont été reconnues comme trop basses. Les résultats obtenus par les compartiments n°s 1 et 2 ont été parfaits. Les fruits, au bout de six semaines, étaient aussi frais que le premier jour. Ceux qui étaient entourés de papier de soie se trouvaient supérieurs à ceux emballés dans du coton. Donc une température de 0 à 2 degrés et l'emballage dans du papier de soie paraissent présenter les meilleures conditions de la conservation des groseilles.

Cerises. — Les températures ont été échelonnées ainsi : n° 1, 5°6; n° 2, 2°2, et n° 3, — 1°1. Dans le premier compartiment, les fruits se sont maintenus pendant quinze jours; dans le second, ils étaient encore excellents au bout de trois semaines; dans le troisième, les cerises se sont conservées fraîches, juteuses et douces pendant un mois, surtout celles enveloppées dans du coton.

En général, ces petits fruits doivent être emmagasinés avant leur parfaite maturité. On ne doit conserver que des fruits parfaitement sains et les entourer de papier de soie ou, mieux de coton. Les chambres doivent être gardées aussi sèches que possible et la plus grande propreté doit y être observée.

Prunes. — Une série d'expériences a été tentée avec quatre variétés hâtives qui ont été gardées dans les chambres froides pendant deux mois et demi. Les *Greengage* ont été maintenues dans un état parfait. Les *Orléans*, *Diamond* et *Sultan* se sont montrées inférieures, probablement parce qu'elles n'étaient pas suffisamment emballées. Quant à la température, celle de 2°2 a paru un peu trop élevée, et c'est dans les chambres à 3° que les meilleurs résultats ont été obtenus. Une autre variété *Victoria* donna des résultats encore meilleurs que la *Greengage*.

Pommes. — Différentes variétés de pommes ont été placées dans des chambres à 2°2 et — 1°1. La température de 2 degrés a donné le meilleur résultat.

La durée de la conservation dépend beaucoup de la variété; il y a des variétés qui peuvent supporter parfaitement deux ans de magasinage. Les pommes n'ont pas besoin d'être enveloppées.

Nous verrons plus loin que d'autres expériences ont été faites en Amérique avec des fruits de cette nature.

Poires. — Les *Beurrés* et *Doyennés* se conservent parfaitement pendant quatre à cinq mois. La température qui paraît le mieux convenir à ces fruits est la même que pour les pommes.

Pêches. — A Dartford on a conservé des pêches telles que *Royal Georges* pendant deux mois dans un état parfait. Elles peuvent d'ailleurs se conserver sans altération pendant un temps bien plus long, mais elles perdent alors leur parfum.

La température la plus convenable est de 0 degré.

Tomates. — On les emmagasine un peu avant leur maturité au moment où elles passent du jaune au rouge. On a pu les conserver dans un état assez satisfaisant pendant deux mois à la température de 2°. Il faut avoir soin d'enlever le pédoncule pour éviter qu'une tache noire se forme au sommet des fruits.

Bananes. — Les bananes enfin sont importées réfrigérées en grande quantité en Angleterre de l'île de la Jamaïque. Les bananes sont cueillies un peu vertes et maintenues pendant toute la traversée, qui dure une quinzaine de jours, à une température de 10 à 12 degrés au-dessus de zéro. Les machines employées pour le maintien de cette température sont là encore le plus souvent des machines à acide carbonique (1).

Les essais ont été confirmés depuis, au moins quant aux pommes, par des recherches pratiquées en Amérique.

Le ministère de l'Agriculture des États-Unis a fait procéder à une série très complète d'expériences destinées à montrer l'effet de la réfrigération sur les pommes.

On a procédé durant deux saisons aux essais suivants :

1° Comparaison entre un grand nombre de variétés cultivées en des régions différentes et ces mêmes variétés cultivées dans des conditions autres. Les fruits étaient réfrigérés dans des boîtes d'une contenance de 50 livres, à la température de 0°. La moitié des fruits de chaque boîte était enveloppée de papier.

2° Détermination de l'influence des diverses méthodes commerciales de conservation et de culture des pommes dans toutes les régions des États-Unis.

De chaque variété, des échantillons étaient pris à toutes les époques

(1) J. de Loverdo (Rapport, etc. Bulletin du ministère de l'Agriculture, *op. cit.*).

de la maturité : quand le fruit est entièrement vert, puis légèrement coloré, puis complètement coloré mais encore dur, etc.

La moitié de ces différentes unités était envoyée immédiatement au store frigorifique tandis que l'autre était laissée deux semaines au verger après la cueillette avant d'être réfrigérée ; cette moitié était enveloppée et recouverte de papier jusqu'à cette date.

3° Détermination de l'influence des diverses conditions de culture sur les qualités propres au fruit. Comparaison entre les différents sols au point de vue de la culture des pommiers.

4° Détermination de l'état du fruit aux diverses températures de réfrigération — 1°, 0°, + 2°, etc.

5° Détermination de l'état du fruit et de sa valeur à sa sortie du frigorifique.

Tous les fruits qui ont servi à ces expériences provenaient des États du Kansas, de Missouri, de l'Illinois, de Michigan, de la Virginie, de la Caroline, de Delaware, du Maine, du Massachusetts, et de New-York.

Ils ont été réfrigérés dans un certain nombre d'entrepôts américains tels que Washington Market C^{ie}, Washington D. C., Reading Terminal Market à Philadelphie, Pa ; Quincy Market Cold Storage C^{ie}, Boston, Mass. ; Buffalo Cold Storage C^{ie}, Buffalo N. Y. ; Western Cold Storage C^{ie}, Chicago, Ill. ; Twin City Ice and Cold Storage C^{ie}, Champaigne, Ill. ; Armour Packing C^{ie}, Kansas City, Mo.

Il était, en effet, indispensable de faire les essais dans des endroits différents afin de tenir compte des conditions climatériques variables.

Les auteurs ont également étudiés les facteurs qui influencent le pouvoir de conservation des pommes, en quelque sorte, leur faculté de rester en bon état.

On croit en général que les fruits les plus colorés, qui paraissent le plus avancés en maturité se conservent moins longtemps que ceux mis au store encore verts.

Mais à côté de ces vagues appréciations il y a des facteurs très importants et que l'on est très porté à négliger ; par exemple le manie-ment des fruits depuis la cueillette jusqu'à leur repos aux frigorifiques. Ils passent de mains en mains plus ou moins propres, conservant d'elles souvent des souillures indélébiles.

Il faut les toucher le moins possible. Quant à la plus ou moins longue conservation présumée, la couleur primitive du fruit n'a rien à y faire ; telle pomme tout à fait mûre est à peine rosée, tandis que

telle autre, très rouge, n'est pas du tout arrivée à maturité; cela dépend de l'espèce et de la nature même du fruit; en effet, la couleur du fruit n'est pas toujours une preuve du moment de la maturité; mille influences extérieures telles que la plus ou moins grande quantité de feuilles de l'arbre, stimulé par des engrais spéciaux influencent la couleur de la pomme sans avoir aucune action sur sa maturité.

Ce qui influence, le plus souvent, malheureusement l'état du fruit, c'est le temps trop long qui s'écoule entre la cueillette ou le dépôt au verger et l'entrée au store frigorifique. Plus ce temps est court, plus la conservation des pommes sera longue, en particulier quand la cueillette a eu lieu par des températures élevées.

Tous les champignons et moisissures qui constituent des maladies de la pomme prennent à ce moment naissance sur le fruit et il n'y a plus moyen d'arrêter leur action, souvent longue à se dévoiler mais toujours sûre ⁽¹⁾.

Il est quelques fruits sur lesquels nous pouvons plus particulièrement appeler l'attention de nos lecteurs. Les poires, par exemple, ont été en Amérique l'objet de recherches très exactes et l'opération de leur conservation est pour ainsi dire mathématique (*Cold Storage* de New-York).

Les poires doivent être cueillies un peu avant leur maturité complète alors qu'elles sont parvenues à leur presque entier développement. Elles sont placées dans la chambre frigorifique aussitôt après la cueillette. La température qui leur convient le mieux est celle de 0° C.

Si l'on voulait permettre une lente maturation, il faudrait employer des températures de 2° et même de 4° C.

Les fruits doivent être enveloppés et emballés; deux précautions qui, pourvu que l'aération soit suffisante permettent un refroidissement régulier et empêchent les flétrissures du fruit.

La conservation de la pêche est plus difficile. Elle doit être introduite dans la chambre froide ferme en chair et vivement colorée. On peut la conserver 15 jours à 3 semaines à la température de 0° C. La conservation ne dure que 10 à 15 jours à la température de 2° C.; elle est à peine de 8 jours à 4° C.

En pratique, quels que soient les fruits considérés, pour bien les conserver il faut réunir les conditions suivantes :

(1) H. Pardelle et S.-H. Fulton. (Bulletin du ministère de l'Agriculture, U. S. *op. cit.*).

1° Loger les fruits dans un espace excessivement restreint de façon que le volume d'air qui entoure ces fruits soit le plus faible possible.

2° Maintenir ces fruits à l'abri de la lumière.

3° Maintenir une température de conservation la plus fixe possible, et cela pour que les liquides contenus dans les fruits ne subissent ni dilatation, ni rétraction. Le fait du changement de leur densité variant avec la température provoque à la longue une désagrégation intérieure du fruit et le rend « cotonneux ».

4° Eviter de renouveler l'air qui se trouve en contact avec les fruits.

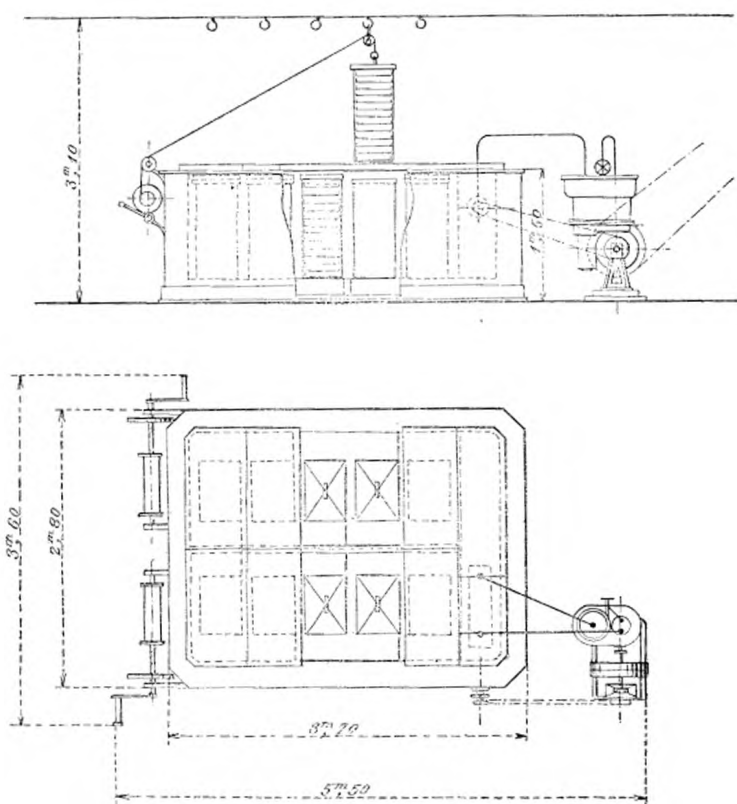


Fig. 136. — Fruitier frigorifique système Corblin et Douane.

5° Supprimer l'obligation d'introduire du personnel dans les lieux où on conserve les fruits.

Les conditions doivent être réalisées soit dans les entrepôts frigorifi-

ques, soit dans des appareils spéciaux destinés à la conservation des fruits.

On peut se servir de chambres froides à parois isolantes analogues à

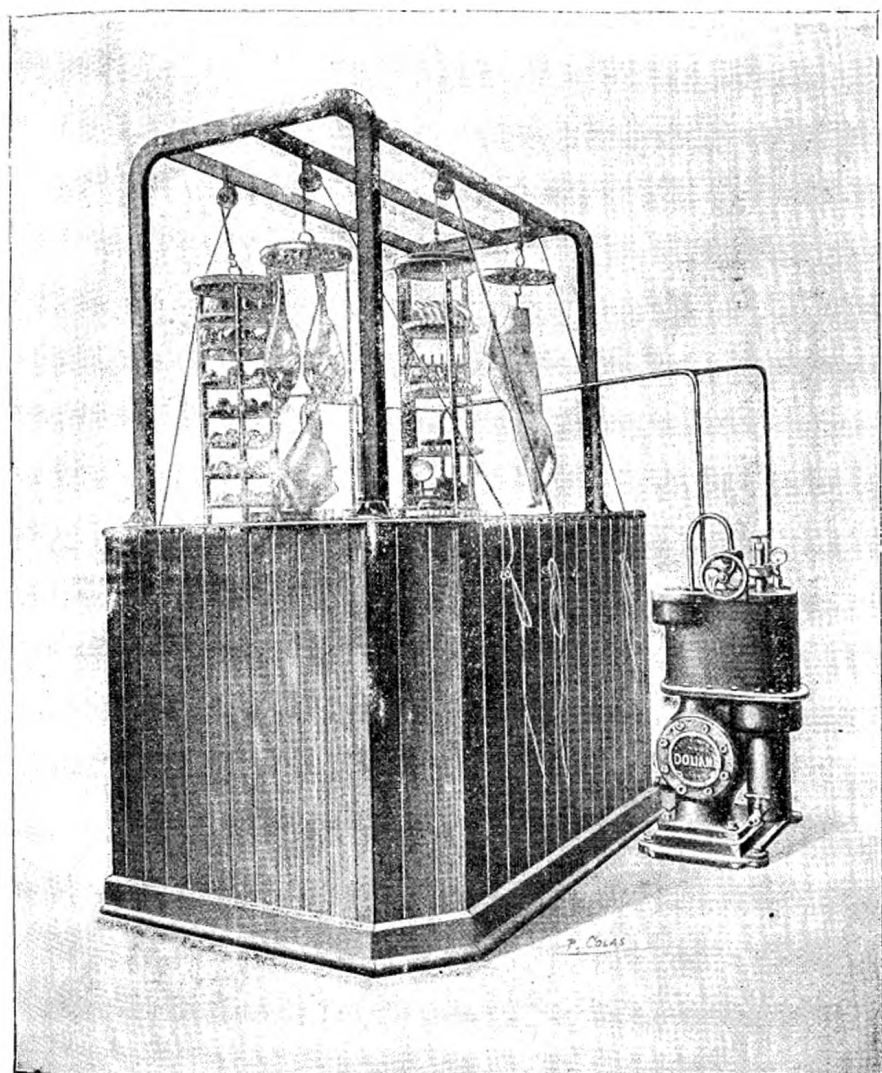


Fig.137. — Frigorifère alcoolane pour conservation des beurres, viandes, volailles, poissons, gibiers fruits et légumes.

celles que nous avons décrites pour d'autres denrées ou bien d'appareils spéciaux fabriqués uniquement en vue de la conservation des fruits et des denrées analogues.

Avec les chambres froides, on réalise incomplètement les conditions éphémères d'une bonne conservation. Notamment, le volume d'air qui entoure les fruits est relativement considérable du fait de l'obligation de laisser dans les chambres froides des passages permettant d'introduire les fruits, d'aller les visiter et les retirer. De plus, les entrées du personnel forcent, par l'ouverture des portes, à renouveler l'air en contact avec les fruits. La présence des personnes dans l'intérieur des chambres a le double inconvénient, d'abord de les faire travailler dans une atmosphère froide, de provoquer un dépôt d'humidité sur les fruits provenant de la vapeur d'eau résiduaire de la respiration, aussi de faciliter la mise en suspension de germes qui sans cela resteraient accumulés sur le sol.

La fixité de la température peut être obtenue facilement avec des appareils marchant constamment de jour et de nuit, ou avec des irradiateurs placés dans les chambres, emmagasinant le froid nécessaire soit sous forme de saumure frigorifique, soit sous forme de glace, soit sous forme d'un mélange réfrigérant, en quantité suffisante pour parer aux arrêts de l'appareil. Avec ces dispositifs la fixité de la température peut être sujette encore à variation. Elle est à la merci d'une série de causes extérieures : surélévations subites de la température, négligences de la part du personnel chargé à tout instant de contrôler cette température, etc.

Quel que soit le moyen employé pour réfrigérer les chambres froides, il y a toujours un certain déplacement de l'air provoqué, soit par des engins mécaniques, soit par la différence de densité de l'air chaud à l'air réfrigéré au contact des parois des irradiateurs. Ce mouvement est absolument contraire à la conservation de l'aspect et du goût du fruit dont on provoque la dessiccation et la disparition du parfum.

L'appareil de Corblin et Douane paraît répondre aux objections les plus graves formulées contre les chambres froides.

Dans cet appareil, on a recours au refroidissement direct, obtenu en substituant à la chambre à air froid un frigorifère contenant des récipients dans lesquels on introduit les produits, soit en vrac, soit dans des paniers, caisses ou emballages qui les contiennent, soit en les plaçant sur des étagères, et cela suivant les convenances et les usages. Ces récipients ou alvéoles, sont complètement entourés soit de saumure refroidie par un appareil frigorifique quelconque, soit de glace, soit d'un mélange réfrigérant. De cette façon, l'enlèvement des calories se fait,

non plus à travers une masse d'air, mais seulement à travers les parois métalliques des récipients, avec interposition tout au plus d'une mince couche d'air séparant ces parois du produit lorsqu'il n'y a pas tout à fait contact.

Les fruits, soit emballés, soit placés sur des étagères, sont introduits par la partie supérieure dans les alvéoles à l'aide d'un appareil de levage quelconque, palan, grue ou pont-roulant, selon que les dimensions de l'installation rendent utile l'emploi d'un quelconque de ces appareils. Comme l'air froid, par suite de sa densité plus grande, tend à se cantonner dans le bas, les rentrées d'air extérieur sont ainsi presque complètement évitées, même pendant le chargement et le déchargement. D'ailleurs, la manœuvre est toujours très rapide puisque les récipients ou alvéoles sont munis, la plupart du temps, à l'intérieur, d'étagères qui sont introduites et enlevées avec tout leur contenu. En temps normal, bien entendu, c'est-à-dire en dehors des manœuvres d'entrées et de sorties, chaque récipient est hermétiquement fermé et l'ensemble du frigorifère également clos.

La forme et les dimensions des récipients ou alvéoles, comme celles du frigorifère lui-même, varient selon la nature des fruits à conserver et l'importance de l'installation.

Les principaux avantages que réalise cette disposition sont les suivants :

1° En localisant pour ainsi dire le froid produit à la réfrigération des fruits sans avoir à combattre les rentrées de chaleur par les parois de chambres froides, on arrive à des appareils beaucoup moins puissants et par conséquent d'un fonctionnement moins coûteux, exigeant moins de force motrice, pour un même nombre de fruits en conservation.

2° Grâce au grand volume de saumure frigorifique ou de glace, ou de mélange réfrigérant qui entoure les récipients ou alvéoles, on obtient plus de fixité dans la température. Dans le cas où le froid est produit par un appareil, on peut ne fonctionner, si on le désire, que quelques heures par jour.

3° Il n'est plus besoin d'exiger du personnel d'entrer en été par les fortes chaleurs dans les chambres froides à température très basse.

On a expérimenté cet appareil en vue de l'exposition de chrysanthèmes de 1901, avec des pêches cueillies les 9 et 20 septembre et placées dans l'appareil le lendemain de la cueillette. Elles appartenaient aux genres *Mignonne ordinaire*, *Belle Beaune*, *Impériale*, *Bononones*,

Alexis Lepère, Galande. Au bout de 86 jours elles étaient encore parfaitement parfumées. Des pêches abimées placées à côté des fruits sains se sont encore conservées pendant un mois, et ce n'est qu'au bout de ce temps qu'elles ont commencé à pourrir.

Les pêches restées saines doivent être sorties avec précaution de l'appareil afin d'éviter un changement brusque de température et dans ces conditions on peut les conserver pendant un temps relativement long, une dizaine de jours à l'air sans crainte de les voir s'abîmer.

Les pêches doivent être mises dans l'appareil un peu avant leur pleine maturité et on peut soit les envelopper, soit les laisser à peau nue.

Les expériences que nous venons de rapporter, les exemples que nous venons de citer montrent combien la conservation des fruits est une chose pratique et quelles sources de revenus elle pourrait être pour la culture française qui pourrait expédier presque dans le monde entier des produits excellents et défiant toute concurrence.

Alors que sur les marchés de Londres, de Berlin, de Saint-Petersbourg se vendent dans d'excellentes conditions les fruits frigorifiés des Etats-Unis et de l'Australie, quel ne serait pas le succès des fruits français expédiés dans ces mêmes capitales après cueillette à maturité et conservation parfaite par transport frigorifique. Je laisse à mes lecteurs le soin de juger me réservant de consacrer un chapitre spécial au retard que présente notre industrie au sujet de l'industrie frigorifique et aux conséquences économiques qui en découlent.

CHAPITRE VI

LES APPLICATIONS DU FROID A LA PÊCHE ET A LA CONSERVATION DU POISSON

La conservation du poisson ne peut se faire efficacement que par le froid. Le poisson maintenu à une température de 0 à + 2° centigrades se conserve facilement pendant trois semaines. Il garde toutes ses qualités hygiéniques et alimentaires. Son aspect extérieur n'est pas modifié.

D'autre part le poisson congelé, transformé en un bloc de glace, quel qu'il soit, quelle que soit sa finesse, se conserve pendant six mois et plus à la condition que sa température soit maintenue entre — 4° et — 6°.

C'est ce qui se passe naturellement en Sibérie où les poissons gelés, les esturgeons, etc., sont communément vendus sur les marchés longtemps après leur prise.

Dans ce dernier cas cependant, l'aspect extérieur est légèrement modifié, le globe de l'œil est plissé, la peau, les téguments, les ouïes ont perdu une partie de leur brillant. Mais les qualités alimentaires sont conservées et le poisson dégelé se conserve aussi longtemps que lorsqu'il vient d'être pêché.

On conserve actuellement les produits de la pêche par l'accumulation de glace dans les calles, ce qui permet de tripler ou de quadrupler la durée de séjour à la mer. Mais le poisson dans ces conditions est lavé par l'eau de fusion, il perd de sa bonne apparence, la glace constitue un poids mort considérable.

L'emploi de chambres frigorifiques à bord du navire pêcheur est incomparablement préférable. M. Lambert ⁽¹⁾, dont la compétence en cette matière est bien connue, décrit ainsi le navire pêcheur idéal :

(1) Conférence faite à Boulogne-sur-Mer le 31 octobre 1902.

Le navire pêcheur peut embarquer au départ une quantité de glace égale au tiers de celle qu'il emporte habituellement. Elle sera très largement suffisante.

Par contre, il sera pourvu d'une petite machine frigorifique exigeant 4 à 8 chevaux de force, d'un encombrement extrêmement restreint et pouvant être placée dans la salle principale des machines du chalutier à vapeur, de façon à être conduite par le mécanicien du bord. Son fonctionnement n'est que de quelques heures par jour au moment de l'entrée du poisson dans les cales. Elle ne constitue ni une cause d'augmentation de personnel, ni une dépense supplémentaire de charbon. La présence d'un cylindre à vapeur de 4 à 5 chevaux de force sera à peine perceptible sur la dépense de charbon du navire.

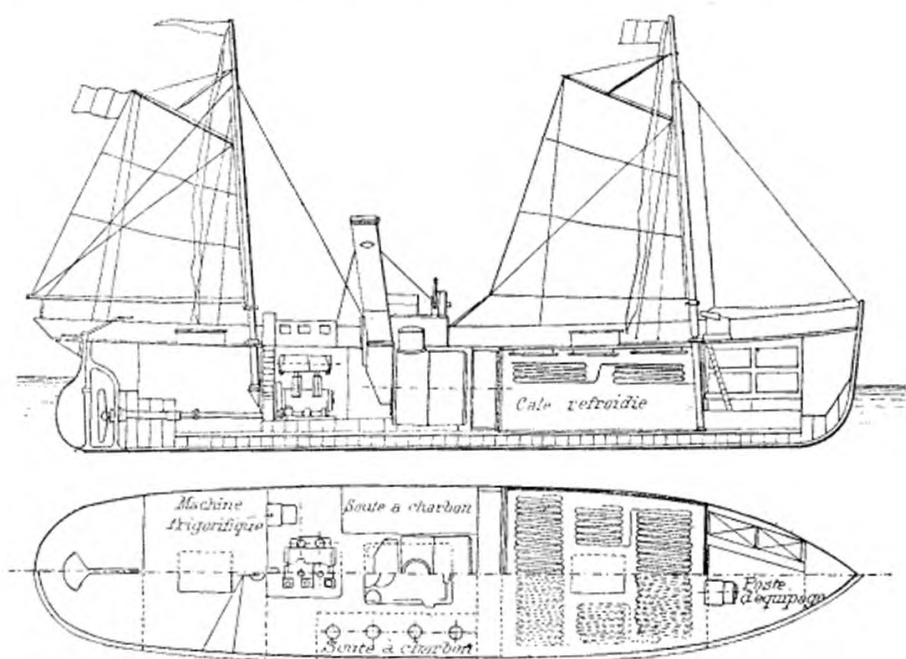


Fig. 138. — Le chalutier à vapeur avec machine et chambre frigorifiques. (D'après Lambert).

La machine frigorifique distribue le froid dans la cale aux poissons au moyen de tuyauteries qui permettent de maintenir la température requise. Le réglage de cette température est très simple. C'est un thermomètre avertisseur électrique avec sonnerie qui indique quand il est nécessaire de faire du froid et qui indique aussi lorsque le degré de froid voulu est atteint.

La cale à poisson elle-même devra être légèrement modifiée. Ses pa-

rois devront être constituées par une cloison isolante de douze à quinze centimètres d'épaisseur, composée de revêtements en planches avec interposition de poudre de liège. Le panneau supérieur sera lui-même rendu bien étanche, de telle sorte que l'ensemble soit en quelque sorte impénétrable pour la chaleur extérieure.

La présence d'une machine frigorifique à bord du chalutier augmenterait dans des proportions considérables le rayon d'action du navire et peut permettre d'atteindre des lieux de pêches jusque là inaccessibles.

Le froid peut et doit être aussi appliqué à la conservation du poisson et à son transport. On obtient dans cette voie des résultats merveilleux. C'est ainsi que les saumons du Canada, congelés immédiatement après leur capture, sont transportés de leur lieu de pêche jusqu'à Southampton dans des navires munis de cales frigorifiques. Il est emmagasiné à son arrivée dans un entrepôt frigorifique et de là expédié, soit en divers points de l'Angleterre, soit sur le continent même, à Hambourg en particulier. Ce port semble être le centre de ravitaillement pour cette denrée. De là on l'expédie à Bâle d'où il revient en France, à Paris même, à Rouen, à Nice, etc. Il en est de même du poisson pêché sur les côtes de France et de Belgique qui est expédié dans les mêmes conditions, par Ostende. Le poisson de Russie se trouve dans le même cas et est expédié en France surtout pendant l'hiver.

Ce sont là les grands centres d'approvisionnements pour les hôtels de touristes et de voyageurs du Midi et des villes d'eaux.

Enfin sur les côtes de Tunisie à Bizerte et dans quelques autres ports, se trouvent aussi des entrepôts frigorifiques destinés au commerce du poisson réfrigéré.

On voit donc toute l'importance de cette application qui ne peut que s'accroître et se développer dans l'intérêt des pêcheurs et des consommateurs. Il est vrai que cela pourra nuire aux bénéfices réalisés par les intermédiaires, car les cours seront unifiés et ne seront plus sujets aux variations dépendant de la température, de l'abondance de la pêche, etc., par suite, la spéculation sera fortement amoindrie.

Il est enfin une application toute spéciale que le froid peut et doit trouver dans la pêche de la morue. On sait ce que c'est que ce dernier poisson. Tout en lui est utilisé ; le corps tout entier, la masse musculaire est salée et conservée pour les usages comestibles ; la tête sert d'appât ou est employée comme engrais ; la roque formée par les œufs est conservée dans le sel pour être vendue plus tard aux pêcheurs de

sardines ; le mésentère même sous le nom de nove est un bas produit quelquefois employé dans l'alimentation ; le foie enfin est la source de l'huile de foie de morue.

La morue est un long poisson fusiforme de 1 m. à 1^m,50 de long, dont le poids atteint quelquefois jusqu'à 8 kg. Sa couleur est foncée sur le dos et très claire sur le ventre avec des variantes suivant les espèces ; c'est ainsi que la grande morue de Terre-Neuve présente sur le dos d'un gris jaunâtre tacheté de brun deux grandes raies blanches qui s'étendent longitudinalement tandis que l'églefin ou morue longue d'Islande présente au contraire une ligne noire latérale.

C'est au milieu du mois d'avril que les premiers bancs apparaissent en Islande et à Terre-Neuve. Aussi les navires armés pour la pêche partent-ils vers la fin de février, la durée de la traversée étant d'environ cinq semaines.

Les bateaux de pêche sont des goëlettes montées par un nombre variable de matelots suivant leur taille et suivant le port d'embarquement ; néanmoins ce nombre qui est de vingt-cinq en moyenne ne tombe pas au-dessous de dix et ne s'élève guère au-dessus de trente. L'état-major du bâtiment est généralement formé par un capitaine et deux officiers, puis l'équipage comprend les matelots proprement dits, un certain nombre d'ouvriers dont la présence est indispensable, enfin un ou deux mousses de 12 ou 14 ans. Tous concourent à la pêche, et aussi, les capitaines cherchent-ils toujours à embarquer le plus de monde possible, car plus le nombre de pêcheurs est grand, plus la pêche est fructueuse. La campagne dure environ jusqu'à la fin d'août, époque à laquelle le poisson remonte plus haut vers le nord.

La pêche a surtout lieu à Terre-Neuve bien que la morue abonde dans un grand nombre de pays, en Islande, en Norvège, en Ecosse, mais c'est le French Shore qui est toujours l'endroit de choix. C'est la partie de Terre-Neuve où, par suite du traité d'Utrecht, nous avons le droit exclusif de pêche et celui d'établir sur la côte les cabanes et les appareils nécessaires au traitement de la morue et à sa préparation. Le lieu de pêche est surtout formé par les bancs alluvionnaires qui entourent l'île et qui ont été déposés par les ice-bergs dont la fonte a laissé tomber au fond de la mer les moraines qu'ils avaient entraînées. En Islande, la pêche est favorisée par l'absence presque complète de nuit, mais en revanche, une brume s'étend sur la mer pendant des semaines entières et rend l'espace qui entoure les vaisseaux absolument opaque.

En Norvège enfin et aux îles Lofoden, la morue est pêchée dans tous les fjords de la côte et c'est là surtout que se prépare l'huile de foie de morue.

On pêche la morue au moyen de filets ou de lignes, les filets sont la *senne* ou la *trappe*, qui permettent de recueillir à la fois d'énormes quantités de poisson. Parmi les lignes les plus employées, la ligne de fond a un intérêt tout particulier. Elle est formée par une corde de 100 m. de long à laquelle sont fixés, de distance en distance, au moyen de cordelettes, des hameçons, amorcés avec un appât spécial que l'on appelle *boëtte*. La *boëtte* est constituée soit par des harengs soit par une sorte de petite morue appelée *capelan*, de la grosseur d'un merlan environ. Enfin, on emploie certains mollusques tels que le *bulot* et la *coque* dont les morues sont particulièrement friandes. La ligne de fond est disposée au moyen de petites chaloupes à fond plat, de cinq mètres de long environ, que l'on appelle des *doris*. Les *doris* portant pêcheurs et lignes installent autour du navire tout un réseau d'appâts. L'extrémité d'une ligne est fixée à une bouée, le milieu à une seconde, l'autre extrémité à une troisième; on la relève douze heures après et on recueille les poissons qui se sont pris aux appâts.

Le poisson subit alors une préparation spéciale dans laquelle nous n'avons pas à entrer ici. Les détails que nous avons donnés sont déjà un peu longs et ne présentent d'intérêt que pour montrer d'une part l'isolement des pêcheurs pendant la campagne, d'autre part l'importance qu'il y a à ne pas manquer d'appât. Aussi, les machines à glace ainsi que l'a montré M. Lambert doivent-elles trouver une application importante dans ce cas. La conservation de la *boëtte*, du *bulot* et de la *coque* dans un état de fraîcheur absolue, au moyen d'une petite machine frigorifique installée à bord du bateau pêcheur, en particulier à bord des chalutiers à vapeur analogues à ceux construits récemment présente-t-elle les plus grands avantages.

La *boëtte* conservée deux mois en frigorifique paraît aussi fraîche que si elle venait d'être pêchée. Il y aurait donc là lieu de donner un courageux et fructueux effort pour l'amélioration d'une pêche si pénible, et augmenter par cela même le bénéfice des pêcheurs et des propriétaires de bateaux.

CHAPITRE VII

LE FROID EN LAITERIE ET BEURRERIE

Les industries du lait : *laiteries, beurreries, fromageries*, retirent des avantages considérables de l'application du froid. Dans les climats tempérés la finesse des produits obtenus résulte d'une judicieuse application du froid.

Le froid en laiterie est appliqué pour la conservation du lait entre le moment où il sort de l'étable et celui où on le livre à la consommation. Il s'applique aussi après pasteurisation pour abaisser rapidement la température du lait au degré le plus bas possible.

Le transport du lait peut se faire, s'il n'est pas de trop longue durée, après un simple rafraîchissement sur un réfrigérant dont il existe de nombreux modèles, et au cas où l'on craindrait une surélévation anormale de la température, en le mettant dans des récipients entourés de glace, ou dans des véhicules réfrigérés, des wagons-glacières.

Si le transport est de longue durée on pourra geler une partie du lait et mettre les glaçons de lait au sein même de la masse dans les récipients.

On peut enfin conserver, pour ainsi dire indéfiniment, du lait convenablement gelé, et le transporter dans des bateaux frigorifiés jusque dans les contrées les plus éloignées.

Au Danemark, par exemple, on réunit dans une station centrale le lait frais provenant des fermes situées dans un rayon déterminé ; on le pasteurise alors vers 75 degrés centigrades, puis on le congèle à une température de — 10 degrés. Les blocs de lait gelé sont entassés dans des récipients d'un volume un peu supérieur à celui des blocs. On remplit alors les interstices laissés entre les blocs avec du lait stérilisé et l'on

ferme hermétiquement les récipients. Ces derniers étant parfaitement remplis et rafraîchis par le bloc de lait glacé qui fond très lentement, les cahots du voyage ne peuvent produire un barattage suffisant pour transformer le lait en beurre. On peut conserver ainsi le lait pendant un temps suffisant pour un transport à grande distance.

C'est ainsi qu'à l'Exposition universelle de 1900 les éleveurs des Etats-Unis avaient pu envoyer au concours de laiterie à Vincennes des échantillons de lait congelé. Quelques instants avant le passage du Jury, au mois de juillet, on décongela les blocs de lait glacé datant de plus de trois semaines et le lait était dans un parfait état : les laits français étaient tournés.

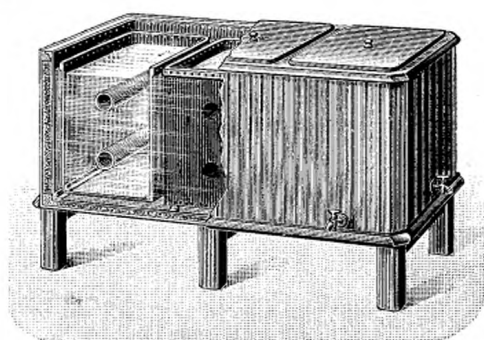


Fig. 139. — Réservoirs à réfrigérer et à conserver le lait au froid

Le froid en beurrerie s'applique d'abord directement au lait, comme nous venons de le dire, depuis l'étable jusqu'au moment où il va être traité pour en retirer la crème. L'emploi judicieux de petites machines à glace permettrait aux producteurs de lait de diminuer les pertes et les frais de livraison ou d'enlèvement du lait, en permettant de le conserver et de ne faire les livraisons ou enlèvements qu'une fois par jour ou même tous les deux ou trois jours.

La beurrerie elle-même peut avoir intérêt, dans certaines régions et dans certaines circonstances, à réfrigérer le lait à l'arrivée dans l'usine.

Le froid trouve aussi une utile application pour abaisser la température de la crème et éviter le développement des ferments qui donne de mauvais goût au produit final.

Pour cette raison dans certaines régions il peut y avoir intérêt à mettre les pots de crème dans un local frigorifique afin de la conserver et de lui permettre de fermenter lentement.

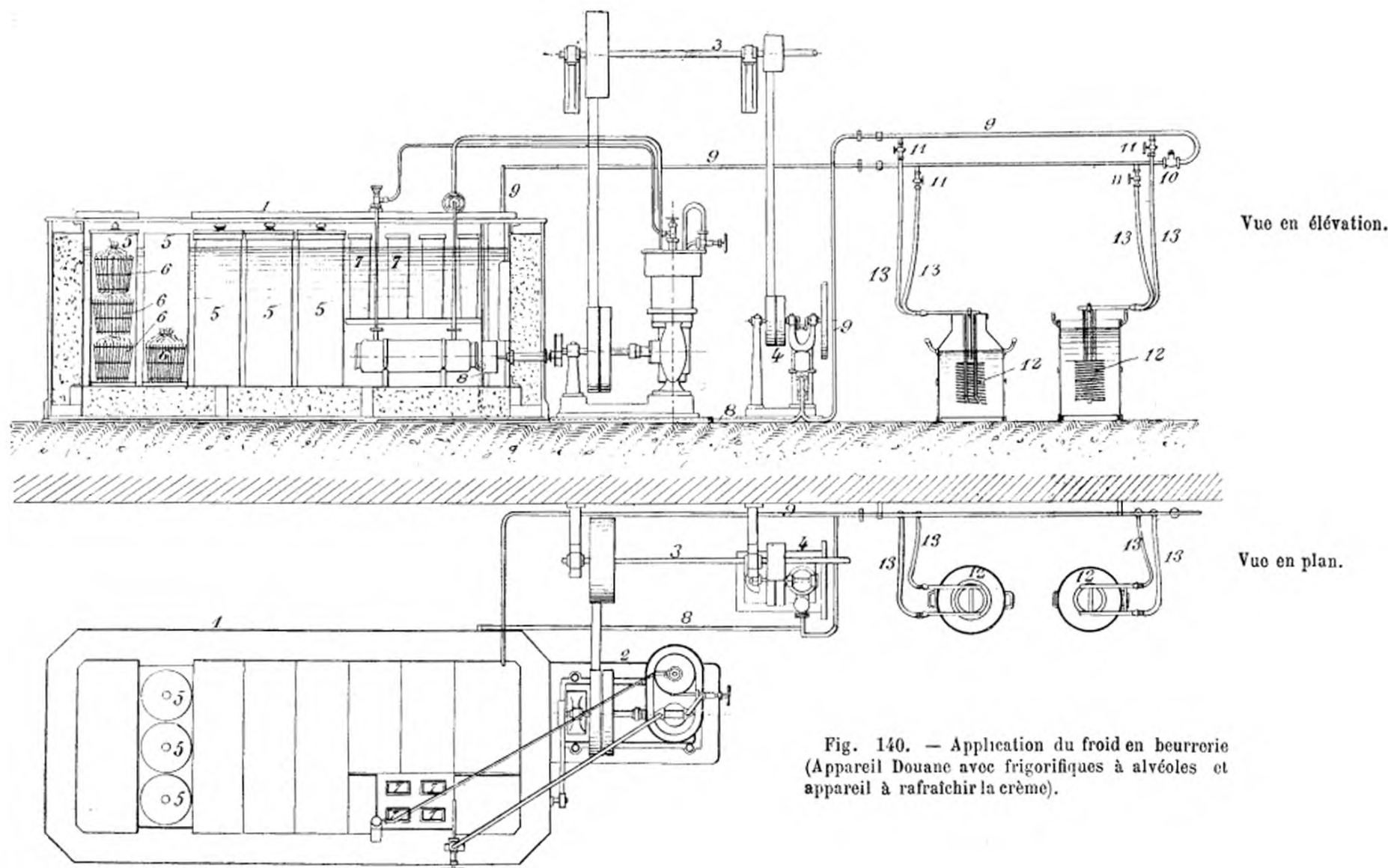


Fig. 140. — Application du froid en beurrerie (Appareil Douane avec frigorifiques à alvéoles et appareil à rafraîchir la crème).

1. Frigorifère alvéolaire. — 2. Compresseur-Liquéfacteur d'appareil Douane servant à la réfrigération. — 3. Transmission actionnant les différents engins de la Beurrerie et sur laquelle est prise par courroie la force nécessaire aux appareils réfrigérants. — 4. Pompe de circulation de saumure. — 5. Alvéoles dans lesquelles on place les mottes de beurre, soit simplement enveloppées d'un linge, soit dans leur emballage. — 6. Mottes de beurre. — 7. Mouleaux pour faire la glace en blocs. — 8. Canalisations d'aspiration de la pompe n° 4. — 9. Canalisations de refoulement de cette pompe. — 10. Clapet régulateur de pression de la saumure réfrigérante. — 11. Robinet de prise de courant de saumure et de retour de cette saumure. — 12. Irradiateurs pouvant se placer dans une cuve à eau, un pot à lait ou un pot à crème pour y réfrigérer le liquide instantanément (Dans la plupart des laiteries un seul de ces irradiateurs pourrait suffire). — 13. Tuyaux flexibles reliant les tubulures d'entrée et de sortie des irradiateurs à la canalisation 9 de saumure.

Nota. — Les conduites 8 et 9 doivent être isolées, soit par un isolant, soit en les plaçant dans un coffre en bois avec interposition de poudre de liège, et cela pour éviter les déperditions de froid.

Ces conduites peuvent être en outre reliées à une source d'eau chaude pour permettre, lorsqu'il est besoin, de chauffer soit l'eau, soit le lait, soit la crème, les irradiateurs de froid servant alors comme radiateurs de chaleur.

Pendant le barattage sous les climats chauds, il peut être utile de réfrigérer l'eau. Il en est de même pour le malaxage du beurre.

Enfin pour la conservation du beurre sans addition de matières étrangères, le froid est indispensable, il l'est d'autant plus, que le beurre raffermi par le froid, acquiert en été sur les marchés, une valeur plus élevée que le beurre mou et coulant.

Le beurre durant un voyage doit, pour une bonne conservation pendant son transport, être maintenu à une température voisine de $+2^0$.

Quant à la fromagerie, il suffit d'attirer l'attention sur la mauvaise qualité de la plupart des fromages en été pour faire ressortir les bienfaits du froid en fromagerie. Pas une cave à fromage ne devait être montée sans la possibilité de pouvoir chauffer en hiver et réfrigérer en été.

Les appareils frigorifiques employés doivent donc, d'après ce que nous venons de dire, pouvoir servir en beurrerie tout à la fois à produire à tout moment de la fabrication du beurre le froid nécessaire soit à l'eau, soit à la crème, soit au beurre lui-même, en même temps à l'affermissement et à la conservation du beurre, et cela pour mettre ce produit à l'abri des variations de cours commerciaux.

La maison Douane a créé pour cela un ensemble mécanique qui répond spécialement à ces desiderata des beurreries et fromageries avec un minimum de dépenses premières et de frais généraux journaliers.

Ce groupement comprend : un frigorifère système Corblin et Douane ; une machine à produire le froid, système Douane à chlorure de méthyle, et des irradiateurs mobiles à circulation de saumure froide.

Le frigorifère, qui peut être de l'importance et des dimensions que l'on désire, remplace les chambres froides en ayant sur celles-ci des avantages multiples. Il donne en même temps de la glace transparente, qui est la plupart du temps indispensable. Enfin, le volant de froid qu'il forme, grâce au volume de saumure qu'il contient, permet de refroidir l'eau, le lait ou la crème au moyen des irradiateurs qui sont figurés à droite du dessin. Ces irradiateurs peuvent être déplacés sur une canalisation établie *ad hoc* et mis en service alternativement là où le besoin s'en fait sentir, à n'importe quel moment de la journée.

Les frigorifères simplifient beaucoup les installations, rendent celles-ci beaucoup plus économiques en tant que frais de premier établissement, ainsi du reste qu'en frais de fonctionnement, et cela en réduisant les pertes de froid dans une mesure très large, en régularisant la tempé-

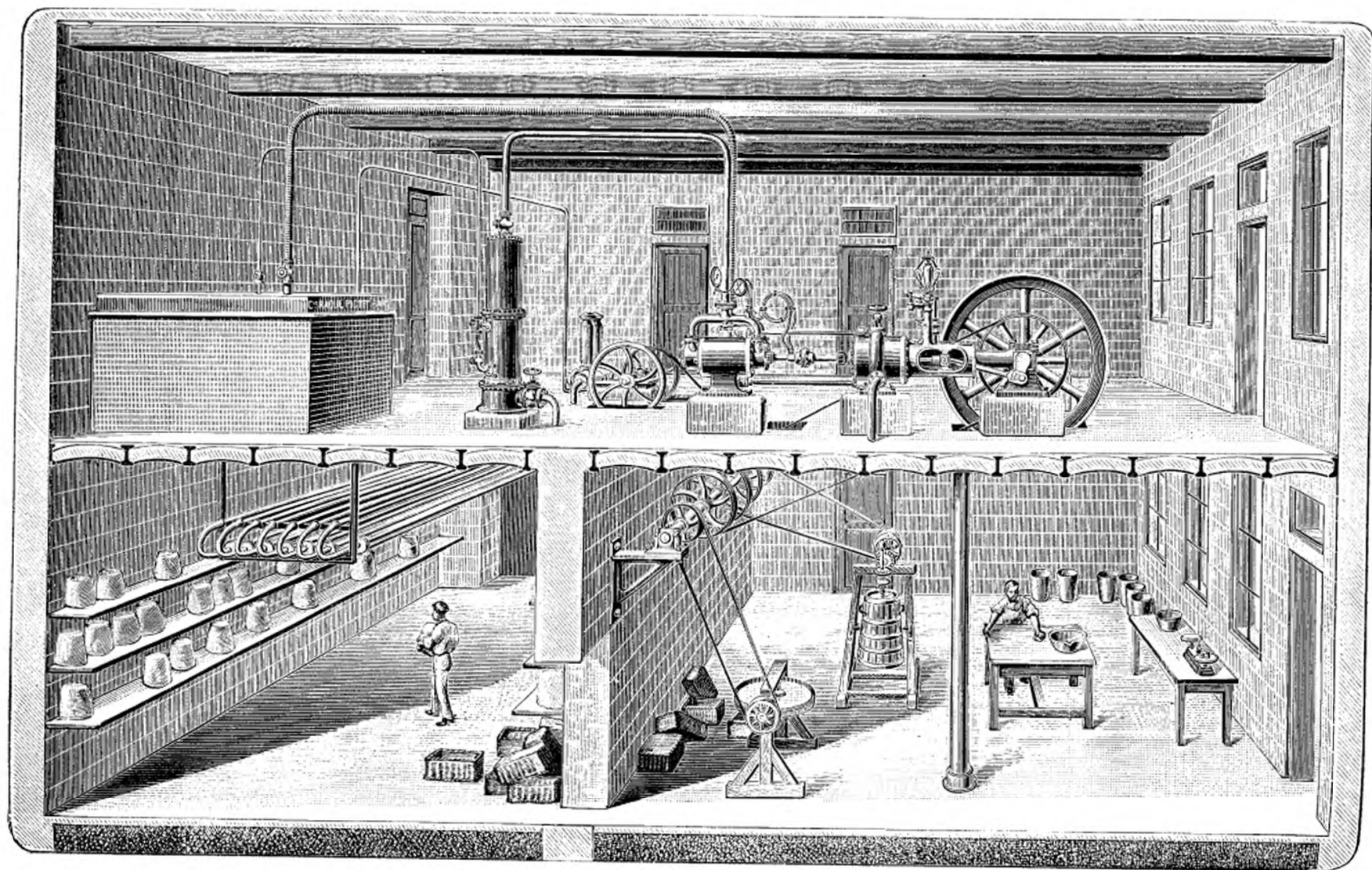


Fig. 141. — Application du Système Raoul Pictet à la conservation du beurre

rature jusqu'à la faire varier seulement de un demi degré par jour pour une marche de 2 heures sur 24, par exemple.

Ces frigorifères-alvéolaires permettent d'employer des machines à froid beaucoup moins puissantes pour les mêmes résultats obtenus pro-

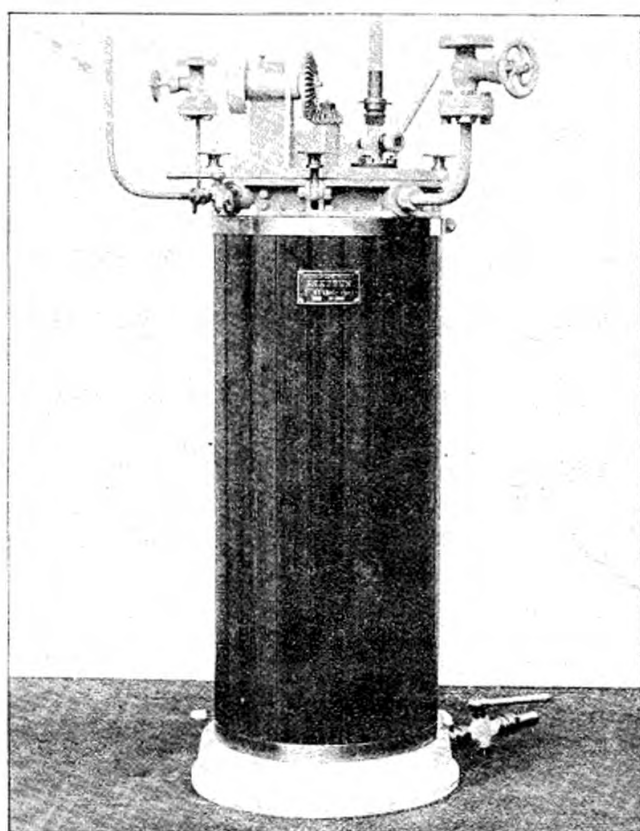


Fig. 442 — Réfrigérant à lait, à détente directe. Système B. Lebrun.

duisant, par exemple, 23 kg. de glace à l'heure là où des chambres froides auraient exigé un appareil de 73 kg. d'où économie des deux tiers de la force motrice, et dans une proportion très considérable, économie de l'eau nécessaire.

Ces frigorifères sont établis spécialement dans le but de donner aux mottes de beurre une consistance uniforme et de les refroidir.

Le frigorifère-alvéolaire peut, d'ailleurs, se prêter à la conservation de toutes les denrées alimentaires et le meilleur indice de son efficacité en est l'application couronnée du plus grand succès qui en a été faite ainsi

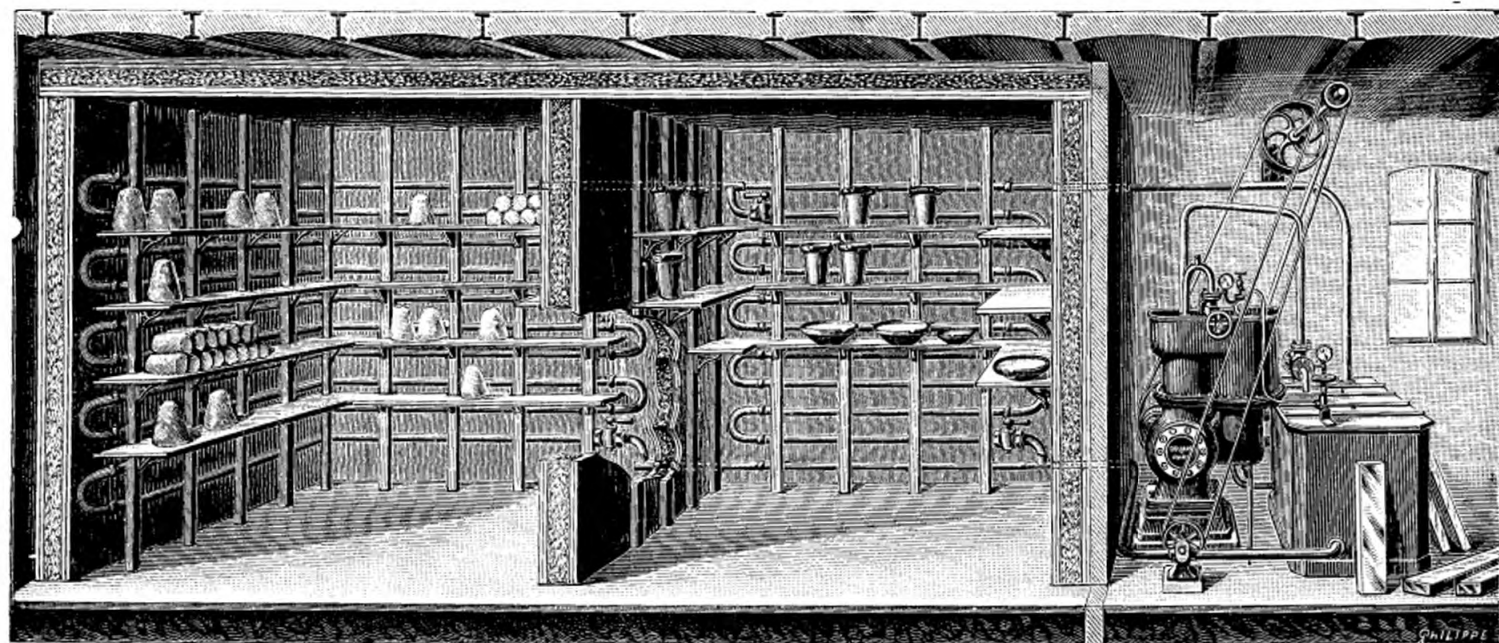


Fig. 143. — Chambres froides avec fabrication de glace pour les industries laitières (Douane).

que nous l'avons vu pour la conservation pendant des mois de fruits, même les plus délicats comme les pêches.

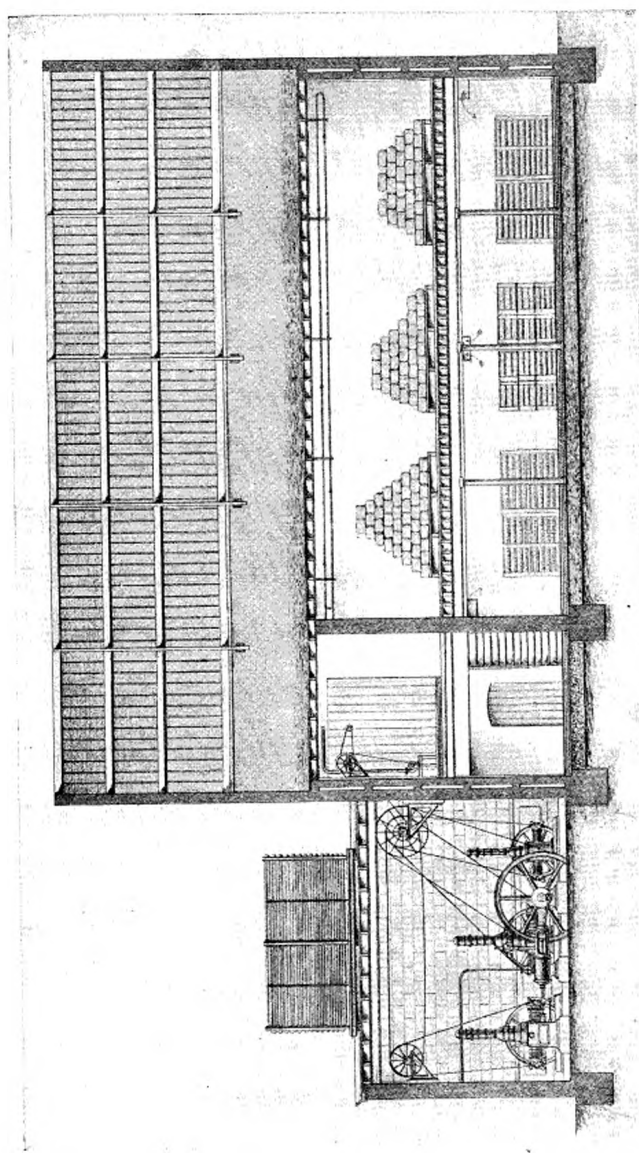


Fig. 144. — Coupe longitudinale au travers de l'usine de MM. Sens et Cie à Stombeck-Beyer (Conservation du beurre et des œufs).

La conservation des œufs à l'état frais, des volailles, des viandes, du gibier, etc., peut être entreprise avec succès, et cela en affectant cer-

taines alvéoles au beurre et les autres aux produits de la région. Cette facilité de multiplier les services à tirer d'une installation frigorifique est intimement liée à l'emploi des frigorifères-alvéolaires. Dans une ou dans des chambres froides on n'a pas la facilité de séparer les produits,

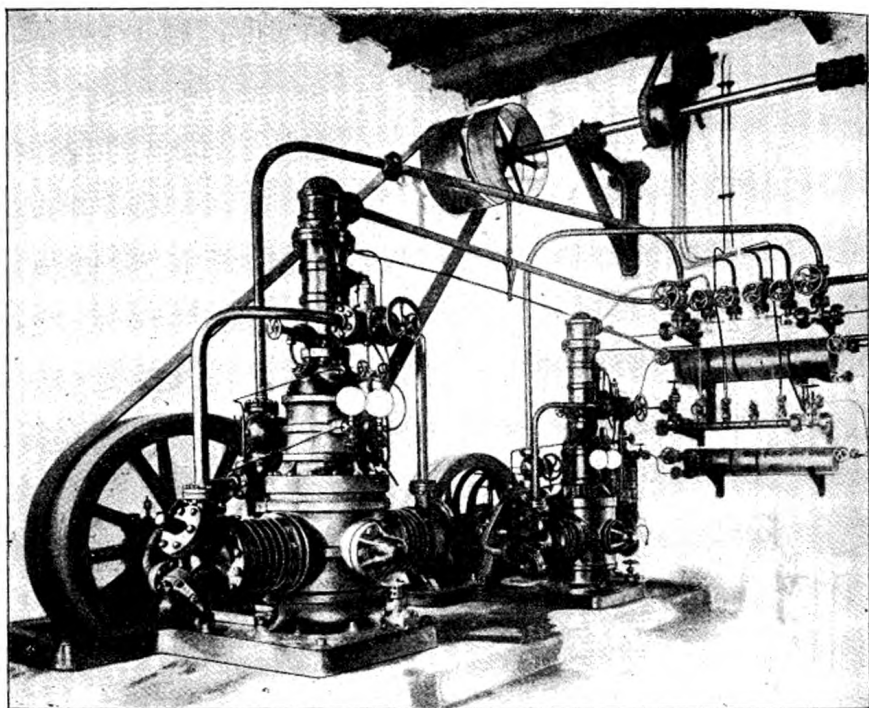


Fig. 143. — Vue des compresseurs de l'usine Søns à Stombeck (Laiterie et Frigorifère).

qui peuvent se nuire les uns aux autres. Dans le frigorifère-alvéolaire, chaque produit est enfermé dans son atmosphère propre sans crainte de voir se mélanger entre elles les différentes atmosphères.

Les machines à acide sulfureux trouvent ainsi très heureusement leur emploi dans les beurreries. C'est ainsi que la fig. 141 montre une laiterie montée avec une machine Raoul Pictet.

Signalons pour les applications à la beurrerie l'appareil réfrigérant à lait ou à crème, à détente directe d'ammoniaque de la maison Lebrun. Cet appareil comprend un réfrigérant en tôle étamée, renfermant un serpentín en étain, dans lequel se détend l'ammoniaque anhydre.

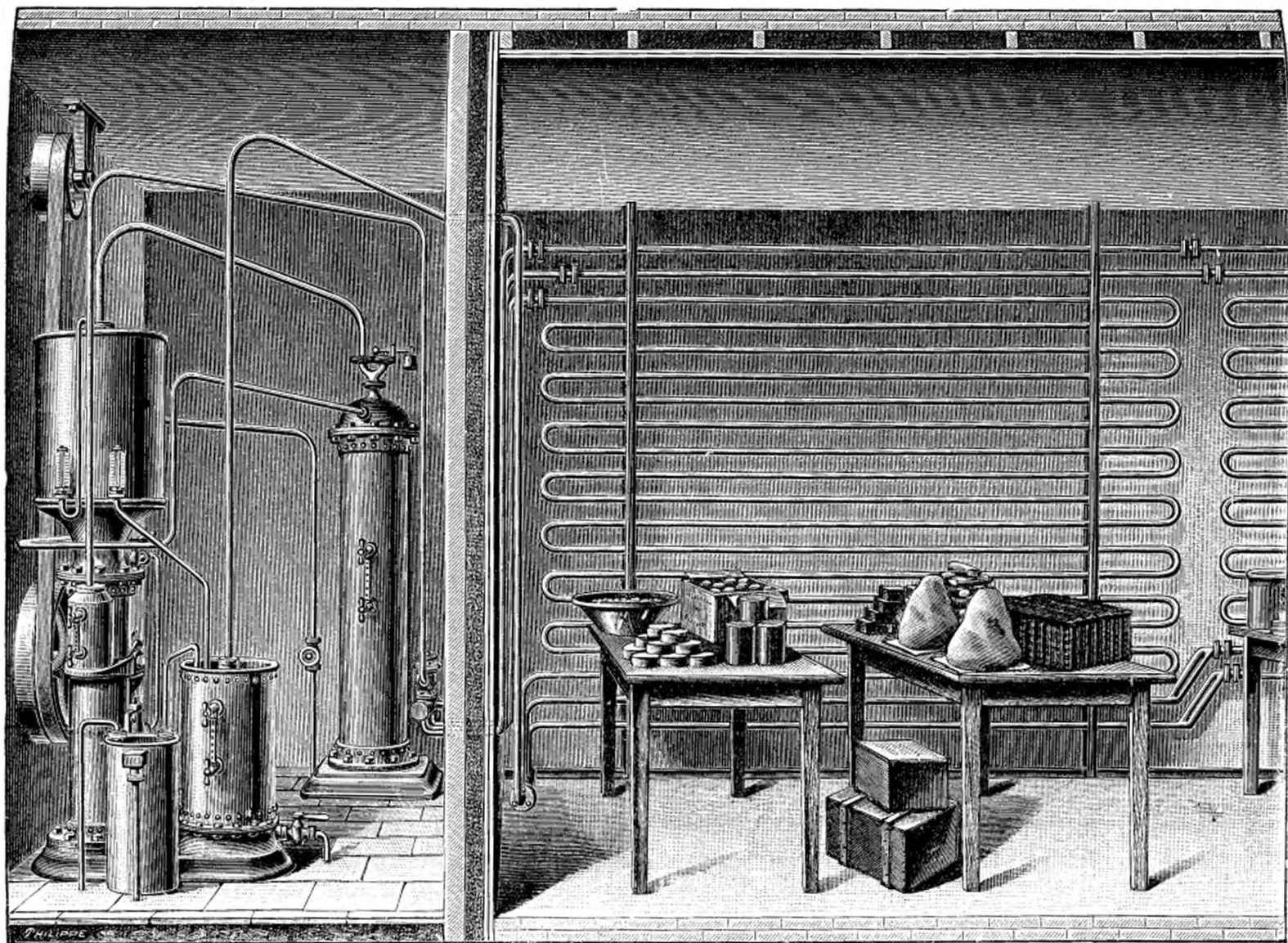


Fig. 146. — Refroidissement d'une beurrerie.

Au centre du récipient se trouve un agitateur à hélice, qui produit un remous considérable dans l'appareil, de façon à multiplier les contacts avec le serpentín à ammoniaque.

Le lait est introduit dans la partie supérieure et sort par la partie inférieure.

L'appareil est fermé hermétiquement à la partie supérieure, ce pour empêcher le contact de l'air et aussi pour permettre d'y créer une pression de vapeur, de façon à obtenir une pasteurisation complète ; il suffit alors d'un simple lavage à l'eau pour achever le nettoyage ordinaire.

Le couvercle peut s'enlever facilement pour le cas où l'on voudrait faire un nettoyage extraordinaire.

Cet appareil réfrigérant peut également être employé pour le refroidissement de la bière ou d'un liquide quelconque.

Les constructeurs de machines à ammoniaque ont établis aussi des laiteries et beurreries avec des dispositifs spéciaux. Les figures montrent une coupe longitudinale et une vue des compresseurs de l'usine Søens à Stombeck, établie par Lebrun et refroidie au moyen de la détente directe.

La maison Grimault, Le Soufaché et Félix établit des beurreries disposées de la façon suivante :

L'appareil est du type à absorption, chauffé à la vapeur ; la pompe est actionnée par une poulie placée sur la transmission principale.

La chambre à refroidir est située en sous-sol.

Le refroidissement se fait par la détente directe, les tuyauteries sont placées le long des parois ; avec cette disposition, l'eau produite par la fonte, lors de l'arrêt de la machine, tombe dans des rigoles ménagées à cet effet, et par lesquelles elle s'écoule, mais en aucun cas ne peut tomber sur les produits à conserver.

De plus, sa surface rayonnante est plus grande et par suite le refroidissement est plus intense.

Parmi les installations qui emploient l'acide carbonique nous pouvons citer la laiterie de Cerigné par la Société Dyle et Bacalan et surtout la Latteria Lombarda par la maison Escher Wyss et C^{ie}, de Zurich.

La *laiterie de Cerigné* produit par jour environ 400 kg. de beurre par le traitement de 8000 à 9000 litres de lait. Elle possède, pour la fabrication du beurre, machines à vapeur, centrifugeuses, barattes, malaxeurs, etc. Une machine frigorifique à acide carbonique produit le re-

froidissement des crèmes et du beurre et sert à la fabrication de la glace nécessaire.

Une grande cuve est divisée en deux compartiments: l'un maintenu à la température de 12° , sert à la conservation de la crème fraîche, l'autre avec une température de $+2$ et $+4^{\circ}$ sert à la réfrigération et à la conservation du beurre.

La salle de conservation de la crème fraîche remplace le réfrigérant à crème dans lequel circule la saumure froide qui abaisse la température du liquide jusqu'à $+7^{\circ}$ ou $+8^{\circ}$. Deux caisses plates fermées dans lesquelles circule de même la saumure abaissent la température générale de la salle à $+12^{\circ}$.

Dans la salle de conservation du beurre, véritable chambre froide, la saumure circule dans des surfaces réfrigérantes suspendues au plafond. Le beurre est conservé dans des étagères disposées contre les parois. La quantité de beurre conservé peut dépasser 800 kg.

La *Latteria Lombarda* établie à Suzzara (Italie) par Escher Wyss et C^{ie} de Zurich présente une disposition tout à fait rationnelle.

La planche IV que nous donnons permettra de se rendre compte facilement de sa disposition. Les différentes parties de la laiterie sont les suivantes :

- A. Condensateur à ruissellement.
- B. Réfrigérant du lait.
- C. Bac à lait glacé.
- D. Compresseur.
- E. Réfrigérant et générateur de glace.
- F. Halle pour la mise en bouteille du lait.
- G. et H. Chambre froide pour le fromage et le lait.
- I. Moteur à gaz avec la dynamo à côté.

Dans des chambres frigorifiques ainsi disposées le traitement du lait et la conservation du beurre se font d'une façon absolument méthodique et permettent d'obtenir des produits excellents et leur conservation pendant un temps relativement long.

La conservation des œufs peut être aussi utilement pratiquée au moyen du froid. D'après Schmitz (*Eis und Kalte Industrie*), les œufs qui sont soumis à la réfrigération doivent être envoyés aussitôt recueillis à l'entrepôt frigorifique en évitant tout contact avec des substances hygroscopiques. Les œufs doivent être de suite transportés dans des caisses en carton munies de cloisons.

Les œufs sont alors triés, mirés et classés, replacés dans des boîtes et portés dans les chambres frigorifiques où la température doit osciller entre $+1$ et -1 . Le degré hygrométrique doit être environ de 75 à 80 0/0. Il semble que les circulations d'air froid soit à rejeter et que l'on doive au contraire disposé directement les tuyaux à saumure ou à détente directe dans le plafond des chambres froides.

La sortie des œufs doit se faire très méthodiquement afin d'écarter son échauffement brusque et éviter ainsi que l'*œuf sue*, c'est-à-dire que la rosée ne se dépose à la surface. La conservation des œufs peut durer dans ces conditions six mois et plus et permet alors de donner en hiver des œufs ayant rigoureusement la qualité des œufs frais.

Nous donnons (pl.V) le plan d'une installation pour la conservation des œufs établie à Alexandrie par la maison Escher Wyss et C^{ie} de Zurich. Cette installation possède en outre, un appareil à fabriquer la glace. Les machines sont à acide carbonique et les salles refroidies par circulation d'air froid.

CHAPITRE VIII

LE TRANSPORT DES DENRÉES ALIMENTAIRES RÉFRIGÉRÉES

La conservation parfaite des denrées alimentaires par le froid peut être appliquée à leur transport loin de leur pays d'origine. C'est sur ce principe que doit reposer l'apparition sur nos marchés européens des produits des pays lointains. Nous verrons dans le chapitre suivant quelle source de fortune et de bien-être est pour un pays l'emploi de transports frigorifiques.

La réfrigération peut être appliquée à tous les moyens de transport employés : bateaux, wagons ou véhicules quelconques.

Voici de quelle façon on peut diviser ces différents moyens :

1° Pour les transports à petite distance on peut employer des wagons à marchandises ordinaires aussi parfaitement clos que possible dans lesquels les denrées, la viande, par exemple, peut être entassée après avoir réfrigérée pendant 2 à 3 jours à — 20°. Elle est, en outre, enveloppée avec soin dans des matières isolantes, feutre ou simplement nattes de paille. Ainsi disposée la viande congelée peut se conserver pendant un temps assez long, 24 heures environ. On peut aussi et c'est ainsi que l'on opère le plus souvent dans le transport du poisson, mélanger la marchandise elle-même à de la glace et obtenir ainsi une conservation de quelques heures. Mais dans ce cas le poisson se trouve lavé par l'eau de fusion et l'état de conservation est loin d'être absolument parfait.

2° On peut employer et il est infiniment préférable de le faire, des wagons spéciaux aménagés dans le but même de la conservation par le froid. Ces wagons commencent à faire leur apparition dans notre pays ainsi qu'en témoigne la note suivante communiquée par la Direction

des chemins de fer de l'Etat il y a quelques mois sur le transport des denrées en wagons réfrigérants sur son réseau :

« Les nombreux perfectionnements apportés depuis plusieurs années aux méthodes de production du froid ont permis d'apprécier la valeur des services que cette industrie est appelée à rendre, non seulement pour la conservation sur place de diverses denrées agricoles, mais encore pour le transport à grandes distances des produits de nature périssable.

» Pour répondre à cette préoccupation, et dans le but de favoriser en même temps la production agricole des régions desservies par ses lignes, le réseau de l'Etat a fait aménager à ses frais un certain nombre de wagons réfrigérants et il va les affecter prochainement au transport des viandes abattues et des volailles mortes expédiées des Charentes, du Poitou, de la Vendée, et de la Touraine sur la capitale.

» Ces wagons circuleront dans des trains à grande vitesse spécialement désignés, dont les heures de départ et d'arrivée aux diverses gares qu'ils desserviront seront portées à la connaissance du public au moyen d'une affiche apposée dans chacune desdites gares.

» Les expéditeurs qui voudront faire transporter leurs marchandises dans les wagons réfrigérants devront en faire la demande expresse sur leur déclaration d'expédition, et ils auront seulement le tarif ordinaire des denrées en grande vitesse, majoré de 10 0/0, le réseau de l'Etat conservant à sa charge toutes les dépenses inhérentes à l'aménagement des wagons et à leur rafraîchissement.

» Une semblable combinaison est évidemment tout à l'avantage du commerce, et il paraît vraisemblable que l'initiative prise dans l'espèce par le réseau de l'Etat sera très appréciée des régions agricoles desservies par ses lignes. »

Ces wagons pourvus de dispositifs spéciaux peuvent constituer de véritables trains frigorifiques.

3° Le transport par mer se fait à bord de navires et de steamers ou par canal à bord de chalands ; il exige dans ces deux cas un aménagement tout à fait particulier qui mérite comme celui des wagons et des trains frigorifiques une description spéciale et détaillée.

1° *Wagons et trains frigorifiques.* — Un wagon frigorifique bien aménagé est un wagon à marchandises dont les parois sont doublées d'une cloison isolante épaisse destinée à empêcher le réchauffement par

simple rayonnement et contact de l'air extérieur. La paroi du wagon sera donc formée comme celle d'un entrepôt frigorifique :

1° De la paroi métal bois ordinaire qui constitue celle de tout wagon à marchandises.

2° D'une paroi isolante le plus souvent en liège, en silicate coton ou en charcoai doublé de papier P. et B.

3° D'une paroi interne formée par une cloison de bois légère.

La porte doit présenter cette triple paroi et au lieu de fermer par glissement comme celle des wagons à marchandises ordinaires, elle doit former une fermeture étanche spéciale : c'est alors un vaste panneau s'appliquant exactement sur l'ouverture et présentant la même épaisseur que la paroi. Elle ferme exactement au moyen de clavettes appuyant sur des ressorts fixés contre la paroi extérieure de la porte.

On peut encore dans une double cloison installée dans un wagon quelconque placer une réserve de glace, un mélange de glace et de sel, ou une circulation d'air froid. Tel est dans ce dernier cas le principe des trains frigorifiques. Le wagon frigorifique que représente notre planche VI est installé de cette façon et utilisé par la Compagnie Sansinena au transport des viandes réfrigérées entre Le Havre et Paris.

On voit qu'il est formé par une chambre isolée intérieure autour de laquelle circule un courant d'air froid provenant d'une machine frigorifique placée soit à la tête soit à la queue du train.

Un train frigorifique complet sera donc ainsi composé :

1° La locomotive et son tender.

2° Un réservoir renfermant 10 tonnes d'eau et devant servir au refroidissement des compresseurs de la machine frigorifique.

3° Un wagon machine qui comprend :

a) Un appareil moteur électrique ou à vapeur quelconque.

b) Une machine à froid, soit une machine à air soit une machine à gaz liquéfié pouvant refroidir l'air à très basse température ; dans les deux cas l'air froid circule dans les wagons frigorifiques suivants.

La machine à froid est reliée au réservoir d'eau au moyen de tubes télescopiques à joint instantané. Elle est reliée au wagon frigorifique par des raccords flexibles en toile ou en caoutchouc. Pour cela chaque wagon frigorifique est muni de deux tubulures ou raccords fixes en fonte dont l'extrémité est filetée et l'on visse dessus l'extrémité mince du raccord flexible.

Un train frigorifique système Durand est donc disposé ainsi que le montre notre planche VII :

- 1° La locomotive.
- 2° Le wagon réservoir.
- 3° Le wagon machine.
- 4° Les wagons frigorifiques.
- 5° Enfin les wagons à marchandises ordinaires.

Chaque wagon est muni de vannes qui permettent de l'isoler du restant du train de telle sorte que l'on peut concentrer l'action de la machine sur telle ou telle partie du convoi (1).

2° *Transport par eau. Navires et chalands frigorifiques.* — C'est surtout l'Angleterre qui a su disposer dans les meilleures conditions les transports frigorifiques à longue distance à bord des steamers et cela dans le but d'une exploitation méthodique de ses colonies.

Nous verrons en effet quel rôle les aliments conservés par le froid jouent dans l'hygiène anglaise. Aussi les navires qui ont été construits dans le but d'importer dans la métropole les produits alimentaires réfrigérés ont atteint dans ce pays une rare perfection de construction.

Les machines frigorifiques les plus employées autrefois pour cet usage étaient des machines à air dans lesquelles, comme nous l'avons dit, le froid était obtenu par détente de l'air comprimé. Actuellement les machines à air sont de plus en plus abandonnées et remplacées par les machines à gaz liquéfiés.

Les différents constructeurs français de machines frigorifiques ont tous disposés des modèles spéciaux destinés à être employés à bord des navires. Les machines à acide sulfureux, à chlorure de méthyle, à ammoniaque ou à acide carbonique, à quelques systèmes qu'elles appartiennent, présentent toutes les modifications de forme et de dimensions qui leur permettent d'être très pratiquement utilisées à bord des paquebots.

Les machines marines doivent en effet répondre à des conditions spéciales. Elles doivent être de petites dimensions afin d'occuper un volume très restreint. Elles doivent, sous ce petit volume, être d'une très grande puissance et pouvoir produire un froid considérable dans

(1). Voir pour plus de détails Ch. Lambert. Note sur le ravitaillement des places fortes et l'approvisionnement des armées en campagne.

les cavités de grandes dimensions que forment les cales des navires. Elles doivent pouvoir fonctionner quelle que soit la température de l'eau de condensation, sous les tropiques ou dans les régions tempérées : elles doivent enfin pouvoir supporter sans altération le contact de l'eau de mer.

Nos constructeurs français ont, pour la plupart, réussi à répondre à ces desiderata et leurs machines fonctionnent à bord des yachts de plaisance ou à bord de quelques paquebots pour la fabrication de la glace à l'usage des voyageurs.

Mais le transport en grand des produits réfrigérés ne s'est pas encore véritablement fait en France. C'est à l'étranger, en Angleterre surtout, qu'il faut aller pour trouver de puissantes Compagnies de transport appliquant réellement le froid artificiel. Pour une Compagnie française, les Chargeurs Réunis construisant des transports frigorifiques, nous trouvons un grand nombre de Compagnies anglaises dont les navires sont disposés dans le but de transporter des marchandises réfrigérées. En 1903, 167 navires munis de machines frigorifiques étaient ainsi affectés à l'importation des viandes congelées. Leur capacité totale représentaient un volume de 9.308.000 carcasses de moutons de 25 kilogrammes chacune.

A côté du transport de la viande se trouve le transport des fruits, des bananes, les importations du lait et du beurre, etc.

Nous prendrons donc pour exemple les installations faites par J. et E. Hall qui répondent aux différents besoins, car elles comportent six principaux types différents s'adaptant :

- 1° Au transport de la viande réfrigérée des Antipodes.
- 2° Au commerce de la laiterie de l'Irlande et du Continent.
- 3° Au transport des fruits de la Jamaïque et de l'Océanie en Angleterre.
- 4° Au transport du bœuf réfrigéré d'Amérique.
- 5° A la conservation des provisions des passagers et à la fabrication de la glace alimentaire qui se consomme sur les navires.
- 6° Enfin, au transport des fruits de l'Afrique du Sud.

En réalité, ces diverses installations sont les mêmes et les quelques différences qui résultent de leurs emplois respectifs ne portent que sur les détails.

C'est à la suite de récents accidents survenus par l'emploi du gaz carbonique à bord que MM. Hall ont perfectionné leurs machines en adaptant ainsi que nous l'avons vu une soupape de sûreté aux appareils

qui renferment le gaz sous pression. Avec cette précaution, il n'y a aucun danger d'accident.

L'usage des machines à acide carbonique tend de plus en plus à se répandre à bord des navires et la marine allemande a spécifié l'emploi unique de ce gaz pour les appareils admis à concourir pour les installations des machines frigorifiques à bord des navires de guerre. L'acide carbonique permet, en effet, l'emploi du cuivre dans la fabrication du condenseur. Celui-ci n'est pas attaqué par l'eau de mer ; tandis qu'avec l'ammoniac il faut employer des chaudières de fer, lesquelles même galvanisées n'ont qu'une durée éphémère sous l'influence de l'eau de mer salée.

De plus, on peut obtenir avec le gaz carbonique une pression plus considérable qu'avec l'ammoniac et surtout qu'avec le gaz sulfureux, ce qui fait qu'un volume plus petit de gaz produit le même travail réfrigérant qu'un volume plus considérable d'ammoniac ou d'acide sulfureux. Ses dimensions sont, en effet, dans les proportions suivantes :

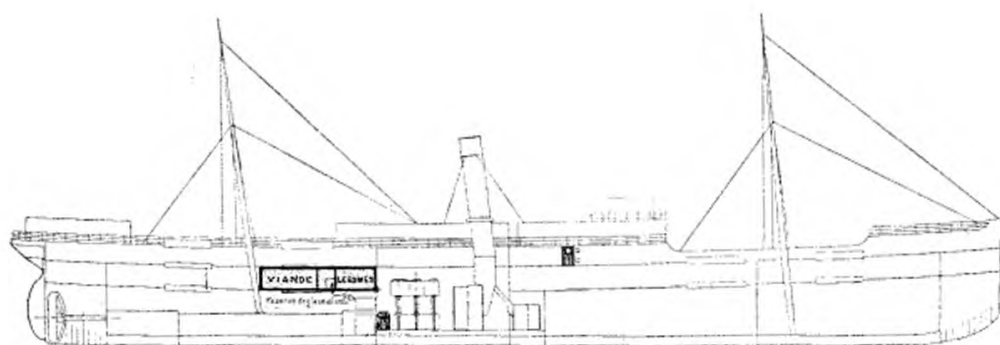


Fig. 147. — « Albertville » de la Compagnie Congo.

un compresseur de 24 pouces de diamètre employant l'ammoniac fait le même travail qu'un compresseur de 3 pouces $\frac{1}{4}$ de diamètre avec l'acide carbonique.

Nous avons vu dans l'étude des machines combien les machines marines avaient leurs dimensions réduites.

Il existe cependant un certain nombre d'installations à bord de navires qui emploient les machines à ammoniac. En outre nous devons dire que les machines à chlorure de méthyle et à acide sulfureux présenteraient de grands avantages dans les climats très chauds étant donné la facile liquéfaction de ces gaz. Il faut, pour employer l'acide

carbonique dans la mer Rouge par exemple, modifier les machines pour cette circonstance spéciale ; dans ces conditions l'expérience acquise par des centaines de voyages aux tropiques a montré que les eaux très chaudes refroidies à l'aide de machines frigorifiques Hall ne demandent néanmoins qu'un travail relativement court et que l'on peut sans grand inconvénient, par suite, employer ce gaz malgré son point critique assez élevé.

La fig. 147 montre une installation frigorifique sur le steamer *Albertville* et quatre autres navires de la même ligne, installation destinée à conserver les provisions des passagers, à leur fournir la glace alimentaire, à refroidir pour tous usages l'eau échauffée par les températures tropicales ainsi que la bière, le vin et les autres boissons.

Cette installation consiste en une machine de petites dimensions, de type simple placée dans la chambre principale des machines près de la cloison, en communication avec les chambres réfrigérées ; ces chambres au nombre de deux sont séparées par les circuits du serpentín et la température peut en être réglée très facilement ; l'une se trouve dans l'entrepont, l'autre au-dessus.

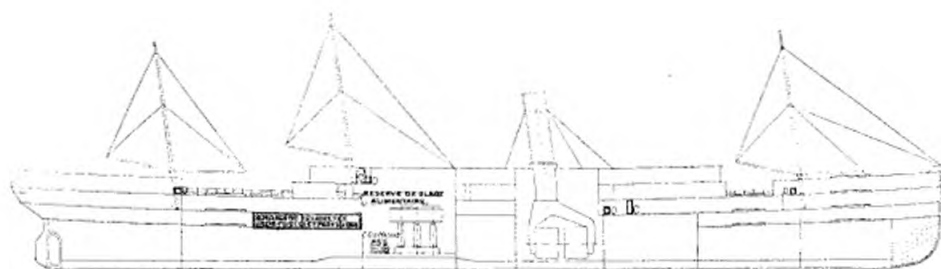


Fig. 148. — « Carisbrook Castle » de la Compagnie Union Castle.

Des installations similaires ont été faites pour la Union Castle Line, White Star Line, P. et C. Company, Hamburg-American Company, African Steamship Company, British and African Steamship Company, les Chargeurs Réunis, Nippon Yusen Kaisha of Japon, Lamport and Holt, Bibby Bros, Nederland Steamship Company, East Asiatic Company of Copenhagen, J. B. Westray and C^o Bullard, King and C^o, Fraissinet et C^{ie}, Hamburg South American Company, Oriental Steamship Company of Tokio Nederlands, American Company, J. T. Rennie and C^o, Eastern Telegraph C^o, Eastern and South African Telegraph Company, Alfred

Holt, J. Moss and C^o, Anchor Line, ainsi que pour d'autres navires russes, français, allemands et américains.

La fig. 148 montre l'installation du *Carisbrook Castle* et de 10 autres navires de la *Donald Currie line*, pour transporter de grandes quantités de fruits du Cap en Angleterre et en même temps conserver les provisions à l'usage des passagers.

Déjà plus de 31 navires de la Union Castle Line ont été ainsi aménagés. La machine frigorifique est un type de machine Duplex logée dans la chambre principale des machines, chacune travaillant indépendamment de l'autre.

Les chambres réfrigérées sont au nombre de deux pour la viande et une pour les fruits et légumes.

La machine destinée à la production de la glace alimentaire peut en fournir 250 kilogrammes par jour ; des réfrigérants pour boissons et autres denrées sont disposés un peu dans tous les coins du navire, pour chaque classe de passagers.

Il y a de plus une chambre à fruits très spacieuse entourée de serpentins réfrigérants qui la maintiennent à basse température régulièrement pendant tout le voyage et dont le système est tout à fait indépendant du circuit des chambres à viande.

Plus de 23 bateaux de la Royal Mail Steam Packet Company ont déjà été installés de cette manière.

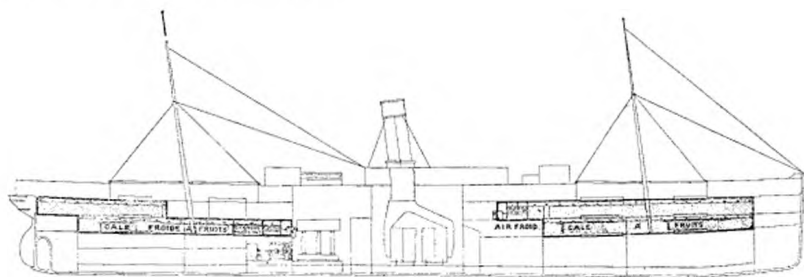


Fig. 149. — « Port Royal » de l'Impérial West Indian Mail.

La fig. 149 montre l'installation du *Port Royal* (MM. Elder, Dempster et C^{ie}) et de trois autres navires allant aux Indes.

Ces navires apportent en Angleterre les bananes, oranges, grenades et autres fruits tropicaux à l'état de fraîcheur absolue.

MM. Hall ont aménagé des vaisseaux pouvant apporter en une cargaison 3 000 000 de bananes ou autres fruits et cela dans un espace de

80 000 pieds cubes, réfrigérés au moyen d'une double machine du type de la précédente. Il n'y a pas de tuyaux à eau salée dans les cales du navire, mais l'air sec et froid circule à l'aide de ventilateurs à vapeur d'abord dans de longs tuyaux, puis dans de gros troncs qui traversent les cales.

Le volume de l'air étant considérable, bien réparti, la variation de température dans les cales est très petite.

L'efficacité de ce système a été démontrée lors de l'arrivage de la première cargaison de fruits transportée en parfait état sur le *Port Morand* du New Imperial West Indian Mail Service; une nouvelle extension a été donnée par cela même au commerce avec les Indes Occidentales, languissant pourtant par la crainte que manifestaient les agents coloniaux quant au commerce du sucre pratiquement paralysé par la compétition du sucre de betterave du Continent.

On a aménagé aussi à bord de ces navires des chambres froides pour la conservation des provisions à l'usage des passagers.

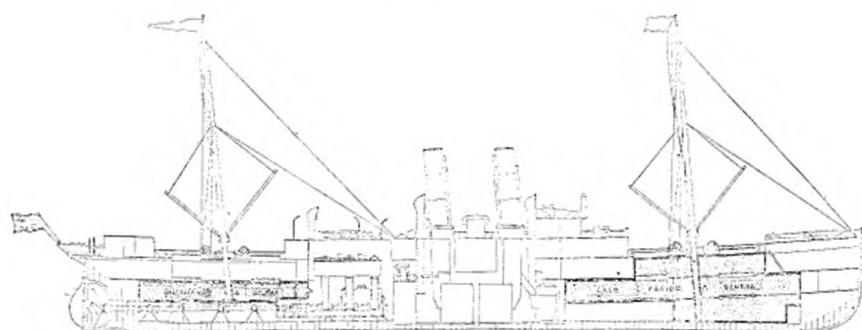


Fig. 150. — « La Cour » de la United Steamship Company, of Copenhagen.

La fig. 150 montre l'installation du paquebot *La Cour* et de 10 autres navires qui apportent du Continent et principalement du Danemark le beurre, et la laiterie durant l'époque la plus chaude de l'année en parfait état de fraîcheur.

La machine frigorifique est comme précédemment placée dans la chambre principale des machines et elle communique avec de longs tuyaux réfrigérants.

Le beurre n'est plus réfrigéré avant son embarquement; mais le puissant effet de la machine durant le court voyage fait qu'il arrive en Angleterre, ferme et de bel aspect.

Les cales sont garnies de tuyaux à eau salée et l'on a soin de prévenir tout dépôt extérieur d'humidité qui pourrait se condenser et tomber sur les matières à réfrigérer. Enfin on conserve aussi parfois du lard dans ces cales.

Des installations identiques ont été faites par J. et E. Hall sur des navires de Thos Wilson, Sons and C^o, James Currie and C^o et Cork steam Packet Company et pour le commerce du beurre canadien sur des navires appartenant à J. et A. Allan, et Donaldson Bros.

La fig. 151 montre l'installation de l'*Oceanic* qui fait le commerce du bœuf réfrigéré d'Amérique.

Il y a deux machines doubles dont l'effet est si puissant que bien qu'il soit convenu que le bœuf embarqué à New-York est préalablement réfrigéré, souvent on néglige de le faire. La plus forte des deux machines

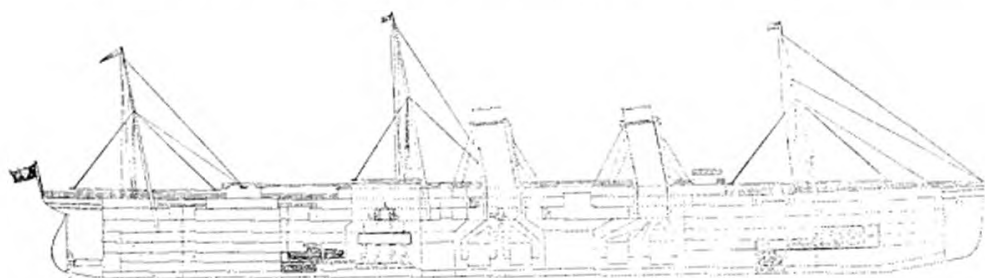


Fig. 151. — « Oceanic » de la White Star Company's.

refroidit le bœuf conservé qui est placé derrière la chaudière dans les cales isolées. Ces cales sont traversées par des tuyaux à saumure, galvanisés, placés sur les côtés et au plafond.

La machine qui sert à conserver les provisions est placée en arrière, dans la chambre des machines ; elle refroidit des chambres extrêmement vastes : deux pour la viande, une pour les légumes, une pour le lait et le beurre, etc.

Il y a aussi des réservoirs à glace qui peuvent fournir un quart de tonne par jour, réservoirs alimentés directement par la machine ; l'eau maintenue en agitation durant la réfrigération donne une glace très transparente.

On voit aussi, d'après la figure, que des tuyaux à saumure rafraichissent l'eau, le vin et les aliments des passagers. Il y a quatre réfrigérants pour l'eau, deux pour le vin et trois pour les besoins de l'office.

Ils sont tous aménagés de telle sorte que la réfrigération continue même si la machine s'arrête.

Des 23 vaisseaux aménagés pour la White Star Line, 13 transportent le bœuf conservé, ainsi que plusieurs de la Hamburg-American Company de l'Atlantic transport Company, de J. et A. Allan.

La fig. 152 montre une installation destinée à transporter la viande réfrigérée des Antipodes en Angleterre; cette installation est celle du *Norfolk* de MM. Birt, Potter et Hughes.

Presque toute la capacité du navire est isolée et aménagée pour le transport de la viande réfrigérée, il y a quatre cales et cinq entreponts, qui, lorsqu'ils sont remplis, peuvent transporter 120 000 carcasses de mouton. C'est presque la plus grande quantité qui puisse être transportée sur un navire.

La machine frigorifique est une des plus grandes construites par

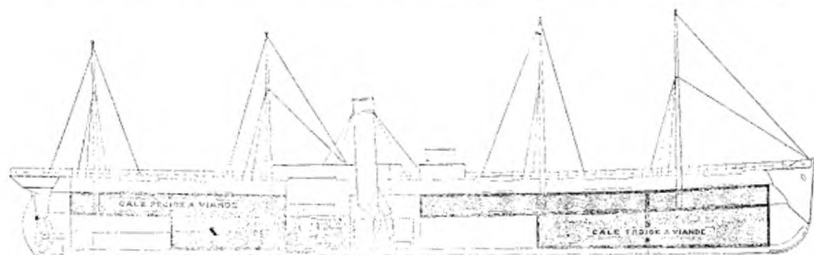


Fig. 152. — « Norfolk » de MM. Birt Potter et Hughes.

MM. Hall; elle est double et placée sur la plateforme de la chambre principale des machines.

Les deux évaporateurs sont placés dans un compartiment séparé où des tuyaux de plomb placés en avant et en arrière sont maintenus par des grilles. Ils sont fabriqués par J. et E. Hall de telle sorte que le nombre des joints et des coudes en est extrêmement diminué. Chaque cale est réfrigérée séparément et sa température est connue à l'aide d'un thermomètre.

Parmi les nombreux bateaux aménagés de cette manière par J. et E. Hall, il en faut compter 9 de la White Star Line, 10 de Houlder Bros, 12 de Tyser and Co, 16 des Chargeurs Réunis, ainsi que plusieurs pour William Milburn and Co, J.-B. Westray, T.-B. Royden, etc., en tout 85 installations.

Pendant la traversée, la température est maintenue :

Pour le mouton à	—3° centigrades.
Pour le bœuf à	—6° —

Pour maintenir ces températures on emploie avec succès la saumure refroidie, au moins sur les navires qui fonctionnent avec les machines Hall, saumure circulant dans des systèmes de serpentins plats en forme de grils.

Le liquide incongelable refroidi dans la chambre des machines circule dans ces tuyaux en fer par l'action d'une petite pompe. Ces tuyaux sont soudés à l'électricité et ont 60 m de long sans aucun joint. Les serpentins sont placés au plafond de la cale froide ou de la chambre froide, entre les poutres.

Les tuyaux de liquide incongelable qui doivent être bien isolés dans les entreponts sont alors protégés par des tuyaux en fer de plus grand diamètre solidement fixés par des boulons aux poutres. Ces serpentins à liquide incongelable sont divisés en section, chaque section ayant une canalisation séparée pour amener et retourner la saumure, et des robi-



Fig. 153. — Serpentins réfrigérants pour cale de navires.

nets sont placés en différents points pour régler la pression et par conséquent la quantité de saumure à laisser dans les tuyaux pour la température fixée. C'est ainsi la meilleure manière de maintenir une température très régulière et de transporter avec succès le bœuf réfrigéré sous les tropiques. La pression ne dépassant guère 2 kg., il n'y a pas à craindre de fuites. D'ailleurs les joints sont réduits au minimum possible et ne peuvent donner lieu à aucun accident.

La présence de ces serpentins au sommet des cales assure une parfaite et constante circulation de l'air, car l'air en contact avec les tuyaux se refroidit, devient plus dense et descend, tandis que l'air qui se trouve à la partie inférieure de la chambre étant plus chaud est moins dense et monte; il se refroidit à son tour, descend, et ainsi de suite. L'air froid produit est très sec, car toute l'humidité se condense sur les tuyaux.

La grande quantité de saumure contenue dans les serpentins forme une réserve de froid, si bien que les cales peuvent être maintenues à une

basse température très longtemps après l'arrêt de la machine. C'est pourquoi on n'a souvent besoin de faire marcher la machine que quelques heures pendant la journée.

Parmi les avantages qu'offre la circulation de saumure dans les tuyaux au lieu de la circulation d'air, nous pouvons encore signaler la grande facilité de conserver la température très basse, alors que le bateau est à destination par un temps très chaud ou très orageux durant lequel l'air s'échauffe avec la plus grande facilité; avec de la saumure, le chargement et le déchargement peuvent ne pas être interrompus de la journée, d'où économie de temps et d'argent.

A l'arrivée à destination les steamers doivent être déchargés et peuvent l'être aussi bien dans des wagons frigorifiques analogues à ceux que nous avons décrits, que dans des chalands présentant des dispositions analogues, avec chambre isolante et réfrigération par l'air froid (pl. VIII). Nous ne nous étendrons pas davantage sur ces transports frigorifiques espérant en avoir dit suffisamment pour que nos lecteurs soient complètement au courant de la question.

CHAPITRE IX

LE COMMERCE DES MATIÈRES ALIMENTAIRES RÉFRIGÉRÉES

Si un pays pouvait se suffire à lui-même par ses seules productions agricoles, si il jouissait d'une position géographique telle qu'il possédât à la fois les produits alimentaires des pays tempérés et ceux des pays chauds, peut-être ne serait-il pas intéressant pour lui de se préoccuper de ses voisins et de la façon dont il peut avec eux échanger les produits de première nécessité.

Tel n'est pas le cas pour aucun pays. Tous ont besoin de se ravitailler au dehors, de se procurer les productions des autres parties du monde, de chercher à améliorer le bien-être de ses habitants en amenant sur ses marchés dans les meilleures conditions de bon marché et de conservation les denrées des autres nations. A ce point de vue l'Angleterre tient incontestablement le premier rang.

Elle a appliqué aussi à l'importation de ces produits les procédés de conservation par le froid et les chiffres que nous allons donner vont bien montrer les progrès que cette industrie a fait faire au Royaume-Uni.

Le commerce de la viande réfrigérée.

C'est tout d'abord la viande réfrigérée qui tient un rang des plus honorables dans les importations en Angleterre (1).

La consommation de la viande en Angleterre a augmenté en 1902 et la viande réfrigérée est pour beaucoup dans cette augmentation.

(1) Les renseignements qui suivent sont extraits d'une publication anglaise spéciale W. Weddel et Cos. *Review of the frozen Meat Trade*, 1902.

Le bétail vivant importé en 1902 n'a pas atteint le chiffre de 1901 ; quoique les ports anglais aient été de nouveau ouverts à la République Argentine le commerce avec ce pays a été peu florissant.

La viande importée de l'Amérique du Nord a atteint, pour le bœuf réfrigéré, 44.491 tonnes, l'importation totale étant de 114.523 tonnes.

Du continent, l'Angleterre a reçu 29.149 tonnes.

L'Australie n'a envoyé à l'Angleterre que 17.250 tonnes au lieu de 93.615 l'année précédente. Cette réduction considérable provient des besoins toujours croissants de l'Afrique du Sud.

La République Argentine a beaucoup prospéré sous le rapport des installations frigorifiques adaptées à l'exportation de la viande ; ses usines, au nombre de trois, ont travaillé jour et nuit cette année et leur production est toujours croissante.

L'importation totale des viandes réfrigérées, en Angleterre, a été exactement la même que l'année précédente, et cela malgré la pauvreté des classes laborieuses où se trouve la plus grande quantité des consommateurs de viande réfrigérée.

Le tableau suivant indique sommairement les quantités comparatives de bœuf, de mouton et d'agneau de toutes provenances consommées en Angleterre durant ces trois dernières années.

				1900	1901	1902
				tonnes	tonnes	tonnes
Anglais.	{	Bœuf	estimé	767,600	768,000	764,000
		Mouton et agneau. —	—	332,700	330,000	322,000
		Bétail vivant . . .	équivalent à . . .	459,400	459,300	435,000
Importé	{	Mouton —	—	40,100	40,200	8,000
		Bœuf	actuel	206,406	225,437	485,639
		Mouton et agneau. —	—	169,612	480,444	482,979
Total.				1,645,248	1,673,348	1,594,348

En 1902, le nombre total de moutons et d'agneaux réfrigérés importés en Angleterre, s'est accru de 125.072 carcasses.

Le tableau suivant donne la totalité des moutons et agneaux réfrigérés (en carcasses) depuis le moment où le commerce commença jusqu'à la fin de 1902.

Année	Australie		Nouvelle-Zélande		La Plata			Autres contrées	Totaux
	Londres	Autres Ports	Londres	Autres Ports	Londres	Liverpool	Autres Ports		
1880	400	—	—	—	—	—	—	—	Carcasses
1881	47.275	—	—	—	—	—	—	—	400
1882	57.256	—	8.839	—	—	—	—	—	17.275
1883	63.733	—	420.893	—	47.465	—	—	—	66.095
1884	414.745	—	412.349	—	408.823	—	—	—	201.791
1885	95.051	—	492.269	—	490.571	—	—	—	632.917
1886	66.960	—	625.888	—	331.245	103.454	—	30.000 F	777.891
1887	88.814	—	766.417	—	242.903	398.963	—	45.552 F	1.487.547
1888	412.244	—	939.231	—	169.282	751.721	—	—	1.542.646
1889	86.547	—	1.068.286	—	167.936	842.000	—	—	1.975.448
1890	207.984	—	1.533.393	—	424.413	1.072.118	—	10.168 F	2.464.769
1891	334.684	—	1.894.105	—	160.310	950.797	—	18.897 F	2.948.076
1892	449.488	55.520 L	1.505.377	34.228 L	466.508	1.081.353	—	17.818 F	3.358.823
1893	636.917	—	1.821.395	36.003 L	409.808	1.263.945	—	16.425 F	3.340.022
1894	939.300	—	1.945.609	40.650 L	471.802	1.199.585	43.428	11.675 F	3.884.663
1895	969.943	35.560 LM	2.442.331	—	442.048	1.360.968	412.789	49.458 F	4.324.109
1896	1.565.360	77.883 M	2.211.895	—	245.573	1.392.700	429.933	24.074 P	5.053.067
1897	1.338.964	68.453 M	2.703.845	—	161.744	1.771.542	461.916	26.275 P	5.647.418
1898	4.238.653	40.000 M	2.784.101	—	201.895	1.935.365	260.077	—	6.232.733
1899	1.189.563	45.038 L	3.250.400	—	239.703	1.805.646	349.369	20.000 P	6.430.091
1900	906.766	37.458 L	3.157.060	—	271.432	1.773.384	288.024	—	6.869.419
1901	1.494.457	32.401 L	3.234.419	—	342.525	1.932.625	338.955	—	7.094.782
1902	648.929	75.368 LC	3.668.061	—	441.913	2.081.128	334.455	— US	7.219.854
Total.	12.320.760	407.414	36.587.763	80.881	3.977.619	21.740.261	2.018.940	240.322	77.373.637

L. Liverpool, M. Manchester, L. M. 19.560 Liverpool et 1.600 Manchester. L. C. 68.558 Liverpool et 6.810 Cardiff. P. Patagonie. F. Iles Falkland. U. S. Etats-Unis.

Le mouton seul a atteint en 1902 les chiffres suivants :

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Octob.	Nov.	Déc.	Totaux
Australie - Carc.	29.582	31.735	44.356	7.333	22.482	21.249	46.479	42.485	—	—	—	4.082	486.753
N.-Zélande »	425.409	107.713	123.385	116.553	187.473	281.443	149.828	360.026	235.945	143.316	35.291	43.609	1.879.961
La Plata . »	210.873	176.477	228.314	167.489	234.447	292.726	205.063	343.328	214.347	245.970	186.597	222.841	2.715.460
Totaux - Carc.	315.925	315.925	396.052	291.375	46.440	595.358	371.370	685.839	450.292	359.286	221.888	267.532	4.772.153

D'Australie, il est venu 186.753 carcasses.

De la Nouvelle-Zélande, 1.879.961 carcasses.

L'agneau importé, en 1902 en Angleterre, a atteint les chiffres suivants :

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Octob.	Nov.	Déc.	Totaux
Australie - Carc.	180.380	141.249	965.42	24.843	5.724	33.281	55.79	—	618	—	—	40.358	537.544
N.-Zélande »	41.039	63.878	161.279	260.863	314.353	381.798	160.816	228.258	12.8002	15.800	11.259	21.755	1.788.400
La Plata . »	5.000	42.262	47.790	22.973	31.747	43.610	41.79	—	—	747	—	6.769	142.027
Totaux-Carc.	205.419	249.389	275.581	308.676	348.794	428.689	167.544	228.258	128.620	16.547	11.259	68.882	2.437.671

L'importation du bœuf s'accroît d'année en année, en Angleterre.

Le tableau suivant donne l'ensemble des exportations australiennes, zélandaises et de la Plata.

	1893	1894	1895	1896	1897	1898	1899	1900	1901	1902
Queensland. (50 k.)	206.783	286.806	358.814	449.914	497.080	483.032	513.225	363.899	202.014	60.740
New South Wales et Victoria. »	4.206	45.090	126.567	45.024	63.749	48.619	95.991	29.292	41.337	5.420
N.-Zélande. »	44.706	2.617	16.317	28.803	73.426	92.756	134.427	329.467	228.126	237.257
La Plata. . »	35.383	5.279	23.446	50.095	84.667	408.288	450.368	411.962	771.929	923.748
Etats-Unis. »	1.489.949	1.775.528	1.649.473	2.074.644	2.242.063	2.331.956	2.756.796	2.867.238	3.480.291	2.290.465
Canada. . . »	84	40	8.421	9.189	5.774	21.543	90.238	45.084	19.661	20.896
Continent, etc. »	56.917	48.705	7.829	2.034	43.618	44.027	61.577	79.368	65.391	163.461
Totaux . . »	1.808.052	2.404.065	2.490.597	2.869.700	3.010.377	3.100.221	3.802.622	4.128.310	4.508.746	3.707.387

Outre les grandes quantités de bœuf réfrigéré que l'Australie envoie en Angleterre, ce pays en exporte encore beaucoup au Cap ainsi que la Plata.

Dans le tableau suivant, on voit l'arrivage en Angleterre du bœuf réfrigéré mois par mois.

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Octob.	Nov.	Déc.	Totaux
Australie - Carc.	5.534	—	—	—	—	—	9.916	3.850	15.615	—	4.403	4.591	43.609
N.-Zélande »	7.003	6.893	42.503	43.415	49.678	24.720	14.852	34.764	11.309	6.796	1.880	21	153.536
La Plata . »	41.602	39.197	39.819	20.364	45.684	43.418	33.370	61.099	49.455	50.061	37.369	28.008	488.876
Totaux - Carc.	54.144	46.090	52.352	33.479	65.362	67.838	58.138	99.713	76.079	56.857	43.352	32.620	686.021

On voit que le bœuf australien a beaucoup perdu de sa valeur ; il a été en grande partie supplanté par le bœuf de la République Argentine, dont les embarquements se font mieux, de sorte que la viande arrive en meilleur état.

En résumé, les navires qui transportent la viande réfrigérée en Angleterre ont, ces deux dernières années, décuplé de nombre. La capacité des derniers construits a beaucoup augmenté, tandis que les anciens transportaient 90.000 carcasses, ceux-ci en peuvent contenir 160.000 à 130.000.

La liste suivante est l'énumération au 31 décembre 1902, des navires anglais munis de machines frigorifiques et effectuant le transport de la viande réfrigérée.

Leur capacité est donnée en carcasses de mouton de 25 kg.

Dans cette liste plusieurs steamers qui changent occasionnellement de route, ont été indiqués dans leur route la plus habituelle :

De l'Australie en Angleterre

	Capacité		Capacité
Aberdeen	23.000	Narrung	28.000
Afric	100.000	Nineveh	23.000
Arcadia	17.800	Oceana	15.000
Austral	23.100	Omrah	31.000
Australasian	16.000	Ophir	21.300
Australia	22.800	Orange Branch	29.000
Britannia	15.300	Orient	4.400
Bungaree	14.000	Orizaba	23.000
China	21.900	Ormuz	17.500
Commonwealth	50.000	Orontes	33.600
Cuzco	10.400	Oroya	23.500
Damascus	16.000	Ortona	23.500
Drayton Grange	84.100	Oruba	6.800
Duke of Argyll	47.000	Oswestry Grange	84.100
Duke of Devonshire	49.200	Persie	100.000
Duke of Portland	38.000	Ripplingham Grange	80.000
Duke of Sutherland	13.300	Rome	11.500
Duke of Westminster	36.900	Runic	100.000
Gulf of Bothnia	46.000	Salamis	25.000
Gulf of Genoa	46.000	Sophocles	39.000
Gulf of Siam	46.000	Suevic	100.000
Gulf of Taranto	46.000	Victoria	13.400
Gulf of Venice	39.000	Vine Branch	29.000
Himalaya	22.700	Warrical	40.000
India	23.440	Wilcannia	28.000
Jumna	40.000	Varrawonga	19.400
Langton Grange	80.000		
Medic	100.000	55 Steamers, carcasses.	2.061.900
Moravian	25.000		

De la Nouvelle-Zélande ou de l'Australie en Angleterre

	Capacité		Capacité
Banffshire	100.000	Nairnshire	110.000
Buteshire.	100.000	Norfolk	89.000
Cornwall.	83.000	Perthshire	100.000
Devon.	83.000	Suffolk	130.000
Essex.	130.000	Surrey	83.800
Fifeshire.	110.000	Sussex	80.600
Kent	33.000		
Maori King.	45.200	15 Steamers, carcasses.	1.438.900
Morayshire	110.000		

De la Nouvelle-Zélande à Londres

	Capacité		Capacité
Aotea.	74.800	Paparoa	80.300
Athenic	100.000	Rakaia	79.600
Corinthic.	100.000	Rangatira	54.700
Delphic	107.000	Rimutaka	93.700
Gothic.	74.700	Ruapehu.	92.600
Hawkes Bay.	53.000	Star of Australia. . . .	92.000
Indradevi.	80.000	Star of England	42.000
Indraghiri	75.000	Star of New Zealand . .	51.000
Indralema	90.000	Tokomaru	95.900
Ionic	100.000	Tomoana.	80.000
Karamea.	83.800	Tongariro	97.600
Kumara	84.500	Turakina.	104.600
Mamari	51.000	Waikato.	75.800
Maori.	77.500	Waimate.	78.700
Marere	100.000	Waiwera.	89.900
Matatua	44.100	Waranui.	78.700
Mimiro	85.000	Whakatane	78.700
Niwaru	100.000		
Pakeha	53.500	37 Steamers, carcasses.	2.983.000
Papanui	80.300		

De La Plata en Angleterre

	Capacité		Capacité
Amiral Aube	20.000	Duke of Buckingham. .	50.000
Amiral Baudin.	20.000	Elstree Grange.	64.000
Amiral Courbet (1). . . .	20.000	Harmodius	30.000
Beacon Grange.	64.000	Harmonides.	27.000
Campinas.	17.500	Haversham Grange. . . .	121.600
Cordilleras	17.500	Heliades.	17.500

(1) On peut voir dans cette liste des noms de navires français appartenant en effet à une compagnie française *Les Chargeurs Réunis*, mais ces bateaux effectuent leur transport non pour la France, mais pour l'Angleterre.

De La Plata en Angleterre (suite)

	Capacité		Capacité
Helopes	17.500	Ovingdean Grange.	40.000
Heraclides	17.500	Pampa	12.000
Highland Brigade	75.000	Royston Grange	64.000
Highland Chief.	60.000	Severus	70.000
Highland Corrie	60.000	Southern Cross.	60.000
Highland Ghillie	58.000	Star of Victoria	40.000
Highland Glen.	60.000	Thorpe Grange.	60.000
Highland Laird.	60.000	Urmston Grange	55.000
Highland Lassie	60.000	Zenobia	30.000
Highland Mary.	60.000	Zephyrus.	30.000
Highland Scot.	60.000	Zero	60.000
Hippomenes.	17.500	Zeta	18.000
Kornby Grange.	40.000	Zuleika	65.000
Kelvindale	35.000		
Leitrim	40.000	40 Steamers, carcasses.	<u>1.793.600</u>

*Liste supplémentaire de navires contenant une installation frigorifique
mais n'ayant pas importé de viande réfrigérée en 1902 en Angleterre et indiquant
aussi un certain nombre de bateaux nouvellement construits.*

	Capacité carcasses	
Barbarossa (terminé)	8.000	
Bremen »	8.000	
Celtic King »	45.000	
Culgoa »	17.000	
Friedrich der Grosse »	8.000	
Glacier »	35.000	
Grosser Kurfurst »	6.000	
Königin Luise »	8.000	
Timaru (voilier) »	15.000	
Wakool »	28.000	
Arberdeen Steamer (en construction)	37.000	178.000 carcasses.
Ayrshire. »	120.000	
Dorset »	130.000	
Everton Grange »	121.600	
Highland Enterprise. »	66.000	
Highland Hope »	66.000	
Miltiades. »	37.000	
Somerset. »	130.000	
Star of Ireland. »	70.000	
Zone. »	65.000	
		<u>852.600 carcasses.</u>
19 Steamers {		
1 bateau à voile {	1.030.600	»

R É S U M É		
Route	Nombre de bâtimens	Capacité
de l'Australie au Royaume Uni, etc.	55	2.064.900 Carc.
de la Nouvelle-Zélande et aussi de l'Australie au R. U.	45	1.438.900 —
de la Nouvelle-Zélande à Londres, etc.	37	2.983.000 —
de La Plata au Royaume Uni, etc.	40	4.793.600 —
	147	8.277.400 —
Liste supplémentaire	20	4.030.600 —
Total	167	9.308.000 —

Le tableau suivant est la liste des principaux docks de réfrigération de Londres au 31 décembre 1902.

	Capacité — carcasses
L. et I. Docks Co., Victoria Dock.	315.000
— Victoria Dock Extension	180.000
— West India Dock.	90.000
— West Smithfield	90.000
— South Dock	13.000
London Central Markets (Poplar Riverside Store	200.000
Cold Storage Co., Ltd. (Central Markets Store	150.000
Union Cold Storage Co., of Cannon St., Ltd.	220.000
— — of Blackfriars, Ltd.	80.000
† London (Riverside) Cold Storage Co., Ltd.	240.000
C. C. et D. Co., Lambeth Wharf.	200.000
New Hibernia Wharf	130.000
Hay's and Cotton's Wharf.	120.000
Thames Cold Storage Co., Ltd.	100.000
Blackfriars Cold Storage Co., Ltd., Purfleet Wharf	90.000
† Metropolitan Markets Cold Storage Co., Ltd.	80.000
Sansinena's Frozen Meat Co's. Store	13.000
— — New Store	55.000
River Plate Fresh Meat Co's. Stores.	60.000
J. Nelson et Sons' Store	30.000
Palmer's Store, Smithfield	23.000
Linde British Refrigeration Co., Shadwell	16.000
Paul's Pier Wharf	15.000
Eastmans' Store	13.000
Capacité totale en moutons de 25 kg.	2.523.000

† *Maintenant en cours de construction.*

Le résultat d'un tel commerce au point de vue économique et social est considérable.

Les graphiques que nous donnons (pl. IX) montrent les variations des prix et des importations des viandes réfrigérées en Angleterre. On voit que ces importations ne font nullement baisser les prix non plus que la consommation des viandes fraîches.

Nous sommes assurément loin d'atteindre en France un tel résultat et cependant nous en avons besoin.

« 250 à 260 grammes de viande fraîche ou conservée, ou de matières analogues (poisson, volaille, etc.), dit M. Gautier, sont nécessaires par jour et par tête pour assurer à une population européenne, dans nos climats tempérés, une alimentation rationnelle, saine et convenable. La viande et ses succédanés, fournissent environ la moitié des albuminoïdes qui nous sont journellement nécessaires et 1/3 de l'énergie totale que les aliments introduisent dans l'économie. »

Il est donc désirable que chacun de nous dispose de 180 à 200 grammes au moins de viande fraîche, soit par an et par tête 73 kg. de viande de boucherie et 24 kg. de charcuterie, volailles, etc.

En 1896 nous n'en consommions que 37 kg. (43 kg. avec les succédanés), et les Anglais 43 kg., 500 (51 kg. avec les succédanés). Ces chiffres sont éloquentes, et la différence s'est considérablement accrue encore depuis. La consommation de la viande de boucherie a diminué en effet dans toute la France. Elle est tombée de 1887 à 1896.

à Paris.	de 67 à 61 kilogs
à Lyon.	de 58 à 50 —
à Bordeaux	de 88 à 82 —

D'après les chiffres que nous avons donnés plus haut pour l'Angleterre, nous avons vu combien la consommation de la viande avait augmenté et cela grâce aux importations de viande réfrigérée.

Il manque en somme en France 30 kg. de viande par tête et par an. C'est donc 1 200 000 tonnes de viandes fraîches qu'il faudrait que nous prenions aux pays qui en regorgent.

Il n'est pas possible de penser à amener le bétail sur pied ; il y a dans ce dernier cas trop de risques à courir, le transport coûte trop cher et la viande arrive malsaine et fatiguée. C'est donc à la viande réfrigérée que nous devons nous adresser pour compléter notre ration alimentaire.

D'autres considérations économiques doivent encore nous conduire à développer dans le plus bref délai le commerce de la viande réfrigérée dans notre pays. L'exploitation de certaines de nos colonies, de Madagascar en particulier, ne peut être établie sur des bases solides qu'en favorisant la production du bétail et son importation dans la Métropole à l'état de viande frigorifiée. L'Indo-Chine est presque dans le même cas. Elles peuvent rivaliser toutes deux avec l'Australie pour l'élevage du bœuf et du porc.

L'Algérie et la Tunisie peuvent nous envoyer à profusion la viande de mouton.

Dans un rapport lu au congrès colonial de 1903, M. H. Faucher (Moyen de développer l'élevage du bétail dans les colonies françaises), a montré tout le parti que l'on pouvait tirer de Madagascar.

Dans la carte schématique annexée, dressée d'après les documents à lui fournis par le général Galliéni, on voit :

1° La délimitation des différentes provinces de l'île.

2° Les effectifs de la population bovine de chaque province.

3° Les effectifs du bétail susceptible d'être exporté actuellement, sans inconvénient pour la satisfaction des besoins locaux, par les différents ports de la colonie. Un rayonnement indique en outre les provinces d'origine de ce bétail exporté, et, pour chacune de ces provinces, les quantités pouvant être fournies à l'exportation.

Il résulte des indications de cette carte, d'après M. H. Faucher, que la capacité annuelle d'exportation du bétail de la grande île est voisine de 100 000 têtes (exactement 96 000).

En 1902, Madagascar a exporté 32 924 têtes qui se sont réparties ainsi qu'il suit dans les différents ports :

Vohémar.	15.662
Analalava	5.162
Majunga.	4.914
Tuléar	3.651
Tamatave	2.088
Diégo	1 000
Fort-Dauphin	303
Nossi-Bé	144
Total.	32.924

En 1902 le prix moyen des bœufs semble avoir oscillé entre 60 et 80 fr. par tête.

Vohémar, Diégo, Analalava, Majunga ou Tuléar, soit dans les centres d'élevage de l'hinterland qui ont ces ports pour débouchés naturels.

Pour l'Algérie, M. H. Faucher cite les principaux centres d'élevage du mouton :

Chellala et Djelfa dans la province d'Alger ; Biskra, Châteaudun du Rhumel, Sétif et Sebdo dans la province de Constantine ; Bédau, El Ancha, Tiaret et Trézel dans la province d'Oran.

Enfin, rappelons avec M. H. Faucher les avantages que possédera au point de vue fiscal les viandes frigorifiées.

Les viandes congelées de bœuf, de mouton et de porc, importées d'Indo-Chine, de Madagascar et d'Algérie, sont admises en exemption de droits, à la condition que le transport ait été effectué en droiture et que l'origine soit justifiée dans la forme réglementaire. (Loi du 11 janvier 1892, article 3 et tableau E annexé à cette loi.)

Pour celles provenant de la Tunisie, elles acquittent les droits du tarif général augmentés de la surtaxe d'entrepôt de 3 fr. 60 par 100 kg. si les marchandises n'arrivent pas en droiture du protectorat.

Ci-dessous nous donnons un extrait du tableau des droits :

TARIF GÉNÉRAL

CHAPITRE II. — *Produits et dépouilles d'animaux.*

	Produits d'origine euro- péenne	Produits d'origine extra-européenne	
		importés directement d'un pays hors d'Europe	importés des entrepôts d'Europe
N° 16 { Viandes fraîches de mouton (A) . .	32 fr.	32 fr.	35 fr. 60
de porc (B) . .	18	18	21 60
bœuf et autres (A).	25	25	28 60

Les 100 kilos net.

En encourageant en France et dans les colonies françaises un tel mouvement, on voit donc les progrès que l'on ferait faire.

Une nourriture plus abondante et plus fortifiante à la plus grande partie de nos populations, nos colonies recevant une vigoureuse impulsion, étant la source d'un mouvement commercial intense, prospéreraient et ne seraient plus pour la mère-patrie une charge lourde, encombrante et quelquefois inutile puisqu'on ne sait en profiter.

A côté des viandes congelées importées d'assez loin, on peut signaler, conservés dans les mêmes conditions, des œufs et du beurre de Russie et des Etats-Unis, du beurre du Canada et de Danemark, des volailles et du gibier d'Australie, en particulier des lapins, enfin les poissons, tels que le saumon canadien.

Nous allons voir que des considérations économiques analogues vont nous montrer toute l'importance du mouvement commercial produit par le développement des industries frigorifiques en Angleterre, et les conséquences qui en découlent pour notre pays.

Importation du beurre

L'importation annuelle du beurre en Angleterre est considérable et nous avons été pendant longtemps le plus important de ses fournisseurs. Pour l'année qui s'est terminée au 30 juin 1903, l'importation totale du beurre a été de 200 186 tonnes anglaises (la tonne anglaise vaut 1 015 kilogrammes, ce qui donne un accroissement de 12 279 tonnes sur l'année précédente 1902 et de 24 727 tonnes sur l'année 1901.

Cet accroissement des deux dernières années est exceptionnellement élevé, car durant la dernière décade l'accroissement total a été de 83 066 tonnes, dont la moyenne annuelle d'accroissement est 8 300 tonnes, mais la France est pour bien peu de choses dans ce développement.

La prospérité croissante de la population anglaise est certainement pour beaucoup dans ces chiffres, car les baisses de prix n'ont pas été suffisantes pour les expliquer seuls.

Mais d'autre part, la population croissante, la consommation de lait augmente beaucoup et au contraire, la quantité de vaches dans ces dernières années a sensiblement diminué ; cela explique donc encore le besoin que l'Angleterre présente de s'approvisionner de beurre au dehors.

Année, finissant au 30 juin	Colonies anglaises				Etranger													Total général
	Australie	Canada	Nouvelle-Zélande	Total des importations coloniales	République Argentine	Belgique	Danemark	France	Allemagne	Hollande	Norvège	Russie	Suède	Etats-Unis	Autres pays	Total pour les importations étrangères		
	Tonnes	Tonnes	Tonn.	Tonnes	Tonn.	Tonn.	Tonnes	Tonnes	Tonn.	Tonnes	Tonn.	Tonnes	Tonnes	Tonn.	Tonn.	Tonnes	Tonnes	
1894	10.002	2.497	3.321	15.820	—	2.201	50.480	20.679	7.391	7.283	769	3.536	12.921	2.085	186	107.534	123.054	
1895	13.808	4.021	2.978	17.807	7	1.261	56.567	22.401	6.032	9.169	774	5.494	14.356	499	170	116.730	134.537	
1896	8.260	2.100	2.589	12.949	689	1.795	62.836	23.342	6.051	10.342	689	7.110	16.258	5.032	105	133.249	146.498	
1897	9.978	4.537	3.576	18.141	544	1.649	63.166	22.343	3.203	13.430	1.331	9.078	15.120	8.519	420	138.800	156.911	
1898	7.837	5.962	3.933	17.732	867	1.369	69.051	22.552	2.431	13.524	1.332	9.358	15.344	5.772	426	141.426	159.458	
1899	9.764	8.451	4.328	22.443	950	2.321	74.977	19.301	1.953	13.741	1.571	7.704	13.795	5.783	97	142.193	164.636	
1900	17.653	11.932	7.949	37.534	1.361	3.754	71.708	16.677	1.850	14.354	1.321	7.588	10.420	4.379	515	133.957	171.491	
1901	15.556	7.532	8.912	32.000	1.052	4.009	75.664	15.380	1.371	14.889	1.299	13.016	9.809	6.600	370	143.459	175.459	
1902	7.449	11.491	8.295	27.235	2.529	3.777	82.757	16.862	1.324	15.849	1.425	22.408	8.746	4.894	431	160.672	187.907	
1903	1.055	13.238	9.575	23.868	4.490	1.205	83.903	22.065	768	19.924	1.109	22.180	20.376	2.490	410	176.320	200.486	

On voit d'après ce tableau que pour trois pays seulement, l'exportation du beurre en Angleterre a diminué.

Pour l'Australie, la cause en est l'extraordinaire sécheresse de ces dernières années.

Pour l'Allemagne, l'accroissement progressif de sa population et pour la Suède, la concurrence heureuse que lui fait le Danemark à ce point de vue.

Quant aux autres contrées, pour toutes, la quantité exportée à l'Angleterre a augmenté.

Le Danemark	a envoyé	38.000 tonnes de plus qu'en 1894.
La Russie	—	18.500 — —
La Hollande	—	12.500 — —
Le Canada	—	11.000 — —
La Nouv.-Zélande	—	6.000 — —
L'Argentine	—	4.000 — —
La Belgique	—	2.000 — —
La France	—	1.500 — —
Les Etats-Unis	—	400 — —
La Norvège	—	350 — —

Le commerce laitier d'exportation de la République Argentine a même été entièrement créé ces dernières années et ce n'est pas le moins florissant.

La Russie qui exporte aussi de grandes quantités de beurre, les

écoule plus facilement sur le continent et son exportation à l'Angleterre tend à diminuer légèrement (de 228 tonnes cette année sur l'année précédente).

Etudions maintenant l'importation du beurre en Angleterre en distinguant les importations coloniales et les importations étrangères.

Ces dernières sont en moyenne le sextuple des premières.

L'arrivage d'*Australie* a été presque aussi faible cette année qu'en 1890, première année d'exploitation. La sécheresse persistante qu'il a fait a obligé à une diminution considérable dans l'exportation du beurre. Les chiffres maxima furent atteints en 1900 où 17 207 tonnes (1 015 kilogrammes la tonne) furent envoyés en Angleterre par transports frigorifiques.

Depuis 1892, l'importation de l'*Australie* n'a jamais d'ailleurs excédé que celle de la *Nouvelle-Zélande*.

En 1899-1900, l'importation est descendue à 7 669 tonnes et en 1901-1902 à 1 152 tonnes.

Cette sécheresse désastreuse a pris fin et l'*Australie* va selon toutes probabilités voir de fertiles années.

La *Nouvelle-Zélande* n'a jamais à souffrir des écarts de climats comme l'*Australie* aussi son exportation croît-elle régulièrement.

En 1894-1895, elle se montait à 2 305 tonnes, en 1902-1903, elle a atteint 8 534 tonnes.

Le manque de beurre australien l'a fait remplacer dans bien des cas par celui de la *Nouvelle-Zélande* ; sa supériorité est apparue et il est coté maintenant beaucoup plus haut qu'autrefois.

Prix des beurres australiens et zélandais.

Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Moyenne de la saison
—	158,9	137,85	135,0	139,9	124,65	116,6	107,35	126,60
129,4	156,6	130,10	134,6	139,4	129,1	130,5	120,10	134,00
134,4	142,5	133,90	134,6	134,2	127,0	118,8	117,30	130,40
—	128,75	128,90	128,8	120,1	123,95	131,25	120,70	125,40
—	138,70	134,0	137,50	127,0	127,0	122,50	122,60	130,00
150,0	147,00	130,6	131,45	124,35	125,0	120,0	117,90	130,60
134,4	137,50	137,50	139,60	140,7	137,2	130,0	127,50	135,50
—	—	144,60	134,30	159,3	138,1	138,0	159,30	137,20
—	—	145,00	142,30	134,0	126,2	134,0	127,50	134,60
137,2	138,81	135,90	135,4	131,75	128,60	126,80	121,75	131,55
137,3	139,4	150,5	140,0	142,20	131,90	117,40	118,8	137,1
140,0	160,5	146,7	141,35	144,50	142,50	137,80	123,20	142,15
142,2	156,0	146,3	148,75	148,75	141,45	135,75	127,60	143,35
142,4	133,9	142,6	137,60	137,60	142,15	140,8	126,00	138,20
137,3	146,2	144,5	152,50	140,00	141,25	140,7	132,50	141,85
162,5	159,4	145,0	153,20	142,00	137,50	132,50	131,25	145,60
143,2	148,75	152,8	156,30	155,75	146,0	141,45	135,90	147,80
152,5	158,8	153,6	146,60	141,85	146,0	142,25	140,40	147,80
142,3	147,50	147,50	145,80	138,70	139,50	150,20	138,45	143,50
144,0	150,25	147,80	146,7	142,50	141,35	138,70	130,50	142,90
8,0	10,35	12,0	11,60	11,80	12,75	11,90	8,75	11,50

Quoique la dernière année, l'Angleterre ait pu arriver à donner le beurre à des prix plus bas, en moyenne, qu'aucun de ceux précédemment faits, les mois de novembre, décembre et janvier ont accusé des prix plus élevés que durant l'année précédente aux mêmes mois.

L'arrivage des beurres australiens et zélandais sur les marchés anglais s'est fait plus tard que de coutume : c'est ainsi que les premiers beurres d'Australie arrivèrent le 8 décembre à Londres, au lieu du 26 octobre, pour l'année précédente, de Nouvelle-Zélande, le premier arriva le 20 novembre au lieu du 18.

Le *Canada* est maintenant le pays dont l'exportation en Angleterre est la plus considérable et c'est récemment qu'elle a pris la première place.

En 1893-1894, le Canada n'envoya à la mère patrie que 2 197 tonnes, tandis que l'année 1902, quand l'importation anglaise atteignit 13 288 tonnes, la plus grande partie venait du Canada. L'exportation du beurre comme celle du fromage, si la prospérité de la colonie continue, sera bientôt presque la seule en Angleterre. Jusqu'à présent elle n'excède que d'un tiers la quantité exportée par la Nouvelle-Zélande.

Pour la qualité, le beurre canadien n'a pas encore atteint la perfec-

tion quoique la pasteurisation en usage dans le pays depuis quelque temps l'ait beaucoup bonifié. Cette pratique ne tardera d'ailleurs pas à devenir universelle.

Malheureusement le beurre canadien ne se conserve pas tout à fait aussi bien que les précédents ; s'il arrive en bon état en Angleterre, il se détériore au moment de la vente, aussi cette propriété l'empêche-t-il d'arriver au prix qu'il pourrait atteindre.

Le beurre canadien se vend en Angleterre généralement de mai à février ou mars de l'année suivante ; il ne dispute donc pas la place aux beurres australiens et zélandais dont la saison est surtout octobre, novembre, décembre, janvier, alors que la sienne est virtuellement close, en effet, le Canada ne peut exporter de beurre en hiver, celui qui se vend donc vers la fin de l'année vient d'entrepôts frigorifiques.

Pour la dernière saison finissant au 30 juin 1903, la moyenne mensuelle des prix les plus élevés du beurre canadien à Londres furent : juillet 98/6, août 99/6 ; septembre 100/9 ; octobre 100 ; novembre 103 ; décembre 105 ; janvier 101/6 et février 94 par 50 kilogrammes. En mars, avril et mai, il n'y en eut pas sur le marché. Les prix de juin atteignirent une moyenne de 94 par 50 kilogrammes.

Importation du beurre colonial durant la saison du beurre Australien.

Saison (sept. à avril)	Australie					Nouvelle- Zélande	Canada	Total général
	Victoria	N. S. Wales	Australie prop. d'te	Queensland	Total de l'Australie			
1894-95	205.308	26.338	11.633	—	243.279	46.093	47.979	307.351
1895-96	143.651	4.058	6.984	—	154.693	51.466	31.067	233.926
1896-97	440.701	32.316	1.393	1.273	475.683	61.763	66.810	304.256
1897-98	106.745	44.685	463	5.757	157.350	73.607	85.050	316.007
1898-99	145.358	41.703	3.312	2.749	193.122	81.332	121.989	396.443
1899-00	252.703	76.410	7.722	7.306	344.141	149.290	146.444	639.875
1900-01	227.024	71.831	5.749	1.262	305.866	145.033	65.588	516.487
1901-02	116.351	32.365	1.725	2.937	153.378	146.437	130.879	430.394
1902-03	21.232	1.817	—	—	23.049	170.675	162.327	379.400

On a proposé il y a peu de temps, au ministère de l'Agriculture de Londres de régler la quantité d'humidité devant être tolérée légalement dans le beurre et le Parlement à sa dernière session a arrêté la proportion à 16 0/0, excepté pour un beurre irlandais tout spécial et fort renommé. Tout autre beurre contenant une plus forte proportion d'eau

doit être vendu sous le nom de « Butterine », petit beurre léger sans grandes qualités.

Cette proposition a été adoptée après bien des discussions et votes contradictoires.

Quelques fabricants de beurre ont préféré dénommer leurs produits : « Beurre mélangé de lait », mais cette appellation loin de nuire au beurre dans l'esprit de l'acheteur est considérée par celui-ci comme la preuve de la nature du produit, simple et sans falsification. Les beurres coloniaux ainsi dénommés ont toujours beaucoup de succès sur le marché.

La différence de qualité entre les beurres zélandais ou australiens et les beurres canadiens tient à leur préparation; les premiers sont préparés pour l'exportation avec tout le soin désirable tandis que ce n'est pas leur meilleur beurre que les Canadiens exportent. De plus, le gouvernement canadien est opposé à l'emploi de l'acide borique pour conserver le beurre durant le voyage; c'est pourtant là le meilleur moyen de préservation que l'on ait employé jusqu'à présent; son emploi a été légalisé en Angleterre, on lave les wagons avec de la chaux et il ne reste aucune mauvaise odeur.

De plus, le beurre expédié de Toronto ou de Montréal voyage dans des wagons froids, mais non glacés; il est conservé à la température de la gelée mais non à celle de la glace qui est plus basse et surtout plus constante.

Par contre, le beurre canadien est mieux emballé que les beurres zélandais et australiens; on le met dans des caisses de bois doublé de papier paraffiné, qui est supérieur au double papier parchemin employé pour les autres.

Il est autre chose encore qui nuit au beurre canadien, on l'emballé aussitôt qu'il est fait; arrivé en Angleterre, on le vend en été pour le conserver au froid jusqu'à l'hiver; à cette époque, il a déjà beaucoup diminué de qualité.

Le transport du beurre se fait à bord de navires frigorifiques, dont nous avons déjà parlé plus haut.

La quantité de beurre expédié d'Australie durant la dernière saison était si minime, qu'il est peu intéressant de parler des installations employées pour son transport.

Plusieurs des steamers zélandais ont chacun transporté en un voyage une cargaison supérieure à la totalité du beurre australien exporté durant la dernière saison.

On a pris depuis quelque temps l'habitude de ne charger les marchandises qu'en deux ports de la Nouvelle-Zélande au lieu de plusieurs comme autrefois. Il y a par suite un très grand bénéfice étant donnée la plus grande rapidité du travail.

Il y aurait d'ailleurs quelques perfectionnements à apporter dans l'aménagement des cales froides des vaisseaux.

Est-il besoin d'insister sur l'énorme développement que ces chiffres font ressortir, sur les intérêts économiques mis en jeu, sur l'abondance prodigieuse qu'il en résulte pour un pays. En même temps, nous voyons la France, pays agriculteur par excellence, le plus voisin de l'Angleterre, être rapidement dépassé et noyé par les pays beaucoup plus éloigné le Danemark, la Russie, le Canada, la Nouvelle-Zélande, l'Australie, qui grâce aux transports frigorifiques peuvent jeter sur les marchés anglais des denrées mieux conservées, d'une qualité presque équivalente et de prix inférieur.

Le tableau que nous donnons (pl. X) montre combien les beurres français tiennent difficilement leur rang et perdent peu à peu du terrain sur les beurres danois et australiens.

Importation du fromage

L'importation du fromage est en raison inverse de celle du beurre, c'est-à-dire que les colonies anglaises lui envoient davantage que l'étranger, environ 2 fois $\frac{1}{3}$ de plus.

Depuis 1894, l'importation coloniale de fromage a atteint 33 000 tonnes et l'importation étrangère a diminué de 13 400 tonnes ; cependant la consommation totale du fromage augmente et depuis 1894, l'importation totale s'est élevée de 109 820 tonnes à 129 599 tonnes, c'est-à-dire que l'augmentation a presque atteint 20 000 tonnes dans les mêmes conditions l'augmentation du beurre a été de plus de 77 000 tonnes, environ 4 fois celle du fromage.

Le tableau suivant donne l'importation totale du fromage durant les dix dernières années.

Importations des fromages en Angleterre pour les 10 dernières années.

Année finissant au 30 juin	Importations des colonies de l'Angleterre				Importations des pays étrangers en Angleterre						Total général
	Australie	Canada	Nouvelle-Zélande	Total pour les colonies	Belgique	France	Hollande	Etats-Unis	Autres contrées	Total pour les pays étrangers	
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1894	304	55.419	4.902	57.322	4.281	2.744	13.845	34.403	525	52.498	109.820
1895	964	56.749	3.912	61.622	4.359	2.786	15.426	32.731	268	52.570	114.492
1896	81	59.423	2.974	62.478	4.481	2.582	14.431	25.744	334	44.569	107.047
1897	20	63.738	3.270	67.028	4.957	4.878	15.352	26.968	462	46.317	113.345
1898	8	75.214	2.398	77.620	4.903	4.922	14.241	30.934	444	49.414	126.734
1899	—	72.278	4.474	73.752	2.962	4.543	15.630	26.714	436	46.983	120.737
1900	480	70.549	3.973	74.702	2.599	4.939	17.019	32.483	463	53.903	128.603
1901	7	77.267	4.486	81.460	3.706	4.279	16.482	28.034	377	49.578	131.038
1902	—	76.297	2.710	79.007	3.493	4.936	14.756	26.454	206	46.245	125.252
1903	—	87.883	2.647	90.500	4.454	4.596	15.427	17.785	437	39.099	129.599

Les colonies qui fournissent l'Angleterre de fromage sont seulement au nombre de deux ; le Canada et la Nouvelle-Zélande. Le premier en envoi jusqu'à 87 883 tonnes et la Nouvelle-Zélande environ la quarantième partie de ce nombre.

Le fromage canadien ordinairement si universellement recherché a baissé dans l'estime de beaucoup de consommateurs cette année parce qu'il avait été emballé et expédié trop tôt.

Les prix ont cependant été encore fort élevés pendant tout le printemps ainsi que le montrent les moyennes suivantes :

Moyenne des valeurs les plus élevées à Londres des fromages canadiens.

Année finissant au 30 juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Moyenne par an
1895	120,0	119,2	126,6	132,6	131,6	132,6	131,6	129,2	129,0	127,4	116,4	95,0	124,2
1896	100,8	103,6	103,4	105,0	118,8	117,2	116,4	115,0	114,0	116,4	128,8	117,4	110,6
1897	112,4	109,0	114,4	127,4	134,0	132,2	138,0	131,8	148,0	145,6	143,8	124,4	131,2
1898	108,8	110	119,8	119,2	117,2	113,2	110,4	107,4	105,8	107,2	115,6	103,2	111,4
1899	97,4	100,8	104,8	110,2	114,0	124,2	127,2	125,0	120,6	135,4	132,6	115,4	118,2
1900	112,2	116,4	139,2	146,4	145,0	148,6	152,2	151,4	159,2	157,4	149,8	138,0	124,4
1901	114,4	130,0	134,2	141,6	137,4	137,4	135,0	135,0	127,4	126,4	128,6	125,4	130,2
1902	120,0	122,4	120,0	117,2	117,8	122,2	130,0	130,0	136,4	142,2	150,0	135,0	129,0
1903	125	125,0	125,0	140,0	147,4	152,4	160,0	161,4	171,4	179,8	165,6	140,0	149,8
Moyenne des 9 années	113,2	116,4	120,2	127,0	133,2	131,2	133,4	134,2	135,2	138,0	135,2	121,4	128,0

Le fromage zélandais est généralement estimé, mais moins que le canadien, quoique souvent il le vaille.

Les prix ont subi de nombreuses fluctuations pour avoir une moyenne générale analogue à celle des années précédentes.

Contrairement à ce qui s'est produit pour les colonies anglaises, la production du pays lui-même est restée stationnaire.

Le tableau suivant, fait d'après les indications d'autorités hors de pair, montre la production approximative de l'Angleterre en lait, beurre et fromage.

Année finissant au 31 décembre	Nombre total de vaches et autres bestiaux au point de vue du rendement en lait et en viande	Nombre de vaches par 1000 de population	Nombre de bestiaux donnant du lait toute l'année (75 0/0 du nombre total)	Influence de la saison Pourcentage au-dessus et au-dessous de la moyenne prévue pour 10 années	Total approximatif de la quantité de lait produit dans les 52 semaines par 75 0/0 du bétail total (à 24½ kg. par vache)	Total approximatif du beurre produit dans les 52 semaines en prenant 32 0/0 du lait total donnant 80 liv. de beurre par tonne de lait	Total approximatif de la quantité de fromage produit dans les 52 semaines en prenant 300 0 du lait total donnant 220 liv. de fromage par tonne de lait
					Tonnes	Tonnes	Tonnes
1888	3.853.002	104,4	2.889.752	+ 5.6	7.476.365	85.544	446.856
1889	3.814.593	102,6	2.860.945	+ 5.3	7.380.808	84.351	444.980
1890	3.956.220	103,5	2.967.165	+ 3.0	7.487.610	85.572	447.078
1891	4.117.707	108,9	3.688.281	Average	7.566.288	86.472	448.624
1892	4.420.451	108,1	3.090.339	- 5.6	7.447.337	84.684	440.394
1893	4.044.055	104,4	3.040.542	- 9.0	6.742.004	76.709	431.813
1894	3.925.486	101,2	2.944.145	+ 6.3	7.667.505	87.628	450.614
1895	3.937.590	100,5	2.953.193	- 3.5	6.982.087	79.652	437.448
1896	3.958.762	100,0	2.969.387	- 4.0	6.983.999	79.817	430.000
1897	3.984.167	99,7	2.988.126	+ 3.1	7.547.856	86.261	448.260
1898	4.035.501	100,0	3.025.526	+ 3.2	6.645.405	87.372	450.474
1899	4.133.249	101,9	3.099.937	- 3.5	7.329.027	83.760	430.020
1900	4.096.682	100,1	3.072.512	+ 3.0	7.753.484	88.611	452.300
1901	4.402.061	98,7	3.076.546	- 4.0	7.236.036	82.653	442.436
1902	4.084.341	97,3	3.063.256	+ 3.5	7.767.654	88.773	452.578
Five Years' Average	3.972.394	105,9	2.979.296	+ 2.0	7.444.687	84.704	445.586
	3.964.012	101,1	2.973.072	- 4.4	7.178.690	82.013	439.372
	4.090.366	99,6	3.067.555	+ 0.4	7.546.260	86.233	445.441

Cette production stationnaire en elle-même a en réalité diminué étant donné l'accroissement de la population.

En effet, tandis qu'en 1892, on comptait 108,1 vaches par 1000 habitants, il n'y en a plus actuellement que 97,3.

Cela tient en partie à l'usage croissant des séparateurs de crème qui permettant d'extraire une plus forte proportion de crème du lait traité demandent moins de matière première.

La population augmente, il est vrai, mais la régularité avec laquelle les produits coloniaux réfrigérés arrivent semaine par semaine, leur

parfait état de conservation et leur qualité supérieure empêchent un accroissement plus considérable des matières premières dans la Mère Patrie (1).

Il est encore bien d'autres denrées qui affluent en Angleterre par ces moyens et nous avons déjà signalé les fruits : banaues, pommes, poires, pêches, abricots, cerises, citrons, ananas, tomates, prunes, etc., etc. qui viennent des Etats-Unis, du Canada, du Cap, de l'Australie, de l'Egypte, de la Jamaïque, des Canaries. Enfin des œufs, de la volaille, du gibier du Canada, de la Russie et de l'Australie ; du saumon du Canada, etc.

Nous avons pris pour exemple l'Angleterre, mais tous les autres pays marchent dans le même sens.

En *Allemagne*, on compte près de 400 dépôts frigorifiques installés près des Halles, sans compter ceux des abattoirs ni ceux spécialement destinés aux beurres, aux œufs, aux fruits.

Au *Danemark*, nous avons vu l'énorme extension des importations de beurre en Angleterre. Il a été de même organisé la vente du lait congelé et des œufs.

C'est ainsi que l'exportation des œufs a cru de la façon la plus sensible :

En 1865 elle était de	656.940 œufs de poules
En 1881 — 35 millions et demi	—
En 1898 — 240 millions	—

Le lait congelé ou glacé expédié augmente aussi chaque jour dans des proportions considérables.

En *Russie*, les stations frigorifiques augmentent sans cesse et il en résulte une formidable exportation de beurre. La Société de navigation *La Finska* a reçu récemment une subvention de 3 millions du gouvernement de la Finlande, afin qu'elle munisse ses bateaux de cales frigorifiques.

Aux *Etats-Unis*, il existe 850 dépôts publics sans compter les entrepôts, attendant aux abattoirs municipaux. Les œufs qui y sont conservés chaque année représentent une valeur de 100 millions de francs.

Les fruits de la Californie et des Etats du Sud sont expédiés dans tout l'Est, dans des wagons spéciaux, nommés *réfrigérateur*.

(1) Ces documents sur le commerce anglais du beurre et du fromage réfrigérés sont extraits de la *Revue spéciale*. WEDDEL, *Colonial Dairy Produce Review*.

Si nous comparons à côté de cela la France, nous voyons qu'il *n'y a rien de fait*, que tout est à créer, que tout est à mettre en mouvement. A peine si nous voyons 2 ou 3 entrepôts et quelques wagons frigorifiques. Nous n'avons aucune flotte de ce genre.

Tout est à faire, la conservation et l'importation des viandes réfrigérées des colonies de Madagascar et de l'Algérie, l'emmagasiner des œufs, de la volaille, du beurre, du gibier, l'approvisionnement des villes en un lait non falsifié, la conservation et le transport des fruits et des primeurs, etc. L'industrie frigorifique n'existe pas en France, tout est à créer et doit être créé si notre pays veut maintenir son rang économique au milieu du prodigieux essor que prennent les nations.

CHAPITRE X

LES APPLICATIONS DU FROID A LA BRASSERIE

La fabrication de la bière exige, pour que le produit obtenu soit d'une belle qualité et d'une bonne conservation des conditions de température parfaitement définies, réalisables seulement par le refroidissement énergétique et continu des liquides en fermentation.

Jusqu'à ces dernières années, la fabrication de la bière et surtout de la bière de conserve est restée le monopole presque exclusif des pays du Nord. Ces brasseries employaient la glace recueillie sur les étangs ou sur les prairies inondées pendant l'hiver, en l'emmagasinant dans d'immenses glaciers; la glace apportée des mers du Nord par des navires, permettait encore de combattre les chaleurs de l'été, quand la provision contenue dans les glaciers était épuisée.

Mais la production de la bière s'est accrue dans des proportions considérables, et la quantité de glace que l'on peut recueillir chaque hiver est essentiellement variable, très inconstante, dépendant de la rigueur du climat et de l'intensité du froid.

Les machines à produire artificiellement la glace ont permis, depuis plusieurs années déjà, de remédier à cet inconvénient capital, et maintenant on peut dire que, grâce à leur puissant concours, la fabrication de la bière est illimitée.

De plus, et c'est là surtout ce qu'il importe de constater : c'est dans les pays du sud, dans les climats chauds, là où l'influence hygiénique et désaltérante de cette boisson bienfaisante se fait désirer, qu'on peut en aborder la fabrication sur place, dans des conditions d'économie et de sécurité complète, grâce au concours des machines à glace.

Le moût est une infusion de houblon et d'orge germée ou malt faite à la température de 100° C. Après avoir subi, pour arriver à cette température, une série d'opérations dont le nombre et la nature diffèrent suivant le système employé pour le brassage, il doit être refroidi le plus rapidement possible, et amené à la température de + 15°, + 10° et même + 5° Centigrades, selon le genre de fermentation à laquelle il doit être soumis.

Le moût amené ainsi à une température relativement basse, est prêt à subir les différentes phases de la fermentation alcoolique. Cette fermentation est provoquée par un champignon spécial, la *levure de bière*. Sous l'action de ce ferment il se produit une véritable combustion du sucre, un dégagement considérable d'acide carbonique, formation d'alcool, élévation de la température.

Si on ne combat pas cet échauffement, la température du liquide s'élève rapidement de plusieurs degrés au-dessus de celle qu'il présentait tout d'abord.

Les ferments alcooliques, les levures, appartiennent à un certain nombre de variétés et la nature même de la fermentation varie suivant la variété de levure considérée. Les conditions de température sont variables aussi. Ainsi dans le cas de fermentation haute il y a production d'une grande quantité de chaleur, dégagement abondant et tumultueux d'acide carbonique et la levure se rassemble surtout à la surface du liquide.

Si on combat l'échauffement et si la fermentation se poursuit à basse température, le dégagement d'acide carbonique est lent, la levure se dépose au fond de la cuve ; c'est la fermentation basse qui se produit ainsi d'une façon lente et régulière ; c'est celle qui donne en général les produits les plus appréciés.

Quand cette fermentation est achevée ou plutôt considérablement ralentie, après une période qui varie de 10 à 20 jours, suivant les cas, la bière est retirée des cuves de fermentation et est amenée dans les caves dites de « garde », où elle est emmagasinée dans de grands foudres.

Là, la fermentation continue lentement ; il y a encore production d'acide carbonique et tendance à un échauffement spontané.

Pour conserver à la bière ses bonnes qualités, les développer même et obtenir finalement un produit sain, livrable à la consommation, il faut en prolonger le refroidissement dans les caves de garde pendant les trois ou quatre mois qu'elle y séjourne.

Il faut absorber environ en totalité par litre de bière de 100 à 160 calories, soit au maximum déterminer la fusion de 2 kg. de glace à 0° au minimum, celle de 1 kg. 250.

1° *Refroidissement du moût.*

De toutes ces opérations, le refroidissement du brassin en est certainement une des plus importantes.

Le moût qui sort bouillant de la chaudière à houblonner et qui va, pour être transformé en bière, subir la fermentation alcoolique, doit être amené d'abord à la température la plus convenable pour la mise au levain.

Il y a, pendant ce refroidissement, une oxydation intense, augmentée encore dans une forte proportion si l'on a soin d'agiter énergiquement le liquide pendant toute la durée de l'opération.

L'oxydation du moût joue un rôle considérable dans le développement ultérieur de la levure ; elle semble renforcer son activité, permet ainsi une fermentation plus régulière, plus saine et plus rapide.

La fixation d'oxygène par le moût a aussi l'avantage de favoriser et d'activer le refroidissement du liquide.

Les gaz atmosphériques s'emparent d'une certaine quantité de chaleur par simple connexion ; mais en outre la dissolution et la fixation de l'oxygène ajoute encore aux phénomènes une absorption de chaleur spéciale qui est loin d'être négligeable. La nature même de cette oxydation est d'ailleurs loin d'être absolument définie.

Pasteur, dans ses études sur la bière, avait reconnu que l'action de l'air est bien différente, suivant que le moût est chaud ou froid. Dans le premier cas, il y a une oxydation, c'est-à-dire une action chimique, dans le second, une simple dissolution d'oxygène, c'est-à-dire un phénomène physique qui sera promptement limité, un litre de moût ne pouvant guère dissoudre, à la température ordinaire, que 3 à 6 cm³ d'oxygène.

L'action chimique est, à coup sûr, très complexe ; elle produit la coagulation de matières azotées surabondantes et aussi l'oxygénation des résines. Il en résulte une purification partielle et une clarification rapide. Pratiquée dans des limites exactes, cette opération est parfaite, elle stérilise le moût et la bière se clarifie et se conserve ultérieurement beaucoup mieux. Mais les limites exactes sont difficiles à tracer, et,

pour peu qu'on s'en écarte, le résultat devient désastreux: le moût trop fortement oxygéné à chaud perd toute odeur de houblon, toute amertume et donne comme bière, un liquide douçâtre vaguement alcoolisé.

Il est une autre objection que l'on peut faire à cette méthode: infection possible du moût par les ferments de l'air.

C'est lorsqu'il arrive entre 25 à 30° que le moût devient très facilement le siège de la fermentation lactique. On évite cet accident en refroidissant le moût très rapidement, de façon à ce qu'il franchisse la température critique sans y stationner.

En hiver, il n'y a rien à craindre, si l'on évite soigneusement de faire passer l'air qui doit refroidir le moût, au-dessus de la malterie, des écuries, etc.; tous lieux aux environs desquels l'air est extrêmement contaminé.

En été le refroidissement doit nécessiter beaucoup plus de soin et d'attention.

Le refroidissement se fait soit dans des bacs, soit à l'aide de réfrigérants, soit enfin avec les deux systèmes combinés.

Les bacs refroidisseurs sont des vases en bois ou en métal rectangulaires, profonds de 18 à 24 cm, établis dans un lieu frais et aéré. Leur bon fonctionnement est beaucoup facilité par l'état de l'atmosphère, mais il faut tenir compte aussi du renouvellement des surfaces et de la plus ou moins grande conductibilité pour la chaleur des parois du bac.

Etant donnée l'intervention de ces différents facteurs, leur construction a subi depuis leur origine bien des perfectionnements, et il est encore une autre condition qui doit intervenir en première ligne dans le choix de la matière première. La plus ou moins grande facilité de nettoyage du bac refroidissant doit attirer l'attention du brasseur, car c'est toujours là une cause d'infection et de maladie pour la bière.

La surface doit donc être unie et non poreuse. Si l'on emploie du bois, matière première toujours défectueuse, il doit être le plus dur possible. Mais les pores seront toujours suffisants pour loger des microorganismes pathogènes. Ceux-ci, étant donnée la mauvaise conductibilité du bois, ne seront pas détruits par le contact du moût bouillant avec la paroi, la température ne dépassant pas d'ailleurs 75° centigrades.

Les meilleures matières premières sont les métaux. Le cuivre présente, en particulier, de grands avantages; il est très bon conducteur, résistant et inaltérable; il conserve toujours une certaine valeur marchande.

Néanmoins, autrefois, son peu de ténacité amenait la nécessité de placer les bacs refroidisseurs construits de cette façon sur un plancher solide. Ce défaut de construction n'existe plus, grâce à des méthodes de laminage perfectionnées et les bacs de cuivre formés de plaques soudées les unes aux autres peuvent actuellement être simplement disposés sur un cadre de poutrelles légères.

Le fer peut être employé sous deux formes : on peut établir des bacs refroidisseurs soit en tôle, soit en fonte.

Les bacs de tôle sont en général d'une qualité inférieure, peu résistant à l'action du moût ; de telle sorte que les appareils sont hors d'usage en peu de temps.

Cependant, l'emploi de certaines tôles, de la *tôle de bois*, donne des résultats satisfaisants par suite d'une grande résistance à l'action du moût ; cette tôle a l'avantage de présenter plus de solidité que le cuivre.

La fonte est aussi avantageuse. L'aspect rugueux qu'elle a tout d'abord, disparaît au bout de quelques mois sous l'action du tannin du moût et sa paroi devient lisse et brillante.

La disposition des bacs en fonte demande certaines précautions. La fonte, en effet, étant très dilatable subit des variations de volume considérables sous l'influence des changements brusques de la température qu'elle éprouve quand on verse dans le bac le moût bouillant. Il faut donc que les bacs de fonte soient libres de tous côtés afin de ne rencontrer aucun obstacle à leur variation de volume. De plus, le moût ne doit jamais, pour la même raison, être versé normalement à la surface du bac ; on produirait sans cela, la fracture presque certaine de la paroi de fonte.

Fonte et tôle s'emploient sous forme de plaques vissées sur de petits supports en T ; leur étanchéité est assurée au moyen de joints en carton enduits de minium ; la loi n'autorisant plus l'emploi de joints en plomb.

L'emploi de l'aluminium présenterait pour la construction des bacs les plus grands avantages. C'est en effet un métal à peu près inaltérable, susceptible de poli et dont la résistance est suffisante dans certaines conditions, pour pouvoir supporter un poids considérable. Il présente, en outre, la propriété remarquable d'être extrêmement léger et les bacs en aluminium auraient un poids incomparablement inférieur à celui de tous les autres appareils du même genre actuellement construits avec d'autres métaux.

Lorsque le moût n'arrive pas dans le bac à la température voulue on

le refroidit quelquefois préalablement dans un appareil réfrigérant à l'aide d'eau froide ou même glacée. Le plus souvent on emploie les eaux naturelles, les eaux de rivière ou de puits. Certaines brasseries emploient l'eau des conduites de la ville. En été, les eaux sont souvent très chaudes et le refroidissement est insuffisant; la fermentation lactique peut facilement se développer.

A ce point de vue on ne doit pas oublier l'ancien procédé des ventilateurs qui peuvent convenir dans bien des cas, en particulier quand l'approvisionnement en eau est limitée, quand ces eaux sont trop chaudes, etc. Les ventilateurs ne valent nécessairement pas, pour les grandes brasseries, les réfrigérants dont nous allons parler, mais ils peuvent rendre de grands services dans les petites brasseries. Ils sont d'ailleurs des plus simples: un axe vertical monté sur pivot, muni de bras horizontaux tourne dans le bac refroidisseur et produit ainsi une réfrigération rapide, par suite du renouvellement de l'air à la surface du moût. La dépense nécessaire pour la mise en marche, le fonctionnement en même temps que l'amortissement des frais de premier établissement est souvent moins élevée que l'entretien des pompes alimentant le réfrigérateur; elle est bien faible d'ailleurs, car elle ne correspond qu'aux frottements exercés sur le pivot et à la résistance de l'air.

Le refroidissement étant la conséquence même de l'évaporation plus ou moins rapide, il est fonction en grande partie de l'état hygrométrique de l'atmosphère. Par un temps humide le refroidissement est moins intense et plus lent que par un temps sec pendant lequel l'évaporation est rapide. En moyenne, cependant, on peut admettre que le refroidissement de 45 hectolitres placés dans une cuve refroidisseur avec une surface d'évaporation de 3 m² environ sera effectué en trois heures par un ventilateur décrivant un cercle de 1 m de rayon à une vitesse de 150 tonnes par minute.

Les ventilateurs doivent être placés à une très faible distance de la surface du moût, 2 ou 3 cm environ; ils doivent par conséquent présenter une certaine mobilité et pouvoir s'abaisser au fur et à mesure que le liquide s'évapore.

Les bras du ventilateur doivent être légèrement inclinés vers le moût par une double pente radiale et tangentielle, de telle sorte que l'air soit violemment projeté à la surface du liquide. Il ne doit pas non plus y avoir d'exagération dans ce sens car on aurait alors production d'éclaboussures et de projections de moût au dehors.

La réfrigération du moût effectuée par des méthodes de radiation ou d'évaporation est insuffisante en été ou dans les pays chauds ; elle n'est pas poussée assez loin, la température obtenue n'est pas assez basse, le refroidissement est trop lent.

On est donc obligé d'employer des appareils réfrigérants dont les plus importants sont ceux du système Baudelot ou des appareils similaires. Ils se composent d'une série de tuyaux horizontaux disposés comme un mur vertical, communiquant deux à deux, alternativement par leurs extrémités opposées. On fait passer à travers ces tuyaux un courant ascendant d'eau froide.

Sur ces tuyaux coule en nappe mince le moût à refroidir que l'on recueille à la partie inférieure. Le refroidissement se fait donc tout à la fois par évaporation à l'air et par contact du métal froid. Le moût, dont les parties solides en suspension sont retenues par une toile métallique, passe ensuite dans une gouttière perforée qui le répartit en minces filets sur la surface extérieure des tuyaux. Ceux-ci portent parfois sur leur bord inférieur une lame pendante dentelée. Nous ne décri-rions pas ici toutes les modifications du réfrigérant Baudelot, car nos lecteurs connaissent les plus importantes et chaque constructeur a la sienne.

Quand la réfrigération par l'eau n'est pas suffisante il faut faire circuler dans les conduites du frigorigère de l'eau glacée provenant de la fusion de la glace ou un liquide incongelable dont la température est alors abaissée au moyen d'une machine à glace.

L'emploi de l'eau glacée provenant de la fusion de la glace est certainement un procédé commode ; mais il a l'inconvénient de nécessiter l'accumulation de glace pendant l'hiver dans des locaux spéciaux. On n'emploie jamais les machines à glace dans le but de fabriquer de la glace pour la laisser fondre. Lorsque l'on emploie des machines frigorifiques on peut, pour refroidir le moût, soit se servir du liquide incongelable produit par la machine, soit plus simplement encore, faire circuler dans le frigorigère le gaz détendu et refroidi, ammoniac, acide carbonique, chlorure de méthyle, etc.

Dans le procédé par détente directe d'ammoniac par exemple appliqué par Lebon à la réfrigération du moût, l'appareil est formé par des tubes en acier recouverts extérieurement par des gaines en cuivre rouge et serties à leurs extrémités dans des raccords en acier coulé étamé qui se superposent de façon à former deux colonnes absolument lisses,

ne présentant pas de point d'attaque aux impuretés et permettant un démoulage et un nettoyage faciles.

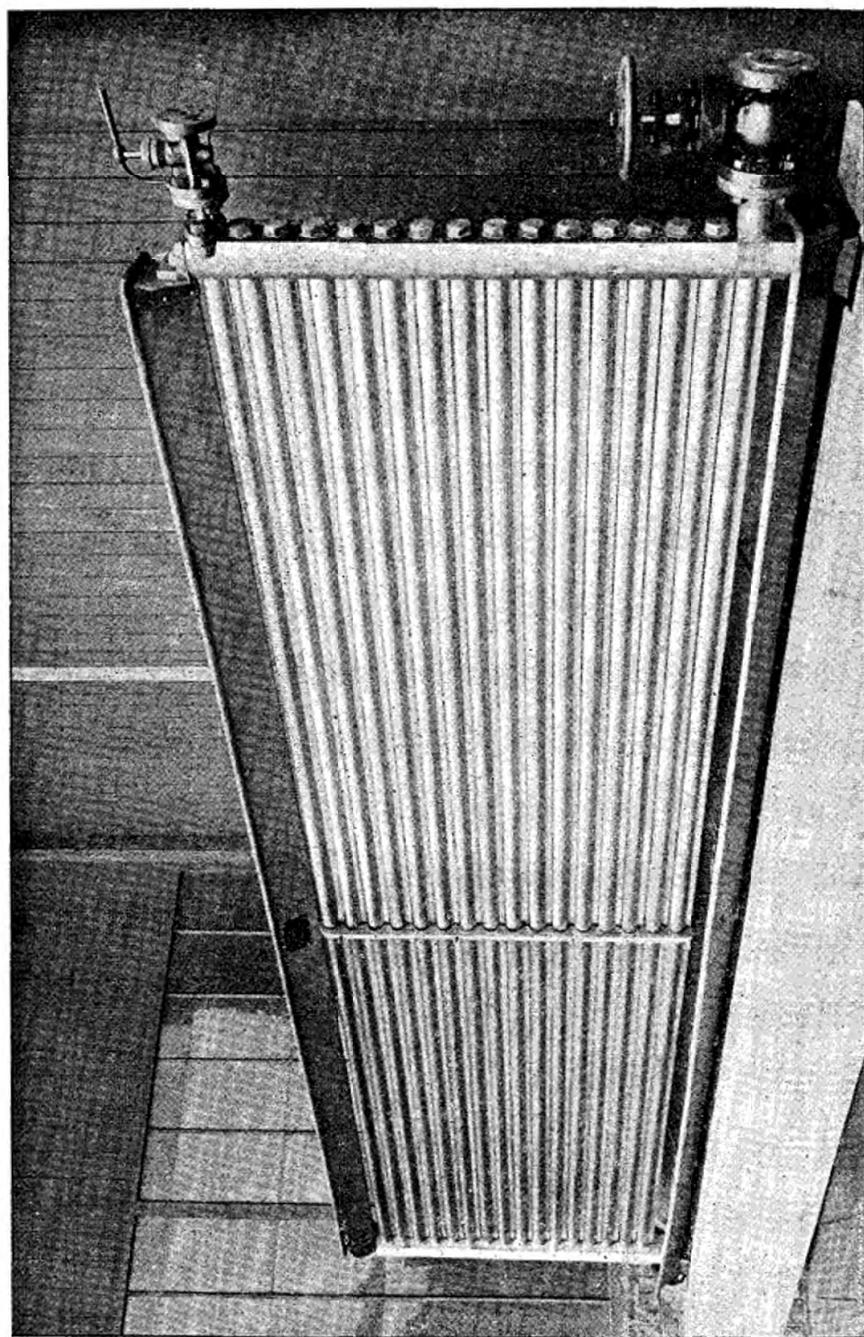


Fig. 455 — Vue d'un réfrigérant à ammoniacque (Lebrun à Nimy)

Les réfrigérants ont été améliorés au point de vue de l'infection pos-

sible du moût au moment de son passage sur les tubes du frigorifère. L'un des premiers perfectionnements, inspirés directement par les travaux de Pasteur, est la cuve Velters, en usage dans la brasserie de Carlsberg, entre autres. C'est un grand réservoir en tôle galvanisée, contenant environ 100 hectolitres, muni d'un couvercle en forme de toit, qui peut être élevé ou abaissé et se ferme hermétiquement à l'aide d'un joint hydraulique. Le couvercle est traversé par un conduit amenant continuellement de l'eau et la distribuant à une série de pommes d'arrosiers. Celles-ci déversent une pluie continue qui purifie l'atmosphère.

L'air, ainsi dépouillé de ses poussières, arrive dans l'enceinte du réfrigérant, qui est, vitrée au moins d'un côté et formée pour le reste, par des murs vernis ou émaillés. Les réfrigérants sont de dimensions colossales; à la brasserie Schlitz, de Milwaukee, d'après M. Schwachœfer, il y en a deux, mesurant chacun 3 m de haut et 7^m,73 de large. Chacun comprend 70 tubes horizontaux, munis d'appendices dentelés. Les 46 tubes supérieurs sont en cuivre et servent à la circulation de l'eau froide, les 24 tubes inférieurs servent à compléter la réfrigération; ils sont en acier, et refroidis par détente directe de l'ammoniac d'une machine à glace. Des estrades permettent d'atteindre et de visiter les diverses parties du réfrigérant. L'air purifié qui arrive à la partie supérieure est distribué par un tuyau qui enveloppe le réfrigérant; il descend par son propre poids, se refroidit au contact du moût qu'il aère, et une fois échauffé, s'échappe par une ouverture munie d'un ventilateur et placée au faite de la salle réfrigérante.

On peut encore éviter l'infection par l'air en employant une cuve complètement close analogue à celle que représente notre figure.

Cette cuve a la forme d'un demi-cylindre couché, elle est fermée par un couvercle à joint hydraulique s'enlevant à l'aide de quatre chainettes.

Dans l'intérieur de la cuve, et supporté à ses extrémités par des paliers, se trouve un arbre portant un certain nombre de disques percés de larges trous; l'arbre et ses disques sont animés d'un mouvement de rotation. La cuve proprement dite est entourée par une double enveloppe à joint mobile, garnie de chicanes. Le tout est supporté par des pieds en fonte.

Les moûts bouillants sont introduits dans la cuve, on laisse descendre le couvercle dans sa rainure, et on met les disques en mouvement.

De l'air préalablement stérilisé et fortement refroidi, est introduit par l'une des extrémités du couvercle.

Dans la double enveloppe, on lance un courant de liquide incongelable.

De cette manière, les moûts sont simultanément oxygénés par le courant d'air et refroidis par le liquide réfrigérant, cette double et rapide action se passe à l'abri de l'air ambiant chargé de germes nuisibles.

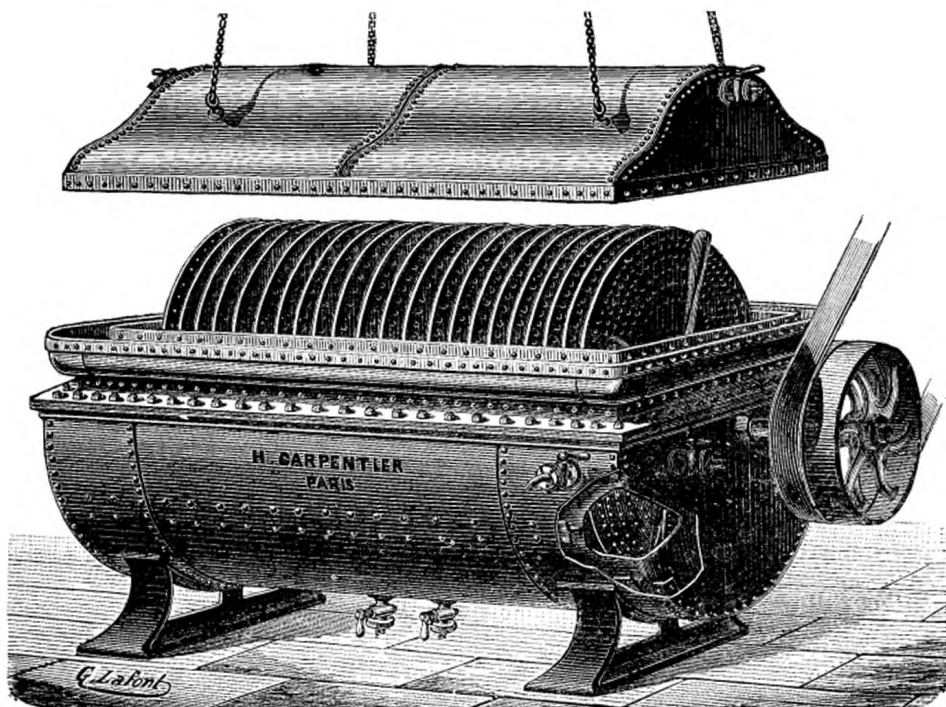


Fig. 156. — Cuve close pour l'oxydation et le refroidissement

Puis les disques sont arrêtés et le moût, refroidi au degré voulu, reste immobile ; les lies tombent au fond de la cuve.

On décante alors le moût par des tubulures placées à des hauteurs convenables.

Le moût clair étant soutiré, les lies sont retirées par une large tubulure placée au point le plus bas du fond de la cuve.

Outre l'avantage de permettre le refroidissement des moûts à l'abri des germes nuisibles de l'air, ce système de cuve permet de gagner

beaucoup de temps, la longue station de la bière sur les bacs se trouvant supprimée. — Il permet aussi de gagner le temps du passage des moûts au Baudelot et de supprimer la dépense d'eau qu'entraîne l'emploi des réfrigérants ordinaires.

La nécessité de produire une aération énergique du moût, à chaud, a fait adopter un excellent système de réfrigération en Amérique. Le moût est reçu dans un bac destiné surtout à alimenter le réfrigérant, et qui peut avoir 50 cm de profondeur; le moût en sort très peu de temps après son entrée, sans élimination des matières coagulées, et il est refroidi et aéré au moyen d'un pulvérisateur. Celui-ci consiste en une sorte de petite turbine placée à l'extrémité inférieure d'un tube dans lequel le moût, puisé par une pompe dans le panier à houblon, est refoulé sous pression. La sortie du liquide est réglée par un tube intérieur percé de trous, que l'on peut élever ou abaisser par une vis. Le moût sous pression s'échappe alors à travers les ailettes de la turbine, dont la rotation rapide le transforme en pluie fine.

Signalons encore le procédé Beigh qui est fondé sur l'emploi d'une turbine fermée ne communiquant avec l'air qu'au moyen d'un filtre en coton. Ce moût est débarrassé, au sortir de la chaudière à houblonner, du houblon en suspension qu'il peut contenir.

Le panier de la turbine, en acier et à paroi pleine, tourne à raison de 2400 tours par minute. Ce mouvement, très rapide, amène un triple résultat. L'air est aspiré à travers le filtre en coton, le liquide refoulé par un tuyau de sortie et toutes les impuretés projetées contre les parois par la force centrifuge. Le moût sort donc de l'appareil clarifié. Mais l'orifice du tube de sortie est plus étroit que le reste du tube, le moût remplit donc celui-ci incomplètement et aspire de l'air auquel il se mélange intimement; on peut régler à volonté l'entrée de cet air dans la turbine.

Le moût refoulé traverse un récipient brise-mousse, puis un réfrigérant clos où il circule à l'intérieur et l'eau à l'extérieur; il arrive enfin dans la cuve de fermentation. Cet appareil très ingénieux offre l'avantage de séparer toutes les matières en suspension sans filtration d'aucune sorte et sans perte; son point faible est évidemment l'oxygénation, soumise à un certain nombre d'aléas.

Cependant les résultats ont été favorables, surtout si l'on a soin d'aérer la cuve de fermentation. Sans cette précaution, la levure éprouve,

dans les commencements, beaucoup de peine à se développer et la fermentation débute mal.

Dans beaucoup de brasseries le moût refroidi est recueilli dans une cuve spéciale placée dans la cave. Il y séjourne un certain temps, deux heures environ, pendant lequel il laisse déposer un certain nombre de substances de diverses natures.

Ce dépôt a le plus souvent un aspect floconneux, mais sa composition varie suivant le mode de brassage employé; lorsqu'on brasse par trempes épaisses, le dépôt consiste, pour une faible partie, en glumes d'orge et folioles de houblon; parfois aussi il renferme de l'empois non saccharifié en petite quantité, et surtout des matières azotées du moût, coagulées par la chaleur, en parties combinées au tannin du houblon, en partie à l'état libre. C'est une masse limoneuse qui, lavée et desséchée, forme environ 0,3 0/0 de malt employé. Afin de récupérer le moût qu'elle retient, on la presse après égouttage dans des sacs en toile dits « sacs à trouble ».

Il est encore plus avantageux de la traiter au filtre-pressé. C'est alors, dans ce cas, que la perte inévitable par ce procédé, devient aussi minime que possible.

2°. — *Refroidissement du brassin en fermentation.*

Le refroidissement s'effectue encore souvent par contact direct avec la glace, mais on tend à employer maintenant des circulations d'eau glacée soit dans des drapeaux, soit dans des serpents.

1°. — *Refroidissement par contact direct avec la glace.*

Pour être utilisée par cette méthode, la glace est puisée journellement dans la glacière. Comme il n'est pas possible de la mettre à même la bière, parce que l'eau de fusion altérerait le produit et que généralement la glace, recueillie dans les prairies ou sur les étangs, est très malpropre, on la place dans des vases métalliques appelés *nageurs*, qu'on laisse flotter à la surface de la bière; l'eau de fusion maintient ainsi les parois du plongeur à une température voisine de zéro, tant qu'il reste de la glace en morceaux dans l'appareil.

Ici encore se présente l'inconvénient de l'affaiblissement de la puissance refroidissante au fur et à mesure de la fusion de la glace, et cette diminution n'est généralement pas en coïncidence avec l'intensité de l'effet à produire.

Ces plongeurs demandent un grand entretien pour qu'ils soient toujours extrêmement propres, il faut de plus qu'ils soient maintenus parfaitement étanches, sans quoi de l'eau sale venant de la glace fondue se répandrait dans la bière. Il y a bien encore aussi les cas où, dans la manœuvre de ces cuvettes fort lourdes, on en renverse le contenu dans le brassin ménagé jusque-là à grands frais.

La nécessité dans laquelle on se trouve de puiser à même la glacière donne lieu à une perte considérable de glace pendant l'été, et il n'est pas rare de constater que c'est dans la proportion de 75 0/0, les 3/4, que ce produit fond en pure perte dans une glacière ouverte pour la consommation journalière.

Aussi, dans une brasserie de quelque importance, les glacières atteignent des dimensions véritablement colossales, et il serait souvent avantageux d'en restreindre les frais d'installation.

2°. — *Refroidissement par drapeaux et serpentins.*

Les *drapeaux* consistent en deux lames de cuivre étamées, maintenues à une distance de 1 cm; l'espace ainsi limité est divisé par des chicanes, de telle façon que l'eau le parcourt sur une grande étendue.

Les tuyaux d'entrée et de sortie servent à poser le « drapeau » réfrigérant sur les bords de la cuve.

On peut y faire circuler soit simplement de l'eau de rivière ou de puits lorsque la température est suffisamment basse, soit de l'eau de fusion de la glace, soit un liquide incongelable refroidi par une machine frigorifique; mais dans ce dernier cas on emploie plutôt des serpentins mobiles.

3°. — *Système Galland.*

Dans le système Galland, un appareil frigorifique, généralement une machine Pictet, réduite à ses éléments essentiels, pompe de compression, réfrigérant, condenseur, robinet de réglage du retour d'acide sulfureux liquéfié dans le réfrigérant produit le refroidissement d'un liquide incongelable.

Ce liquide incongelable servant de véhicule à l'action réfrigérante, est formé par une solution de chlorure de magnésium renfermée dans une cuve de très petite dimension entourant le réfrigérant. Une hélice

détermine un mouvement rapide du liquide dans cette cuve. Ainsi refroidi il est distribué dans tous les points de la brasserie.

Rappelons qu'il sert tout d'abord à refroidir le moût venant de la chaudière à houblonner, moût qui est à environ 80°; on abaisse cette température jusqu'à 15 ou 20° par contact avec l'eau extérieure; on refroidit encore jusqu'à 4 ou 6° par l'intermédiaire du liquide incongelable froid, passant dans un serpentin convenablement disposé.

Quant au refroidissement même des cuves à fermentation on cherche plutôt dans ce système à refroidir non le brassin mais la salle même de fermentation où se trouvent les cuves Galland.

M. Galland a imaginé dans ce but un système des plus économiques qui présente une surface considérable d'action pour le refroidissement de l'air ambiant. Des grands bacs, en tôle mince, de peu de profondeur, suspendus tout près du plafond du local et qui en couvrent presque toute la superficie, sont remplis d'eau ordinaire sur 10 cm environ de hauteur.

Le tuyau en fer, dans lequel circule le liquide incongelable froid, est noyé dans ce bac qu'il parcourt, dans toute sa longueur, en forme d'un U allongé horizontal. La transmission de chaleur, au travers du métal de ce conduit, se faisant intérieurement et extérieurement par le contact d'un liquide, est très énergique. La transmission de chaleur, qui a lieu en dessous de la surface du bac, au contact de l'air ambiant et de la tôle est, au contraire, assez lente; elle est environ de 70 à 80 fois plus faible que la première, mais aussi la surface d'échange est beaucoup plus considérable. Cet appareil constitué ainsi par une surface métallique mince, contenant seulement 10 cm de hauteur d'eau, et relativement peu coûteuse, peut transmettre tout le froid que peut absorber la circulation du liquide incongelable qui passe rapidement dans un tuyau d'assez faible diamètre, 50 mm environ, et d'une longueur très réduite. Le coût de ces tuyaux de circulation et la quantité de liquide incongelable qui y est contenu constituent, il est vrai, une première mise de fonds, mais elle se trouve réduite ainsi au minimum.

L'intensité de la circulation est réglée de manière à ce que, au bout de son trajet, le liquide incongelable s'est réchauffé au plus de 2° centigrades. Il se déverse alors dans un bac collecteur où une pompe le reprend et le retourne à la cuve réfrigérante de l'appareil Pictet; là, il cède sa chaleur au réfrigérant à acide sulfureux et, refroidi à la tem-

pérature voulue, recommence le mouvement qui vient d'être décrit. Généralement, les températures extrêmes de ce genre de circulation sont -4^0 , au départ de la cuve réfrigérante et $+1^0$ au retour.

Ce système comporte forcément un mode particulier d'isolement des locaux et sa préservation d'un échauffement possible par la température extérieure, car ils se trouvent à une température très basse.

Comme l'absorption de la chaleur produite par la fermentation au sein des liquides, doit d'abord être faite par l'air de la cave, pour être ensuite transmise aux surfaces actives suspendues au plafond, l'air étant un véhicule d'action assez faible, il existe forcément une différence notable de température entre l'eau qui est à 0^0 , à peu près dans le bac supérieur et la bière qui remplit les cuves ou les fûts.

M. Galland a pris une disposition qui augmente bien un peu cet échange et diminue cette différence, en agitant constamment l'air de la cave avec une hélice qui détermine des courants d'air assez rapides. C'est dans ce mouvement que l'air se débarrasse de l'acide carbonique, dégagé par la fermentation, au contact du lait de chaux disposé sur un point de la cave.

L'un des avantages de ce mode de refroidissement est que l'on évite ainsi toute condensation de vapeur d'eau, toute humidité à la surface des bacs et du brassin lui-même, puisque l'air ambiant est toujours plus froid que les objets en question et, par conséquent, à un point de saturation plus faible que celui qui correspond à la température de ce corps; ceci a une très grande importance pour l'homogénéité de la fermentation. Il se dépose, en effet, quelquefois des germes accessoires et nuisibles à la surface du liquide, quand leur température, inférieure à celle de l'air ambiant, amène la condensation d'une partie de la vapeur d'eau qu'il contient et qui est toujours plus ou moins miasmatique.

Il y a ainsi économie de main-d'œuvre et un réglage commode de l'abaissement de la température en augmentant ou en diminuant au moyen de robinets, la vitesse du courant du liquide incongelable en un point et au moment voulu.

Avec les machines à acide sulfureux de la Société genevoise le mécanisme est encore le même. Les locaux à refroidir doivent de même être protégés efficacement contre l'influence de la chaleur extérieure. A cet effet, on construit des murs spécialement épais, ou bien, si la température du local doit être maintenue vers zéro et que les murs extérieurs soient très exposés à la chaleur, on les garnit à l'intérieur de parois

isolantes renfermant du charbon pilé, des débris de liège, de la sciure de bois, des poils de vaches ou autres matières calorifuges, maintenues par une double cloison en planches.

Le local est refroidi par un système de serpentins en fer, fixés au plafond. Une pompe de circulation fait passer dans ces serpentins le liquide incongelable froid pris à la cuve génératrice. Son trajet accompli le liquide incongelable, après avoir abandonné au local une partie de son froid, retourne à la cuve pour y être refroidi à nouveau.

Lorsque l'on s'adresse aux bières de fermentation haute, le refroidissement demande des précautions spéciales et nous pouvons rappeler à ce sujet, ce que disait récemment M. Van Laer (*Journal of the Federated Institutes of Brewing*, p. 439).

Le refroidissement rapide, tel qu'il est pratiqué dans un certain nombre de brasseries, est obtenu en faisant passer la bière à travers une série de tubes placés dans un bac spécial ; ces tubes sont refroidis par une circulation de liquide salé provenant directement d'une machine à froid, par des mélanges réfrigérants, ou, dans quelques cas, en les couvrant d'un mélange de glace et de sel ; quelquefois on emploie simplement de la glace. Dans ce procédé, on peut amener la glace à une très basse température. Si elle était brillante, ou simplement claire, elle devient trouble après son passage à travers les machines à refroidir, par suite d'une séparation partielle des résines amères du houblon et d'une faible précipitation de matières glutineuses. Les machines nécessaires pour produire ce refroidissement occupent peu de place, ce qui est très avantageux dans une usine où l'on ne dispose jamais d'espaces considérables.

Bien que cette méthode de refroidissement semble recommandable à première vue, elle présente cependant plusieurs inconvénients, dont il faut avoir au moins une idée. Quand la bière est forcée de passer à travers une grande longueur de tubes forcément en cuivre étamé intérieurement, elle prend un goût métallique désagréable. L'expérience a montré que ce goût métallique est plus prononcé dans les bières contenant des agents conservateurs, tels que le bisulfite de chaux. Dans les bières auxquelles on a ajouté de l'acide salicylique, le goût métallique est difficilement perceptible ; le goût particulier que possèdent les bières salicylées disparaît après la filtration et la carbonatation, et, après un certain séjour en bouteille, la bière ne présente plus aucun goût spécial.

Lorsqu'on emploie au refroidissement une machine à glace ; le liquide

salé doit circuler à travers le bac où l'on fait passer la bière, et si ce liquide est à une température inférieure à -3° C., la bière peut se congeler dans les tubes et les obstruer, surtout s'il s'agit de bières à faible densité.

On doit éviter dans la construction des appareils réfrigérants, les suintements aux extrémités des tubes, surtout quand ils sont exposés à des variations de température; il y alors introduction d'un peu de liquide salé qui se mélange à la bière, ce qui peut amener de graves conséquences.

M. Van Laer est d'avis que le refroidissement rapide ne peut pas être fait sans quelques-uns de ces inconvénients; et il pense que, tant qu'il n'existera pas un appareil parfait où ils ne soient plus à craindre, il est préférable de n'employer, pour les bières anglaises et les bières françaises de fermentation haute, que les procédés de refroidissement plus lents.

Dans le procédé de refroidissement lent, la bière, après avoir été abandonnée à elle-même pendant quinze jours, de façon à l'amener à maturité, est envoyée dans une chambre froide où la température est maintenue un peu au-dessous de zéro, de manière à amener les matières résineuses et autres à se déposer lentement. Pendant ce refroidissement lent, la bière devient graduellement plus claire, et après une semaine de ce traitement environ, elle est presque brillante sans avoir été filtrée. Ceci a une certaine importance, car il est nécessaire d'avoir une bière claire avant filtration, si l'on veut en filtrer une grande quantité sans avoir à renouveler souvent le matériel de filtration.

Ce procédé de refroidissement lent présente beaucoup d'autres avantages qu'il serait trop long d'énumérer ici. Aussi M. Van Laer est d'avis que c'est cette méthode qui donne les meilleurs résultats avec les bières anglaises de fermentation haute.

3° Refroidissement des caves de conserve.

Les caves « de garde » où se fait la fermentation secondaire doivent être refroidies à 1 ou 2° , afin que la fermentation complémentaire s'effectue très lentement et que la bière puisse être conservée jusqu'à ce que l'on recommence un nouveau brassage.

On emploie souvent le refroidissement de l'air ambiant soit par la glace, soit par contact de l'air avec une série de canaux où circule un liquide refroidi.

Dans le premier cas, c'est alors la simple accumulation de la glace en blocs de toute grosseur à l'une des extrémités de la cave dans laquelle sont enfermés les fûts. Une claie en bois maintient la masse de glace qui se prend bientôt en un seul bloc et s'affaisse par la fusion.

Une telle disposition comporte nécessairement des différences de température assez notables dans la même cave, surtout s'il ne s'y produit pas de remous sensible dans l'air qui y est contenu, et l'on conçoit que les fûts qui sont placés à l'opposé de la glacière sont moins refroidis que ceux qui sont presque en contact direct avec la glace. Ce procédé a un inconvénient capital, c'est l'amoindrissement de la puissance refroidissante au fur et à mesure de la fusion de la glace.

C'est en hiver, aussitôt après la récolte de la glace, précisément au moment où il importe peu de refroidir le local, que la masse de glace emmagasinée offre le maximum de surface d'échange de température ; les blocs ne sont pas encore intimement soudés et présentent des interstices nombreux qui se prêtent au passage de l'air ambiant.

Quand la saison chaude arrive, alors que l'on doit lutter contre le réchauffement extérieur, que le renouvellement des produits emmagasinés est provoqué par les demandes de la consommation, l'efficacité du refroidissement est déjà diminuée, la glace est fondue en partie et la masse prise en un bloc ne présente plus que la surface extérieure au contact de l'air, tandis que c'est à ce moment qu'il importerait, au contraire, d'avoir des moyens énergiques de refroidissement.

Pour obvier en partie aux inconvénients de ce système, on doit avoir recours à l'usage de caves profondément enterrées dans le sol, fort coûteuses, mais peu influencées par la température de la saison.

On peut fabriquer ainsi toute la provision de l'année pendant les quelques mois de la saison froide et l'emmurer ensuite dans les caves avec une forte provision de glace.

On extrait alors ensuite la bière pendant la saison chaude, au fur et à mesure des besoins.

D'après J. Wrana (*Allg. Zeitschrift für Bierbrauerei und Malzfabrikation*), pour éviter une élévation notable de la température dans une cave de garde refroidie avec de la glace naturelle, il est nécessaire d'entonner la bière à une température aussi voisine que possible de celle de la cave. On économise la glace et, en même temps, on empêche une fermentation secondaire tumultueuse. Jusqu'à l'accomplissement de cette dernière, tout accès de la chaleur est exclu.

Les récipients vides qui arrivent échauffés de la salle de lavage doivent être soigneusement refroidis avant de passer dans la cave de garde, ce qui empêche en outre qu'ils y apportent directement de la chaleur.

Dans les caves refroidies avec de la glace naturelle, les fosses à glace doivent s'élever au-dessus du sol, disposition qui ne présente, d'ailleurs, d'autre avantage que celui de pouvoir conserver la glace plus longtemps.

Dans une cave de garde bien isolée on doit remplir avec de la glace les tonneaux de garde en quantité suffisante pour que la provision dure jusqu'à l'hiver suivant ; la glace placée à la partie supérieure et qui dépasse le niveau du tonneau contribue au refroidissement du local.

Pour les caves de fermentation, ce mode de conservation convient moins parce qu'une trop grande quantité de chaleur consomme trop vite la glace qui s'élève au-dessus du tonneau.

Une importante amélioration de ces procédés a été l'emploi du refroidissement par circulation d'eau glacée.

La fusion de la glace est localisée dans un bac ou réservoir, placé au rez-de-chaussée de l'usine, par exemple, et l'eau de fusion qui est à zéro est envoyée dans les caves par des tuyaux qui la distribuent dans les appareils refroidisseurs.

Ces refroidisseurs sont des serpentins métalliques, généralement en cuivre étamé, soit en fer galvanisé, qui affectent les formes les plus diverses, suivant qu'on les place dans les cuves à fermentation ou même dans les foudres de conserve. L'eau froide y circule, puis, à sa sortie elle est rejetée sur le sol où elle s'écoule vers un puisard collecteur, ou bien elle est dirigée, par des tuyaux, dans un bac d'où elle est reprise pour d'autres usages.

On peut constater déjà, dans cette disposition, la réalisation de l'uniformité de la puissance refroidissante, du moment que l'écoulement est constant, et on peut opérer la régularisation par des robinets convenablement disposés. Un des avantages de ce système est que le volume de ces appareils est de beaucoup réduit, si on le compare à celui des anciens plongeurs qui devaient contenir la glace pour plusieurs heures ; ici on peut donner une grande vitesse au courant d'eau qui s'échauffe de quelques degrés seulement pendant son passage dans ces refroidisseurs tubulaires, et diminuer d'autant le diamètre de ces appareils.

Enfin on peut faire circuler dans une série de tubes un liquide incongelable fortement refroidi par une machine frigorifique. On règle la

vitesse du courant de liquide suivant les températures différentes qui se trouvent en présence : Liquide incongelable refroidi, bière et la température extérieure. On obtient ainsi une température parfaitement régulière et aussi bonne qu'on le désire.

Le système Galland dont nous avons déjà parlé est applicable à la réfrigération des caves de conserve.

La réfrigération par détente directe est aussi appliquée avec succès et de la même façon.

Applications à la brasserie des différents systèmes par machines à glace.

D'après ce que nous venons de voir les procédés de réfrigération que l'on emploie en brasserie sont au nombre de deux.

1^o Refroidissement au moyen de glace et de mélanges réfrigérants ;

2^o Refroidissement par des machines frigorifiques.

Dans ce dernier cas on peut encore appliquer l'une des deux méthodes, soit la méthode de refroidissement par détente directe soit la méthode par circulation de saumure.

Le refroidissement par détente directe, très économique et très rationnel, tend à s'introduire de plus en plus en brasserie. Il consiste à envoyer dans les différentes parties de la brasserie un gaz préalablement liquéfié ; celui-ci, en occupant un volume beaucoup plus grand, repasse à l'état gazeux, absorbe ainsi une quantité de chaleur considérable et refroidit, par suite, les corps auxquels il emprunte cette chaleur.

Dans le procédé par circulation de saumure glacée, c'est le liquide incongelable refroidi par la machine à glace que l'on fait circuler dans les différents locaux à refroidir.

Nous donnerons tout d'abord dans ce qui va suivre les procédés employés par les différents constructeurs, puis ultérieurement nous décrirons deux installations de brasserie répondant à l'un et l'autre système.

1^o Refroidissement par mélanges réfrigérants.

Quand on veut obtenir, en brasserie, sans machine à glace un refroi-

dissement inférieur à 0° la méthode la plus simple est d'après Birkholz, l'emploi du mélange de glace et de sel.

Depuis longtemps déjà, on mettait à profit cette propriété, mais on a abandonné souvent le procédé à cause de la grande consommation de sel. Toutefois, il y a encore beaucoup de petites brasseries réduites à se servir de glace naturelle, et il y a alors moyen d'économiser le sel et de diminuer les frais de refroidissement.

Dès que le sel s'est dissous dans la glace, il se produit une solution saline saturée, d'où, si l'on pouvait fournir à bon marché de la chaleur à une telle solution, on pourrait retirer et recueillir le sel, et s'en servir de nouveau, ce qui produirait une économie sensible. Cette source peu coûteuse de chaleur, on la possède dans chaque brasserie et, notamment, dans l'installation même des chaudières et dans la vapeur produite par la chaudière à brasser. Dans les petites brasseries, la chaleur de combustion n'est pas aussi bien utilisée que dans les grandes installations; une grande partie de la chaleur s'échappe et se perd dans la cheminée. On sait que la température moyenne de 250° C. des gaz de combustion qui entrent dans la cheminée suffit pour assurer un bon tirage. Comme les gaz entrant dans la cheminée sont plus chauds, il est facile de comprendre que le surplus, c'est-à-dire la chaleur représentant l'élévation de température au-dessus de 250° C., peut aisément être utilisée pour l'évaporation de la solution de sel. Il en est de même de la chaleur rayonnante de la chaudière et de la chaleur latente de la vapeur s'échappant de la chaudière à brasser. Dans une brasserie, il y a donc assez de sources de chaleur pouvant servir avantageusement à évaporer la solution saline.

Pour effectuer aisément cette opération, Hantke propose de placer un ou deux bassinets au-dessus de la chaudière ou dans un autre endroit convenable pour pouvoir y amener, soit les gaz de combustion de la chaudière, soit de la vapeur d'échappement, soit tous les deux. Ce dernier mode de procéder est le plus sûr. Dans ce cas, l'un des deux bassinets est placé au-dessus de l'autre. Le bassin supérieur est chauffé par la vapeur, qui porte la température de la solution au point d'ébullition ou à peu près; de là, on laisse écouler la solution dans le bassin inférieur, où elle s'évapore complètement sous l'action des gaz de combustion. Il faut ici observer qu'il n'est pas absolument nécessaire d'opérer l'évaporation tous les jours; dans la pratique, il suffit de le faire périodiquement, par exemple un jour quelconque de la semaine. Comme la glace

provenant de la cave de garde contient beaucoup d'impuretés, il faut prendre soin de les éloigner le plus complètement possible, ce qu'on peut faire en laissant l'eau saline se reposer dans un caisson, avant de l'introduire dans le bassin.

Pour donner une meilleure idée d'une telle installation, voici les dimensions des appareils nécessaires pour une brasserie de 7 500 hectolitres de production annuelle, ce qui correspond à une production journalière de 30 hectolitres.

On sait par expérience qu'une telle brasserie exige pour le refroidissement 5 tonnes de glace par jour, occupant avec le sel qu'on y joint un espace de 9 m³. Mais, comme il est plus avantageux de faire deux chargements de glace journellement, pour contenir celle-ci, ainsi que le sel, un caisson de 1 m³ suffira. Ce caisson doit être à doubles parois et l'espace intermédiaire entre celles-ci doit être rempli avec un corps quelconque mauvais conducteur de la chaleur.

Le fond du caisson doit être incliné, ou tout le caisson placé obliquement, environ 5 cm plus haut d'un côté que de l'autre, de façon que, pendant le nettoyage, l'eau puisse s'écouler entièrement.

Au-dessous du caisson, on place latéralement le bac à glace proprement dit. Il est aussi construit à doubles parois et bien isolé. Dans ce bac, on verse le mélange de sel et de glace, qui doit servir pour le refroidissement de la cave de fermentation et de dépôt et des tuyaux réfrigérants. Il doit avoir 5 pieds de largeur, 5 pieds de hauteur et 8 de longueur. Lorsque, comme serpentins, on emploie des tubes de 3 cm de diamètre, on les dispose en dix rangs, dont chacun contient six tubes disposés l'un sur l'autre. La longueur de chaque tube est de 7 pieds environ. Ces tubes communiquent avec le caisson à la glace jusqu'à l'entrée dans le bac; cette communication doit être aussi courte que possible et parfaitement solée. A la sortie de ces tubes du bac, on doit adapter un robinet, pour pouvoir régler la quantité de solution saline qui les traverse.

Le mieux est de réunir le tout dans un local froid et assez élevé pour que la solution d'eau salée puisse s'écouler directement dans les bassins; autrement, elle devrait être pompée à une hauteur plus ou moins considérable. Les bassins doivent avoir environ 4 à 5 pieds de largeur, 8-12 pieds de longueur et 8 à 9 pouces de profondeur.

Ils sont construits en tôle de fer et vernis à l'intérieur avec du minium pour les rendre plus résistants contre l'action de l'eau salée.

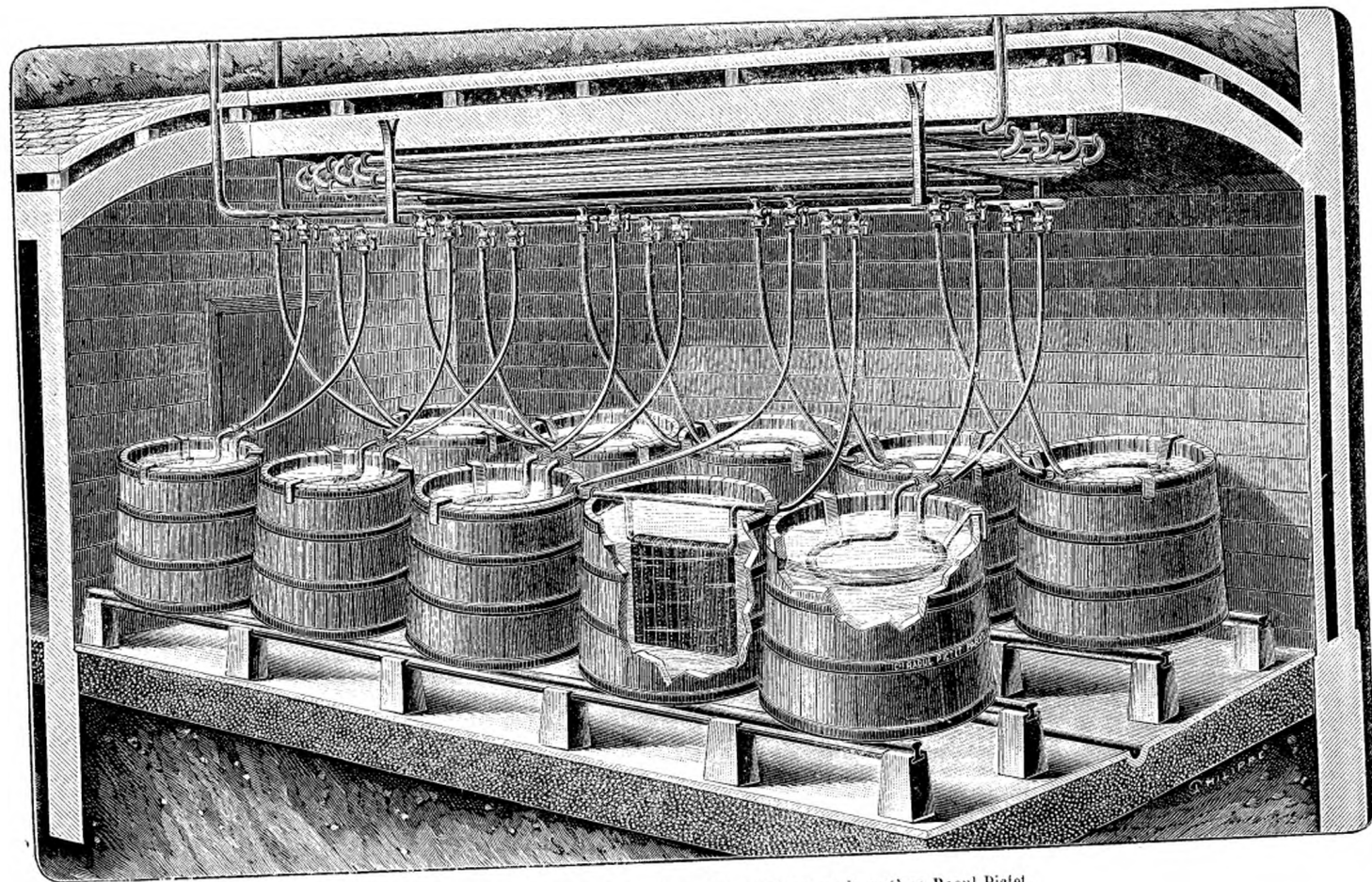


Fig. 157. — Refroidissement des mûts de fermentation par le système Raoul Pietet.

Il est difficile de décrire ici la disposition des bassinets et la façon dont ils communiquent avec la chaudière et avec le bac, car tout cela doit changer suivant le cas qui se présente.

Dans le caisson où l'on mélange la glace avec le sel, l'eau salée très froide gagne le fond et s'écoule lentement par un tuyau, traverse un système de tubes disposés dans le bac où elle refroidit le liquide. Ce dernier est alors pompé, de la façon habituelle, à travers le tuyautage de la cave. La solution de sel qui s'est formée dans la glace s'écoule après être sortie du bac dans le caisson de repos. Celui-ci doit être muni d'une paroi de séparation qui a pour effet de séparer les matières légères, par exemple, les copeaux des matières lourdes et sablonneuses.

La solution saline clarifiée s'écoule par un tuyau dans le bassin supérieur, elle est alors méthodiquement évaporée là d'abord, puis, ensuite dans le bassinet supérieur.

2° Refroidissement par les appareils frigorifiques.

Les appareils à glace employés actuellement en brasserie ont pour fonction de servir d'intermédiaire entre l'eau extérieure et le brassin en abaissant la température de celui-ci tandis que celle-là absorbe la chaleur. L'eau n'étant pas assez froide pour opérer directement, mais par l'artifice de la machine à glace, l'échange peut se faire et l'eau emporte ainsi la chaleur absorbée à la bière.

Les premières applications de ce genre à la fabrication de la bière ont simplement consisté à fabriquer artificiellement de la glace que l'on substituait à la glace naturelle dans les divers emplois qui viennent d'être décrits; c'est là une solution qui a pu améliorer le prix de revient, présenter une sécurité complète pour une brasserie située loin des pays froids, mais néanmoins qui participe aux inconvénients signalés à propos de la glace naturelle.

Le progrès réalisé par l'emploi des machines à glace consiste dans l'utilisation directe du froid produit, sans passer par aucun intermédiaire; l'appareil absorbe la chaleur au fur et à mesure qu'elle se manifeste au sein de la bière en fermentation et la transporte incessamment dans l'eau courante qui est rejetée hors de l'usine.

Machines Pictet. — Les machines à acide sulfureux se prêtent bien à ce genre de travail. Le froid est produit par l'ébullition de l'anhydride sulfureux et les tensions, remarquablement faibles, que l'anhydride sul-

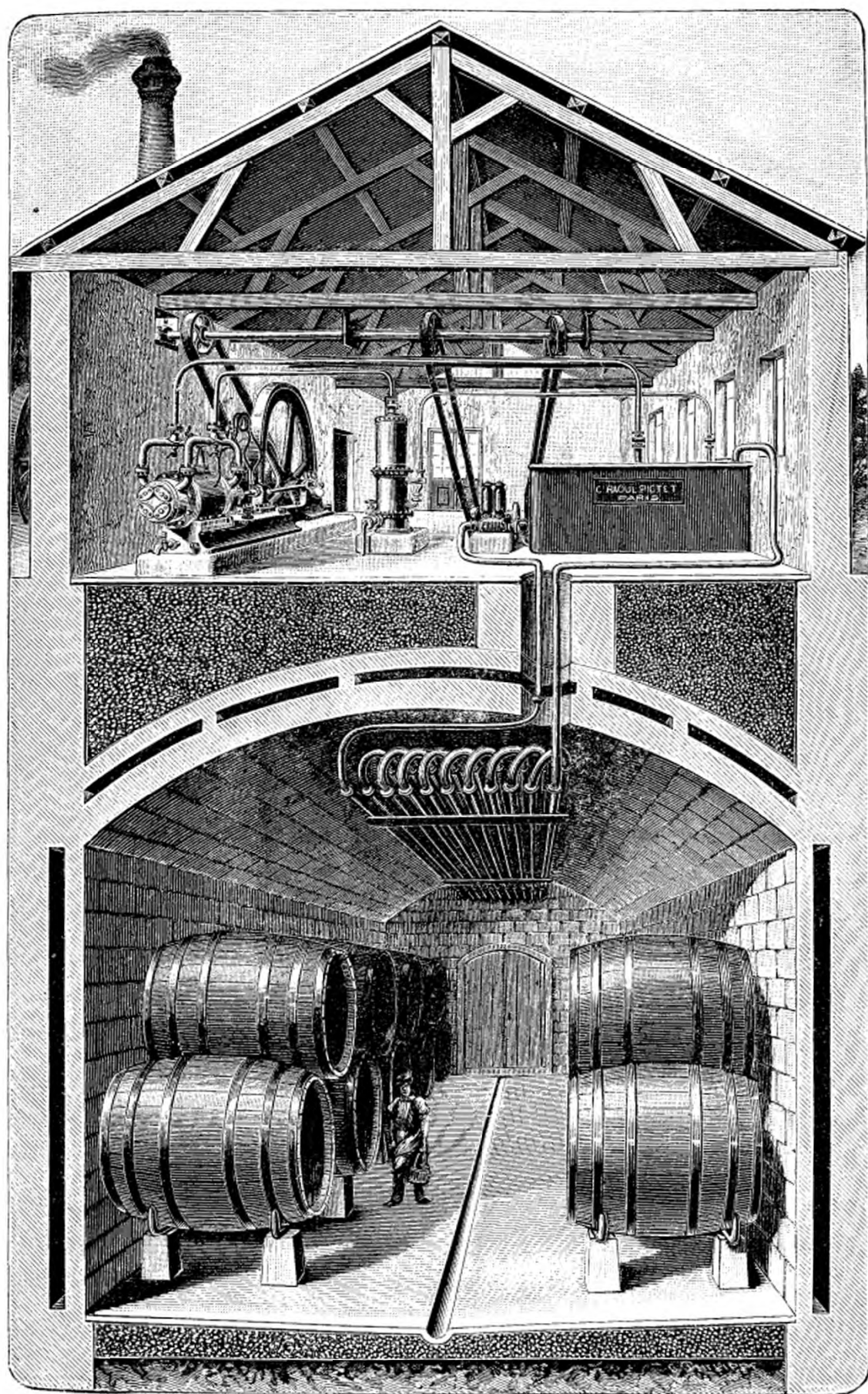


Fig. 458. — Refroidissement des caves de conserve par les appareils Pictet.

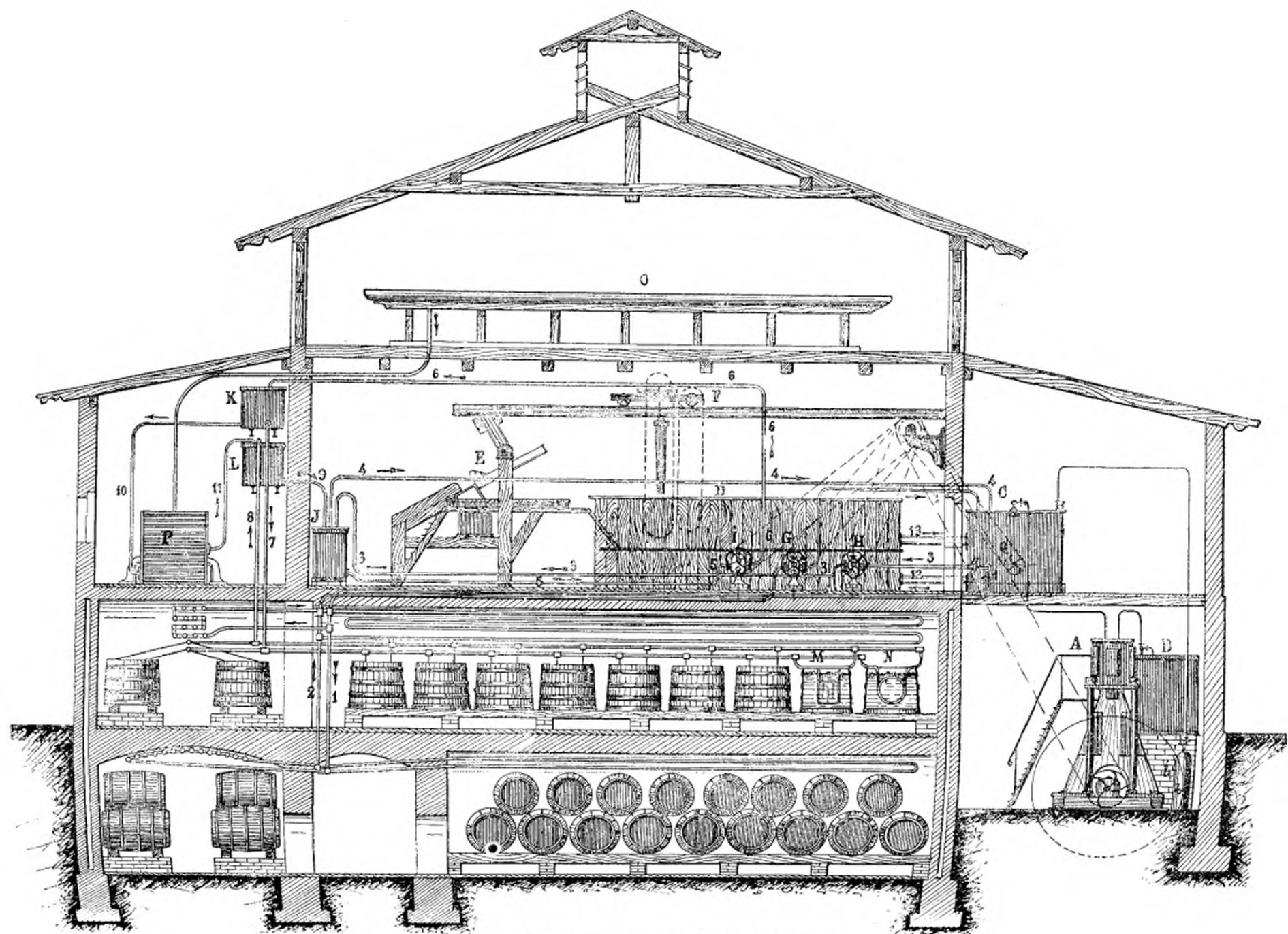


Fig. 150. — Le système Douane appliqué à la brasserie.

sureux possède à des températures relativement élevées, présentent certains avantages quand il s'agit d'établir des brasseries dans les pays chauds, là où les eaux les moins chaudes sont encore à 25° et même 30°.

L'appareil à glace proprement dit est situé dans un point de l'usine le plus favorable à la bonne surveillance, à proximité des générateurs de vapeur et du mécanicien de la machine motrice.

Le refroidissement de la bière ou des caves est produit par la circulation de liquide inerte incongelable, neutre, limpide que la machine refroidit à basse température.

Le mode d'action et la nature du liquide circulatoire déterminent deux systèmes de « circulation » différents.

1° L'appareil de circulation refroidit l'air ambiant dans les caves ou les locaux qui contiennent les bacs ou les fûts remplis de bière.

2° On produit le refroidissement au sein même du liquide, en ne considérant la température de l'air ambiant que comme une circonstance accessoire.

Nous avons décrit plus haut le système Galland et l'utilisation dans ce cas du froid produit par les machines à acide sulfureux.

Machines Douane. — La figure indique la disposition d'une installation de brasserie par la maison Douane. En voici la description.

A. — Compresseur automoteur à vapeur.	J. — Rafraîchisseur d'eau douce.
B. — Liquéfacteur.	K. — Réservoir d'eau douce rafraîchie.
C. — Frigorifère.	L. — Réservoir d'eau douce ayant servi.
D. — Congélateur.	M. — Cuve de fermentation avec rafraîchisseur plat.
E. — Basculeur démouleur.	N. — Cuve de fermentation avec rafraîchisseur rond.
F. — Pont roulant.	O. — Bac de rafraîchissement.
G. — Pompe rotative pour la saumure.	P. — Réfrigérant de moût.
H. — Pompe à saumure pour rafraîchir l'eau douce.	
I. — Pompe à eau douce.	

Le fonctionnement est le suivant :

La saumure froide venant du frigorigère C coule par le tuyau 1 et ceux branchés à la suite dans les cuves de fermentation et de garde pour les rafraîchir; aspirée par la pompe G, cette saumure retourne par le tuyau 2 dans le frigorigère.

La pompe H prend également de la saumure par le tuyau 3 et la fait passer à travers un système de serpentins placés dans le rafraîchisseur à eau douce I, cette saumure revient au frigorigère par le tuyau 4.

L'eau douce refroidie dans le réservoir J est montée par la pompe I suivant les tuyaux 5 et 6 au réservoir K, d'où elle part par le tuyau 7 à la cuve de fermentation pour passer dans les rafraichisseurs M et N des cuves de fermentation. Cette eau retourne par le tuyau 8 au réservoir L et de là par le tuyau 9 au rafraichisseur d'eau douce pour être refroidie à nouveau.

Enfin on utilise l'eau froide passant par le tuyau 10 au réfrigérant de moût P où circule ce moût à la sortie du bac plat de rafraichissement O, l'eau douce sort du réfrigérant P par le tuyau 11 pour se rendre au réservoir L.

Machine Rouart. — Le refroidissement peut être effectué par les machines frigorifiques Rouart par les différentes méthodes que nous avons indiquées.

¹⁰ Le refroidissement par détente directe du gaz liquéfié, est d'après le constructeur le système le plus simple et le moins coûteux avec un minimum d'emplacement.

Au point de vue de l'utilisation du froid il est facile de comprendre que détendant directement le gaz dans la pièce à refroidir, on obtienne un froid plus intense puisque l'on évite les déperditions par les parois des différentes fractions de l'appareil.

De plus la production du froid dans la pièce à refroidir a lieu, pour les appareils à compression dès la mise en marche de l'appareil et pour les appareils à absorption dès qu'on a du gaz liquéfié à sa disposition.

On peut aussi porter le froid à une assez grande distance et ne le distribuer (par l'ouverture d'un robinet) que juste à l'endroit voulu.

Nous ne parlerons que pour mémoire de la diminution de force motrice nécessaire, par la suppression de la pompe, quoique cette économie soit assez sensible dans les installations un peu importantes.

Ainsi que l'indique le dessin page 477, un faisceau de tubes ayant les dimensions nécessaires se trouve placé à la partie supérieure de la cave et à l'endroit le plus convenable.

La distribution du gaz liquéfié dans les tubes se fait simplement au moyen d'un robinet. Le gaz, en se détendant, produit la quantité de froid nécessaire pour le refroidissement de la cave.

Ce faisceau est composé de tubes en fer, d'une seule pièce, essayés à une pression triple de celle qu'ils doivent supporter.

Le raccordement est assuré d'une manière infaillible par un joint d'un nouveau système ;

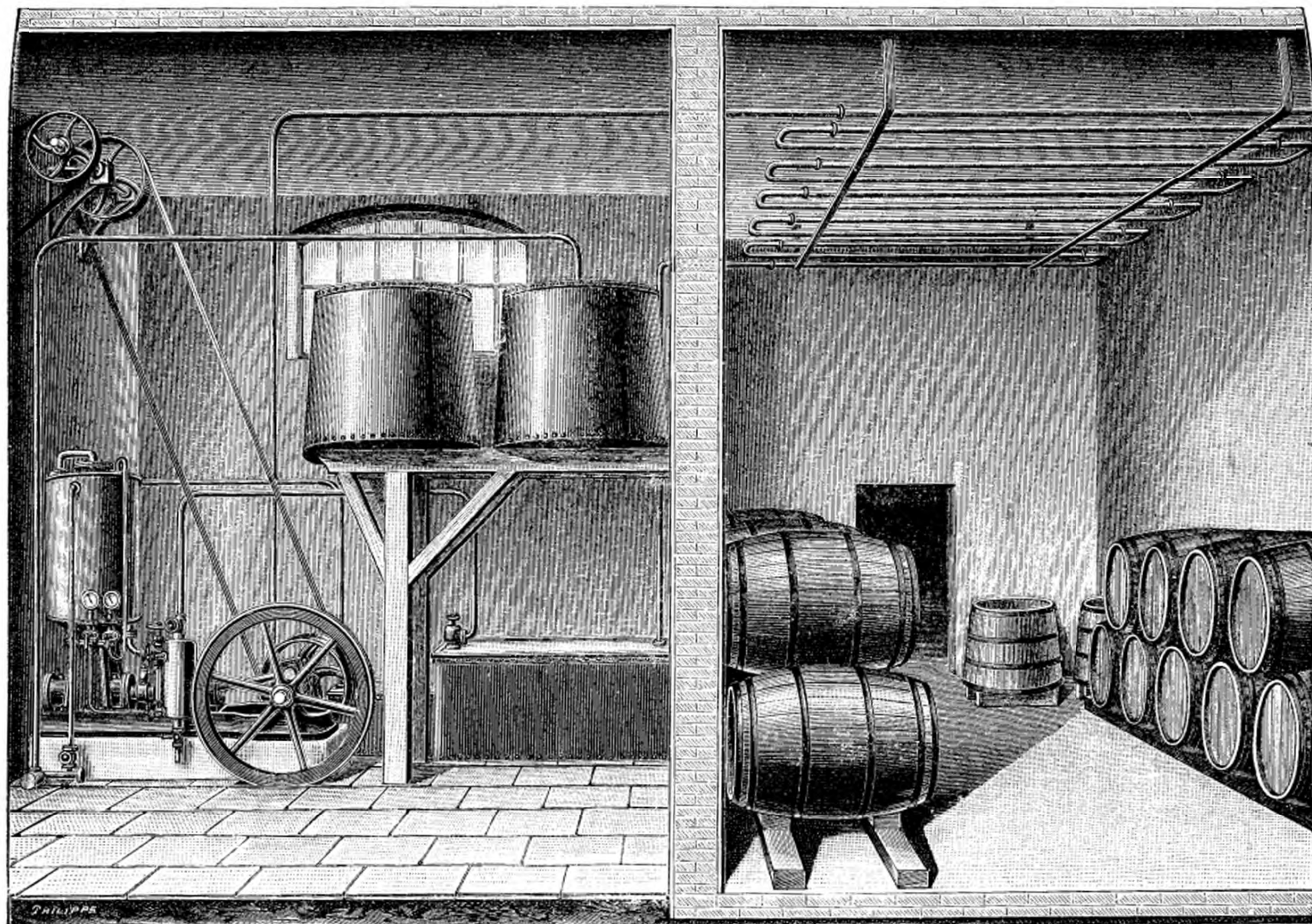


Fig. 160. — Installation pour la production de la glace et le refroidissement d'une cave de brasserie par circulation de liquide inécongeable.

La figure ci-jointe montre le refroidissement d'une cave de brasserie par le système Rouart.

Nous n'avons fait figurer dans ce dessin que le faisceau tubulaire, servant au refroidissement; la machine productrice du froid pouvant être à volonté à absorption ou à compression.

2° La circulation d'un liquide incongelable refroidi dans un bac et distribué ensuite dans les différentes parties de l'usine où le froid est nécessaire. Cette méthode a l'avantage de permettre la fabrication de la glace pendant les différents instants où il n'y a pas distribution du froid.

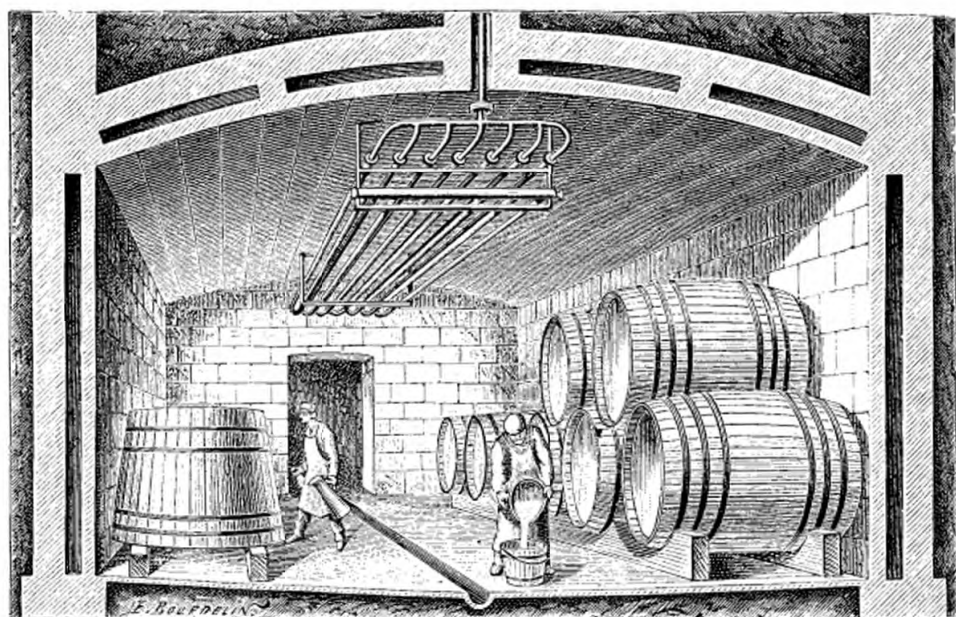


Fig. 461. — Refroidissement d'une cave de brasserie.

3° Enfin on peut refroidir au moyen de glace préparée artificiellement par la machine à glace.

Système Lebrun. — Dans le système Lebrun, pour le refroidissement des caves de brasserie, le congélateur est remplacé par un faisceau de tubes en acier suspendus à la partie supérieure des salles à refroidir, tubes dans lesquels se fait la détente directe de l'ammoniac anhydre.

Les applications de la détente directe de l'ammoniac dans les serpentins de refroidissement ont été généralisées avec grand succès depuis quelques années, tant en Belgique qu'en France et à l'étranger.

Nous citerons en particulier, la très remarquable installation par détente directe de la brasserie Karcher, à Paris, c'est, croyons-nous,

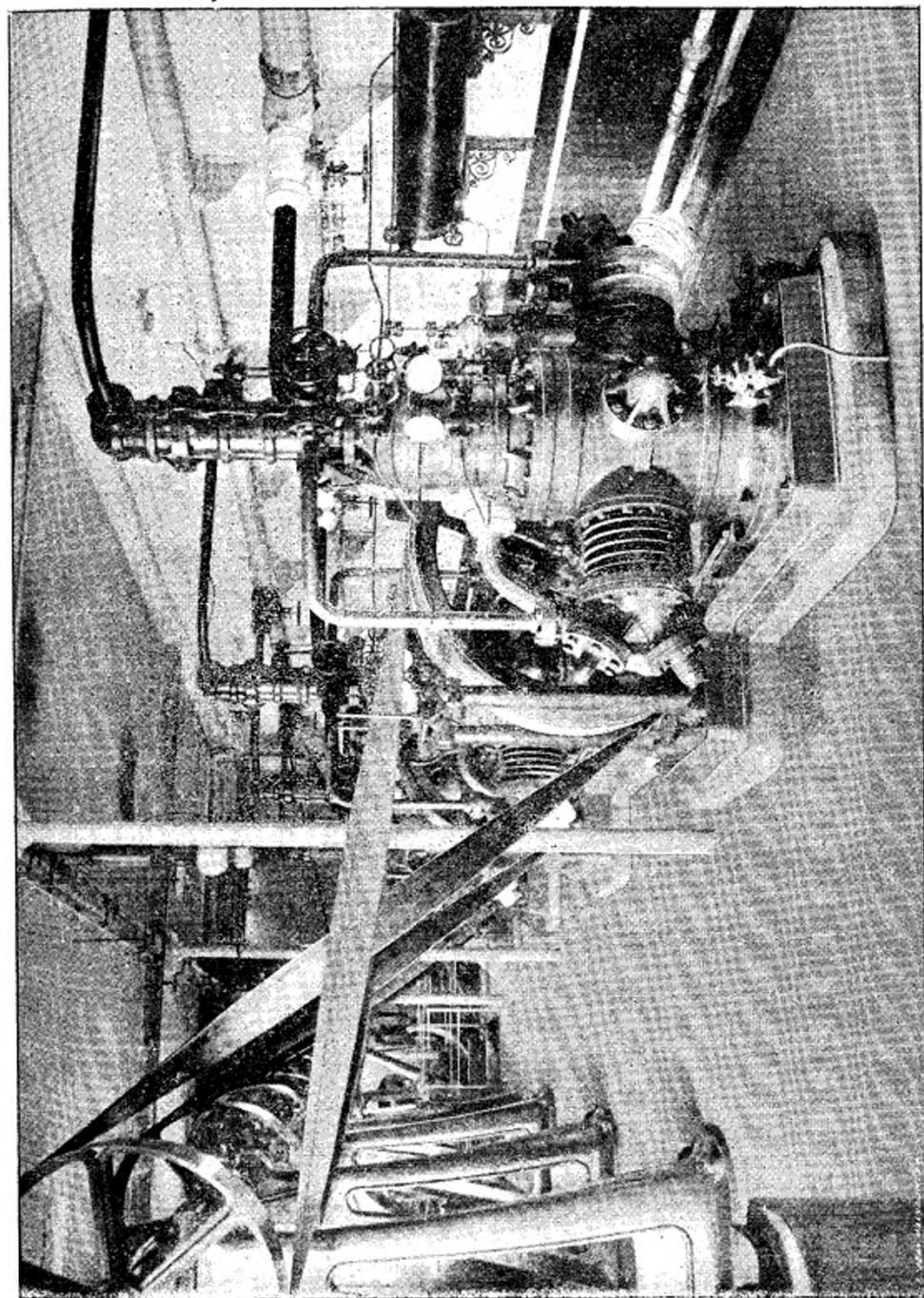


Fig. 462. — Brasserie Karcher. Vue des quatre compresseurs à ammoniac.

L'installation la plus puissante par détente directe de l'ammoniac fonctionnant dans le monde entier.

Il existe actuellement trente-six applications en brasserie, de l'appareil avec la détente directe dont huit pour fermentation haute et vingt-huit à fermentation basse en Belgique, en France (dont trois à Paris) et en Hollande.

Bruxelles possède six installations avec la détente directe, pour la fermentation basse, et deux pour la fermentation haute.

Là encore, l'application de la détente directe donne une économie considérable sur les refroidisseurs par serpentins à eau salée.

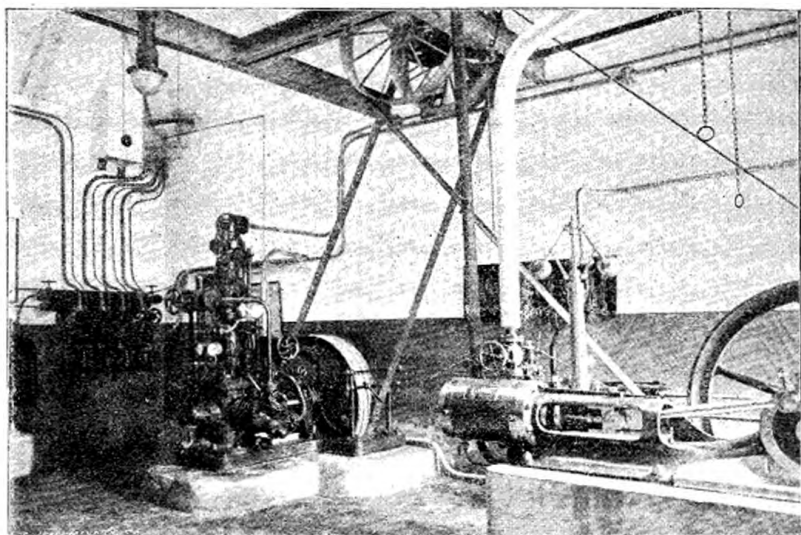


Fig. 463. — Salle des machines de l'Institut Supérieur de Brasserie à Gand.

La détente directe peut être appliquée au refroidissement d'un local dans n'importe quel cas, mais surtout pour des installations à marche continue, attendu que, dans les installations à marche intermittente, le dégivrement des tuyaux peut parfois être un inconvénient.

Nos figures montrent les salles de machines de quelques installations de brasserie par le système et le refroidissement de deux caves par détente directe de l'ammoniac.

Machines Fixary. — Le système Fixary a aussi été adopté avec succès par les brasseries, et le tableau suivant donne les principales conditions de cette application.

Fabrication moyenne annuelle de la brasserie, en hectolitres	4.000	9.000	15.000	25.000	60.000	100.000
Numéros des machines correspondantes	4	5	6	7	9	10
Production en calories, à l'heure	10.000	20.000	30.000	50.000	100.000	150.000
Quantité de moût refroidi de + 20° à + 5° par jour, en hectolitres	20	40	60	120	250	400
Surface des caves de conserves maintenues à + 2°	150m ²	300m ²	500m ²	1.000m ²	2.000m ²	3.000m ²
Surface des caves de fermentation maintenues à + 5°, environ	50m ²	100m ²	180m ²	300m ²	600m ²	900m ²
Nombre de nageurs entretenus dans les caves de fermentation, environ	6	15	24	40	90	130
Quantité de glace remplacée par jour, c'est-à-dire nécessaire pour obtenir le même résultat qu'avec la machine réfrigérante système FIXARY	4.000 ^k	8.000	12.000 ^k	20.000 ^k	40.000 ^k	60.000 ^k
Frais annuels d'exploitation en comptant sur un travail de 200 journées de 24 heures (*), francs environ	4.000	6.000	11.500	16.500	26.200	32.000
Prix de revient des 100 kilog. de glace remplacée, francs environ	0,38	0,35	0,32	0,28	0,25	0,20

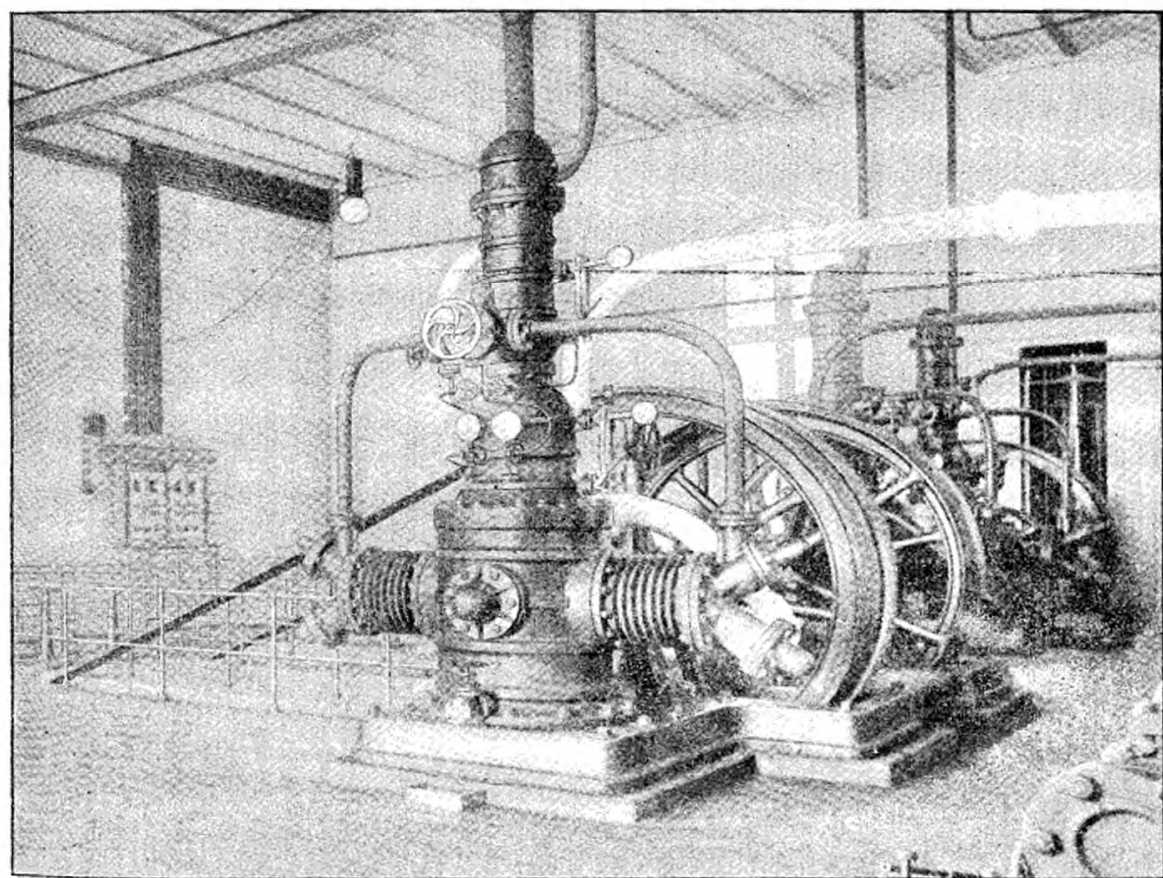


Fig. 184. — Salle des machines de la Brasserie des Pyramides au Caire (Egypte). Vue des trois compresseurs à ammoniac système B Lebrun d'une puissance globale de 450000 frigories (3000 kg. de glace à l'heure).

Nos figures montrent deux installations de brasserie par le système Fixary.

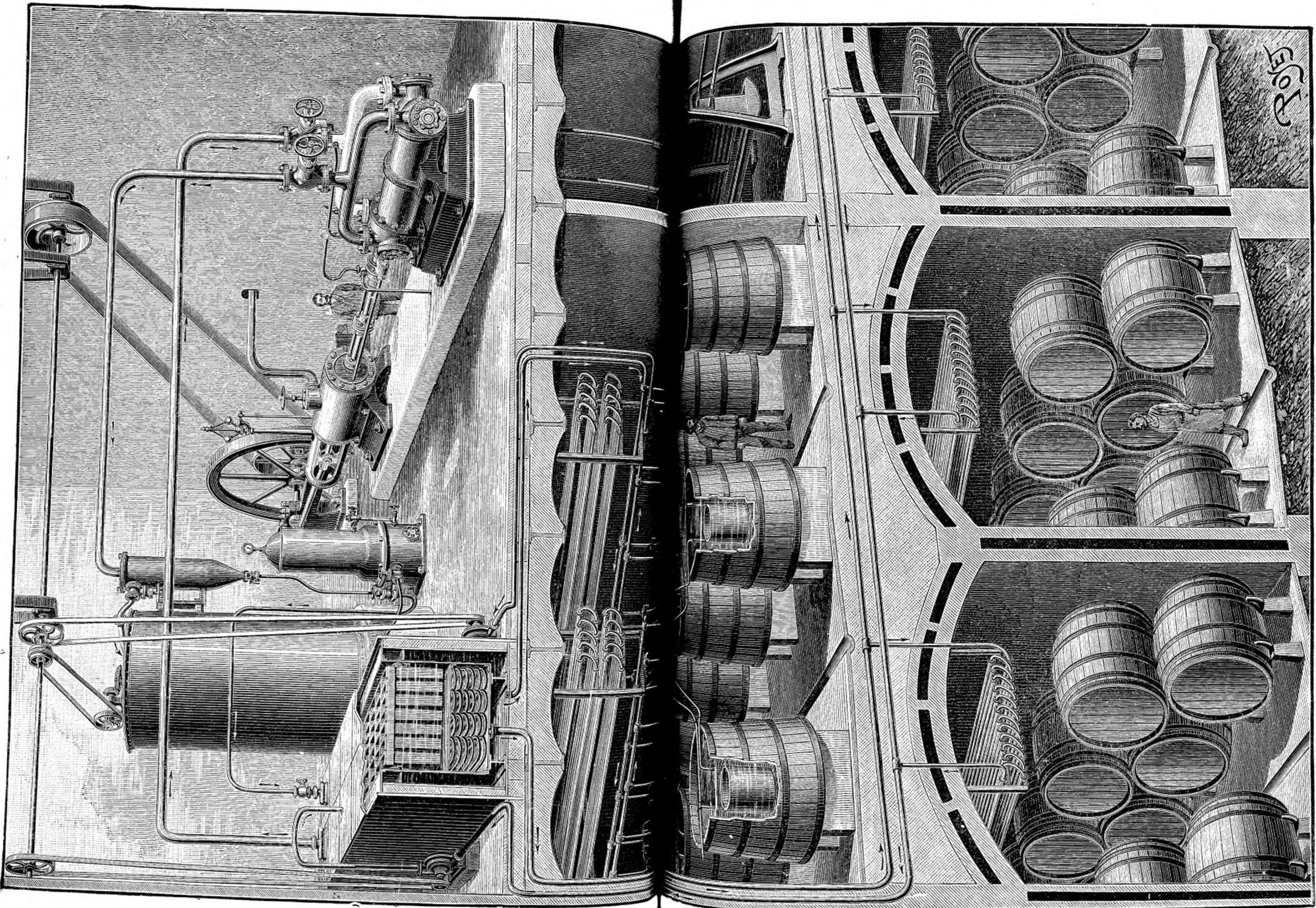


Fig. 165. — Disposition générale d'un moteur à vapeur fixe pour brasserie.

Machines à acide carbonique. — L'emploi des machines à acide carbonique, des machines *Hall* par exemple, présente en brasserie certains avantages.

L'agent réfrigérant employé, l'acide carbonique est parfaitement

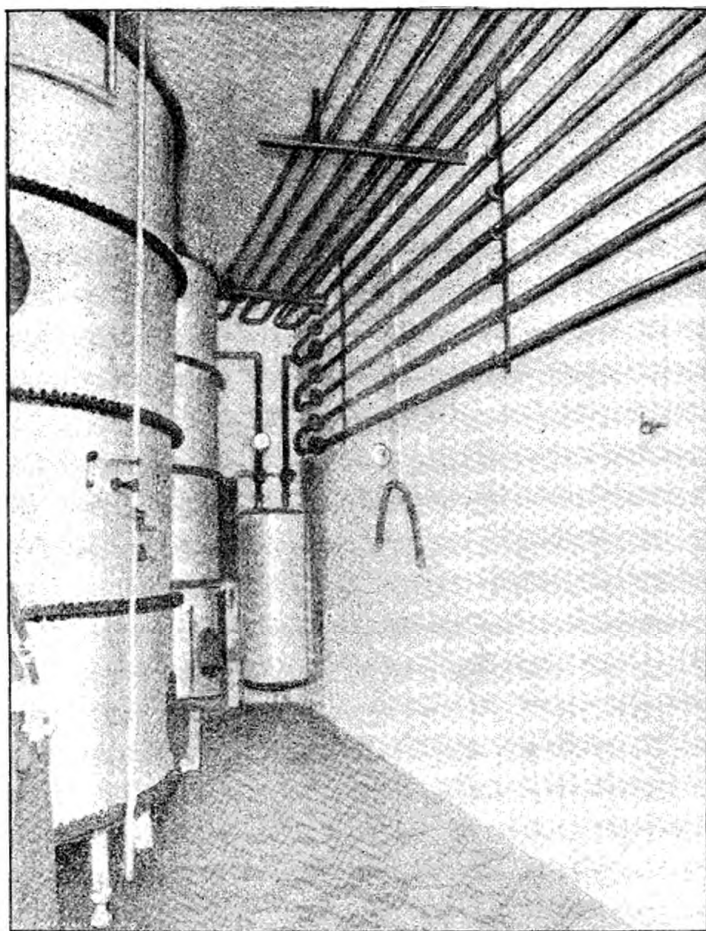


Fig. 166. — Refroidissement par détente directe de l'ammoniac d'une cave garnie de cuves système Pfandler (Américan Brewery à Gand).

connu de tous les brasseurs et il se dégage en grandes quantités de leurs cuves de fermentation.

Quand il s'agit de refroidir l'eau, on fait évaporer directement l'acide carbonique liquide dans des serpentins renfermés dans une cuve où

passer l'eau à refroidir. De là, le gaz acide carbonique retourne comme d'ordinaire au compresseur, puis au condenseur.

L'eau peut être refroidie de n'importe quelle température jusqu'à 0°. Son refroidissement dépend surtout de la quantité que l'on fait circuler

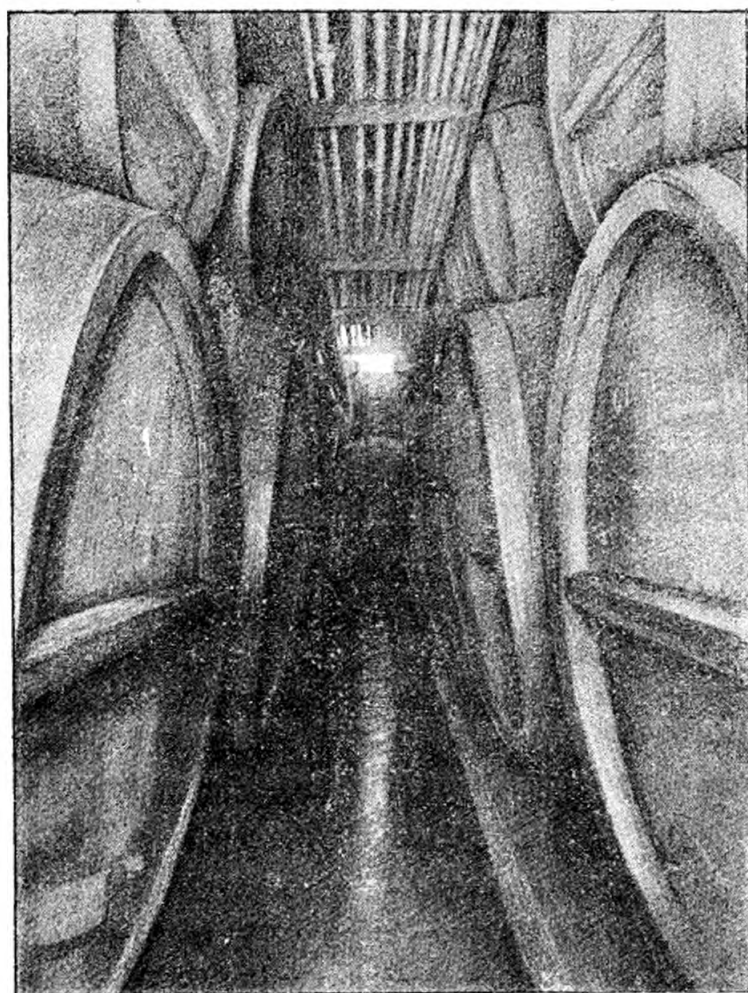


Fig. 167. — Vue d'une cave refroidie par détente directe de l'ammoniac
(Brasserie G. Damiens à Bruxelles, système Lebrun)

dans la cuve contenant l'évaporateur. En réglant la soupape de sortie, on peut donc obtenir toutes les températures désirées.

Lorsqu'on emploie la machine pour réfrigérer les caves ou les cuves de fermentation, il devient nécessaire de recourir au liquide incongelable, que l'on fait circuler dans des serpentins fixés au plafond des

caves. L'air, par suite des densités extérieures, forme un continuél courant qui refroidit toutes les parties de la cave.

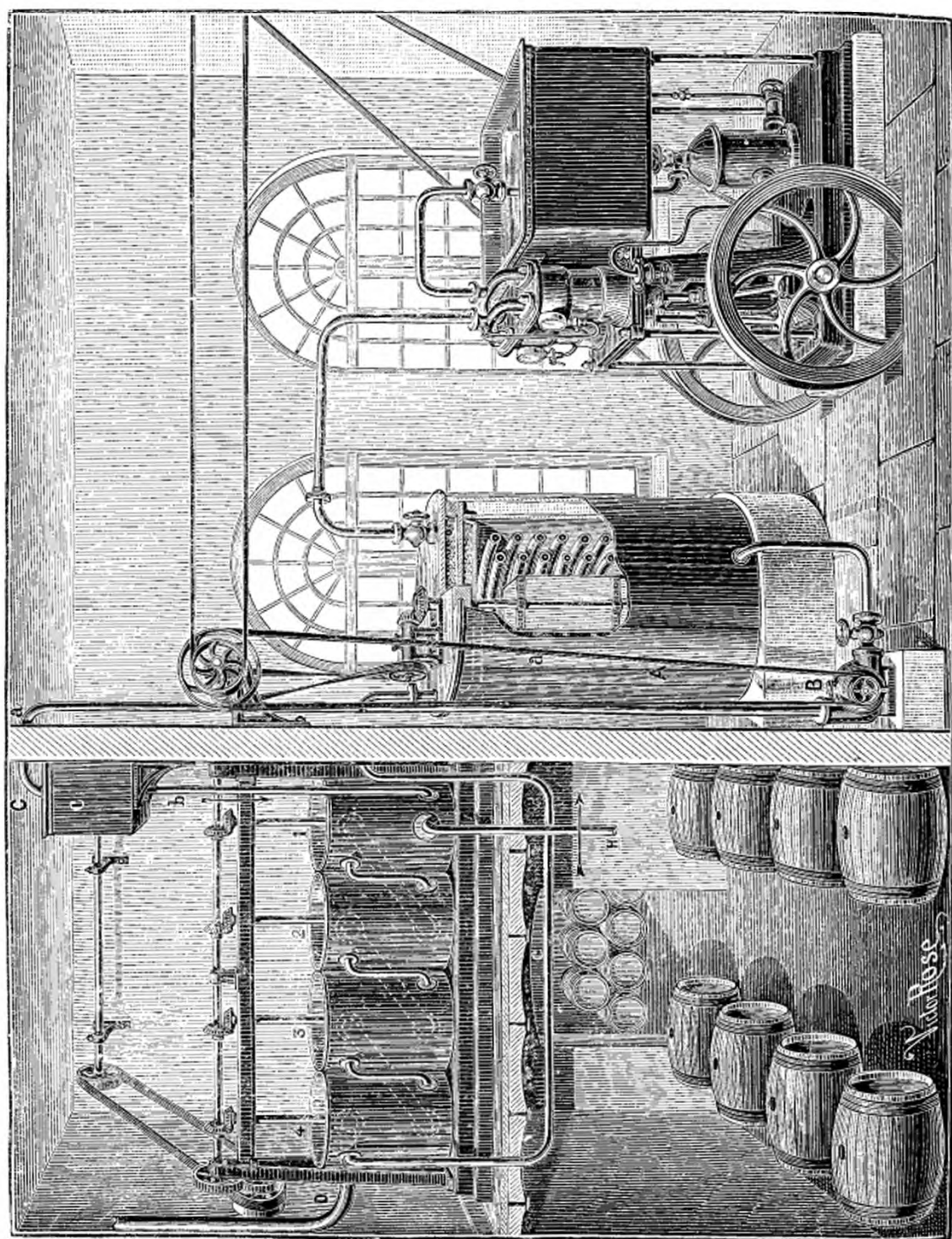


Fig. 468. — Refroidissement des caves de brasserie. Vue d'ensemble d'une installation Fixary.

Sous les climats chauds, on peut abaisser à une très basse température les levures pour empêcher leur décomposition.

Les machines de la maison *Escher Wyss et Cie* de Zurich sont aussi fréquemment employées dans les brasseries. Ce sont encore des machines à acide carbonique et nous les avons décrites dans la première partie de ce volume. Quant à leurs applications à la brasserie nous ne pouvons mieux faire que de décrire deux installations de brasserie montées par ces constructeurs et qui emploient l'une la réfrigération par saumure, l'autre la détente directe.

1° Réfrigération d'une brasserie par circulation de saumure.

— La brasserie de MM. H. et M. Klonaridis d'Athènes installée d'après le système de réfrigération comprend tout d'abord deux chaudières de chacune 110 mètres de surface de chauffe, timbrées à 9 kilogrammes et foyer intérieur avec retour de flamme.

Une seule chaudière assure le service de la machine à vapeur et de la cuisson du moût à la vapeur. Chaque chaudière possède à l'arrière une surcharge de vapeur d'environ 35 m². L'alimentation est assurée par deux pompes à vapeur dont la vapeur d'échappement sert à chauffer l'eau de la brasserie au moyen d'un serpentín placé dans une grande bache cylindrique elle-même placée dans la maçonnerie assurant la circulation des gaz chauds venant des chaudières.

La machine à vapeur, d'une force de 130 chevaux effectifs, est du type tandem à distribution combinée, soupapes Corliss système *Escher Wyss et Cie*; son cylindre à haute pression avec distribution par soupapes est à l'arrière, son cylindre à basse pression avec distribution Corliss est en avant et son condenseur se trouve placé en dessous. Les deux tiers de la force de la machine sont transmis par contre-manivelle au double compresseur d'acide carbonique, la force restante servant à la brasserie, à la mise en marche de la dynamo pour l'éclairage de l'usine et quelques transports de force ainsi qu'aux transmissions en général. L'eau étant assez rare, un récupérateur (réfrigérant) à ventilateur refroidit constamment l'eau servant à la condensation de la vapeur, réduisant ainsi sa dépense à celle perdue par évaporation.

La machine à froid et glace système *Escher Wyss et Cie* du Zurich est d'une puissance horaire de 200,000 frigories, qui sont employées et par la brasserie et par une fabrique de glace jusqu'à concurrence d'une production de 15 tonnes par jour. Cette machine frigorifique se compose des appareils suivants : Un double compresseur horizontal accouplé par contre-manivelle à la machine à vapeur; un condenseur à ruis-

sellement avec condenseur complémentaire, enfin des serpentins de détente placés directement dans le générateur à glace.

Là encore, comme l'eau est rare, il a été prévu un récupérateur à ventilateur, afin que ce soit toujours la même eau qui serve à la condensation de la machine frigorifique. La disposition de cet appareil est telle que l'eau venant du condenseur à ruissellement s'écoule librement sur le récupérateur, de sorte qu'une seule pompe assure tout le service.

La réfrigération des caves est faite par circulation d'eau salée, mise en mouvement dans le générateur à glace par deux pompes rotatives et circulant dans des faisceaux frigorifères constitués par des tubes d'acier doux soudés à recouvrement et galvanisés, cela tant pour les caves de garde que pour celles de fermentation.

Le service d'eau douce glacée est disposé de telle façon que les circulations dans les cuves de fermentation ne soient pas arrêtées lors d'un arrêt de la machine et qu'il n'y ait pas d'eau de perdue.

A cet effet, le réfrigérant d'eau douce glacée est placé à l'étage situé directement au-dessus des caves de fermentation. L'eau y est réfrigérée au moyen d'un puissant faisceau frigorifique à circulation de saumure. Au même étage se trouve le réfrigérant à moût à deux eaux, la circulation de l'eau glacée y étant assurée au moyen d'une petite pompe centrifuge. De même que pour le moût l'eau glacée s'écoule par son propre poids à travers les réfrigérants et drapeaux des cuves de fermentation puis va se rassembler dans un grand réservoir placé plus bas sous le générateur à glace dans la glacière d'où une pompe la renvoie au réfrigérant supérieur. Pendant les arrêts l'eau se rassemble en totalité dans le réservoir inférieur d'où elle est alors repompée en totalité dès les premiers moments de la mise en marche.

La glace fabriquée est transparente, obtenue par agitation avec petit noyau opaque. Les blocs sont de 25 kg. Le générateur à glace est pourvu de tous les dispositifs d'une grande fabrique de glace; mouleaux rangés par séries dans des cadres à rouleaux, appareil d'avancement, remplisseur automatique, cuve à démouler, culbuteur, tréteau, pont roulant mécanique actionné par câble téléodynamique. L'agitation de l'eau dans les mouleaux est faite par un appareil avec réduction automatique de la course de l'agitateur afin d'obtenir le plus petit noyau opaque possible; les agitateurs eux-mêmes sont en tôle emboutie galvanisée.

Au-dessous du local du bac à glace un local de même dimension sert

de magasin de glace et son accès est assuré par un monte-charge et une rampe.

Il nous paraît inutile d'entrer dans les détails de construction de ces divers appareils, cette étude ayant déjà été faite antérieurement. Qu'il nous suffise, en terminant, de rappeler que toutes les dispositions ont été prises de façon à permettre de doubler facilement l'installation ainsi que le montre les deux plans ci-joints.

2° Réfrigération d'une brasserie par détente directe d'acide carbonique. — L'installation que nous allons décrire est refroidie par détente directe, mais elle présente en outre une innovation heureuse d'adjonction à la brasserie d'un petit hall frigorifique à l'usage des bouchers de la localité.

Nous voulons parler de la brasserie S. Hilty à Buchs (Suisse) installée par la maison Escher Wyss et C^{ie} de Zurich. C'est là une des plus heureuses initiatives que puisse avoir un brasseur que de doter ainsi sa ville, trop petite pour avoir en propre un entrepôt frigorifique de ce puissant moyen d'hygiène, de bien-être et de prospérité agricole. Il serait à souhaiter que la voie ainsi tracée soit suivie par les propriétaires de machines frigorifiques, que les brasseurs en particulier s'inspirant de l'exemple donné, dans un but de salubrité publique et aussi de grands bénéfices pour eux, permettent à leur ville de profiter des bienfaits du froid appliqué à la conservation des produits alimentaires, de la viande en particulier.

Nous donnons ci-joint le plan de la brasserie Hilty, dans l'installation présente, comme nous le disions, comme caractéristique particulière, l'emploi de la réfrigération par détente directe d'acide carbonique.

La machine frigorifique système Escher Wyss et C^{ie} à acide carbonique est actionnée par une machine électrique. Elle comprend naturellement un compresseur, un condenseur et un condenseur complémentaire de forme habituelle.

Mais le réfrigérant pour refroidissement de la saumure est remplacé par :

- a) Six grands faisceaux de tubes frigorifiques pour les caves ;
- b) Un serpentín placé dans une cuve cylindrique munie d'un agitateur pour la production de l'eau douce glacée nécessaire à la réfrigération du moût et des cuves à fermentation ;
- c) Un serpentín placé dans une chambre frigorifique.

Tous ces serpents sont en fer forgé d'une seule pièce, sans soudures ; à l'exception de celui placé dans le réfrigérant d'eau douce glacée, ils portent tous des ailettes en fonte, boulonnées sur eux par groupe de quatre, de façon à en augmenter économiquement la surface.

Le frigorifique est formé par une chambre où un puissant ventilateur force l'air du frigorifique à entrer en contact intime avec le serpent de détente de l'acide carbonique. Ce serpent est muni d'ailettes, et l'air, en circulant à sa surface, se refroidit et se sèche.

Pour éviter la formation de givre sur le serpent, une très faible circulation d'eau salée peut être produite sur ledit serpent au moyen d'une petite pompe qui la reçoit d'une gouttière inférieure placée sous le serpent. L'air est aspiré des locaux et réfrigéré par une grosse conduite centrale suspendue au plafond ; il y est ramené par deux canaux latéraux fixés aussi au plafond, mais ayant leurs ouvertures de distribution à la face inférieure alors que la conduite d'inspiration les a à sa face supérieure. Divers registres permettent de régler la circulation et de le renouveler éventuellement.

On voit donc que l'adjonction de frigorifique n'a nullement compliqué le problème de la brasserie, ni les opérations du brasseur. Il y a là, sans dépenses nouvelles, sans augmentation de frais, une source de bénéfices, une œuvre intéressante à faire pour tous ceux qui cherchent à se rendre utiles à leurs concitoyens.

Utilisation de l'acide carbonique de fermentation.

L'acide carbonique peut être fourni par les cuves de fermentation elle-même.

Un certain nombre de procédés ont été établis dans ce but. Signalons en particulier, d'après Médinger (*Wochenschrift für Brauerei*) l'utilisation de ces gaz aux Etats-Unis.

Les premiers pas dans cette branche d'industrie ont été faits, comme toujours, par les brasseries de Milwaukee. On trouve là-bas, chez Schlitz et Pabst, des installations de ce genre, telles que celles que nous décrivons ci-dessous.

Comme récipients de fermentation, on emploie une cuve de 320 hectolitres de capacité et une cuve guilloire de 110-120 hectolitres. La première est pourvue de deux ouvertures, dont une sert pour y fixer le

tuyau d'acide carbonique, qui l'amène à une conduite collectrice et, l'autre, pour y introduire la levure et pour éclairer la cuve pendant la vidange, le nettoyage et le vernissage. Quelquefois on y dispose une troisième ouverture avec une porte étanche, faite de verre enfermé dans un cadre en fer et qui sert pour observer la formation des couvertes.

Dans les autres brasseries, par exemple, à Saint-Louis, San-Francisco, etc., la marche de la fermentation est contrôlée au moyen d'une prise d'épreuve et par un tube de niveau gradué sur lequel on peut en même temps vérifier la quantité de moût de la cuve. Outre cela, chaque cuve est pourvue d'un thermomètre; environ à un demi-mètre au-dessus du fond, se trouve le trou d'homme, pourvu d'une porte en fer.

Les cuves guilloires sont construites de la même façon que les cuves de pose. Le moût, à base de malt et de maïs additionné de riz, s'écoule de la salle de brassage dans un bassin collecteur, passe par l'appareil refroidisseur et arrive dans la cuve de pose décrite ci-dessus. Là, le moût est additionné de levure et, en 36 heures environ, il est aéré quatre fois avec de l'air filtré, durant 5 à 6 minutes.

Pour continuer la fermentation, le moût s'écoule à 8° C. environ dans la cuve de fermentation, où il reste de 10 à 14 jours et où il est souvent refroidi à l'aide de serpentins à 1,5° C. On ne l'aère plus ici, et l'acide carbonique est recueilli comme auparavant dans la cuve de pose.

On arrose ordinairement les couvercles des récipients avec de l'eau pour empêcher la déperdition par le bois. A la moitié de la hauteur de la cuve, se trouve une galerie circulaire d'où il est facile d'observer très facilement toutes les opérations.

Dans certaines brasseries, le gaz de fermentation est séparé des éléments de mauvaise odeur. Par ce procédé, on accélère la fermentation secondaire et la bière, au bout de peu de jours, peut déjà être soutirée claire et sans aucun goût hétérogène.

M. Willmann, de New-York, a obtenu ainsi en plusieurs endroits des Etats-Unis, comme par exemple, à Lowell, près de Boston, des résultats très satisfaisants. Il a introduit récemment son procédé en Angleterre, à Burton sur Trent et donné même des garanties pour la pureté de la saveur.

Des récipients de fermentation, l'acide carbonique s'écoule sous pression de 1/32 atmosphère, et est recueilli par une fabrique installée à

côté, là il y est reçu sur l'eau, purifié, comprimé et libéré partiellement d'air. Cette fabrique n'appartient pas à la brasserie, mais à une autre Société.

Le procédé même est tenu secret; toutefois, on peut présumer que le coke, le sulfato de fer et le carbonate de soude y jouent un rôle important.

Dimensions des appareils frigorifiques nécessaires à une brasserie

Les dimensions d'un appareil frigorifique nécessaire à une brasserie, varient nécessairement avec la production de la brasserie et nous pouvons résumer dans le tableau ci-dessous, la puissance de production des machines à glace nécessaires pour une quantité déterminée de bière fabriquée.

Tableau de la puissance de Production des Machines à glace nécessaires pour une quantité déterminée de bière fabriquée.

Production de bière par jour	Puissance de l'appareil à glace à l'heure
15 hectolitres	1 machine de 100 kilos
30 —	2 machines de 100 —
45 —	2 — de 150 —
60 —	2 — de 200 —
100 —	2 — de 350 —

La machine à vapeur motrice peut être faite d'une puissance suffisante pour actionner tous les autres appareils de la brasserie et être munie d'une condensation de la vapeur.

D'ailleurs voici les différents éléments qui font varier pour le brasseur, les dimensions de la machine à glace qu'il doit employer.

1° Grandeur des caves, longueur, largeur, hauteur, mesurées aux naissances et au sommet de la voûte, nature des murs et des voûtes, leur épaisseur.

2° Profondeur à laquelle les caves sont dans le sol.

3° Humidité des caves.

4° Température maximum du sol.

5° Degré maximum de la température dans les caves.

6° Quantité de bière qui doit fermenter à la fois dans les caves, et quantité de bière qui doit être conservée.

7° Temps maximum que la bière doit rester en cave.

8° Degré de température auquel les caves de fermentation et de conserve doivent être maintenues.

9° Température maximum de l'air ambiant extérieur.

10° La machine refroidit-elle aussi le moût ? Doit-elle fournir de l'eau glacée aux plongeurs de la fermentation ?

11° Nombre d'hectolitres par brassin et de brassins par jour.

12° Degré maximum de l'eau du puits pour refroidir le moût.

13° Emploi ou non de bacs rafraichisseurs.

14° Degré auquel on laisse couler le moût.

15° Le moût coule-t-il directement de la chaudière ?

16° Nombre de cuves de fermentation.

17° Dimensions des cuves de fermentation (longueur, largeur, hauteur).

18° Degré maximum auquel on conduit la fermentation.

19° Température maximum de l'eau en été dont on dispose pour la condensation.

20° Fabrique-t-on de la glace (opaque ou transparente) et quelle quantité par heure ?

Ce sont là autant de facteurs qui interviennent évidemment dans la puissance frigorifique des machines.

Conservation du houblon.

La conservation du houblon est un point qui intéresse particulièrement les brasseurs.

Autrefois on était obligé d'écouler rapidement le houblon sortant des tours, sous peine de voir son prix baisser de 25 0/0 après quelque temps de magasinage. Grâce à l'application du froid, on est arrivé à conserver parfaitement l'aspect et la qualité du houblon.

La conservation du houblon se pratique ainsi en Angleterre depuis cinq ou six ans et on en a obtenu les meilleurs résultats. M. L. Briant, dans *Brewing Trade Review* a récemment publié un article remarquable sur les différents procédés de fermentation, article que nous avons d'ailleurs analysé dans la *Bière et les Boissons fermentées*, 13 juin 1903, n° 6, p. 88).

Le houblon, depuis le moment où il est récolté jusqu'à celui où il est utilisé subit de continuelles altérations. Ces altérations sont dues en partie aux enzymes, en partie à des causes extérieures que la plante elle-même possède (*la Bière*, 13 mai 1903, n° 3, p. 67).

M. Briant rappelle que l'on a attribué aussi les changements produits dans le houblon à l'oxydation par l'exposition à l'air; mais les houblons séchés dans des chambres sans air n'ont montré aucun retard dans la détérioration. Il est naturellement impossible d'obtenir le vide parfait mais si la quantité d'air présent n'est plus que le $\frac{1}{1000}$ de celle qui y existait primitivement, on ne doit pas conclure que l'air était le facteur déterminant l'altération de la plante. Il n'y a pas de différence entre les houblons séchés dans le vide et ceux séchés au contact de l'air.

Cependant on doit rappeler que quelques expériences récemment décrites ont semblé montrer un effet heureux de la conservation du houblon dans un vide relativement parfait. Les houblons ainsi traités auraient gardé avec une remarquable intensité leurs résines, leur arôme et leur couleur.

C'est en s'appuyant sur cette hypothèse d'une action néfaste de l'air que l'on a tenté la conservation du houblon au moyen de gaz différents tels que l'acide carbonique, l'azote, l'acide sulfureux.

Les changements que l'on observe dans le houblon sont dans ce cas, de peu d'importance si ce n'est qu'avec l'acide sulfureux le houblon prend une teinte verte très accusée, mais son arôme ou sa valeur résineuse n'est pas supérieur au houblon conservé dans les conditions ordinaires.

Quand on cueille le houblon, il contient de 50 à 80 0/0 d'humidité, mais cette proportion varie beaucoup suivant le temps.

Dans les méthodes anglaises de séchage, le houblon passe directement de l'échelas à l'appareil dessiccateur.

Au contraire, sur le continent les houblons sont d'abord exposés à l'air et les manipulations de conservation sont ajournées pendant quelque temps. Il en résulte parfois une très rapide altération manifestée par une perte sérieuse des résines tendres du houblon.

D'après Briant le houblon est d'une qualité d'autant meilleure que la dessiccation a suivi de plus près la cueillette. Ce sont alors les « conserves de saison » dans lesquelles la plante est immédiatement séchée après la cueillette.

Par la dessiccation l'humidité de 60 0/0 d'eau environ tombe de 3 à 6 0/0. Mais une exposition consécutive à l'air fait remonter le pourcentage de l'eau jusqu'à 7 à 12 0/0, variable d'après la quantité d'hu-

midité contenue dans l'air au moment de l'exposition, la longueur de cette exposition, etc.

En définitive, la proportion d'eau contenue en moyenne dans le houblon de conserve doit être de 8 à 11 0/0.

Un houblon qui contiendrait une moindre proportion serait fragile et susceptible de se pulvériser quand on le manipulerait : ce serait courir le risque d'une forte perte au point de vue du « conditionnement de la bière ».

Si le houblon contient sensiblement plus d'humidité que la moyenne, il est mou et ne peut servir.

La proportion d'eau contenue dans les houblons exerce aussi une très grande influence sur leur conservation.

A ce sujet M. Briant rappelle un certain nombre d'expériences faites il y a quelques années, dans lesquelles on compara des houblons de même origine séchés dans des conditions similaires, mais qui contenaient des quantités différentes d'humidité.

Les houblons contenant le moins d'eau étaient ceux qui se conservaient le mieux. La présence de l'humidité favorise, en somme, l'action des ferments et la dessiccation est une précaution utile indispensable pour la bonne conservation du houblon ; elle n'est pas suffisante.

L'influence de la température est bien plus considérable sur ces actions ; aussi y a-t-il un énorme avantage à employer la consommation par le froid qui paralyse toute action de fermentation.

M. Briant rappelle donc des expériences faites il y a plusieurs années avec des sacs de la même récolte de houblon conservés aux températures suivantes : 12°, 18°, 25° et 30° C. La détérioration se fit dans les proportions suivantes ; en trois mois, le sac conservé à 30° C. subit la même avarie que le sac conservé à 12° C. en un an. En 3 mois et demi, le sac conservé à 25° C. présentait une détérioration très légèrement plus grande que celui conservé à 12° C.

L'autre sac conservé à 18° et examiné en même temps présentait une détérioration intermédiaire entre celle du sac à 12° et celle du sac à 25° C.

Cette expérience montre bien l'existence d'une température optima favorisant pour cette fermentation, au delà et en deça de laquelle les phénomènes d'altérations sont ralentis.

Le tableau suivant, d'après Briant et Meacham (*Journal of the Fed.*

Inst. of Brewing, tome XI, p. 444) montre d'autre part l'influence de la température sur la quantité de résine contenue dans un houblon.

Résines contenues dans des houblons secs :

	Dates des analyses	Résine		Total
		Tendre	Dure	
Houblons en bettes. . . .	22 janvier 1895	41,75	3,16	44,91
H. conservé 7 mois à 72-75° F	19 août —	8,83	5,94	14,76
H. — — à 55-65° F	21 août —	9,21	5,11	14,36
H. — — à 35-40° F	5 septemb. —	10,67	4,20	14,87
H. — — au-dessous de 32° F.	25 août —	11,40	3,57	14,97

On y voit clairement tout d'abord l'influence mauvaise des températures moyennes et l'influence bienfaisante des basses températures.

Au point de vue pratique l'emmagasinage à une température inférieure à 2° C. est suffisant, mais il est plus commode d'abaisser encore la température jusqu'au point de congélation de l'eau afin d'assurer au houblon le contact d'un air complètement dépourvu de bactéries.

Si les houblons sont conservés à une température de 3°, il faut alors employer des dispositifs spéciaux pour éviter la présence des ferments organisés; il est donc plus simple et plus économique de réduire la température.

Nous rappellerons néanmoins que la présence des bactéries n'est pas l'agent fondamental de la décomposition, elles ne paraissent que lorsque le mal est déjà fait et que les tissus sont déjà détruits par une autodigestion diastasique.

Deux systèmes de conservation du houblon par le froid sont employés. Dans l'un, les tuyaux d'eau salée sont placés dans la chambre froide et agissent directement sur l'air ambiant et immobile.

Dans l'autre, une batterie de tuyaux à eau salée fortement frigorisée est placée hors de l'appareil; il refroidit une masse d'air qui vient circuler autour de la chambre. Le second système est sans aucun doute le plus avantageux parce que les tuyaux sont situés autour de la chambre froide et que l'on n'a pas à craindre un changement subit de température, mais le premier présente de son côté l'avantage d'employer toujours la même masse d'air. Il ne peut par conséquent y avoir apport de bactéries à chaque instant ainsi que peut le faire un courant d'air continu.

Quand on adopte le dernier système il faut avoir grand soin que la

circulation de l'air se fasse facilement dans les sacs; autrement il y aura des différences importantes de température entre eux.

Il est intéressant aussi de voir jusqu'à quel point et combien de temps la réfrigération peut exercer son action. On a vu des houblons absolument indemnes après sept et dix ans; mais ce n'est pas là un fait très ordinaire et il arrive souvent que la réfrigération réduit beaucoup mais n'arrête pas entièrement la détérioration. Cependant, au bout de un et deux ans, celle-ci est tellement faible qu'il n'est pas nécessaire pratiquement, de chercher un perfectionnement à la méthode car il est rare qu'on ait besoin de conserver un houblon pendant un temps plus considérable.

L'apparence du houblon réfrigéré varie beaucoup. Quelquefois l'aspect ne change presque pas, ou ne présente qu'une légère modification dans la proportion d'huile essentielle et cela au bout d'un temps très long. D'autres fois au contraire les houblons présentent des modifications très profondes. Dans aucun cas cependant celles-ci n'atteignent l'importance des détériorations du houblon conservé et non réfrigéré.

Un bon houblon est capable de conserver intact pendant un temps assez long, ses résines et son tannin s'il est bien réfrigéré.

A ce sujet, l'auteur, M. Briant donne l'analyse de houblons réfrigérés pendant six ans. C'était des Kent Goldings de bonne qualité; un sac fut conservé dans la chambre froide depuis 1895 jusqu'à Noël 1901, époque à laquelle il fut examiné. Les résines et le tannin avaient subi une légère altération ainsi que l'indique le tableau suivant :

	Composition du houblon au moment où il fut placé dans la chambre froide	Composition du houblon au sortir de la chambre froide
	1895	1901
Résine tendre	41,45 0/0	41,20 0/0
Résine dure	3,34	3,40
Résines totales	44,79	44,60
Tannin	2,79	2,54

La détérioration par conservation ordinaire a été évaluée à 25 ou 33 0/0, ce qui représente une perte pécuniaire très importante.

M. Briant cherche à évaluer ce que signifie cette perte évitable.

La valeur approximative de la récolte des houblons anglais pour 1902 a été de 41.500 000 francs, en admettant qu'un tiers a été détérioré les deux tiers restants constituent une valeur intrinsèque de 31.500.000 francs qui, conservés par la méthode ordinaire subissent une nouvelle dété-

rioration variant suivant le temps écoulé jusqu'au moment où on les emploie; on peut cependant évaluer la perte moyenne à $1/2$ 12 0/0, ce qui représente la somme considérable de 3.950.000 francs.

On doit cependant en déduire le prix, preuve de la conservation par réfrigération; tous calculs faits on peut le considérer comme égal à 5 francs pour 50^{kss},800 (4 schellings par hundred wlight).

Le prix de la réfrigération du houblon de 1902 en ne considérant que les deux tiers utilisables, reviendrait donc exactement à 650 000 francs, donnant ainsi un bénéfice net de 3 300 000 francs sur le procédé ordinaire.

Mais l'avantage de la réfrigération n'est pas seulement un avantage financier, le houblon lui-même est avantageusement traité par le procédé.

Dans la réfrigération, il y a des moments de l'année où le brasseur est obligé d'employer d'anciens houblons car il lui est impossible de s'en procurer de nouveaux. En employant la réfrigération, il lui est loisible d'employer des houblons possédant le maximum de puissance aromatique, de résine, etc., à l'époque de l'année qui lui convient le mieux.

Il y a là encore une autre économie pour le brasseur; si le houblon a toutes les qualités désirables, il n'est pas nécessaire d'en employer une aussi grande quantité que s'il est détérioré, sans parfum, etc.

En outre, il faut considérer que, au moins pour certaines espèces de houblons, l'arome est trop prononcé lorsqu'ils sont frais, ils demandent à se *faire* et pour cela, la conservation par le froid est tout indiquée. Les houblons Californiens, par exemple, possèdent à l'état frais, un arome âcre beaucoup trop prononcé pour être agréable. Une réfrigération bien entendue, imposée à un houblon bien mûr lui donne au bout d'un certain temps, une douceur d'arome et de parfum beaucoup plus agréable; il en résulte pour la bière préparée avec un tel houblon une supériorité indiscutable.

On attribue parfois l'influence nuisible de la résine de houblon sur la bière à une réfrigération mal entendue et mal conduite.

C'est en général une erreur et cette action est due le plus souvent à l'emploi de houblons insuffisamment mûrs ou qui ont été mal séchés.

Il est nécessaire aussi de déterminer exactement le caractère des houblons à réfrigérer. Toutes les espèces ne se prêtent pas aux mêmes manipulations.

La décongélation du houblon a aussi une assez grande importance et des précautions spéciales doivent être prises pour permettre au houblon de reprendre la température ordinaire dans une chambre contenant de l'air bien sec, les précautions ne sont pas cependant aussi indispensables qu'on pourrait le croire.

Malgré cela, il faut éviter de faire passer directement le houblon de la chambre froide dans la chaudière et, en hiver surtout, il faut autant que possible, sortir le houblon deux ou trois jours avant de l'employer. Cette période de temps existe toujours lorsque le houblon est réfrigéré chez le marchand et passe ensuite chez le brasseur et cette recommandation s'adresse par conséquent tout spécialement au brasseur qui conserve lui-même son houblon.

Quand les houblons sont sortis de la chambre froide, ils commencent naturellement à se détériorer. Cette détérioration varie avec la température et le degré de sécheresse de la pièce dans laquelle ils se trouvent et aussi avec leur caractère particulier.

En pratique, il vaut mieux ne pas employer des houblons ayant séjourné plus de 13 jours ou de trois semaines après leur réfrigération. Pendant ce temps, la détérioration n'est pas plus considérable que celle qui se produit dans la conservation normale du houblon.

Dans le cas d'un houblon frais les conditions sont différentes et il arrive, surtout dans les petites brasseries, qu'un sac de houblon peut passer un mois ou six semaines avant d'être employé. Ceci est inévitable et le brasseur doit alors faire son possible pour que la perte occasionnée soit le plus faible possible.

En résumé, la réfrigération du houblon entre de plus en plus dans les mœurs brassicoles, et l'extension de ce procédé ne peut que croître.

Les résultats en ont été tellement satisfaisants qu'on compte déjà, rien qu'à Londres, quatre dépôts frigorifiques spéciaux pour la conservation de ce produit, et il en existe un à Birmingham de 10 000 m³ de capacité.

Rappelons enfin en terminant que le houblon dégage une odeur *sui generis* très pénétrante, les dépôts frigorifiques où il est emmagasiné doivent être affectés exclusivement à sa conservation et ne doivent pas contenir d'autres produits.

CHAPITRE XI

LES APPLICATIONS DU FROID A LA VINIFICATION

Le froid industriel n'a pas laissé de côté les industries de la vinification et s'il ne présente pas encore là tout l'intérêt qu'il a dans la brasserie, il n'en est pas moins vrai que nous trouverons là encore une amélioration heureuse des procédés autrefois appliqués et des méthodes dont les résultats ne font que permettre d'espérer des résultats plus intéressants, plus nombreux et plus pratiques.

Les applications du froid à la vinification peuvent se diviser en trois groupes.

- 1° La pasteuroxyfrigorie ou vieillissement des vins et spiritueux reposant presque uniquement sur les expériences de M. Fr. Malvezin ;
- 2° Le refroidissement des mûts en particulier dans les pays chauds ;
- 3° Enfin le dégorgeage des vins de Champagne.

1° Vieillissement des vins et suppression de leurs dépôts par le froid.

Le vieillissement des vins est une opération qui consiste à débarrasser le vin nouveau de son goût acerbe, à le laisser effectuer un dépôt de substances insolubilisées à la longue. L'ensemble de ces phénomènes fait le vin, c'est le vieillissement qui se produit ainsi sous l'influence de l'oxygène de l'air et du temps. On a depuis longtemps cherché à diminuer la durée de ce dernier facteur, à vieillir artificiellement les vins. M. Fr. Malvezin dans son étude sur la Pasteuroxyfrigorie a résumé les différentes méthodes qui ont été employées.

1° Par le collage, qui précipite un peu de tannin et de couleur sans vieillir le vin au sens scientifique du mot ;

2° Par l'agitation, dont ont parlé A.-M. Villon, J. Fauré et Boireau. Pasteur a expliqué comment ces deux derniers se trompaient en attribuant des cas de vieillissement à l'agitation, phénomène qui n'était dû en réalité qu'à une légère oxydation ;

3° Par les sons musicaux, sans grand succès ;

4° Par les vibrations, qui peuvent, dans certaines circonstances, améliorer le vin, comme c'est le cas dans les « Railway Arches » à Londres, de la maison L. Rosenheim et fils, de Bordeaux ;

5° Par les procédés chimiques, notamment par les oxydants, permanganate de potasse, salpêtre, acide azotique, iode, etc. ; sans beaucoup de réussite. Villon a, d'ailleurs fort à propos, indiqué qu'il faut rejeter tous les procédés qui laissent, après traitement, des matières étrangères dans le vin ;

6° Par la lumière solaire ou insolation, procédé indiqué et breveté par Pasteur et qui a été plus tard repris par l'œnologue espagnol Anibaro, ce procédé n'est pas sans donner beaucoup de mécomptes ;

7° Par l'électricité, préconisée par E. Lefèvre, Faudibert, Scutteten, Hull, Carperie, Scribani, Matinossi, Mengarini, de Méritens, sans résultats pratiques ;

8° Par l'ozone et l'eau ozonée, dans lesquels Villon a complètement échoué ;

9° Par l'oxygène, où, en collaboration avec Villon et malgré les théories de Ladrey et Maumené, Fr. Malvezin n'a pu, ni à froid ni à chaud, vieillir les vins suivant les désirs du consommateur ;

10° Par évaporation, procédé qui, malgré la haute science du D^r Francisco Ivison, du D^r F. Garrigou, de MM. Beaudoin et Scribeaux, n'a pu donner qu'une concentration qu'on ne peut pas comparer à un vieillissement, vieillissement qui doit se produire sans cette concentration ;

11° Par la chaleur, qu'il ne faut pas confondre avec la pasteurisation qui, faite en vase clos et à l'abri de l'air, ne doit pas vieillir et ne vieillit pas les vins dans les pasteurisateurs bien compris. A la longue, la chaleur peut produire un certain vieillissement, comme dans le *fumaria* et l'*apotheca* des Romains ; l'armoire retour de Lyon, de l'œnologue de Vergnette-Lamotte ; les noyades de bouteilles dans les eaux chaudes de Rennes-les-Bains, l'action se produit s'il existe un peu

d'air dans les bouteilles ou dissous dans le vin, mais sans air la chaleur ne vieillit pas le vin.

L'action de la chaleur, de funeste, si elle est pratiquée à la pression atmosphérique, devient des plus bienfaisantes si elle est pratiquée sous pression, car elle détruit toutes les causes de dégénérescence des vins ;

12° Par congélation, pratiquée depuis la plus haute antiquité et étudiée par Melsens, Guimet, Bouffard, mais surtout par le Bourguignon de Vergnette-Lamotte.

L'action du froid donne quelquefois le goût de cuit, c'est un fait constaté par tous les œnologues ; il ne vieillit que légèrement les vins s'ils sont exposés à l'air atmosphérique, mais non s'ils sont réfrigérés sous pression, ainsi que l'a démontré M. Fr. Malvezin.

Le froid diminue la verdeur des vins en précipitant une partie de la crème de tartre, donne une grande limpidité au vin et l'améliore, mais ne le vieillit pas.

Après avoir étudié ces divers procédés de vieillissement et essayé la plupart d'entre eux Fr. Malvezin constate que si quelques-uns ont donné des résultats relatifs, tels que l'agitation, l'insolation, la chaleur, la congélation, etc., c'est qu'il y avait plus ou moins oxydation.

Et tout d'abord quelle est l'action du froid sur le vin ? La congélation du vin a tout d'abord pour effet de le concentrer. Ce fait était connu déjà de Van Helmont et de Stahl, mais c'est surtout Vergnette-Lamotte qui l'a mis en évidence. Les parties les moins riches en alcool se congèlent tout d'abord et leur séparation entraîne naturellement comme conséquence une plus grande proportion d'alcool dans le liquide restant.

Il tend quelquefois à se produire un vieillissement partiel et faible quand l'action du froid a lieu concurremment à celle de l'air, mais les résultats sont faibles. Il provoque en revanche le dépôt d'un certain nombre de substances, d'une certaine proportion de matières colorantes, de crème de tartre, de bitartrate. Les matières albuminoïdes sont coagulées et la conséquence en est un collage énergétique.

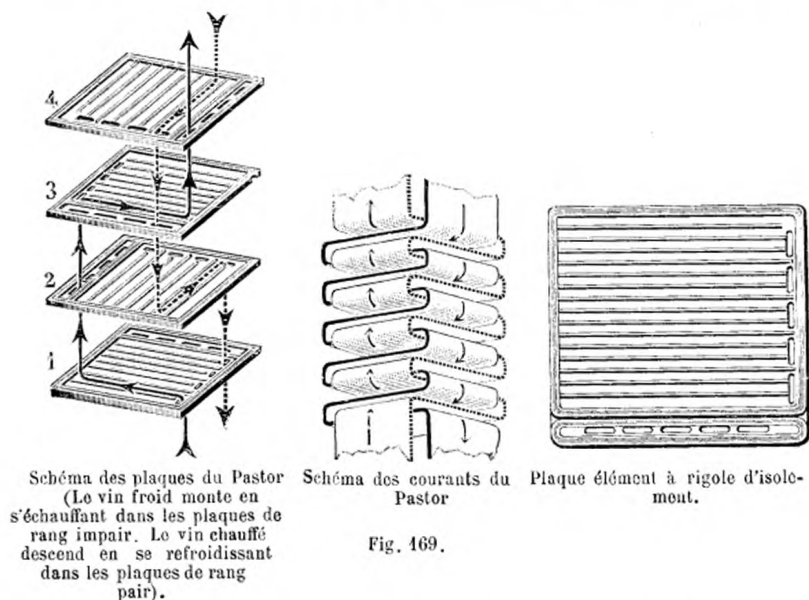
Le froid est par suite insuffisant pour obtenir le vieillissement des vins mais il présente cependant les plus grands avantages. Il doit être employé concurremment à la chaleur et à l'oxydation.

Or, par le traitement de vieillissement de M. Fr. Malvezin, il y a d'abord :

1° *Pasteurisation*, par conséquent destruction de toutes les causes de dépôts microbiens, à jamais anéantis par la chaleur ;

2° *Oxydation*, ce qui provoque les dépôts de matière colorante, de tannin et de toutes les autres matières qui normalement s'oxydent par le temps, s'insolubilisent et tombent dans les lies, comme les matières albuminoïdes et azotées. Ces derniers dépôts sont, d'après Pasteur, importants à ce point qu'il a pu dire : « 1° Que tous les dépôts du vin non malade sont produits exclusivement par l'oxygène de l'air, à l'exception des dépôts de tartre ; 2° Que le vin ne changerait jamais de couleur s'il n'était pas soumis à cette même influence de l'air. »

3° *Précipitation de crème de tartre*, constituée par environ 60 0/0 de bitartrate de potasse, 3 à 6 0/0 de tartrate de chaux, autant de phos-



phates de chaux et 20 0/0 d'albumine et matières azotées, ces substances se précipitent naturellement sous l'action du froid qui coagule également les colloïdes.

La méthode de M. Malvezin va donc comprendre ces trois opérations consécutives.

a) *Pasteurisation*. — La pasteurisation est effectuée dans un appareil spécial, le pasteurisateur PASTOR qui se compose essentiellement de

deux parties qui peuvent être séparées ou mises sur un même bâti ou chariot :

- 1° Un générateur avec pompe à vapeur spéciale ;
- 2° Le pasteurisateur proprement dit.

Le générateur, donnant beaucoup de surface sous un faible volume, porte trois prises de vapeur : une pour la stérilisation des fûts, une pour la pompe et une pour le chauffage du pasteurisateur.

Le pasteurisateur proprement dit se compose de trois parties principales :

- 1° L'échangeur récupérateur ;
- 2° L'échangeur caléfacteur ;
- 3° L'appareil de chauffage de l'eau.

1° *L'échangeur récupérateur* est formé par une colonne d'éléments ou plaques toutes égales déterminant un double courant de liquide ainsi que nous l'expliquerons plus loin. Les plaques sont de forme carrée, creuses avec des rebords à rainure contenant un joint ; des nervures augmentent la solidité, la surface de chauffe et dirigent les courants du vin. La surface inférieure de la plaque présente un relief venant s'encaster dans la rainure correspondante et formant joint parfait. Des ouvertures disposées dans l'intérieur de la plaque permettent la communication entre eux de tous les éléments de rang pair. Il en est de même pour les éléments de rang impair.

Le trajet que suit le vin est le suivant d'après le schéma ci-dessus :

Le vin froid entrant suit la flèche pleine et circule dans la plaque n° 1, il traverse la plaque n° 2 sans se rencontrer avec le vin descendant qui y circule par des ouvertures isolées de toutes parts par un double joint parfait ayant une rigole d'isolement entre les deux joints et pénètre dans la plaque 3, y circule, traverse par son rebord la plaque 4 sans y rencontrer le vin descendant.

Le vin chaud, au contraire, prend la direction de la flèche pointillée, circule sur la plaque 4, traverse la plaque 3 par son rebord, sans rencontrer le courant qui y circule, descendant dans la plaque 2, traverse la plaque 1 sans le rencontrer, etc.

Cette double circulation est obtenue par un seul modèle de plaques. C'est la même plaque, absolument interchangeable, qui produit à elle seule les deux courants reproduits plus haut sous forme de deux rubans.

2° *L'échangeur-caléfacteur*, suivant les appareils, est établi de plusieurs façons différentes.

Le type à bain-marie est composé de plaques spéciales séparées par des sortes de cadres à jour, permettant à un courant de vin de passer et à l'eau du bain-marie de se répandre à son tour entre le courant du vin, de telle façon que le vin communique entre toutes les plaques toujours entouré d'une couche correspondante d'eau chaude.

A la partie supérieure, la dernière plaque peut former réservoir et, munie de rebords, elle forme également plateau, permettant de resserrer l'ensemble au moyen de tringles filetées donnant, par des écrous un serrage énergique. Ce réservoir, destiné à augmenter la durée de chauffage du vin, porte un thermomètre indiquant la température maxima atteinte par le vin.

Le tout est plongé dans un bain d'eau chaude, chauffé par l'échappement de la pompe à vapeur et une prise directe de vapeur.

On a également établi des caléfacteurs où l'ensemble des plaques et plateaux était couché horizontalement dans le bain-marie, au lieu d'y occuper la position verticale.

Les premiers types ne comportaient pas de réservoir d'attente.

Le type modèle 1897 est un caléfacteur ressemblant exactement à l'échangeur. Le plateau supérieur, aidant au serrage des plaques, est disposé ou non en réservoir d'attente du vin chauffé.

Ce réservoir porte deux thermomètres : l'un indique et enregistre la température de pasteurisation, l'autre commande la valve d'admission du vin dans l'appareil. Ce régulateur automatique, si le vin n'a pas été chauffé suffisamment, ferme la valve et le vin séjourne dans l'appareil jusqu'au moment où il atteint la température fixée.

Si la température augmente, la valve s'ouvre de plus en plus et permet une plus grande admission de vin.

3° *L'appareil de chauffage ou girotherme.* — Dans le caléfacteur semblable à l'échangeur, le vin croise un courant d'eau chaude réchauffée par un appareil spécial qui lui communique en même temps son mouvement de rotation et que l'inventeur a nommé *girotherme* pour cette raison.

L'eau réchauffée est lancée dans les plaques du caléfacteur, en sens inverse du vin, qui la refroidit graduellement en lui empruntant une partie de sa chaleur ; elle est reprise à sa partie inférieure, réchauffée et continue ainsi son cycle. L'avantage sur le bain-marie est considérable en ce que toute l'eau du bain-marie a la même température, tandis qu'avec le girotherme, sorte de thermo-siphon en vase clos, dont le

courant est donné par la vapeur qui le réchauffe, le vin se réchauffe de plaque en plaque, de telle façon que le chauffage est graduel, méthodique et évite le choc thermique. On peut ainsi, par ce courant d'eau sous pression, chauffer jusqu'à 100, 105, 110, 120 degrés et au delà.

Dans ces conditions il y a une stérilisation parfaite du vin. Cela est insuffisant pour vieillir, il faut encore l'oxyder et le refroidir.

En résumé dans le Pastor le vin est pris par une pompe dans un fût, il est refoulé dans le pasteurisateur en suivant un tube interrompu par un régulateur de vin (ce régulateur n'est pas indispensable) et par un filtre grossier, sorte de crible vertical destiné à arrêter le passage des gros débris que pourrait entraîner le vin. L'entrée dans l'échangeur se fait par le plateau inférieur. Le vin se répand à la surface du plateau, remplit l'espace creux, passe dans la plaque 2 en traversant la plaque 1 comme nous l'avons expliqué plus haut, de là dans les plaques 4-6-8 (*paires*), et arrive dans une éprouvette, d'où un tube recourbé le conduit à la partie inférieure du caléfacteur. Il monte par les plaques 2-4-6-8 (*paires*), jusqu'au réservoir I, d'où il est ramené par un tuyau à l'éprouvette de l'échangeur. Il se répand dans les plaques encore vides, c'est-à-dire de rang *impair*, descendant jusqu'à la partie inférieure. Il sort de l'échangeur et remonte dans une boule munie de deux tubulures de sortie pour aller dans des fûts préalablement stérilisés.

Le chauffage dans cet appareil est rigoureusement méthodique.

Le vin entre froid et croise du vin déjà refroidi ; il se chauffe peu à peu, graduellement ; il sort de l'échangeur après avoir croisé le vin chauffé au maximum, il est déjà assez chaud à quelques degrés près lorsqu'il entre dans le caléfacteur où il s'échauffe encore suivant le même principe en croisant un courant d'eau chaude.

L'économie de chaleur est donc aussi grande que possible. En mettant un nombre suffisant de plaques, le vin sort à quelques degrés seulement au-dessus de la température d'entrée. Il n'y a de pertes de calories que celles conservées par le vin (on voit qu'elles sont très faibles) et celles perdues par rayonnement ou convection et par conductibilité des faces et supports de l'appareil qui sont minima avec la forme prismatique adoptée.

Comme nous l'avons dit, dans les derniers modèles, le caléfacteur a été disposé de la même façon que l'échangeur-récupérateur. Le courant de vin croise un courant d'eau chaude qui marche en sens inverse. De

sorte que, lorsque le vin entre dans ce réchauffeur, il rencontre de l'eau qui a déjà été refroidie par son passage à travers tout le caléfacteur; il résulte de cette disposition que le vin ne subit pas de brusques à-coups de température, comme dans le bain-marie ordinaire, ce qui contribue à la perfection du résultat.

L'appareil tout entier est fabriqué en *œnométal*, alliage imaginé par M. Malvezin et formé d'argent, d'aluminium, de nickel et d'étain et en un bronze formé uniquement de cuivre rouge et d'étain.

b Oxydation — L'appareil ainsi décrit ne peut et ne doit que pasteuriser ces vins; il faut y ajouter encore l'oxydation.

L'oxydation se fait au moyen d'une pompe à oxydation du vin dans laquelle pendant l'aspiration des vins un reniflard permet l'introduction de l'air. C'est alors un tel mélange qui est refoulé dans le Pastor dont nous venons de donner la description.

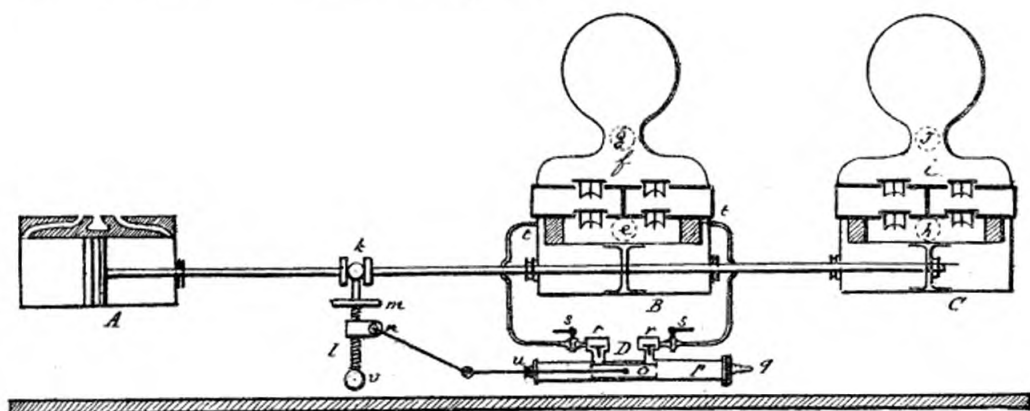


Fig. 170. — Pompe du Pastor à vieillir les vins.

Le vin se trouve brassé au contact de l'air dans les différents organes du Pastor: il en résulte une oxydation et une éthérification aussi complètes que possible.

c Réfrigération du vin. — Cette dernière opération s'effectue avec un appareil en tout point identique au pasteurisateur Pastor. Mais dans le réfrigérateur de même nom le vin au lieu de se trouver en relation de contact avec un liquide chaud se trouve dans des conditions identiques vis-à-vis d'une saumure refroidie provenant d'une machine frigorifique. Il y a là encore un récupérateur de froid identique à celui du pasteurisateur, de telle sorte que l'économie de force motrice est aussi grande que possible.

Pasteuroxyfrigorie — Le traitement ainsi institué comprend donc bien les trois opérations simultanées de pasteurisation, d'oxydation et de réfrigération. C'est la pasteuroxyfrigorie dans laquelle le vin accomplit les circulus suivants.

Le vin est pris dans la barrique, comme nous le faisons voir schématiquement page 509, par une pompe spéciale qui le mène dans le récupérateur de chaleur du pasteurisateur en A, où il reçoit en même temps une certaine dose d'air atmosphérique ; il s'élève jusqu'en B dans cet organe en se réchauffant au contact du vin chaud qui sort, entre en C dans le caléfacteur où il se croise avec un courant d'eau chaude sous

pression de vapeur ; il y atteint son maximum de température pendant que se produit le maximum d'oxydation et d'éthérification, il en sort par D E. Le vin se refroidit au contact du vin froid entrant et sous une pression destinée à produire le maximum de dissolution des gaz et éthers, il entre sans prendre l'air, par le tube FG, dans le récupérateur de froid du réfrigérateur, où il est ou non oxydé à nouveau ; il se refroidit de plus en plus au contact du vin gelé qui sort et arrive par H I

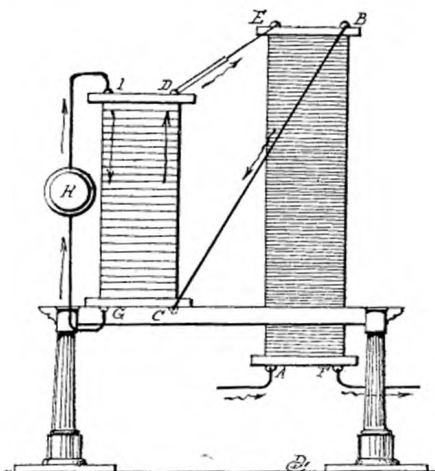


Fig. 171 — Réfrigération Pastor des colonnes

dans le réfrigérateur, où il se croise avec un courant de liquide incongelable ayant 8 à 10 degrés au-dessous de zéro ; il ressort en J du réfrigérateur poussé par une autre pompe L, à plusieurs degrés au-dessous de zéro, pour entrer dans le filtre à pâte de cellulose préalablement stérilisé en M, où il laisse tous ses dépôts microbiens, d'oxydation et de crème de tartre ; il rentre à nouveau dans le récupérateur de froid par NO, et coule dans la barrique par le tuyau P, après avoir cédé une partie de son froid au vin qu'il croise en sortant.

Le froid était primitivement produit par un mélange réfrigérant. Actuellement on emploie simplement la saumure refroidie dans un appareil frigorifique quelconque.

Voici les diverses températures constatées dans un traitement de vin blanc avec le temps de chacune des opérations :

Chaleur	Température	Durée
1° Entrée du vin dans l'appareil. .	+ 14°	»
2° Sortie du vin du récupérateur de chaleur	+ 77	1/4 de minute
3° Sortie du vin du caléfacteur. .	+ 85	1/2 minute
4° Sortie du vin du récupérateur de chaleur	+ 22	1/4 de minute

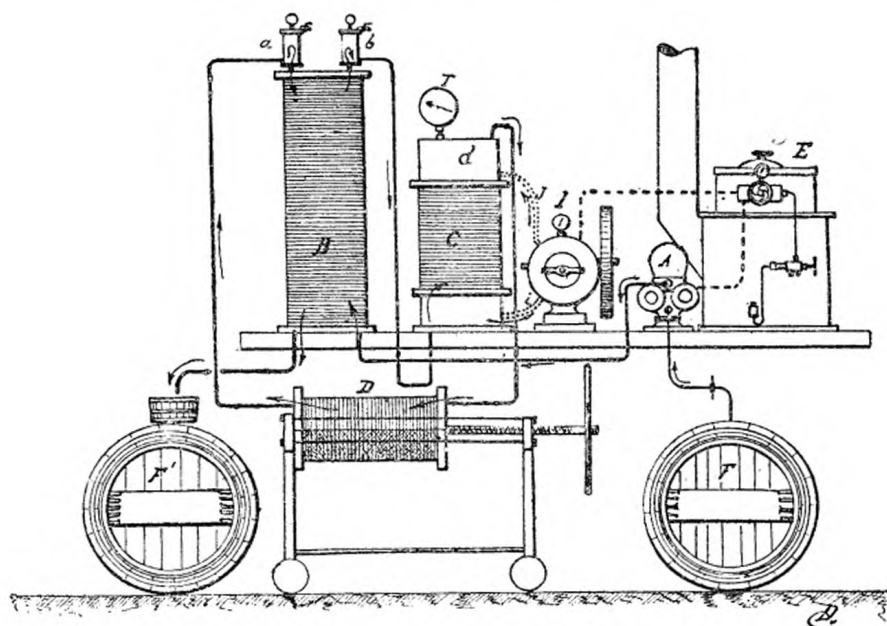


Fig. 472. — Réfrigérateur Pastor pour les vins.

Froid

1° Entrée du vin dans le récupérateur de froid.	+ 22°	»
2° Sortie du vin de ce récepteur. .	— 0	1/2 minute
3° Sortie du vin du réfrigérateur. .	— 4	1/2 —
4° Sortie du vin du filtre à cellulose	— 3	1/2 —
5° Sortie du vin du récupérateur de froid	+ 22	1/2 —
Températures extrêmes : + 85° et — 4° en		3 minutes

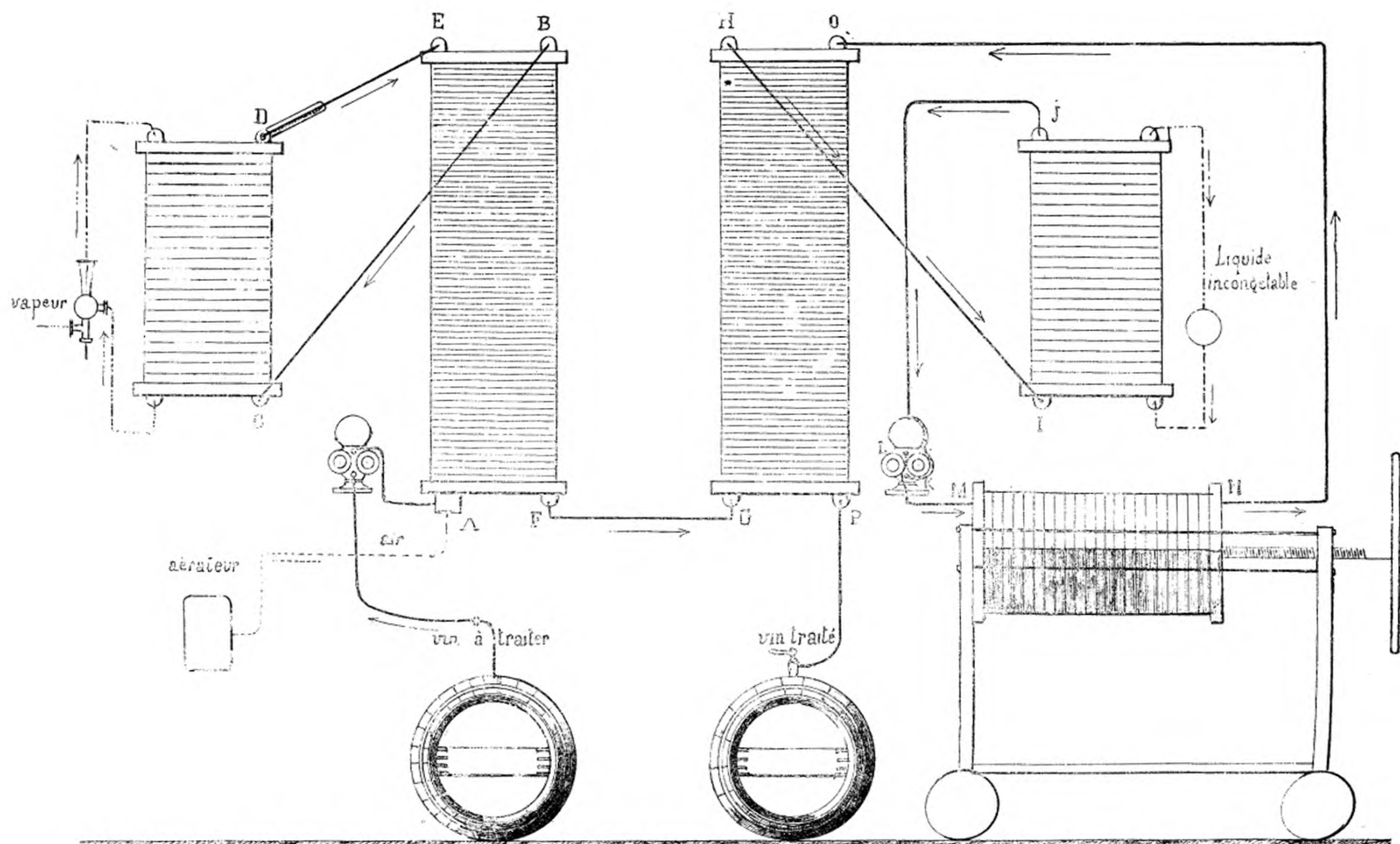


Fig. 173. — Schéma de succession des vins dans le traitement par pasteuroxyfrigorio.

Ce vin a été analysé par un chimiste de Bordeaux ayant le plus étudié

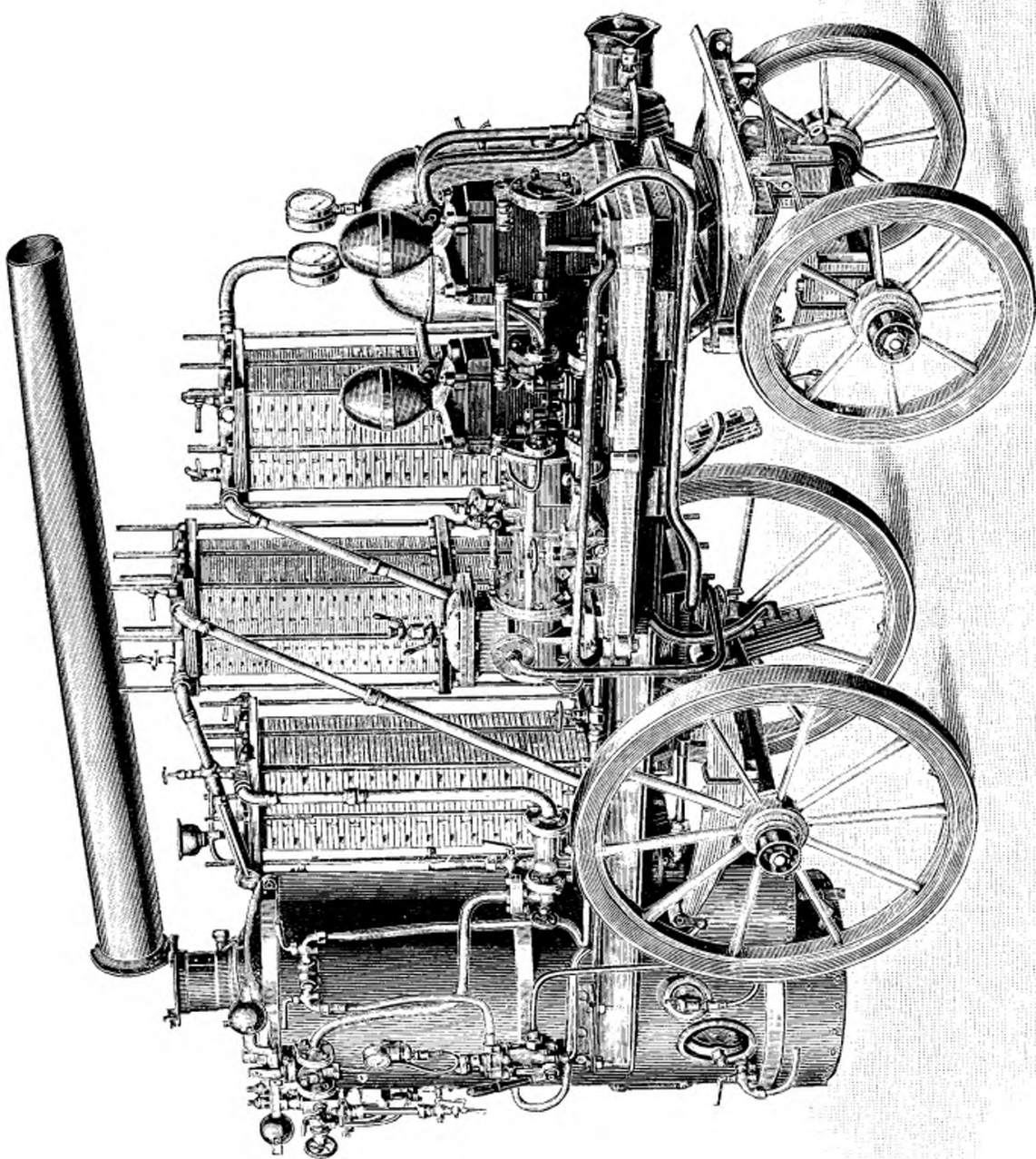


Fig. 474. — Pastor à pasteuriser et vieillir les vins. Type portatif sur chariot.

la question de la réfrigération des vins et voici le résultat de l'analyse:

	Avant traitement	Après pasteuroxyfrigorie
Densité.	996.05	996.05
Degré alcoolique	11.40	11.30
Alcool en poids (grammes par litre)	90.60	89.80
Extrait sec à 100° —	29.50	29.20
Extrait Houdard —	27.60	27.30
Extrait réduit —	16.80	16.70
Sucre réducteur —	13.75	13.50
Sulfate de potasse (plâtre) —	0.97	1.03
Rapport (extrait d'alcool) —	5.39	5.37
Acidité totale —	4.50	4.48
Somme acide-alcool —	15.90	15.78
Crème de tartre —	2.56	1.90
Cendres —	2.25	2.20
Acide salicylique —	0.00	0.00
Couleurs —	un peu lourde	brillante
Glycérine —	9.80	9.60
Acides volatils —	0.93	0.90
Examen microscopique —	favorable	très favorable

Le résultat de cette recherche montre donc que le vin pasteurisé contient un peu plus de sulfate de potasse, son acide sulfureux étant oxydé; son acidité totale a diminué, les acides volatils ayant été particulièrement éthérifiés. La proportion de crème de tartre a baissé; la couleur est plus vive et l'examen microscopique ne montre plus de microbes. Il y a donc eu réellement stérilisation d'une part par l'action de la chaleur, vieillissement par suite de l'oxydation, de l'éthérification et de la précipitation résultant des actions successives de la chaleur et du froid.

3° Le refroidissement du moût pendant la vinification.

Les moyens de réfrigération pratiques des moûts sont, depuis longtemps recherchés par la viticulture algérienne. Les températures élevées provoquent généralement des fermentations tumultueuses difficiles, sinon impossibles à réprimer dans les installations vinaires les mieux aménagées.

L'idée de refroidir les moûts de vendange par des procédés agissant directement sur eux a été mise en pratique depuis longtemps, mais dès le début, on a reconnu que les serpentins et autres moyens analogues,

les seuls à la portée de tous en cette première phase de l'expérimentation ne pouvaient donner que des résultats à peu près nuls.

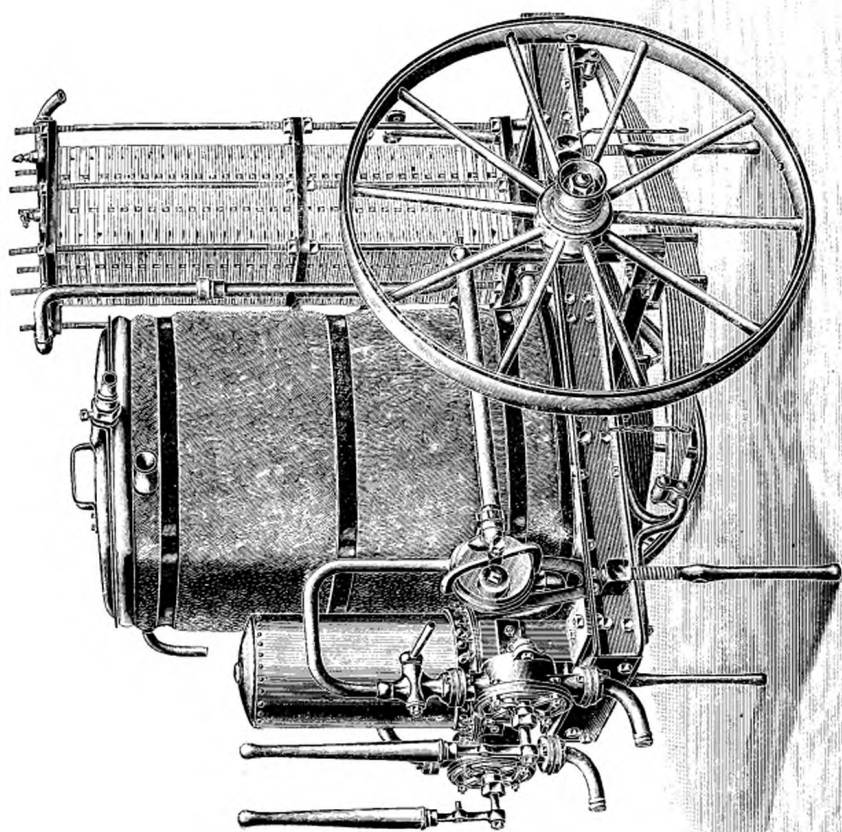


Fig. 475. — Réfrigérateur Pastor sur roues à mélanges réfrigérants.

M. Ch. Rivière, dans une note présentée à la Société nationale d'agriculture, à laquelle nous empruntons ces lignes, s'empresse de dire que de là vient le rejet de l'emploi d'appareils internes de réfrigération et l'adaptation de réfrigérants en dehors de la cuve.

L'étude de ce dernier point est le principal motif de la communication de M. Ch. Rivière.

En Algérie, et dans tous les pays où, en dehors des causes anormales, comme le *siroco*, la température de l'automne atteint une moyenne de 25-26°C., lorsqu'on fait cuver la grande masse du raisin riche en sucre, la chaleur dégagée par la fermentation élève la température du moût dès le deuxième ou le troisième jour, à un degré qui dépasse 40° et quelquefois atteint 44-45°.

A cette température, dans un milieu déjà riche en alcool, le ferment est paralysé et la réduction du sucre s'arrête, lorsque le moût marque encore quelques degrés à l'aréomètre. La fermentation secondaire est impuissante à achever la transformation du glucose; souvent même, le ferment alcoolique fait place à d'autres ferments de mauvaise nature qui développent dans le vin les maladies qui l'altèrent. Outre cela, il y a une déperdition considérable d'alcool, causée par la fermentation tumultueuse du moût à haute température, déperdition qui peut abaisser de 1 à 2 degrés le titre alcoolique du vin au-dessous du taux normal indiqué par le gluten.

L'objectif du vigneron, en pays chaud, est d'arriver, du premier coup à une réduction complète du sucre contenu dans le moût du raisin, par une fermentation alcoolique régulière. Dans ces conditions, le vin, toujours assez riche en alcool et ne contenant plus de sucre fermentescible, est à l'abri des altérations extérieures.

Aussi, il convient de le rappeler, le danger des fermentations à température élevée, et par suite incomplètes, avait frappé depuis longtemps les viticulteurs algériens qui, dès les premiers temps du développement de leurs vignobles, ont recherché les moyens de faire fermenter leurs moûts à température constante et relativement basse.

Pour arriver à ce but, les vignerons ont essayé les procédés les plus divers tels que l'addition de glace, l'emploi de cuves à doubles parois, avec circulation d'eau entre les deux parois, etc.

Les cuves munies à l'intérieur d'un serpentín réfrigérant même à développement exagéré par rapport au récipient, où les cuves rafraîchies à l'extérieur par évaporation d'eau, n'ont pas donné des résultats plus appréciables que les premiers procédés. Par aucun de ces moyens coûteux, du reste, ou nécessitant des quantités d'eau considérables, hors de proportion avec celles dont on dispose le plus souvent, on n'a pu arriver à une réfrigération suffisante.

C'est que le moût de vendange, surtout quand il n'est pas égrappé, constitue une masse très mauvaise conductrice de la chaleur et dont les diverses parties se mélangent peu.

Dans les procédés mentionnés ci-dessus, le moût ne se refroidit qu'au contact de la paroi froide ou du serpentín, et en raison de son peu de conductibilité, les échanges de température ne se font pas dans la masse. Aussi le thermomètre y révèle-t-il des écarts considérables de température.

Depuis plus de dix ans, la Société d'agriculture d'Alger, a étudié le problème de la réfrigération des moûts de vin.

Dans toutes les expériences, on s'efforçait de refroidir la masse en fermentation dans la cuve elle-même. En raison du peu de conductibilité du moût, les résultats obtenus ne furent pas suffisants.

Le problème de la réfrigération ne fut pratiquement résolu que quand on reconnut qu'il fallait refroidir le moût en dehors de la cuve en fermentation, en fractionnant la masse de façon à vaincre l'obstacle dû à la faible conductibilité du moût. Ce résultat fut obtenu par l'emploi du réfrigérant de brasserie.

Depuis 1884, et plus particulièrement pendant ces dernières années, l'emploi des réfrigérants s'est généralisé en Algérie, principalement dans le département d'Alger, où ces appareils ont été perfectionnés et adaptés à l'usage auquel on les affectait.

En présence des efforts isolés qui commençaient à se produire, la Société d'agriculture organisa, en 1893, un premier concours d'appareils propres à la réfrigération des moûts, concours auquel d'importantes maisons de France et plusieurs constructeurs algériens étaient représentés.

Plusieurs appareils furent reconnus comme donnant d'excellents résultats. En 1894, un second concours eut lieu, qui fit connaître d'autres appareils construits d'après le même principe mais susceptibles d'être fabriqués par de simples ferblantiers de village, bien moins coûteux et répondant à tous les besoins de la viticulture.

Depuis l'introduction du réfrigérant dans les caves, le vigneron peut maintenir avec une quantité d'eau peu considérable, 50 0/0 environ de la quantité de moût à refroidir, sa cuve à une température à peu près constante, celle qu'il juge la plus favorable à une bonne fermentation.

Quelle est la température optima à laquelle les cuves doivent être maintenues? A quelle température faut-il refroidir le moût? Avant la fermentation ou au cours de celle-ci?

Il y a là des questions qui ne sont pas entièrement élucidées, mais que la Société d'agriculture a mise à l'étude.

Les vignerons algériens cherchent à maintenir la température du moût en fermentation, entre 28° et 32° C., température qui semble être la plus favorable à la multiplication du *saccharomyces ellipsoideus*. On laisse la température du moût s'élever naturellement jusque-là, et quand elle tend à dépasser ce point, on soutire par le bas de la cuve une certaine quantité de moût qui est passée par le réfrigérant et rejetée par-dessus la masse en fermentation; on continue l'opération jusqu'à ce que l'ensemble soit ramené au degré voulu.

La quantité d'eau à employer est relativement peu élevée; elle est d'environ 50 0/0 de la quantité de moût à refroidir.

Mais cette dépense varie selon les conditions multiples dans lesquelles on opère.

C'est par l'usage de réfrigérants, permettant le refroidissement en dehors de la cuve, que les viticulteurs algériens sont arrivés à utiliser au maximum l'action réfrigérante de l'eau employée.

En somme, le refroidissement des moûts de vin est maintenant une manipulation pratique et en tous points recommandable pour la viticulture des pays chauds.

3° Application du froid à la fabrication des vins mousseux.

Lors de la fabrication des vins mousseux il est une opération qui nécessite toujours une grande dextérité et occasionne malgré tout une certaine perte au fabricant, c'est le *dégorgeage*.

Le dégorgeage s'effectue habituellement de la façon suivante : le vin tiré en bouteilles est placé dans des porte-bouteilles spéciaux nommés *pupitres* dans lesquels les bouteilles sont placées la tête en bas. Dans ces conditions et aidé par un remuage méthodique les lies et dépôts se font dans le col du flacon. Il faut alors faire sauter ce bouchon, laisser échapper les lies et une petite fraction du vin, perte qui devient sensible lorsqu'on s'adresse à une grande quantité de bouteilles. Les ouvriers les plus habiles ne peuvent que diminuer la quantité de liquide ainsi perdue sans la faire disparaître complètement.

On peut arriver néanmoins à ce résultat en employant la réfrigération. Pour cela tous les cols de bouteilles sont plongés dans des bains incongelables dont la température est abaissée à -30° . Le vin se glace dans le col et il se forme ainsi un bouchon solide et dont on enlève la partie supérieure emprisonnant le marc sans aucune perte de liquide. C'est là une application heureuse du froid quoique bien minime, mais qui montre combien le rôle de cet agent peut devenir intéressant dans toutes les branches de l'industrie.

CHAPITRE XII

LE FROID EN CHOCOLATERIE

La chocolaterie tire de grands avantages du froid pour l'opération du *démoulage*.

Dans la fabrication du chocolat en tablettes, on sait, en effet, que pour obtenir un bon démoulage, il faut provoquer un retrait brusque et uniforme de la matière au contact de la paroi du moule métallique, par le refroidissement. On arrive généralement à ce résultat en posant les moules remplis de chocolat chaud et tassé sur des tables de marbre ou de pierre disposées dans un endroit relativement frais.

Pendant les chaleurs de l'été cette opération devient difficile, quoique en général on affecte des caves et des sous-sols à cette opération.

Elle entraîne un déchet considérable par suite de l'adhérence du chocolat aux moules, ce qui oblige à le remettre à la fonte, et même quand le démoulage s'opère, les tablettes sont ternes au lieu de présenter l'aspect brillant que la clientèle aime à trouver au chocolat lorsqu'il a été démoulé dans de bonnes conditions de température.

En temps ordinaire même, les tables s'échauffent après plusieurs démoulages répétés et il en résulte que, le chocolat n'étant plus saisi par le froid, le démoulage se fait très lentement et souvent d'une manière défectueuse.

De plus, à la fin de la journée de travail, la présence des hommes et la grande quantité de chocolat descendue dans les caves, en élèvent la température. Ces caves ont souvent l'inconvénient de devenir humides à la suite d'un changement de temps, et le chocolat prend lui-même cette humidité qui le rend gluant et le fait blanchir rapidement.

On est bien arrivé à accélérer le refroidissement et à obtenir le re-

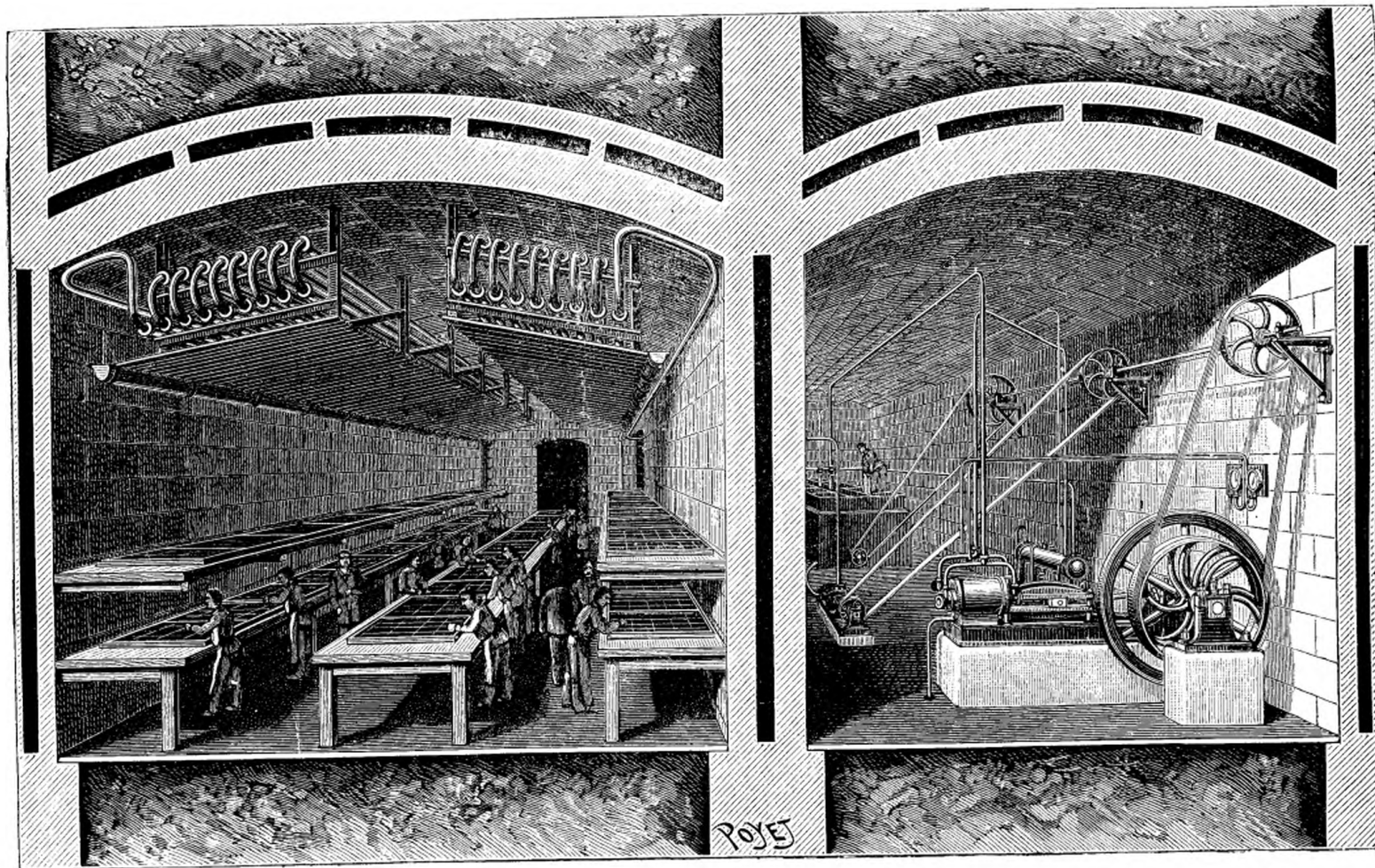


Fig. 176. — Refroidissement des salles de démoulage par le système Raoul Pictet.

trait brusque qui convient, par l'emploi de tables métalliques, creuses à l'intérieur, dans la cavité desquelles circule un courant d'eau froide.

Mais alors l'humidité de l'air, plus chaud que la table, se dépose à l'état de rosée à la surface des moules et du chocolat lui-même, ce qui en altère la qualité et nuit au bel aspect de la tablette. De plus, ce genre de tables est fort coûteux à établir et est quelquefois sujet à présenter des fuites d'eau, quand la pression du courant est un peu forte.

M. R. Pictet a modifié ce procédé de refroidissement par l'eau de telle façon que le temps pendant lequel les tablettes moulées doivent séjourner sur la table de démoulage est réduit au minimum quels que soient la température extérieure, le climat, la saison.

De plus on rend l'opération complètement indépendante des circonstances atmosphériques en évitant toute espèce de condensation de vapeur d'eau sur le chocolat et sur les moules.

Ce procédé consiste à employer des tables de démoulage métalliques, en fonte, de forme spéciale, refroidies par un courant libre d'eau qui est maintenue à une température constante de 9 à 10 degrés centigrades par une machine à glace.

Le chocolat en moules, étendu sur les tables, est recouvert par des pupitres mobiles qui forment, quand ils sont abaissés, un conduit à l'intérieur duquel un ventilateur fait circuler un courant d'air, plus froid que les tables elles-mêmes. Ce courant d'air, après avoir parcouru toute la longueur des pupitres, est réaspiré par le ventilateur.

Avant d'être dirigé sur les tables, il est refroidi au contact des parois métalliques de la machine à glace, maintenues à 3 ou 4 degrés centigrades au-dessous du zéro ; il se fait en même temps une dessiccation énergique de cet air et toute l'humidité qu'il contient se dépose, sous forme de givre contre les parois de l'appareil réfrigérant.

Cet air, complètement desséché, est même capable alors d'enlever les quelques traces d'humidité qui pourraient se trouver sur les tables ou sur le chocolat.

Il ne faut pas croire que cet air froid lancé par le ventilateur modifie sensiblement la température de la cave ; l'air contenu dans le couloir où le chocolat est étalé ne se répand pas dans la pièce, et les hommes qui, par la nature de leur travail, sont obligés de séjourner dans ces caves, soit pour y apporter des tablettes soit pour les démouler, n'ont rien à craindre d'une basse température qui pourrait les indisposer.

Le ventilateur qui détermine le mouvement de l'air, ainsi que la petite

pompe pour la circulation de l'eau froide sous les tables, sont actionnés par le même moteur que l'appareil à glace.

Si la disposition de l'usine le permet, on se sert d'un arbre de transmission prenant son mouvement sur la machine motrice principale de l'usine. Dans le cas contraire, la machine à glace comporte un moteur qui permet de fonctionner et d'élever l'eau nécessaire à sa propre condensation.

Les tables de réfrigération sont constituées par des plaques de fonte très minces, unies en dessus, et munies en dessous de nervures minces très saillantes, ou ailettes, disposées parallèlement les unes aux autres.

Une plaque forme à elle seule la largeur de la table ; en longueur, les plaques sont réunies entre elles par de simples recouvrements s'adaptant dans les feuillures.

Les ailettes inférieures plongent dans un bac en tôle, de faible hauteur, dont le bord supérieur s'applique contre la table et y est assujéti par des boulons. Ce bac, qui est presque aussi large que la table, correspond en longueur à deux ou plusieurs plaques de fonte.

C'est dans ces bacs que circule l'eau de refroidissement. Elle y est amenée par un petit tuyau muni d'un robinet qui est branché sur une conduite d'arrivée générale ; elle s'écoule par un trop-plein dans un conduit d'évacuation générale, qui aboutit à un bac collecteur inférieur. Là, une pompe ramène cette eau à son point de départ en passant par la cuve réfrigérante de la machine à glace. Le niveau de cette cuve est placé un peu au-dessus de celui des bacs, afin que l'écoulement s'y fasse naturellement.

Ce mode de circulation de l'eau, à surface libre, évite toutes les chances de fuites à la surface des tables ; les nervures rapprochées de la fonte, en plongeant sur toute leur hauteur dans le liquide froid, opèrent une transmission complète de la chaleur.

Les parois métalliques au contact desquelles l'air circule pour se refroidir, font partie de la cuve réfrigérante même de la machine à glace. Il en est de même pour le refroidissement de l'eau.

L'appareil réfrigérant ne fait donc pas de glace, mais absorbe la chaleur à l'air et à l'eau en circulation. La production de la glace ne se fait que lorsque l'action de la machine est supérieure au refroidissement nécessité par l'opération du démoulage du chocolat chaud. Cette accumulation de glace possible est utilisée, au contraire, quand il y a surcroît de transit dans l'appareil.

Les pupitres qui recouvrent les tables sont en bois formés d'un volet

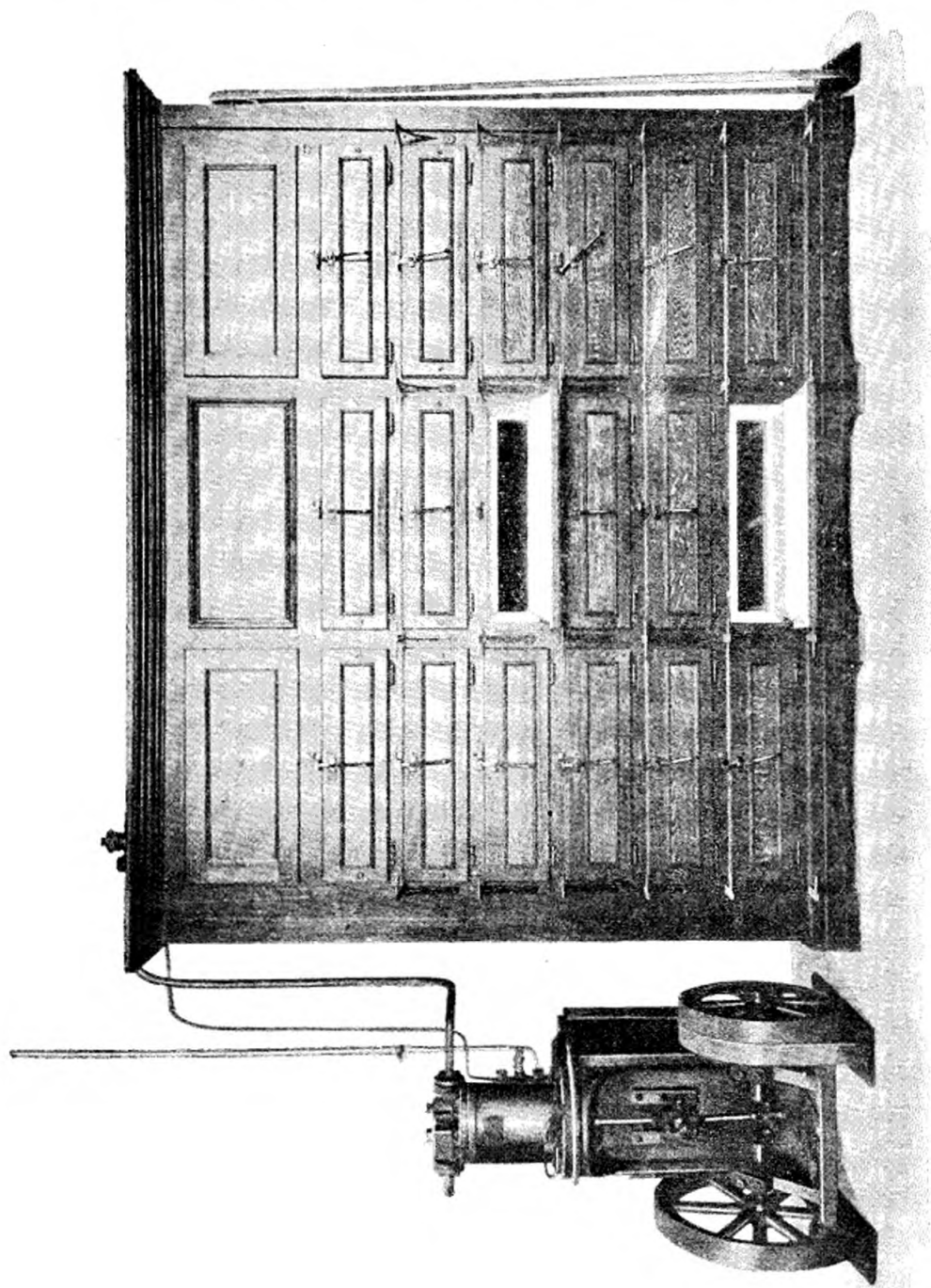


Fig. 477. — Armoire à chocolat de la société Genovoise.

horizontal avec une retombée d'équerre sur le devant. Une paroi fixe verticale de même hauteur que la retombée forme l'autre face et porte

des charnières autour desquelles pivote le pupitre. La hauteur du pupitre au-dessus de la table est de 10 à 15 cm suivant la longueur de la table et l'intensité du courant d'air.

Une corde attachée au devant de chaque pupitre passe sur une poulie attachée au plafond de la salle ; elle est munie d'un contrepoids qui maintient le volet dans sa position, quand il est relevé.

Le bord inférieur de la retombée est garni de feutre qui fait un joint

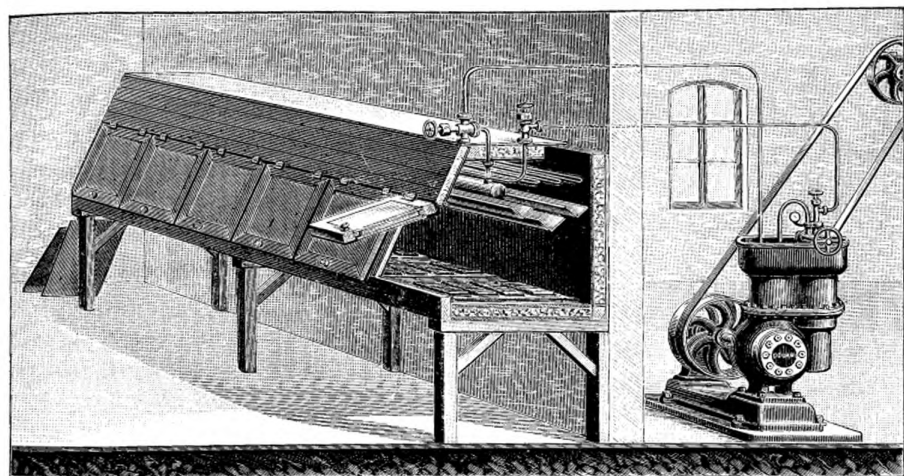


Fig. 178 — Application du froid au démoulage du chocolat par les appareils Douane.

étanche contre la table en fonte, pour éviter les fuites d'air. Les tables, recouvertes de leurs pupitres, sont généralement placées parallèlement, dans la longueur de la salle.

Les conduits d'arrivée d'air froid, construits en bois, sont branchés sur le conduit principal venant de la machine. Il est bon que ces conduits soient le plus courts possible, pour éviter les déperditions. Des vannettes en bois, disposées à la jonction des branchements, permettent de diriger le courant d'air sur toutes les tables, en ne le faisant toutefois passer que sur celles qui sont chargées de tablettes moulées chaudes, et seulement quand les volets des pupitres sont abaissés. D'autres conduits, en bois également, partant des extrémités opposées des tables, se

réunissent en un seul conduit de réaspiration, pour ramener l'air au point de départ.

On dispose sur ces branchements de sortie d'air des vannettes dont les mouvements sont reliés à ceux des vannettes d'entrée d'air correspondantes.

Il est bon que le local où se fait cette opération soit isolé de l'extérieur en comportant des murs épais, des doubles fenêtres des doubles

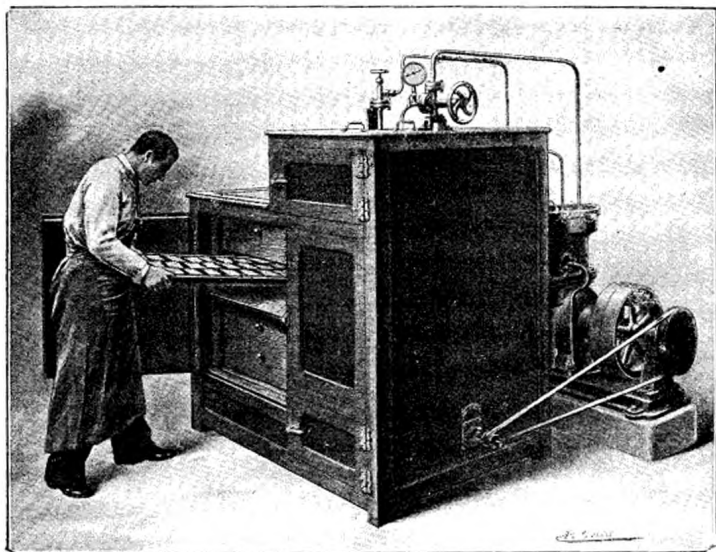


Fig. 179 — Application du froid au démoulage du chocolat par les appareils Douane.

portes ou des tambours d'entrée et de sortie. Il y a avantage à conserver l'emploi des caves en sous-sol, quoique ce ne soit plus indispensable avec l'emploi des machines frigorifiques.

Ce procédé remplit économiquement les conditions du problème, car il utilise rationnellement la puissance considérable que présente l'eau comme véhicule de calories sous un volume assez faible ; tandis qu'il ne laisse à l'air qu'une simple action de milieu qui réalise une condition d'hygrométrie indispensable, sans rien emprunter à sa faible capacité calorifique.

Dans les conditions ordinaires de température que présente le cho-

colat pour un bon moulage, il ne faut pas plus de 15 minutes avec ces appareils pour opérer un démoulage absolument franc de la tablette.

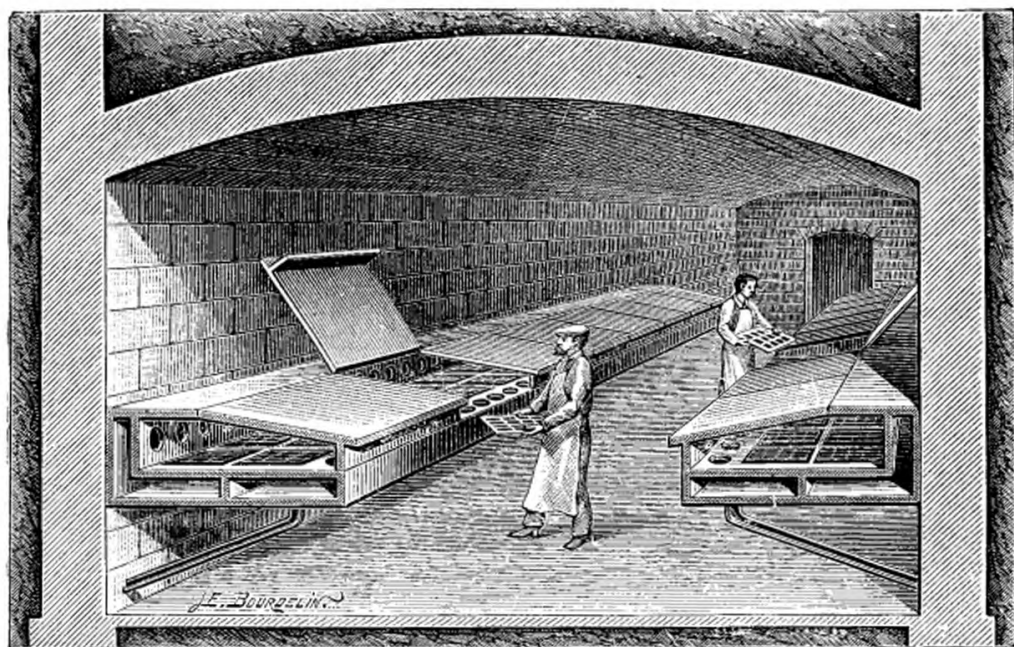


Fig. 180. — Procédé de démoulage du chocolat par pupitre, par les procédés Rouart.

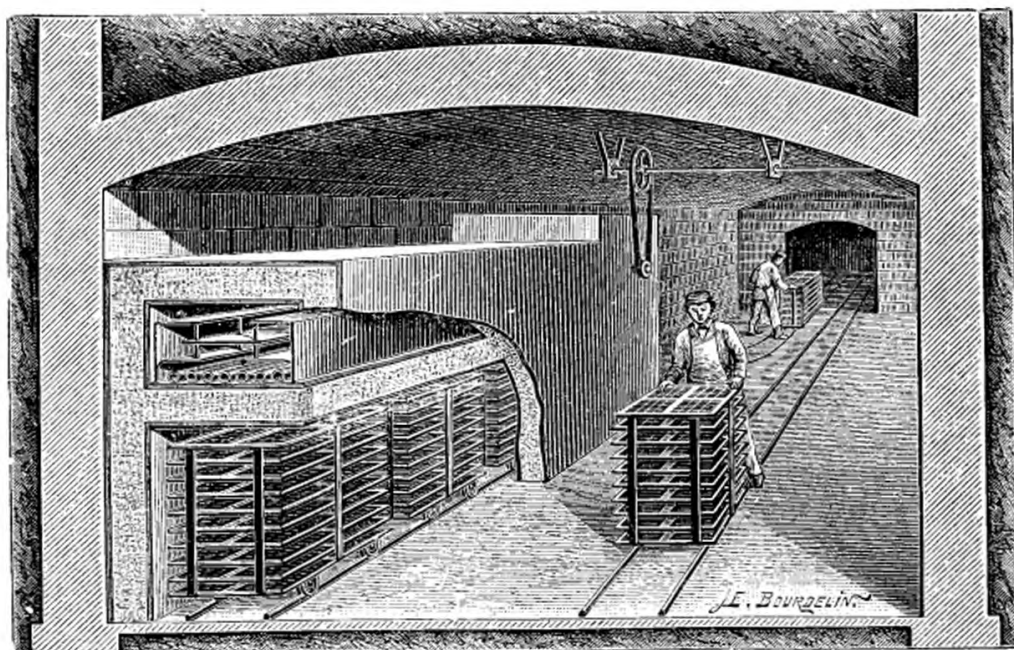


Fig. 181. — Procédé de démoulage du chocolat par tunnel, par les procédés Rouart.

Il y a donc en somme par application de ce système économie de

main-d'œuvre, un moulage plus rapide, une plus grande propreté et une bonne conservation des moules.

Rouart, de Montluçon, applique deux procédés de démoulage, l'un par pupitre comme le précédent, l'autre par tunnel.

Dans le premier on dispose sur des pupitres des planches sur lesquelles sont répartis les moules contenant le chocolat à refroidir. Ces pupitres sont traversés par un courant d'air froid et sec obtenu par les moyens employés habituellement; ils sont établis de manière à éviter automatiquement les fuites d'air froid au moment de l'introduction ou de la sortie du chocolat.

Dans le cas d'une production considérable on peut remplacer le système précédent par le second, par celui d'un tunnel.

Les planches à chocolat sont distribuées sur des étagères à claire-voies montées sur roues et supportant chacune 50 kg. de chocolat par exemple.

Ces étagères sont amenées par une voie ferrée dans un tunnel en boiserie dont la longueur varie avec la quantité de chocolat que l'on veut refroidir par heure et où l'air froid sec est produit directement pour éviter les déperditions.

Les extrémités du tunnel sont disposées l'une pour l'introduction des wagonnets dans le tunnel, l'autre pour leur sortie. Elles forment des chambres isolantes de manière à éviter les pertes d'air froid pendant les manœuvres.

On peut enfin refroidir la cave entière soit par détente directe, soit par circulation de liquide incongelable.

Les machines à chlorure de méthyle système Douane peuvent être aussi appliquées de façons fort pratiques et dans des conditions analogues au démoulage du chocolat. Enfin il nous reste un mot à dire des machines à acide carbonique qui ont reçu un certain nombre d'applications pratiques des plus heureuses.

Le plan (pl. XV) montre par exemple l'installation frigorifique de la fabrique de chocolat de M. Matte, à Montpellier, dont la description fera comprendre le principe de ce genre d'installation.

L'ensemble comprend :

- 1° La machine frigorifique proprement dite avec compresseur, condenseur et réfrigérant du système Escher Wyss et C^{ie}, de Zurich, dans le cas qui nous occupe, système que nous avons antérieurement décrit ;
- 2° L'appareil réfrigérant du chocolat constitué par un tunnel à deux

étages, parfaitement isolé sur toutes ses faces par des lièges isolants de la maison Demuth frères, au Muy. Dans le cas qui nous occupe, l'étage supérieur contient la chambre du ventilateur, le réfrigérant d'air où l'air est refroidi au moyen de l'eau salée froide qu'une pompe centrifuge envoie du réfrigérant de la machine frigorifique. Cette saumure y retourne après avoir ruisselé sur des tôles perforées placées dans la chambre de circulation de l'air. Diverses chicanes sont disposées de façon à arrêter les gouttelettes d'eau que l'air pourrait entraîner et un système de tuyaux à ailettes est destiné au chauffage de l'air afin de lui donner exactement le degré hygrométrique désiré.

Le tunnel proprement dit est pourvu d'une voie de roulement pour les wagonnets de chocolat et est fermé à chaque extrémité par deux portes guillotines équilibrées, laissant entre elles la place d'un wagonnet. L'air froid sec produit dans la chambre supérieure entre en **M** dans le tunnel pour en ressortir en **N** aspiré par le ventilateur.

Les wagonnets d'une construction très légère en fer portent 5 plateaux destinés à recevoir les tablettes à démouler. Venant chargés de l'atelier de moulage, ils traversent le tunnel frigorifique en 20 à 30 minutes poussés par le nouvel arrivant. A leur sortie du tunnel le chocolat est démoulé et les wagonnets renvoyés à l'atelier de moulage.

Il est évident que suivant l'importance de la production, d'autres dispositions telles que : armoires, toiles sans fin, transporteurs, etc., peuvent être employés avec cette méthode, mais le principe de refroidissement reste le même.

CHAPITRE XIII

LES APPLICATIONS DU FROID AUX INDUSTRIES CHIMIQUES

Un grand nombre d'industries appliquent pour la préparation de certains produits un refroidissement plus ou moins intense. Ce sont le plus souvent des opérations destinées à obtenir par un refroidissement énergique une cristallisation et par suite une purification d'un produit.

I. — Traitement des eaux-mères.

Le refroidissement énergique d'un liquide et son application au traitement des eaux-mères et à la cristallisation du sulfate de soude, est l'objet d'un appareil spécial établi par la Compagnie industrielle des procédés Raoul Pictet.

Cet appareil est représenté dans les figures qui suivent :

1 est une coupe du palier servant à la fois de tourillon à l'arbre et de tubulure d'arrivée ou de sortie du liquide réfrigérant.

2 donne en coupe et en élévation le détail des éléments de l'appareil échangeur.

3 est une vue de face du diaphragme placé à l'intérieur de chaque élément.

4 et 5 représentent en élévation de face et de côté le bac contenant le liquide à refroidir muni de l'appareil échangeur.

6 est une vue de côté de l'appareil disposé pour le traitement des eaux-mères par le froid artificiel.

7 et 8 sont des vues en bout de l'appareil représenté par la fig. 6.

Les liquides mis en présence dans cet appareil sont indifféremment tous les liquides, qu'ils soient ou non de même nature et de même composition.

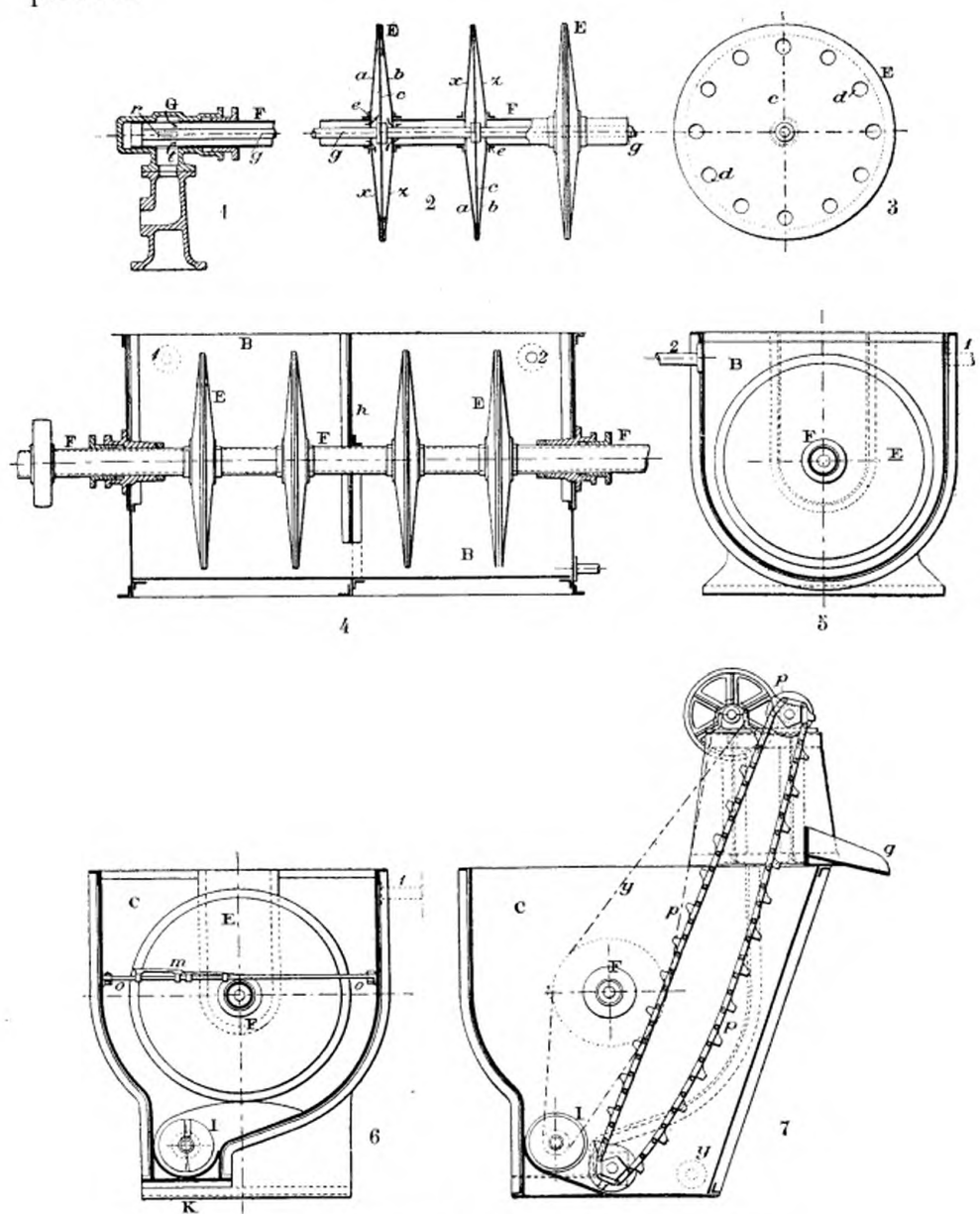


Fig. 182. — Appareil pour le traitement des eaux-mères

Ce sont :

A. — Le liquide refroidissant; c'est celui produit par la machine

frigorigène, liquide que nous avons désigné sous le nom de *liquide incongelable* ou de *saumure*.

B. — *Le liquide à refroidir*, qui est, à volonté, de l'eau douce ou de l'eau salée ou un liquide de composition quelconque.

Dans l'application spéciale relative au traitement des eaux-mères, le *liquide à refroidir* est invariablement les eaux-mères qui doivent être dépouillées des sulfates de soude qu'elles contiennent.

Les échangeurs E, comme l'indique leur nom, sont des appareils qui servent aux échanges de température des susdits liquides. Ces organes sont à circuit méthodique. Leur activité dépend surtout du renouvellement non interrompu de leurs surfaces de contact.

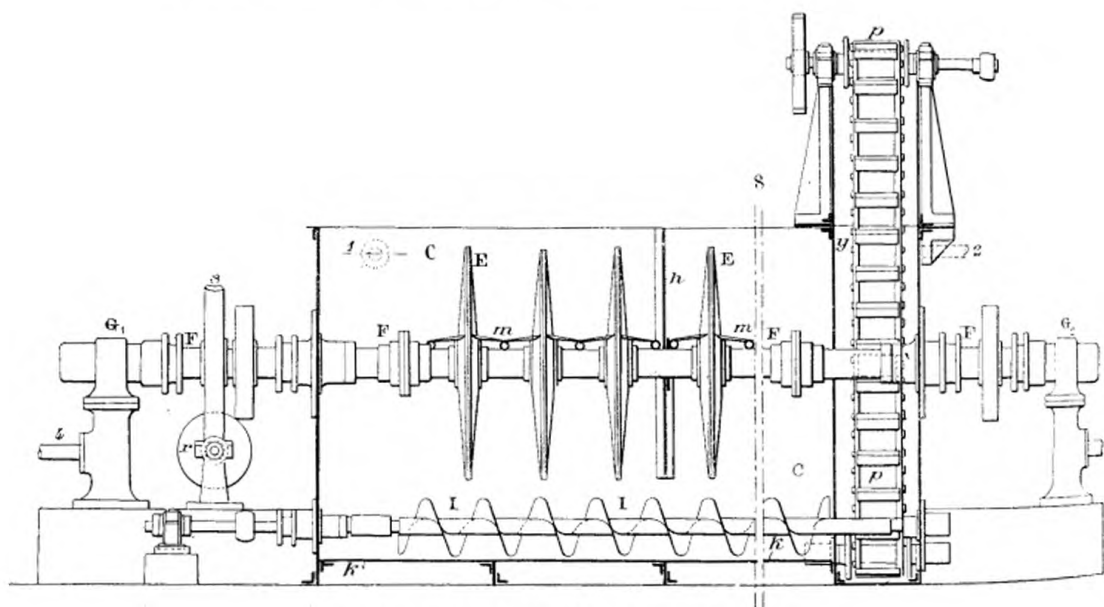


Fig. 483. — Appareil pour le traitement des eaux-mères

Ils affectent, dans ce but, la forme circulaire et sont animés d'un mouvement de rotation. Ce dispositif assure les déplacements relatifs des liquides en contact.

Chaque élément d'échangeur se compose de deux disques circulaires *a* et *b*, en tôle (2), façonnés en forme d'assiettes, mais assemblés de manière que la concavité de chaque disque soit dirigée en face l'une de l'autre. Il est créé ainsi une cavité ou chambre interne qui se subdivise en deux compartiments *x* et *z* (2) séparés par une cloison ou diaphragme *c* (2). La communication entre les deux compartiments

est assurée par des ouvertures d (3) ménagées à la périphérie du diaphragme.

Les éléments d'échangeurs ainsi obtenus sont groupés parallèlement les uns aux autres sur un arbre creux F (1 et 2), à section annulaire, composé de plusieurs tronçons. Les disques des échangeurs sont reliés aux susdits tronçons sans solution de continuité. L'arbre creux F , en rendant solidaires les uns des autres les éléments d'échangeurs E , donne accès à la saumure et établit la communication entre eux par les ouvertures centrales e (2). Il leur imprime aussi un mouvement rotatif par un mécanisme quelconque.

A chaque extrémité de l'arbre creux F se trouve un support G (1 et 6). C'est un palier de forme spéciale, construit pour servir à la fois, de tourillon à l'arbre et de tubulure d'arrivée ou de sortie du liquide *incongélable*. Des ouvertures r (1) sont ménagées dans l'arbre creux en corrélation avec la cavité t des supports donnant passage au liquide. Chaque support est muni d'un presse-étoupe pour éviter les pertes de liquide par les fuites extérieures.

Le chemin parcouru par le liquide refroidissant est le suivant :

Le liquide véhiculé par une pompe de circulation, pénètre à l'une des extrémités de l'arbre creux, en passant par le support G et le tourillon évidé. Il arrive dans le premier élément d'échangeur en se répandant dans le premier compartiment. Au contact du diaphragme, il s'épanouit et vient lécher la surface du disque, en rayonnant du centre à l'extérieur. Là, les ouvertures du diaphragme lui donnent issue au deuxième compartiment, où il décrit le chemin inverse pour pénétrer par le canal de l'arbre creux F qui sert de lien entre les éléments successifs, dans le deuxième échangeur et ainsi de suite jusqu'à l'extrémité opposée de l'arbre. Le liquide s'échappera enfin par le support symétrique G formant tubulure de sortie.

Il est indifférent, pour le résultat à atteindre, que le liquide refroidissant soit refoulé ou aspiré par le jeu de la pompe de circulation. En tout cas, il sera toujours dirigé pour agir en sens inverse du courant général du liquide à refroidir.

Pour relier l'arbre creux et les éléments d'échangeurs d'une façon plus intime et pour éviter les déformations dans l'ensemble, on peut combiner l'arbre creux F avec un arbre plein g de plus petit diamètre, formant noyau central et laissant une section annulaire pour le passage du liquide refroidissant. Les tôles planes faisant office de diaphragmes

peuvent être rendues solidaires de l'arbre plein par des écrous à serrage central. L'assemblage étant assuré entre les tôles des disques à l'extérieur, il en résulte une grande rigidité pour tout l'appareil.

La bûche B est le réservoir contenant le liquide à refroidir.

Elle est aménagée pour recevoir le système d'échangeur précédemment décrit. Son aspect est celui d'un réservoir rectangulaire affectant la forme demi-rectangulaire dans la partie inférieure. La bûche est divisée en compartiments par des cloisons transversales h , remplissant le rôle de chicanes pour la direction du courant imprimé au liquide à refroidir. Ces cloisons peuvent servir également de support pour l'arbre creux des échangeurs.

Pour l'application spéciale du froid artificiel à l'extraction des sulfates de soude dans le traitement des eaux-mères, cet appareil se complète par un bac de cristallisation C et par le matériel d'extraction I, m , p .

Les avantages de cet appareil appliqué au traitement des eaux-mères par le froid artificiel sont les suivants :

1° L'utilisation rationnelle et énergique d'une source de froid en contact métallique avec les liquides à refroidir, eaux-mères, etc.

2° Le réemploi des liquides ainsi refroidis comme source de froid accessoire pour le refroidissement préalable des eaux-mères prises à la température ambiante, pour économiser la dépense de froid de première mise.

3° La continuité et l'automatisme des opérations connexes à la cristallisation des sulfates de soude.

L'appareil complet pour le traitement des eaux-mères se compose des organes suivants :

1° Les échangeurs de température E (2 et 6) rotatifs.

2° Le bac de cristallisation C (6, 7 et 8).

3° Le matériel d'extraction I, m , p , (6, 7 et 8).

Le bac cristallisateur C est le réservoir contenant les eaux-mères à refroidir. Il est disposé pour recevoir les échangeurs E. Il contient, en outre, tout le mécanisme d'extraction et sa forme est appropriée à la réception des dépôts. Le bac a l'apparence d'un réservoir rectangulaire. Ses parois longitudinales sont cintrées dans la partie inférieure et aboutissent, d'un côté par un plan incliné, de l'autre par une paroi verticale, à un couloir de fond K (7), régnant dans toute la longueur du bac. Ce couloir, dans lequel est logé un transporteur I (6 et 7) ou vis

d'Archimède, est excentré par rapport au plan vertical passant par l'axe de l'arbre des échangeurs. Le réservoir est divisé en compartiments par des cloisons transversales h (6) dont le rôle a déjà été indiqué. L'extrémité du bac est formée d'un compartiment terminus, appelé chambre d'extraction y (6 et 8). Celle-ci a une section trapézoïdale s'adaptant au matériel de l'exhausteur. Les parois transversales extérieures sont pourvues de boîtes à étoupes pour livrer passage à l'arbre creux F des échangeurs, dont les tronçons extrêmes sont supportés par les paliers supports G_1 et G_2 (6) antérieurement décrits.

Le jeu des liquides mis en présence est identique à celui déjà exposé. Dans le bac cristalliseur C (6), les eaux-mères entrent en charge par le tuyau 1 (6 et 7) et ressortent, en trop plein, par le tuyau 2 (6 et 8). Le liquide refroidissant, à l'inverse, pénètre par le tuyau 3 du support G_2 pour s'échapper par le tuyau 4 du support G_2 (6).

Le matériel d'extraction se compose :

1° De la vis d'Archimède I (6 et 7), placée dans le couloir de fond K du bac cristalliseur, faisant office de transporteur.

2° Des raclettes mobiles m (6 et 7), appuyant par leur propre poids sur les quadrants supérieurs des échangeurs rotatifs, placées immédiatement au-dessus du couloir excentré K . Les raclettes sont fixées par des charnières sur des tringles horizontales o (7).

3° De la chaîne à godets p (6 et 8) et du mécanisme qui la dessert. Les godets peuvent être exécutés en tôle perforée pour permettre un égouttage relatif.

Les mouvements communiqués à l'arbre creux F , à la vis du transporteur I et à la chaîne à godets p , étant des mouvements parallèles, il suffira d'actionner, depuis une transmission d'usine, l'arbre de la vis sans fin r (6), qui communiquera la rotation à l'arbre creux, par l'intermédiaire de la roue S , calée sur le susdit arbre. Celui-ci commandera, par un mode de transmission quelconque, le transporteur I et la chaîne à godets p .

La combinaison du fonctionnement simultané de tous ces organes a pour résultat d'abaisser la température de la masse des eaux-mères contenue dans le bac cristalliseur C par une circulation continue du liquide refroidissant traversant les échangeurs E . Cette réfrigération soutenue provoque une transformation moléculaire du liquide à refroidir. Les sulfates de soude sont précipités sous formes de boues ou de cristaux très ténus. Les dépôts, les sédiments, que les raclettes m ont détachés

des échangeurs E par la rotation de ces derniers, sont projetés naturellement, en vertu de leur plus grande densité, sur les surfaces inclinées du bac cristallisateur C. Ils glisseront ensuite et tomberont dans le couloir de fond K. là où se meut la vis d'Archimède du transporteur I. La vis d'Archimède animée d'un mouvement de rotation transportera ces dépôts d'un bout à l'autre du bac, jusqu'à la chambre d'extraction y. La chaîne à godets p, à son tour, les recueillera et les égouttera sommairement dans son mouvement élévatoire. Dans cet état, l'exhausteur les déposera sur le plan incliné q disposé pour les conduire à la recette.

L'enlèvement des dépôts, l'extraction des sulfates, se font entièrement sans le secours de la main-d'œuvre, d'une façon continue et automatique, grâce aux mouvements multiples de tous ces organes.

L'ensemble de cet appareil peut fonctionner par lui seul, ou accouplé en deux groupes distincts. Dans ce dernier cas, le premier bac cristallisateur sera disposé pour réaliser la circulation dite du premier degré. Celle-ci, en principe, consiste à mettre en contact métallique pour un refroidissement préalable partiel, les eaux-mères vierges à température ambiante, avec les mêmes eaux totalement refroidies et épuisées. Le deuxième bac cristallisateur sera établi pour la circulation dite du deuxième degré. Les eaux-mères partiellement refroidies et appauvries dans le premier bac de cristallisation, seront amenées dans le second bac en contact métallique avec le liquide incongelable à basse température, produit par la machine frigorifique, pour y être totalement refroidies et épuisées.

Ce dispositif réalise le principe de la réutilisation des eaux-mères épuisées, mais froides, comme source auxiliaire de froid dans l'emploi subséquent du froid artificiel, pour le traitement des eaux-mères. Cette dépense se trouve ainsi réduite dans une notable proportion.

En résumé l'appareil de la Compagnie Pictet est donc caractérisé par :

1° Un système d'échangeurs à surface, rotatif, pour les liquides composés d'éléments E de forme circulaire, placés parallèlement les uns aux autres sur un arbre creux F dont les tronçons leur servent à la fois de lien et de communication. Chaque élément étant caractérisé par l'assemblage de deux disques concaves a et b et d'une tôle plane C médiane formant par leur juxtaposition une chambre interne divisée en deux compartiments x et z, communiquant par des ouvertures d.

2° Un bac ou réservoir B aménagé pour la réception du système

d'échangeurs ci-dessus décrit et pour contenir des liquides à refroidir caractérisé par sa forme semi-cylindrique dans sa partie inférieure et par des chicanes transversales h appelées à diriger le courant principal du liquide à refroidir.

3° Un bac de cristallisation C disposé pour recevoir les échangeurs ci-dessus dans le cas du traitement des eaux-mères, ce bac étant caractérisé dans sa partie inférieure par la forme cintrée, se rattachant d'un côté à une paroi verticale de l'autre à un plan incliné aboutissant tous deux à un couloir de fond K , longitudinal, demi-circulaire et excentré par rapport à l'axe passant par le plan médian vertical du bac et des échangeurs. Ce bac divisé par des cloisons h en compartiments communiquant entre eux, est terminé par un compartiment spécial appelé chambre d'extraction h dans laquelle s'adapte le mécanisme de la chaîne à godets p et reçoit, en outre, le transporteur L dans le couloir K formé à sa partie inférieure.

4° Un système de raclettes m automobiles, disposées normalement aux disques des échangeurs agissant sur les quadrants supérieurs des éléments d'échangeurs rotatifs placés immédiatement au-dessus du couloir de fond K , du bac cristallisateur C , ces raclettes étant constituées par des lamelles en tôle garnies ou non garnies de brosses ou toute autre matière propre au frottement qu'elles doivent exercer, elles sont articulées sur des tringles transversales O .

II. — Le froid en stéarinerie.

En stéarinerie les appareils frigorifiques trouvent leur emploi dans le traitement des oléines pour l'extraction et la cristallisation de la stéarine qui s'y trouve mélangée; on purifie ainsi l'oléine tout en récupérant environ 30 0/0 en poids de stéarine.

Le fabricant, qui a un intérêt capital à obtenir le maximum de rendement dur, s'est de tout temps appliqué à rechercher le moyen de refroidissement le plus pratique et le moins coûteux pour extraire, de l'acide oléique, tout le corps concret qu'il entraîne en dissolution dans la pression à froid.

C'est ainsi que, pour maintenir à une basse température les caves où s'opère le traitement de l'acide oléique, on a, dans ces derniers temps commencé à appliquer les machines frigorifiques.

Mais ce dispositif présente l'inconvénient de s'adresser à l'atelier tout entier pour arriver à refroidir l'acide oléique par rayonnement, au milieu d'un corps peu conducteur comme l'air, qui trouve constamment des sources de calorique dans la température plus élevée de l'acide oléique arrivant, dans l'éclairage de la cave, dans la présence des ouvriers, et enfin dans l'action réchauffante des parois de la cave qui tendent toujours à se mettre en équilibre de température avec l'extérieur.

Il y a aussi une gêne pour les ouvriers à vivre dans un milieu à basse température, en sortir et y rentrer fréquemment.

Pour refroidir un corps liquide ou concret, il ne faut pas s'attaquer à l'atelier, mais il est bien préférable d'agir sur le corps lui-même, directement et par couches minces.

L'appareil de MM. Petit frères, de Saint-Denis, est établi d'après ce principe.

La partie essentielle en est un tambour annulaire, dans lequel est introduit, d'une façon continue, le liquide refroidissant produit par la machine frigorifique.

Il est monté en forme de poutre et le moyeu servant d'arbre, repose sur deux bâtis en fonte munis de coussinets.

Un des côtés du tambour porte un engrenage destiné à recevoir le mouvement.

Pour réaliser la circulation continue du liquide refroidissant dans le tambour, le moyeu est percé à ses deux extrémités, et une cloison est ménagée au centre afin d'empêcher le liquide de passer directement de l'entrée à la sortie.

Deux tuyaux, placés alors en sens inverse aux deux extrémités du moyeu, servent, l'un à l'introduction de l'eau refroidie par la machine Raoul Pictet dans le tambour, l'autre à en opérer la sortie, que l'on règle mathématiquement par un robinet.

Le tambour tournant d'un mouvement continu, c'est sa surface extérieure qui constitue la surface refroidissante pour le liquide à concréter.

A cet effet, une bavette inclinée, fixée aux bâtis, est disposée à l'arrière du tambour. Cette bavette, sur laquelle est amené le liquide à refroidir, bouche hermétiquement le tambour par l'interposition d'une petite bande de caoutchouc.

Le liquide se fige dès qu'il est en contact avec les surfaces des tambours. Il prend alors un aspect grenu et cristallin; il forme sur la couronne une couche mince, continue et concrète, qui est détachée au mo-

ment de se présenter à nouveau devant la bavette, par un petit racloir à action élastique.

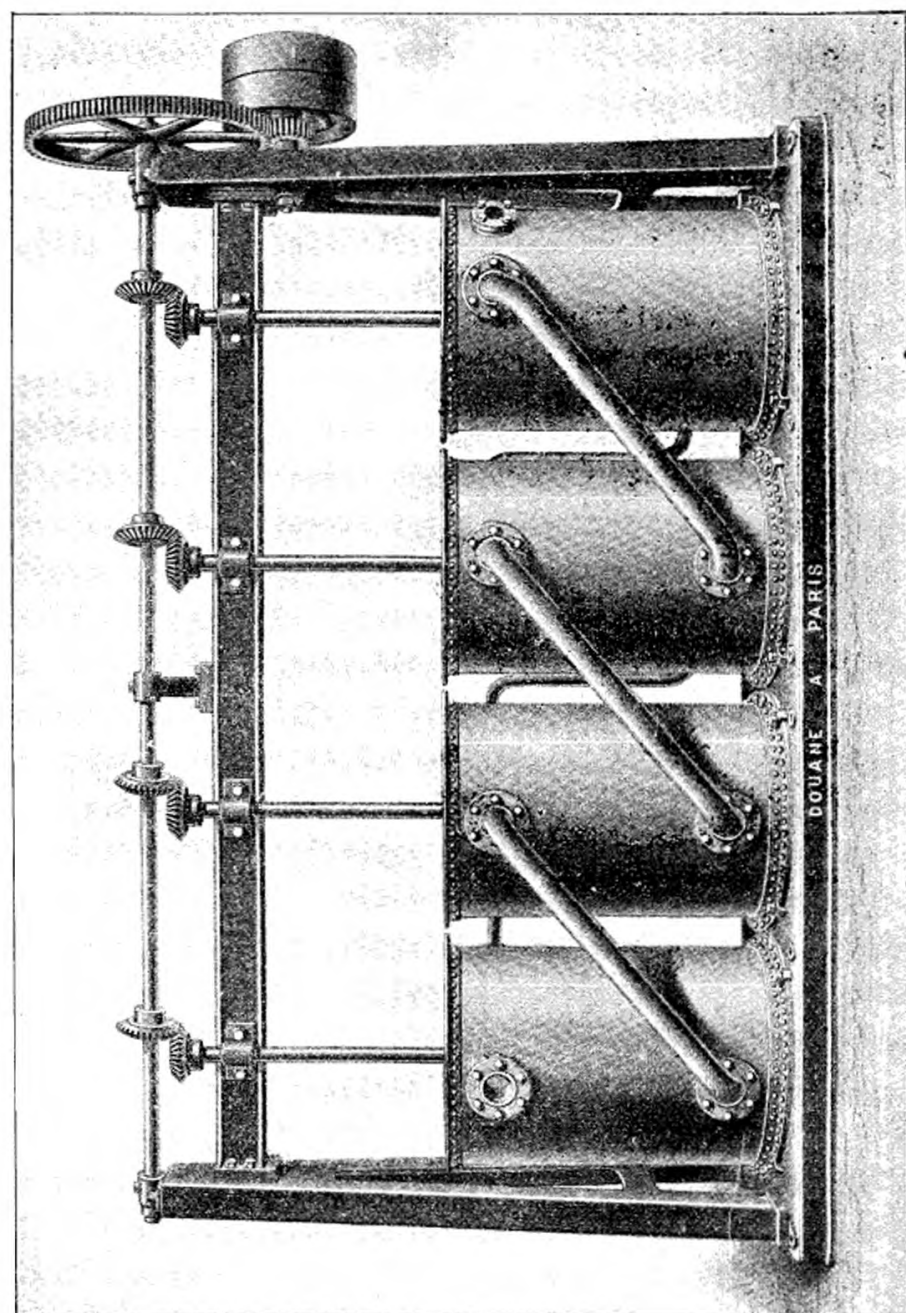


Fig. 181. — Appareil Douano utilisant le froid pour séparer des produits mélangés et ayant des points de solidification différents.

Cette matière concrétée descend ainsi sous forme de copeau dans un bain-marie d'eau froide, pour passer de là au filtre presse.

La totalité du corps concret que renferme l'acide oléique est donc solidifiée sans perte et avec une grande rapidité.

Dans le procédé Douane, l'installation est des plus simples, elle consiste en un appareil à chlorure de méthyle réfrigérant de la saumure dans le voisinage de zéro degré centigrade. Cette saumure circule dans des appareils échangeurs qui peuvent avoir les formes les plus diverses mais, présenter toujours une surface assez considérable pour permettre à la matière de se concréter en granulations convenables pour passer ensuite aux filtres-presses. Le plus souvent on adopte la forme de cylindres à doubles parois; dans l'intervalle circule la saumure. Un racloir monté sur un axe au milieu des cylindres, enlève constamment la matière solidifiée le long des parois en la ramenant vers le centre. Après le passage de la matière dans plusieurs cylindres elle a pris la consistance d'une pâte qui est dirigée dans la salle des filtres-presses.

III. — Le froid en margarinerie.

Le froid est aussi employé dans une industrie analogue, la fabrication du beurre artificiel ou beurre de margarine.

Cette fabrication est très importante, surtout en Hollande, où certaines usines produisent plus de 50.000 kilogrammes par jour.

Dans le procédé Lebrun, le froid est utilisé pour l'obtention d'une certaine quantité d'eau, à une température de quelques degrés au-dessus de 0, ce qui s'obtient directement dans le congélateur, ou par la circulation de liquide salin refroidi, dans un réservoir rempli d'eau. Cette eau sert à refroidir brusquement le mélange chaud de margarine, d'huile et de lait; ce mélange s'écoulant directement de l'appareil dans un courant d'eau, ce qui n'a d'autre but que d'empêcher la séparation de ces matières (attendu qu'il n'y a que simple mélange) obtenue infailliblement par un refroidissement lent.

La planche XVI montre enfin l'installation d'une margarinerie à laquelle est jointe une fabrique de glace.

L'intérêt de cette installation consiste en ce que toute la réfrigération des locaux est faite par détente directe d'acide carbonique.

Avec la légende du plan l'explication suivante fera comprendre le principe de cette installation.

Un double compresseur, à acide carbonique, du système Escher Wyss

et C^{ie} de Zurich, produit le froid nécessaire ; l'un des cylindres sert au refroidissement de l'eau salée employée dans le bac à glace pour la production de celle-ci ; l'autre cylindre agit par détente directe de l'acide carbonique dans de grands faisceaux placés dans les locaux à refroidir. Ces locaux parfaitement isolés sont aussi pourvus d'un dispositif permettant une légère ventilation et un renouvellement d'air. Une partie du froid est en outre employée au refroidissement de l'oléomargarine et cela par circulation d'eau glacée dans les bassins contenant cette dernière.

Une machine à vapeur jumelle actionne l'installation et le reste de l'usine. La machine à froid et glace se compose de ses appareils habituels, compresseurs, condenseurs, réfrigérants, dont le détail a été décrit dans la partie constructive de cet ouvrage.

IV. — Le froid en parfumerie.

Tous ceux qui s'occupent de parfumerie savent que les extraits de parfums, tels qu'ils sont obtenus en traitant les pommades par l'alcool, contiennent en dissolution une partie des corps gras avec lesquels l'alcool a été en contact. Ces corps gras qui se déposent à basse température présentent le double inconvénient de troubler par leur dépôt la limpidité des extraits et de leur communiquer une odeur rance.

Pour les curaçao, les quinquinas, les anisettes et les vins alcoolisés, l'application du froid précipite les résines et les huiles essentielles que la distillation a entraînées et qui troublent leur limpidité. Le froid affine aussi certains produits par la précipitation de matières qui en masquent le goût délicat. Nous avons vu dans un chapitre les applications directes du froid à la vinification.

Les appareils qui servent au traitement des dissolutions alcooliques de parfums ou extraits, peuvent servir pour toutes les applications du froid à des liquides fortement alcoolisés ou qui, pour tout autre motif, ne congèlent pas par le froid.

L'emploi de machines à glace ordinaires peut donner déjà des résultats fort appréciables en mettant simplement dans les mouleaux le liquide que l'on veut soumettre au froid. Comme cette opération se complète presque toujours par un filtrage, on voit le grand intérêt qu'il y a à avoir un appareil spécial, évitant par le soutirage à l'air comprimé

et le filtrage sans pression d'air, la manutention des mouleaux que l'on doit sortir de l'appareil, essuyer pour retirer la saumure et décantier dans un filtre. Ces opérations exigent des manœuvres dont les incon-

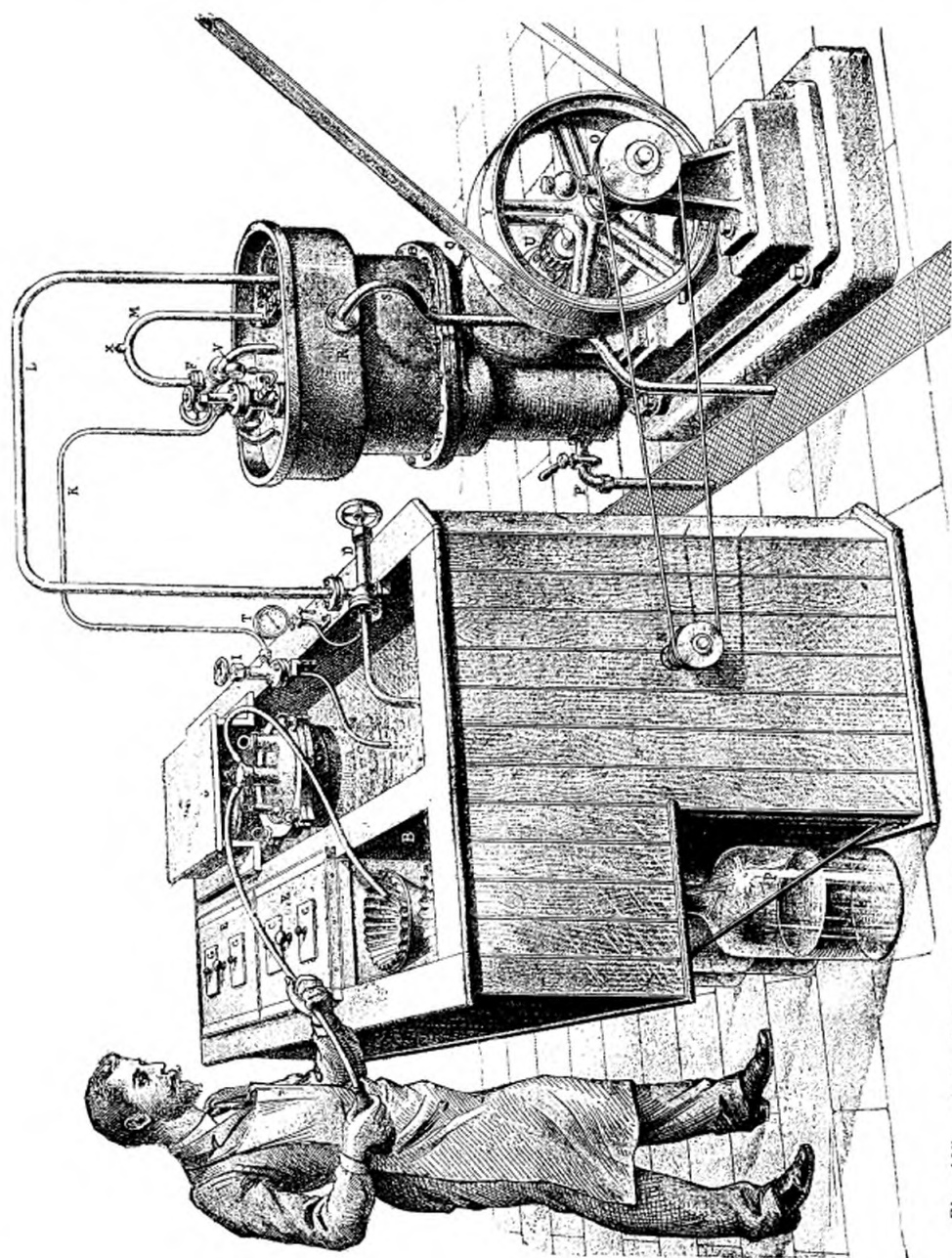


Fig. 488 — Appareil à glacer les extraits parfumés. Traitement des Vins et liquours alcooliques se troublant par le froid.

vénients sont nombreux, les principaux sont d'abord les chances multiples de répandre le liquide, ensuite les déperditions du froid pendant l'enlèvement des mouleaux, leur décantation et surtout pendant le fil-

trage dans les filtres ordinaires, où le liquide est long à passer, ce qui provoque la fusion d'une grande partie des matières concrétées par le froid et qui tapissent les parois du filtre.

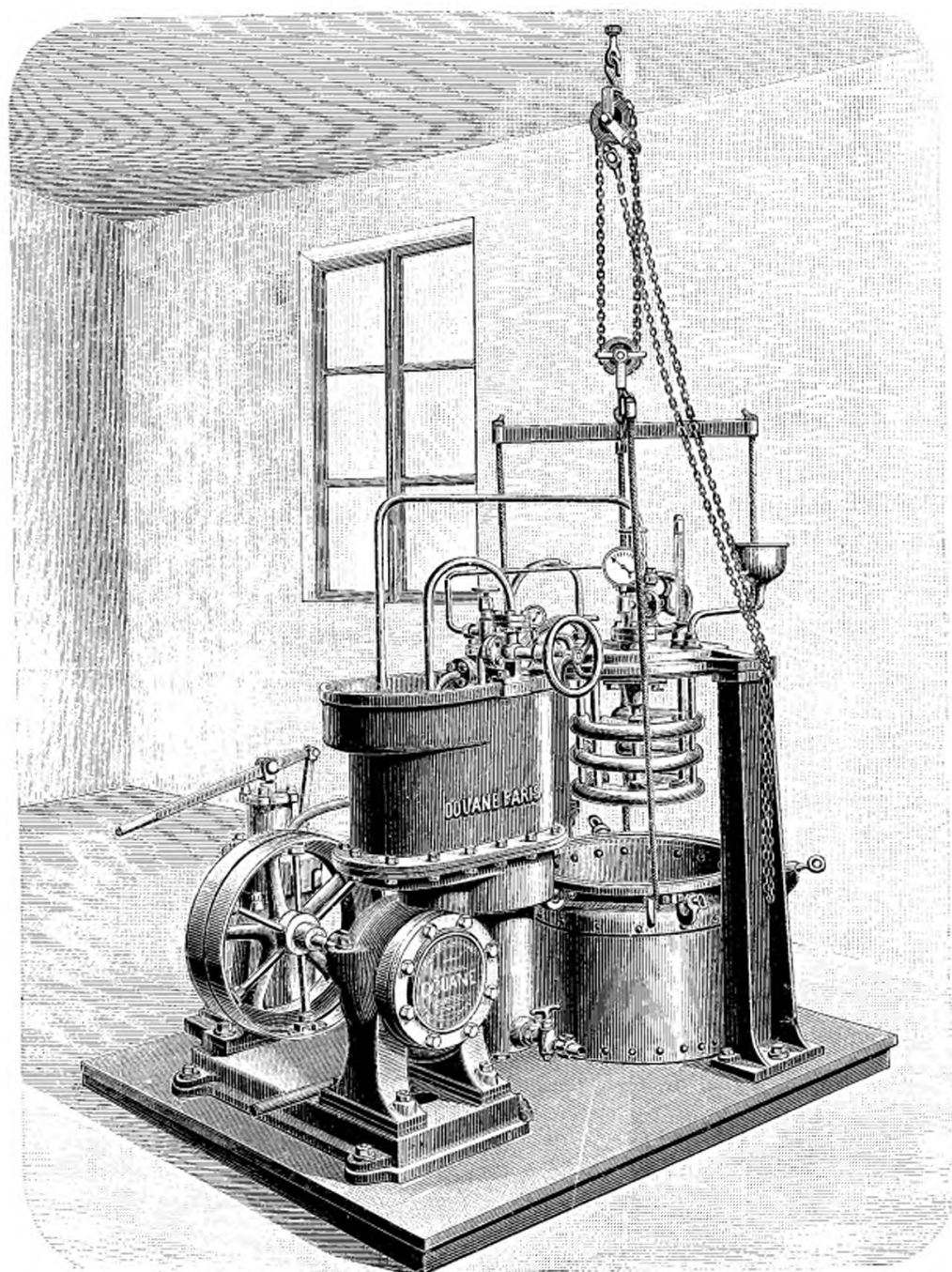


Fig. 486 — Appareil à glacer les extraits à liqueurs et liquides se troublant par le froid.
Soutirage et filtrage à l'air comprimé.

Les appareils que construit la maison Douane pour ces applications

emploient, les uns l'intermédiaire de la saumure dans laquelle on plonge les récipients remplis du liquide à soumettre au froid, les autres appliquent directement le froid au sein même de la masse liquide.

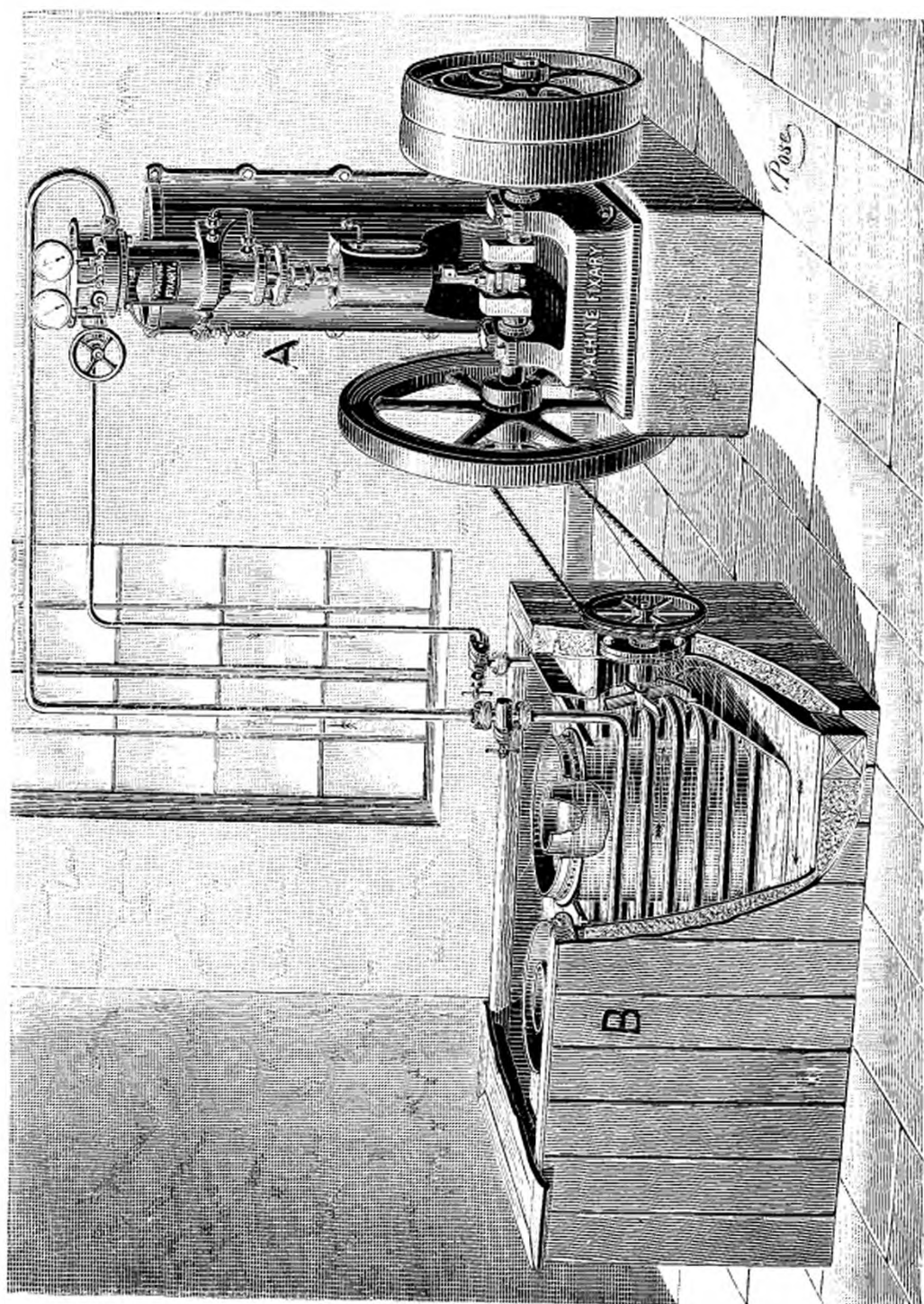


Fig. 187. — Appareil frigorifique Fixary pour le traitement parfumé, extraits alcooliques.

Dans les appareils à saumure il y a une mise en train, chaque fois

que l'on veut se servir de l'appareil il faut commencer par abaisser la température de la saumure. Ils conviennent pour les industries qui traitent constamment leurs produits et en quantités variables. On peut, en effet, plonger dans la saumure des récipients de toutes dimensions extérieures ne dépassant pas celles pouvant être introduites dans l'appareil; de petits échantillons de 2 ou 3 litres peuvent être rapidement glacés, grâce à la réserve de froid accumulée dans la saumure.

Dans les appareils appliquant directement le froid il n'y a pas de mise en train, car l'absence de saumure permet au froid de se traduire par une baisse immédiate de la température du liquide à traiter.

Les appareils de ce type établis pour traiter une quantité de liquide déterminée par opération sont pourvus d'un récipient contenant cette capacité, déduction faite du volume du frigorifère qui y plonge; on ne peut donc y traiter des quantités inférieures à celles prévues pour l'appareil sous peine de voir le frigorifère ne plonger qu'en partie au sein de la masse. Il y a pourtant une certaine latitude et, par exemple, un appareil traitant 50 litres par opération permet de traiter 40 ou même 35 litres. Pour traiter des quantités moindres il faudrait évidemment le prévoir à l'avance. Avec ces appareils il serait impossible de glacer 2 ou 3 litres comme on peut le faire avec l'appareil à saumure.

Citons aussi pour le même usage du traitement des extraits parfumés par le froid les appareils Fixary dont nous donnons ci-joint la figure.

CHAPITRE XIV

LES APPLICATIONS DU FROID A LA DÉFENSE NATIONALE

Le froid peut et doit trouver son application dans la préparation de la guerre et pour le ravitaillement même des armées en campagne ; ce dernier point n'est en effet pas des moins importants, étant données les énormes masses d'hommes qui se trouvent en présence et la difficulté que l'on éprouvera à pourvoir à leur subsistance.

L'application du froid simplifie beaucoup la question. En effet, les viandes frigorifiées par exemple, occupent un volume incomparablement plus faible que le troupeau qu'elles représentent, incomparablement plus facile à manier, plus transportable, on peut, par voie ferrée, au moyen des trains frigorifiques que nous avons décrits, amener rapidement sur le lieu du combat ou simplement à la suite d'une armée en campagne, la quantité nécessaire à son alimentation.

En outre, dans les places fortes, dans les forts isolés, etc., les réserves importantes de bétail sur pied sont impossibles, les réserves d'aliments frigorifiés n'occupent qu'un espace extrêmement réduit.

Le ministère de la guerre a déjà, à plusieurs moments, étudié la question. En 1889, par exemple, une commission fut nommée pour étudier la qualité de la viande frigorifiée. Nous avons, plus haut, donné les résultats de cette commission. Mais ce sont MM. Durand et Lambert qui ont, dans une *Note sur le ravitaillement des places fortes et l'approvisionnement des armées en campagne*, montré tout le parti que l'on peut tirer des procédés frigorifiques dans la défense nationale.

C'est cet intéressant travail que nous allons analyser dans ses grandes lignes.

Nous avons décrit plus haut la constitution des trains frigorifiques, la facilité avec laquelle on peut pratiquer de telles installations sur des wagons quelconques. Un train de 5 wagons se déplaçant avec une vitesse de 30 km. à l'heure pourra amener l'énorme quantité de 1 300 000 rations de vivres immédiatement distribuables, représentant un troupeau de 22 000 moutons qui, sur pied, s'étendrait sur plus de 1 km. de long et 20 m. de large. Ce train pourrait être amené de l'un quelconque des grands centres de ravitaillement : Dunkerque, Le Havre, Orléans, Marseille et cela sans aucun inconvénient et avec une grande rapidité.

D'après M. Lambert, un transporteur de 200 000 rations complètes serait formé de 37 à 39 wagons pouvant se déplacer avec une vitesse de 40 km. à l'heure. La composition du chargement est ainsi formée :

Biscuits, par caisses de 62 kilog.	189.400 kil.	23 wagons
rations de 735 gr. (comprenant ration pour la soupe).		
Viande-rations de 300 gr.	60.000 kil.	10 wagons
Riz, sacs de 80 kil., donnant chacun 2.666 rations	6.000 kil.	
Sel, sacs de 80 kil., donnant chacun 5.000 rations	3.200 kil.	
Sucre en caisses, caisses de 83 kil. net, tare 14 kil. 400.	4.920 kil.	
Café en sacs	3.300 kil.	2 wagons
Total.		<u>35 wagons</u>

On voit donc tout l'avantage que présente une telle disposition pour le ravitaillement des armées en campagne.

Pour le démontrer d'ailleurs d'une façon plus absolue encore, M. Lambert pose le problème du ravitaillement en cas de guerre, dans toute sa généralité, c'est-à-dire au cas le plus défavorable pour la simplicité des opérations de l'approvisionnement.

Imaginons, en effet, dit-il, que la mobilisation étant complètement achevée et les armées réparties sur la frontière de l'est, on ne doive plus du tout compter pour le ravitaillement sur les ressources locales, et que l'on soit obligé de faire arriver de l'intérieur du territoire toutes les denrées nécessaires.

Occupons-nous en particulier des vivres-viande et comptons sur une fourniture journalière de deux millions de rations.

Si l'on veut effectuer le ravitaillement en bétail sur pied, il faudra réunir tous les jours et transporter en wagons à la frontière :

de 4 à 5 000 bœufs ou vaches

ou bien l'équivalent :

soit 40 000 moutons

avec les approvisionnements de fourrages nécessaires. On voit immédiatement à quel formidable embarras on se trouve exposé.

Si au contraire, dans les centres commerciaux ou agricoles se trouvent d'ores et déjà installés des dépôts frigorifiques, il suffira d'expédier tous les jours deux trains de 40 wagons chacun porteurs de viande congelée, pour assurer d'une façon parfaite tous les ravitaillements, alors que la première méthode eût nécessité l'emploi de *six ou sept cents wagons au minimum*.

Où devraient se faire les grands dépôts frigorifiques servant de point de départ? Tout d'abord dans les grands centres de production où les viandes de la région même pourraient être frigorifiées, accumulées et d'où elles pourraient être expédiées. Ensuite dans les ports tels que Le Havre ou Marseille où viendraient les arrivages de provenance étrangère.

Au Havre, par exemple, pourraient s'installer avec la plus grande facilité un dock frigorifique occupant une situation remarquable pour l'utilisation des moyens de transport : voies ferrées, voie fluviale, par le canal de Tancarville, voie maritime par le quai du bassin Bellot.

Le plan (pl. XVII) dressé par M. Lambert, donne le projet d'installation d'un tel dock frigorifique.

Le ravitaillement des places fortes par la viande frigorifiée présente aussi le plus grand intérêt.

Les places devant subir les premières le choc de l'ennemi, les places de première urgence, Belfort, Epinal, Toul, Verdun, sont celles qui tireraient les plus grands avantages.

D'après M. Lambert, prenons comme exemple un camp retranché, celui d'Epinal, qui est très proche de la frontière et constituera probablement l'objectif d'une attaque immédiate par suite de l'importance du réseau de voies ferrées qu'il commande.

Cette ville, située sur les derniers contreforts des Faucilles, est essentiellement manufacturière. Les forts, situés sur les montagnes voisines, englobent peu de villages, donc les ressources locales seront faibles.

Avec une population civile d'environ 20 000 habitants, prenons un chiffre de population militaire de 20 000 soldats (ce dernier chiffre représente de notre part une hypothèse gratuite, qui ne repose sur aucune donnée officielle).

Supposons que, pour des motifs d'ordre stratégique quelconque, on veuille s'assurer deux mois de vivres d'avance, indépendamment des approvisionnements en viande de conserves, qui seront utilisés pour les troupes en campagne.

Constituer une réserve de 2 400 000 rations en réunissant du bétail sur pied est impossible, il faudrait en effet :

Environ 5 000 bœufs ou vaches,

ou l'équivalent

environ 50 000 moutons.

avec les approvisionnements de fourrages nécessaires.

On voit à quelles fantastiques difficultés conduirait cette méthode, sans compter que des maladies épidémiques pourraient surgir et supprimer d'un seul coup cet approvisionnement sur lequel on comptait. Qu'il nous suffise, à cet égard, de rappeler le douloureux exemple du siège de Paris, en 1870, des milliers de bœufs périrent du typhus dans les catacombes.

Cet approvisionnement pourrait être obtenu dans un dépôt frigorifique de 20 m sur 40 m. Rien de plus simple que de réquisitionner une des usines réduite au chômage par le temps de guerre et d'y installer rapidement les machines frigorifiques.

C'est ce qui nous permet d'affirmer que : *peuvent et doivent trouver place dans l'outillage et l'armement des camps retranchés modernes, les dépôts en appareils frigorifiques, tant à cause de leur puissance énorme de ravitaillement qu'à cause de la facilité avec laquelle on renouvellera leur contenu par le simple passage de quelques convois de chemin de fer.*

Dans les camps retranchés et points de concentration formant les villes de deuxième ligne : Reims, Châlons, Paris, M. Lambert propose l'installation de dépôts plus considérables et il résume ainsi son projet :

A Verdun, à Toul, à Epinal, à Châlons-sur-Marne, un dépôt de 20 000 moutons, ou l'équivalent en viande de bœuf (surface 400 ou 500 m.);

Puis à Belfort, à Reims, à Paris, un dépôt de 30.000 moutons ou l'équi-

valent, soit 600 000 kilogrammes de viande nette, ce qui constituerait, pour les villes du premier groupe, une réserve immédiatement distribuable de *un million de rations* pour chacune de ces places, et, pour chacune des villes du deuxième groupe, une réserve de *quinze cent mille rations* pour chacune de ces places. (Supposons que les moutons emmagasinés seraient des moutons de choix, pesant en moyenne 20 kg. net).

On voit quelle puissance énorme de ravitaillement représenteraient ces installations si simples, exigeant chacune une superficie de 400 ou 500 m².

On pourrait réduire cet approvisionnement en temps de paix au tiers de la capacité totale, et n'avoir en dépôt que 800 ou 900 tonnes de viande nette, on s'appliquerait seulement à maintenir presque complets, les approvisionnements des places de première urgence.

Enfin, le *Dock frigorifique du Havre*, base du ravitaillement ultérieur par l'arrière devrait toujours contenir un approvisionnement à peu près égal.

Pour ne considérer que les dépôts de l'Est, on voit que si l'on admet pour la région une population militaire du temps de paix de 150 000 hommes, *l'approvisionnement total que nous proposons pourra être consommé en seize jours*, ce qui permettrait de renouveler au moins tous les mois le contenu des dépôts, et dans ces conditions, on peut assurer une conservation absolument parfaite et la livraison aux troupes de viande de tout premier choix par animaux entiers, ce qui facilitera *l'alimentation variée* actuellement à l'étude dans la plupart des garnisons.

Les avantages déjà indiqués qui sont inhérents à la nouvelle méthode, se trouvent ainsi et par surcroît doublés de l'amélioration de la nourriture ordinaire du soldat dans les garnisons en temps de paix.

Enfin, M. Lambert étudie l'approvisionnement des forts d'arrêt et de forteresses de la frontière, en particulier les forts de la rive gauche de la Moselle qui relient les camps retranchés de Belfort et d'Epinal ou les forts d'arrêt indépendants.

Pour les premiers, qui constituent la ligne de défense des Vosges, des conditions toutes particulières se trouvent réunies en ce qui concerne le ravitaillement. Ils sont placés dans un pays où l'élevage du bétail constitue la principale ressource de la population. Pendant l'été, d'immenses troupeaux stationnent sur les flancs des ballons ou monta-

gnes des Vosges, et l'hiver, tout le bétail revient dans les vallées, chez les « marcaires » ou fermiers. Il y a donc, sur ce point, des ressources locales très importantes, eu égard au chiffre de la population, et il serait prudent de les réserver aux troupes de la défense (troupes stationnées dans les forts, ou troupes mobiles des groupes de montagne).

Or, l'on remarque que ces forts sont à quelques kilomètres seulement de la ligne frontière, très proches des stations terminus, des voies stratégiques allemandes (Wesserling, Guebwiller...), on s'accorde actuellement à penser que la caractéristique d'une nouvelle guerre serait l'irruption soudaine en chaque pays de troupes ennemies venant pousser des « raids » audacieux pour entraver la mobilisation de l'adversaire.

Il est donc permis de dire que ces ressources sont à la merci des entreprises de l'ennemi qui pourrait en détruire la majeure partie avant que des opérations combinées aient pu le rejeter sur l'autre versant.

Le moyen tout indiqué serait l'emploi des appareils frigorifiques.

Aussitôt les opérations de guerre commencées, toutes les ressources en bétail de la région seront réquisitionnées, amenées au fort le plus proche, le bétail abattu, dépecé, sera placé dans le dépôt et pourra servir au ravitaillement des troupes de la défense extérieure. Si l'on suppose que ces forts de *première urgence* ont leur dotation normale d'approvisionnement constituée au complet dès le temps de paix. Tout ce qui y serait accumulé au dernier moment deviendra donc disponible, pourra servir aux troupes mobiles et en tout cas assurer à la forteresse de nouveaux éléments de résistance.

Ici encore les chiffres de comparaison sont absolument en faveur de la nouvelle méthode : un approvisionnement de *un million* de rations n'occuperait que 20 m. sur 20 m., alors que la même quantité représentative en bétail sur pied (3 000 bœufs et vaches) serait absolument impossible à réunir et à conserver pour des raisons bien simples (embarras de logement ou de gardiennage, chances d'épidémie, personnel de gardiennage rendu indisponible pour la défense, etc.).

L'installation, une fois faite, rendrait déjà des services en temps de paix; ainsi, par exemple, pendant la saison d'hiver, les transports sont très difficiles dans cette région de montagnes, ils seraient supprimés pour l'approvisionnement journalier de vivres-viande par la présence du dépôt frigorifique.

La construction des dépôts est simple et peu coûteuse. On les placera

dans les parties les moins exposées et on pourra, ou bien utiliser directement les casemates, et si l'humidité le rendait impossible, on construirait des chambres isolantes. Dans cette région, le bois est à très bon marché; comme c'est l'élément principal de construction des chambres, on voit que la dépense finale sera relativement réduite.

Le plan (pl. XVIII) représente le schéma d'une disposition ainsi prévue dans un fort d'arrêt indépendant.

En résumé, l'ensemble de l'installation ainsi conçue par M. Lambert comprend donc :

1° GRANDS DÉPÔTS AVEC MACHINES A AIR FROID
ET CHAMBRES FRIGORIFIQUES

(Docks et magasins militaires, Centres d'approvisionnement).

Centres principaux du ravitaillement. — Le Havre, Marseille, Paris.

2° DÉPÔTS SECONDAIRES RAVITAILLÉS PAR LES DÉPÔTS PRINCIPAUX
DE L'ARRIÈRE

Centres peuplés. — Lille, Reims, Verdun, Toul, Epinal, Belfort. (Places fortes de premier rang susceptibles d'une longue résistance).

3° DÉPÔTS ISOLÉS OU DÉPÔTS PROVISOIRES ÉTABLIS EN UTILISANT
A TITRE FIXE L'INSTALLATION DU TRAIN FRIGORIFIQUE

Installations du temps de paix. — Forts d'arrêt indépendants; Centres des réserves stratégiques.

Installations provisoires. — Stations points de départ d'étapes de guerre de chacun des Corps d'armée frontières; Stations têtes d'étapes de guerre; Points principaux de la base d'opérations.

4° CHAMBRES FRIGORIFIQUES MOBILES SUR VOIES FERRÉES, OBTENUES
EN UTILISANT LES WAGONS A PAROIS ISOLANTES

Ravitaillement journalier. — Stations haltes-repas; Stations têtes d'étapes de route; Gîtes principaux d'étapes.

Et M. Lambert montre les bénéfices que l'on en retirerait par les tableaux suivants comparant les approvisionnements par viande congelée et par bétail sur pied.

APPROVISIONNEMENTS EN TEMPS DE PAIX

MAGASINS OU DÉPÔTS FIXES

SURFACE NÉCESSAIRE POUR EMMAGASINER UN MILLION DE RATIONS

Bétail sur pied

BOEUFs. — Pour réaliser un million de rations, il faut 300 tonnes de viande nette, soit environ 2,200 bœufs. Chaque bœuf exige un emplacement de 3 mètres carrés au minimum, il faudra donc une surface totale de 7.550 mètres carrés, soit une surface couverte de 15 mètres de largeur sur 504 mètres de longueur.

MOUTONS. — Un million de rations peuvent s'obtenir de 22.220 moutons, ce qui exigerait un emplacement de 22.220 mètres carrés, soit une surface couverte de 20 mètres de largeur sur 1.111 mètres de longueur.

Application des procédés frigorifiques. — Constitution des approvisionnements en viande congelée, immédiatement distribuable.

La viande congelée est arrimée en vrac dans les dépôts frigorifiques sur une hauteur presque égale à celle de la Chambre. Dans les dépôts du Havre, on place en moyenne 1.400 tonnes à 1.200 kilos par mètre carré, il faudrait donc pour emmagasiner 300 tonnes, une surface couverte de 300 mètres carrés, soit 15 mètres sur 20 mètres.

RÉSUMÉ

Approvisionnement de Un million de rations en :

Bétail sur pied. — **BOEUFs** : 7.550 mètres carrés, soit 15 mètres sur 504 mètres. — **MOUTONS** : 22.220 mètres carrés, soit 20 mètres sur un kilomètre et 100 mètres.

Viande congelée — 3 ou 400 mètres carrés, soit 15 ou 20 mètres sur 20 mètres.

APPROVISIONNEMENTS DE SIÈGE D'UNE VILLE FORTIFIÉE

FOURNITURE DE 40.000 RATIONS JOURNALIÈRES
PENDANT CINQUANTE JOURS

Emploi du bétail sur pied

Troupeaux nécessaires	Surface ouverte nécessaire au logement des troupeaux de bétail	Approvisionnements de fourrages nécessaires pour la nourriture en attendant la consommation	Gardiennage
—	—	—	—
bœufs ou moutons	bœufs ou moutons	bœufs ou moutons	Pour mémoire
4 à 5 000	46.000 m ² soit 20 ^m larg. sur 800 m. long.	12.500 q ¹ mq. 40.000 q ¹	nombreux personnels rendu indisponible

Emploi des viandes congelées





Utilisation d'un dépôt frigorifique	Superficie nécessaire à l'installation du dépôt frigorifique	Renouvellement total de l'approvisionnement au cas où celui-ci serait employé par une armée en campagne.
Quotité de l'approvisionnement	—	—
600 tonnes de viande nette	20 mètres sur 30 mètres	60 à 80 wagons au lieu de 600 ou 700 wagons de bétail sur pied

APPROVISIONNEMENTS EN VIANDE CONGELÉE

NOMBRE DE RATIONS FOURNIES PAR LES DIVERSES UNITÉS DE TRANSPORT

Voiture régimentaire à un cheval, ou bien voiture de ré- quisition	Fourgon à 2 chevaux	Voiture de parc à 4 chevaux	Wagon à enveloppe isolante ou bien wagon spécial du train frigorifique	Wagon couvert à marchandises type normal des compagnies	Observation — La viande con- gelée arrivant au lieu d'emploi est immédiatement disponible et dis- tribuable.
1,500 rations	2,500 rations	3,400 à 4,000 rat.	26.000 rations	30 à 33.000 rations	

VITESSE DE TRANSPORT VERS LE LIEU D'EMPLOI

Convois de bétail sur pied. . .	Peuvent faire environ 30 kil. par jour.		La longueur des flèches permet la comparaison im- médiate des vi- tesses annoncées.
Voitures de réquisitions. . .	Vitesse normale des convois de ré- quisition, soit 4 km. à l'heure. . .		
Voitures du train régulier. . .	Voitures pouvant suivre un détache- ment, vitesse de 5 kil. à l'heure.		
Wagon du train frigorifique. . .	Vitesse variable avec la composition des convois de 25 à 45 kil. à l'heure.		
Wagon couvert à marchandises.			

SUPPRESSION DES CONVOIS DE BÉTAIL SUR PIED POUR LE RAVITAILEMENT DES ARMÉES EN CAMPAGNE

Les régions de territoire proches de la frontière des belligérants verront très rapidement leurs ressources locales épuisées, les passages de troupes affecteront surtout certaines artères bien déterminées et y acquerront une intensité jusqu'à présent inconnue. On ne pourra compter, pour le ravitaillement de ces masses, que sur les ressources provenant de l'intérieur du territoire. Si l'on ne veut pas toucher aux approvisionnements en viande de conserves constituant la *dotation normale* des places frontières, il faudra faire venir des régions de l'intérieur d'immenses convois d'animaux sur pied. Ce mode de ravitaillement laisse place à tous les imprévus et à tous les dangers. L'emploi des viandes congelées simplifierait la question dans une vaste mesure, parce que les véhicules de transport employés pour ce mode de ravitaillement sont utilisés d'une façon parfaite.

Puissance de transport des véhicules du train régulier

Voiture régimentaire à un cheval.	Fourgon à deux chevaux	Voiture de parc à quatre chevaux	Wagon à enveloppe isolante.	Wagon couvert à marchis type normal des C ^{ies}
1.500 rations 450 kilog.	2.500 rations 750 kilog.	3.400 ou 4.000 rat. 1.000 à 1.200 kilog.	20 à 26.000 rations 6 à 7.000 kilog.	30 à 33.000 rations 9 à 10.000 kilog.

Convois correspondants en bétail sur pied

3 ou 4 bœufs 10 ou 15 porcs 33 moutons.	5 ou 6 bœufs 25 à 30 porcs 56 moutons	8 à 9 bœufs 30 à 40 porcs 80 à 90 moutons	57 bœufs 230 à 250 porcs 570 moutons	67 bœufs 300 à 330 porcs 670 moutons
---	---	---	--	--

ORGANISATION DES CONVOIS DE VIVRES

UTILISATION DES DIVERS MOYENS DE TRANSPORT

Voies routières

Voies ferrées

Convoi de 100,000 rations

Convois de bétail sur pied	Utilisation de la viande congelée			Convois de bétail sur pied			Utilisation de la viande congelée	
	Transports par les voitures du train régulier			Wagons transportant le bétail sur pied pouvant fournir 100,000 rations				
Nombre de têtes de bétail formant convoi de 100,000 rations.	Voitures régimées à un cheval	Fourgons à 2 chevaux	Voitures de parc à 4 roues	Bœufs	Vaches	Moutons	Wagons à enveloppe isolante système B. Durand	Wagons à marchandises type normales des Compagnies
	66 voitures	40 fourgons	25 voitures	28 wag.	33 wag.	44 wag.	3 wagons	4 wagons
	Longueurs des convois correspondants aux unités de transport employés ci-dessus							
Bœufs 222	462 mètres	320 mètres	275 mètres					
Vaches 333	Les voitures se suivent par unités sur une route quelconque aux distances réglementaires de l'ordre de marche.							
Moutons 2,220								

CONCLUSION

Avec un nombre restreint de véhicules, on pourra, aux approches de la base d'opérations, ravitailler les troupes très facilement et supprimer les convois de bétail sur pied, si embarrassants et parfois si dangereux.

PUISSANCE DE RAVITAILLEMENT DES EN-CAS MOBILES

Trains circulant aux approches de la base des opérations et se déplaçant avec elle, suivant les besoins. On suppose que ces trains comporteraient dix wagons chargés de viande, le reste du convoi étant affecté au complément de chargement nécessaire pour former des rations carrées.

Wagons chargés de bétail sur pied	Application des procédés frigorifiques	
Bœufs. — 10 wagons contenant 90 bœufs procurent 40,500 rations.	10 wagons frigorifiques, système Durand, peuvent contenir 60 tonnes de viande nette, soit 200,000 rations.	10 wagons couverts à marchandises, type normal des Compagnies, peuvent donner 266,000 ou 300,000 rations.
Moutons. — 10 wagons contenant 700 moutons procurent 31,500 rations.	Le train frigorifique reste en route un laps de temps quelconque et n'a besoin que de trouver dans les gares de l'eau et du charbon.	Les wagons ordinaires, chargés de viande ultra refroidie, pourraient circuler quarante huit heures. En tout cas, la viande amenée au lieu d'emploi est immédiatement disponible et distribuable.
Les approvisionnements en bétail sur pied arrivés au lieu d'emploi ne sont pas immédiatement disponibles, ils exigent en outre des approvisionnements d'eau et de fourrages, ainsi que des soins continus de gardiennage.	Les wagons à enveloppes isolantes, même sans machines, peuvent circuler pendant deux jours.	

Conclusion :

L'emploi des appareils frigorifiques permet de décupler la puissance de ravitaillement des en-cas mobiles, en outre que l'on obtient ainsi des réserves immédiatement distribuables.

DONNÉES SUR LE RAVITAILLEMENT D'UNE ARMÉE COMPOSÉE DE QUATRE CORPS D'ARMÉE

Approvisionnement journalier.		Ravitaillement par l'arrière.			
Services des vivres-viande.	Livraisons effectuées par l'Entrepreneur du service au moyen des ressources de l'arrière.	Parcs de corps d'armée situés à une journée de marche en arrière de l'armée	Parcs de bétail d'armée établis à deux journées de marche en arrière.	Entrepôts de bétail échelonnés sur la voie du ravitaillement.	
	Un jour de vivres.	Quatre jours de vivre.	Deux jours de vivre.	Quatre jours de vivres.	
NOMBRE DE VÉHICULES DE TRANSPORT NÉCESSAIRES A CHAQUE DÉPLACEMENT					
Méthode proposée: Méthode actuelle :	Emploi du bétail sur pied.	36 ou 40 wagons.	150 à 160 wagons.	75 à 80 wagons.	150 à 160 wagons.
	Emploi des viandes congelées.	4 ou 5 wagons ou en remplacement 40 chariots de parc à 4 chevaux.	43 ou 45 wagons.	7 à 8 wagons.	43 ou 45 wagons.
Voir <i>Memento de l'Officier d'Etat-Major en Campagne</i> , pages 88 et 304.					

Ces tableaux montrent donc admirablement les avantages que retirerait la mobilisation de la nation par l'emploi des procédés frigorifiques. Il y aurait là des moyens efficaces d'approvisionnement qui ne pourraient que faciliter la marche des combattants, augmenter leur hygiène, leur donner une nourriture saine et vivifiante, atténuer peut-être un peu les horreurs de la guerre en limitant leurs souffrances physiques et leurs privations.

CHAPITRE XV

APPLICATIONS SECONDAIRES DU FROID

Nous ne nous étendrons pas sur un certain nombre d'applications que le froid a reçu en ces dernières années et que nous ne ferons que signaler, car elles ne présentent aucun intérêt au point de vue commercial et industriel.

Nous en signalerons pourtant trois qui jouent un certain rôle dans notre organisation sociale.

1° Morgues.

Le froid a été appliqué à la conservation des cadavres dans les morgues. Les conditions d'une telle application sont assez spéciales, elles ont été formulées par M. le docteur Brouardel dans le rapport présenté à la Commission spéciale instituée par arrêté préfectoral du 6 octobre 1879.

Ces conditions sont les suivantes :

- 1° Soumettre dès leur arrivée à la Morgue à une température de — 15° à — 20° les corps que l'on veut conserver ;
- 2° Les porter ensuite dans une salle dont la température oscillera — 4° et — 1° environ.

Nous prendrons pour type la Morgue de Paris et nous rappellerons à titre documentaire les circonstances qui ont présidé à son installation. Un concours fut ouvert en 1880 pour l'établissement de la Morgue de Paris. Une commission fut nommée à cet effet. Elle était composée de :

MM. Du Souich, Inspecteur général des Mines, *président* ;

Luuyt, Ingénieur en chef des Mines, *vice-président*;
 Dr Brouardel, professeur à la Faculté de Médecine;
 Dr Bourneville, membre du Conseil municipal et du Conseil général;
 Dr Villeneuve, membre du Conseil général;
 De Luynes, professeur au Conservatoire des Arts et Métiers,
rapporteur.

Un certain nombre de projets lui furent présentés que nous allons exposer d'après le rapport même de cette commission au conseil d'hygiène publique de salubrité.

Dans le *projet de MM. Giffard et Berger*, la table d'exposition des cadavres aurait été doublée au moyen d'une paroi métallique séparée de la paroi extérieure par un couloir dans lequel circulerait l'air refroidi. Dans ce couloir on placerait des alvéoles pour déposer les corps que l'on voudrait soumettre à un refroidissement rapide et considérable.

MM. Giffard et Berger estimaient les frais d'installation à 60.000 francs et la dépense annuelle d'entretien à 12.500 francs.

L'air froid ne pouvait pas être appliqué à cause de la faible densité du gaz et la température obtenue n'eut pas été suffisamment basse.

La machine de M. Tellier serait employée à refroidir une solution incongelable de chlorure de calcium qui circulerait dans une tuyauterie formant une paroi recouvrant les trois murs de la salle d'exposition et et séparée d'eux par des surfaces isolantes. La façade antérieure vitrée consisterait en un double vitrage pour éviter le dépôt du givre. Indépendamment des tables d'exposition, deux armoires métalliques à étagères multiples pourraient recevoir chacune quatre sujets.

L'installation aurait compris :

Le *projet Pictet* reposant sur les considérations suivantes :

Machine frigorifique avec moteur à gaz, pose et installations	24.000 »
Isolement de la salle, vinage.	17.651 55
Utilisation du poid produit, cylindres correspondant du froid; liquide incongelable, pompe de circulation.	15.923 20
Réservoirs de circulation avec alvéole frigorifique pour le refroidissement préalable des corps.	7.376 »
Total.	<u>64.953 75</u>

Les cadavres apportés à la Morgue forment deux catégories :

1° Ceux qui sont exposés dans le but de les faire reconnaître.

2° Ceux qui sont l'objet d'une expertise médico légale.

Dans les deux cas, les corps étaient placés dans des espaces très réduits formés par des parois métalliques, contre lesquelles circulaient une solution incongelable de chlorure de magnésium qui n'attaque pas les métaux. Le liquide était refroidi par circulation dans une machine frigorifique.

Le frigorifère destiné aux cadavres de la deuxième catégorie comprenait neuf caves cylindriques encastrées dans une cuve en tôle traversée par le liquide froid dans toute sa longueur. Dans chaque cave la planche métallique sur laquelle est placé le cadavre est reçue dans des rouleaux. La cuve enveloppée de menuiserie est isolée par des débris de liège. Un disque métallique muni d'un joint de caoutchouc ferme chaque cave.

M. Pictet admettait qu'un cadavre pesant environ 70 kg. à la température de 33° demandait pour être amené à 0° une absorption de 2500 calories.

Chaque cave du four absorbant par heure 225 calories pour une surface du cylindre de 4^m2,50 par un excès de température de 10° de l'air sur la paroi intérieure, il y avait absorption de 50 calories par mètre carré et par heure.

Dans ces conditions, le cadavre pouvait être refroidi en 11 heures.

La vitrine d'exposition de la Morgue recevait un double vitrage. Une rigole inférieure où l'on mettait de la chaux vive servait à dessécher l'air compris entre les deux vitrages.

La lumière venant du cintre traversait également un double vitrage incliné.

Le refroidissement est opéré par deux bacs métalliques dans lesquels circule le même liquide incongelable qui sert aux autres appareils. Un bac est situé au faite des deux vitrages doubles. Un autre est disposé au-dessous des tables d'exposition.

A cause de la hauteur de cette enceinte, il conviendrait de déterminer un courant d'air intérieur sans renouvellement, au moyen d'un ventilateur, afin de faciliter le refroidissement uniforme de l'atmosphère intérieure.

Dans les conditions ci-dessus indiquées, M. Pictet pense que la surface des bacs en contact avec l'air étant de 50 m², l'émission pourrait être de 2500 calories à l'heure : qu'en admettant que le vitrage soit à + 30°, et l'air de la vitrine à — 5°, la surface du vitrage qui est de

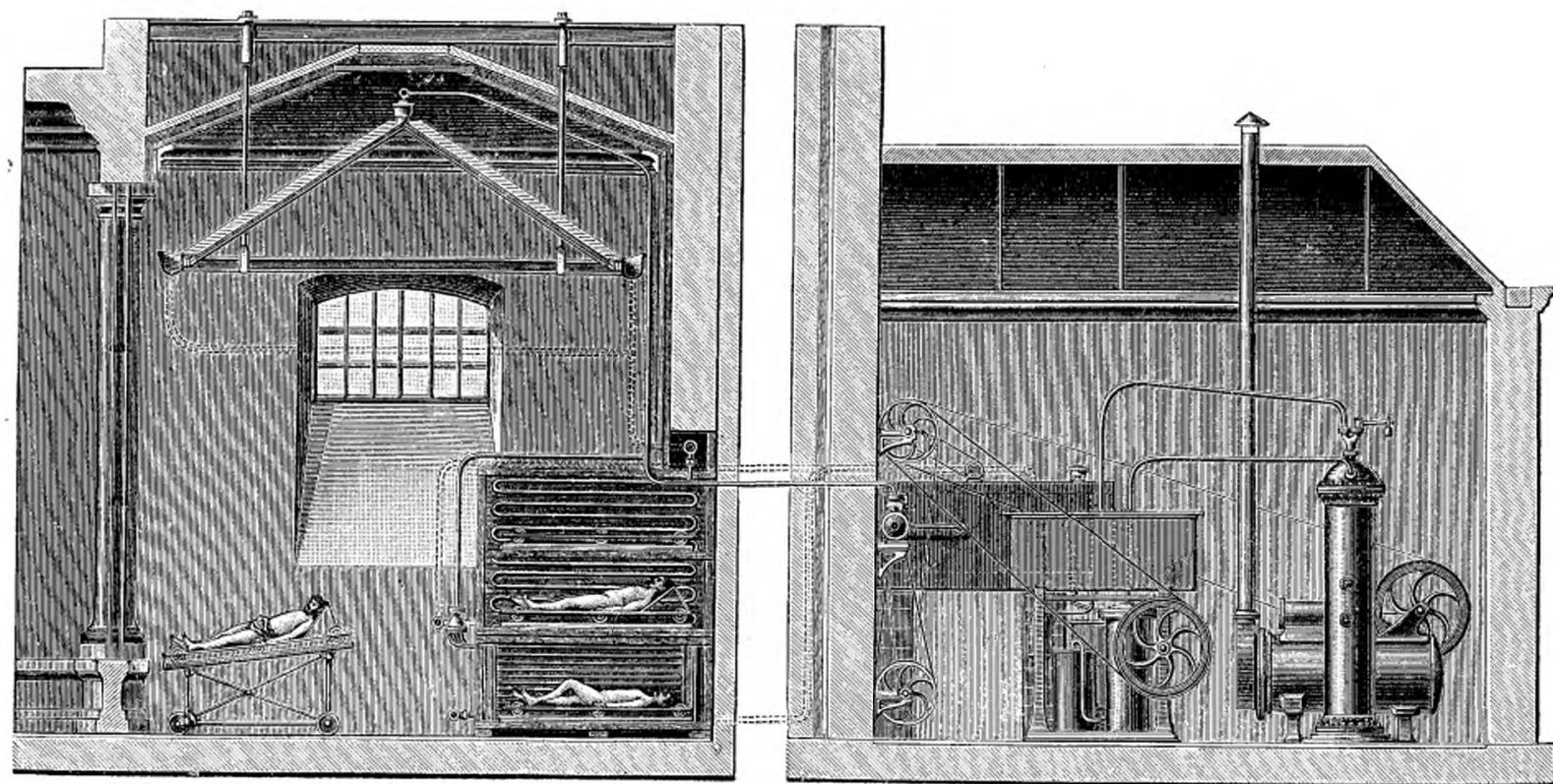


Fig. 488. — Plan général des appareils frigorifiques de la morgue installée en 1882 par Rouart.

50 m² perdrait par heure au plus 2 500 calories, et qu'il y aurait dans cette circonstance exceptionnelle équilibre entre le pouvoir émissif du vitrage et le pouvoir absorbant des bacs.

La machine à glace, installée dans la petite cour de gauche du bâtiment, et mise en œuvre par un moteur à gaz du système Otto, devrait absorber au moins 5 000 calories à l'heure; on obtiendrait ce résultat avec le type de l'appareil n° 3 du tarif Pictet donnant par heure jusqu'à 7 500 calories.

Le détail du devis de M. Pictet comprenait :

Comme imprévu M. Tellier ajoute.	3.000 »
L'entretien par 12 heures serait de.	19 40
2 fours frigorifiques à 9 cases	11.000 »
1 vitrine d'exposition à 11 stalles avec bacs. . .	6.500 »
Refroidisseurs, double vitrage, etc.	4.500 »
30 planches mobiles en tôle émaillée.	13.500 »
1 appareil à glace Pictet de 5.000 frigories à l'heure et accessoires de cet appareil. . . .	8.000 »
1 moteur à gaz Otto de 6 chevaux avec accessoires.	7.700 »
2 appareils de circulation d'air et de liquide froid.	1.500 »
	<hr/>
	52.700 »
	<hr/>

Dans le projet de Mignon et Rouart, le problème était posé de la façon suivante :

1° Maintenir au-dessous de 0, mais près de ce point la salle d'exposition.

2° Refroidir quatre cadavres à la température de — 15°;

3° Entretenir dix cadavres à la température de — 2°.

La première question à résoudre est de savoir quelle est la puissance de la machine à froid à employer.

Pour arriver à une solution certaine, il faut se placer dans les conditions les plus défavorables, car tous ceux qui ont cherché à obtenir de basses températures au moyen de mélanges réfrigérants savent combien sont considérables les pertes par réchauffement dues à la conductibilité, au rayonnement, etc.

MM. Mignon et Rouart supposent donc la salle amenée à la température un peu excessive de — 5° et l'air extérieur à celle de 35°.

La différence des deux températures est alors de 40°.

La salle étant dans l'état actuel contiendrait 275 m² de surface de maçonnerie, 75 m² de surface de vitrage.

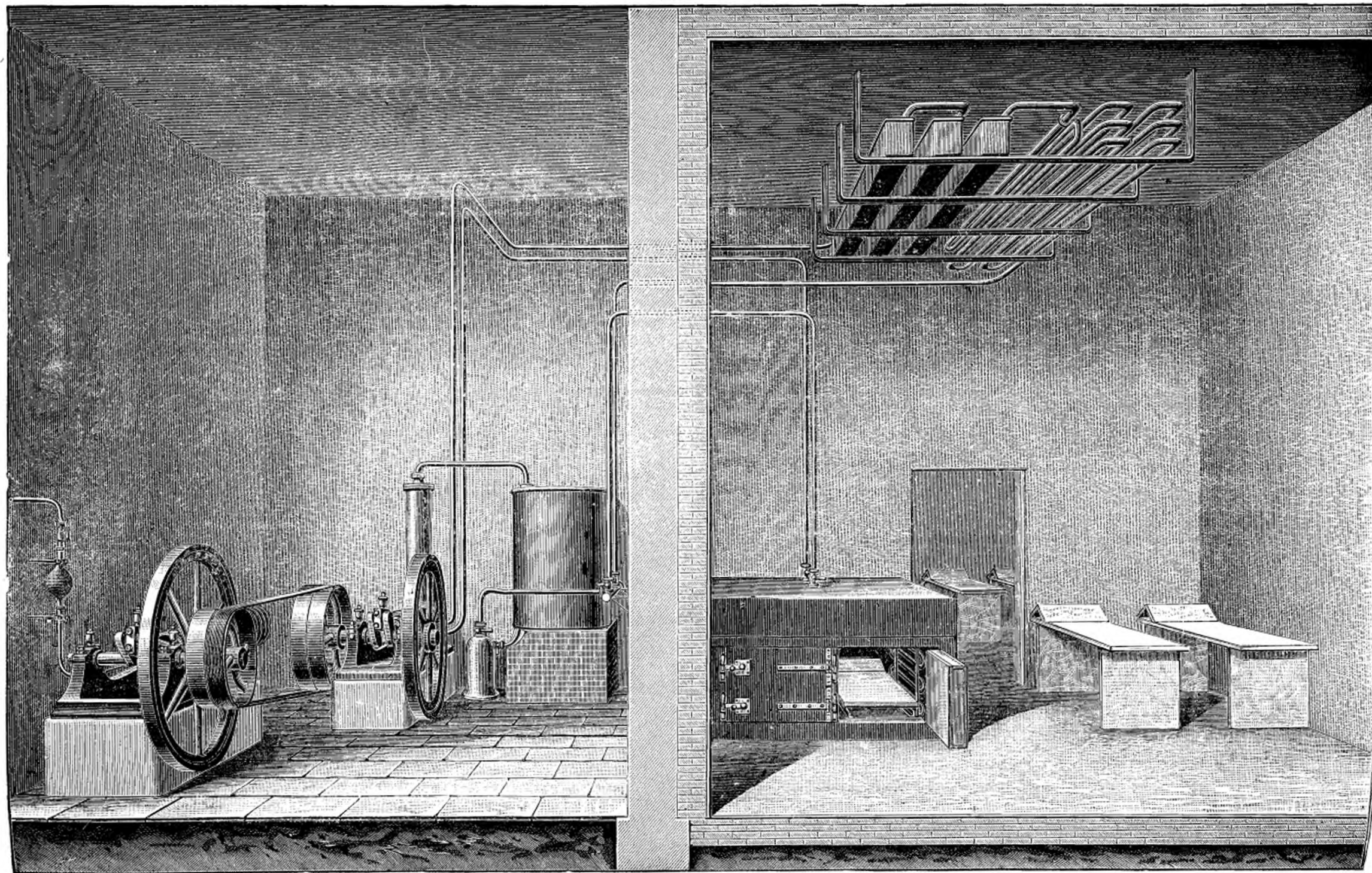


Fig. 189 — Installation frigorifique de l'appareil Cochin. Appareil à compression d'ammoniaque actionné par un moteur à gaz Lenoir.

Les formules de Pictet permettent de calculer les quantités de chaleur perdues par mètre carré et par heure pour chacune des deux surfaces, et donnent :

Pour la maçonnerie.	33 calories.	
Pour le vitrage.	49 —	
Soit : pour toute la maçonnerie.		9,075
pour tout le vitrage.		3,765
Total.		<u>12,840</u>

Cette perte peut être considérablement diminuée par une appropriation convenable de la salle ; car, en la supposant recouverte intérieurement d'un doublage de bois de sapin de 0^m,08 environ d'épaisseur et séparée de la maçonnerie par une couche d'air de quelques centimètres, la quantité de chaleur perdue se réduit à 7 900 calories.

On devait donc compter par heure d'après MM. Mignon et Rouart :

Pour la salle actuelle.	12,840 calories.
Pour la salle appropriée.	7,900 —

Il faut ensuite refroidir quatre cadavres pesant en moyenne 75 kg. de + 30° à — 15° : ce qui donne une différence de température de 45°.

On ne connaît pas la chaleur spécifique du corps humain ; mais d'après des essais personnels de MM. Mignon et Rouart sur la viande, elle pourrait être considérée comme égale à 1,3 ; ce qui pour les cadavres donnerait $300 \times 45 \times 1,3 = 19\,250$ calories, ou en nombre rond, 20 000 calories ; ce résultat devant être atteint en 10 heures, la machine devrait fournir dans ce but 2 000 calories à l'heure.

Quant aux dix cadavres entretenus à — 2°, la plupart d'entre eux auraient été refroidis préalablement ; ils consommeraient peu de chose ; MM. Mignon et Rouart supposent mille calories ; il faudrait donc ajouter 3 000 calories au nombres précédents, ce qui donne :

Pour la salle actuelle	15,840 calories.
Pour la salle appropriée.	10,900 —

C'est dans ce dernier cas qu'on devra se placer et il faudra par conséquent absorber par heure 11 000 calories environ. MM. Mignon et Rouart remarquent que si par excès de prévoyance on doublait le nombre de calories dépensées par les parois et les vitrages de la salle (7900), on arriverait, en y ajoutant les 3 000 calories absorbées par les corps,

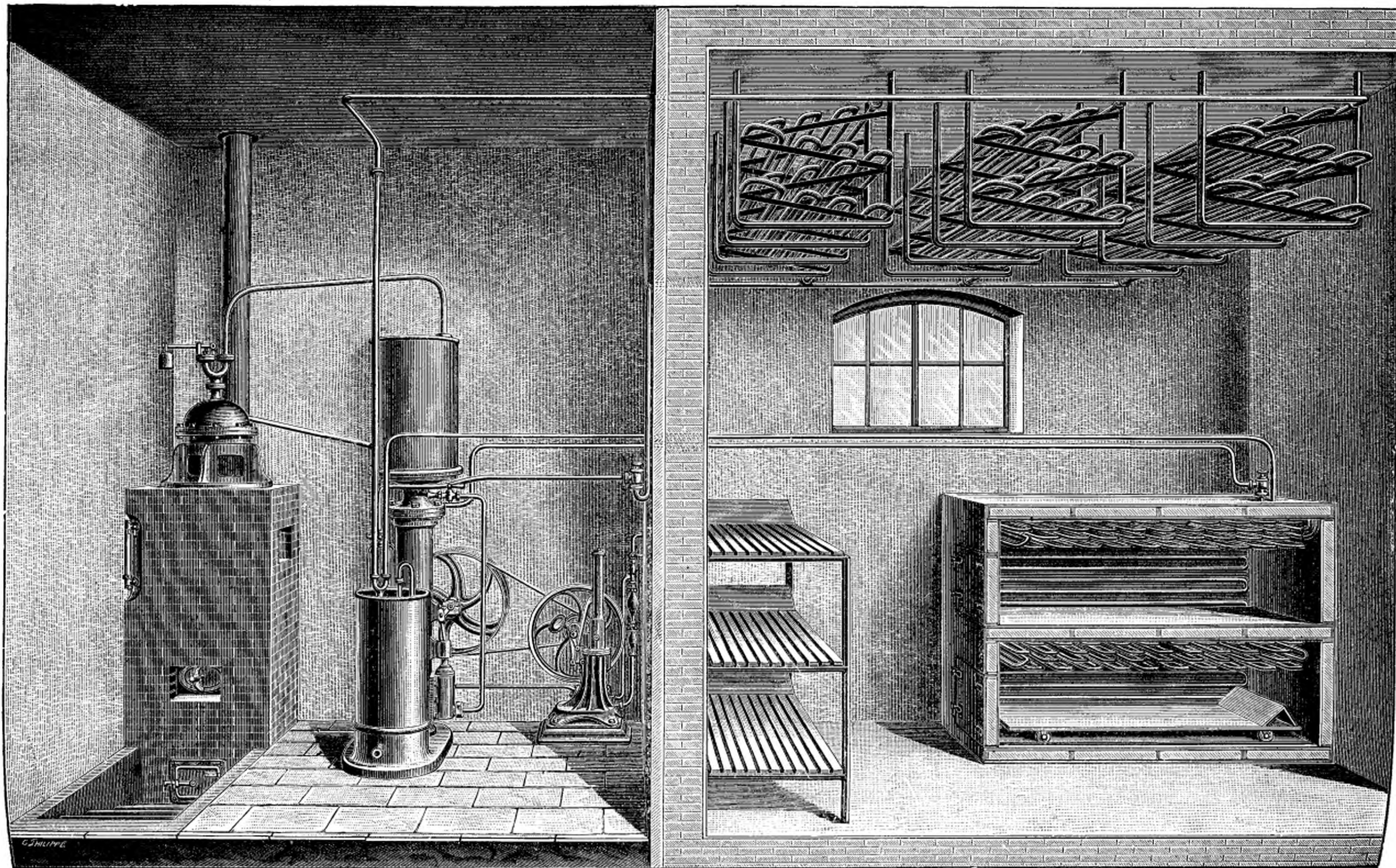


Fig. 190. — Installation frigorifique de l'hôpital militaire du Val de Grâce (Appareil à absorption Rouart, chauffé à feu nu)

au nombre de 18 800; mais que ce dernier nombre dépasse évidemment dans une proportion considérable les véritables besoins, d'autant plus que les données qui ont servi de base à l'estimation étaient déjà exagérées : la température de la salle a été supposée égale à -3° ; la différence de 40° avec la température extrême est excessive, et si elle se présente, elle n'est vraie que pour quelques heures de la journée; d'ailleurs le régime du froid une fois établi, la basse température des murs peut former compensation dans le cas des phénomènes extrêmes (on pourrait dire aussi que le coefficient 1,5 pris pour la chaleur spécifique des corps est surélevé).

MM. Mignon et Rouart estiment en conséquence que si la dépense doit être calculée au-dessous de 10 900 calories, elle ne doit guère s'éloigner de ce nombre, que dès lors on obtiendra un travail suffisant avec une machine produisant de 10 000 à 12 000 calories à l'heure, c'est-à-dire une machine de la force de celle qui est désignée commercialement sous le nom de machine à 100 kg.

Cette machine serait employée à refroidir la partie supérieure de l'air de la salle d'exposition. L'air froid plus dense descendrait tandis que l'air plus chaud remonterait et de là une circulation qui rendrait la température uniforme, le refroidissement de l'air s'obtiendra au moyen d'une pluie d'une solution de chlorure de calcium froid tombant sur une toiture, et de là dans des rigoles qui la ramèneront au réfrigérant. Les légères condensations qui pourraient se produire sous la toiture seront également recueillies. C'est une réfrigération de l'air par injection de pluie d'un liquide refroidi réalisant le contact intime des deux corps. On a l'expérience de ce système de refroidissement à la Manufacture royale de bougies d'Amsterdam. Mais la disposition projetée ici évite une circulation défavorable de l'air par une ventilation artificielle.

Le refroidissement des quatre cadavres à -15° aura lieu dans une caisse composée de quatre compartiments isolés les uns des autres, ouvert seulement à l'extrémité antérieure; chacune de ces alvéoles sera refroidie par un serpentin d'une surface convenable dans lequel circulera la solution froide de chlorure de calcium, au sortir de la machine, avant d'être portée au-dessus de la toiture. L'ouverture de chaque alvéole sera fermée par une porte qui, en s'ouvrant, formera un plan incliné, destiné à faciliter l'entrée des cadavres.

D'autres dispositions accessoires qu'il serait trop long de décrire rendront encore plus facile cette manœuvre.

Enfin, une caisse, divisée en cinq parties, par des serpentins verticaux formant cloison, servira à maintenir dix cadavres à -2° . Dans ces serpentins circulera, sous son propre poids, le chlorure de calcium descendant de la toiture. En résumé, le liquide incongelable se rendra d'abord, sous l'action d'une pompe, dans les compartiments à -15° ; de là, il montera pour se répandre sur la toiture; il descendra sous son propre poids dans les serpentins des compartiments à -2° et retournera à la machine restituer la chaleur qu'il aura gagnée dans sa course. Ce travail sera effectué par une machine de la force d'un cheval. La dépense de l'installation des appareils qui viennent d'être décrits est établie comme il suit :

Appareil de 10, 000 à 12, 000 calories négatives à l'heure avec son ammoniaque, son liquide incongelable et sa chaudière de chauffage, le tout mis en place	19.000 »
Machine motrice à gaz ou eau, de la force d'un cheval	1.800 »
Pompe de circulation du liquide incongelable et sa transmission.	2.000 »
Tuyauterie pour la pluie froide.	2.000 »
Toit artificiel pour recevoir la pluie froide, gouttière pour la recueillir	3.000 »
Enveloppe et planches en bois.	7.500 »
Vitrage, armature et vitrerie	2.500 »
Peinture	600 »
Tambour de la porte d'entrée	600 »
Caisse pour quatre cadavres refroidis à 15°	3 000 »
— pour dix — — à 2°	3.000 »
	<hr/>
	44.400 »

La dépense prévue était :

Charbon pour l'appareil frigorifique pour 24 heures	7 50
Gaz pour forces motrices	6 50
Ammoniaque, huile, chiffons, etc.	3 »
	<hr/>
	15 »

Les données fournies par les constructeurs, et les résultats observés par la Commission, peuvent être réunis comme le montre le tableau ci-après :

	Température observée	Force motrice en chevaux	Poids de glace par kilogr. de charbon	Force de la machine en glace	Prix total de l'installation
Mignon et Rouart.	— 15° à 18°	1	10 à 14	100	44.440 »
Pictet	— 11°	6	10 à 11	50	52.700 »
Tellier	»	6	3 à 4	60?	62.053 75 (imprévu 3.000)
Giffard et Berger..	— 9° à 13,5	9 à 10	2 1/2	50	60.000 »

Les températures de marche normale de ces machines sont :

Mignon et Rouart.	— 15° à — 18°
Pictet	— 11°
Giffard et Berger	— 9° à — 13°, 5

La Commission pensa qu'une machine produisant 50 kg. de glace par heure n'est pas suffisante pour le service frigorifique de la Morgue et qu'il fallait employer au moins une machine de 100 kg. pour obtenir le froid nécessaire aux différentes applications qui y seront installées. En ramenant à cette base les nombres inscrits dans le tableau précédent, on obtenait pour la force motrice à employer :

Mignon et Rouart.	1 cheval
Tellier.	10 chevaux
Pictet.	12 —
Giffard et Berger	18 à 20

Bien que ces chiffres soient tous un peu trop élevés, la Commission décida que, en résumé, l'appareil Carré, construit par MM. Mignon et Rouart, n'exigeait qu'une force motrice très faible; il tenait peu de place; sa marche était complètement silencieuse; il fonctionnait à une température plus basse que les autres machines, et son rendement était supérieur. La dépense d'entretien ne dépassait pas celle des autres machines à glace. Il avait pour lui la sanction d'une pratique déjà ancienne. Le projet qui l'utilisait était le plus économique et ne changea pas d'une manière notable l'aménagement intérieur de la Morgue.

La machine Carré fut donc adoptée, la figure ci-jointe montre les dispositions de la Morgue de Paris qui fut établie dans ces conditions.

La même machine a été employée à l'hôpital militaire du Val-de-Grâce.

Cette installation comprend un appareil du système dit à absorption,

chauffé à feu nu, dont la pompe à ammoniacque est actionnée par un petit moteur à gaz Bisschop.

Le refroidissement est obtenu dans la chambre de conservation et dans l'alvéole de congélation par la détente directe du gaz liquéfié. Des robinets, convenablement disposés, permettent de refroidir la salle et l'alvéole, ensemble ou séparément.

La salle cubant environ 44 mètres cubes, contient en moyenne 20 cadavres. Une marche de 10 à 12 heures par jour suffit pour la maintenir à la température de -5° (température plus que suffisante pour la conservation).

L'alvéole maintenue à la température de -20° , contient deux cadavres dont la congélation à cœur à -2° est obtenue en 12 à 14 heures.

Enfin, citons à l'étranger l'installation frigorifique du Middlesex Hospital de Londres. Elle consiste en machines à glace à ammoniac, à absorption, construites par MM. Randsome and Rapier; ces machines servent à la fabrication de la glace à l'aide d'eau distillée, à l'installation de chambres froides pour la conservation des produits alimentaires, au fonctionnement d'une morgue, et d'une chambre froide pour la conservation des spécimens pathologiques.

Le système employé a le très grand avantage, étant donnée son absence de moteurs, pompes à compression, etc., d'éviter tout bruit et toutes vibrations, qualité essentielle dans un hôpital.

De plus, cela permet de placer l'installation frigorifique dans un coin quelconque des bâtiments du Middlesex Hospital; les frigorifères se trouvent au rez-de-chaussée d'un des principaux bâtiments.

La machine réfrigérante est formée entièrement de tubes droits, de mêmes dimensions, disposition analogue à celle des machines marines pour la réfrigération des provisions, etc.

A l'hôpital de Middlesex, l'emploi constant de la réfrigération est indispensable, en particulier pour la conservation des cadavres et l'installation des diverses chambres froides.

L'isolement de ces chambres est parfait. En plus du « slagwool » qui les entoure complètement et dont l'espace compris entre les deux parties de la double cloison est plein, on a tapissé la surface intérieure d'une couche de liège de près de 4 cm.

Le sol est asphalté et l'ensemble est maintenu dans un état de propreté parfaite au moyen de lavages fréquents.

Toutes les précautions nécessaires sont prises pour éviter le développement de bactéries ou de germes malfaisants quelconques.

Les chambres à provision sont refroidies à l'aide de tuyaux qui sillonnent les murs en tous sens.

La morgue et les salles d'études pathologiques qui sont situées fort loin de la machine centrale sont refroidies à l'aide de tuyaux en fer galvanisé.

Il suffit de faire fonctionner la machine pendant quelques heures par jour pour que la température se maintienne à -6° , au moins à cette époque de l'année sinon durant les chaleurs de l'été.

Tous les tuyaux sont protégés par une couche de liège recouvert de ~~toile vernie à l'aide d'un enduit spécial.~~

~~La machine à glace~~ peut en donner une tonne par jour.

L'eau distillée que l'on emploie à cet effet est obtenue par condensation et refroidissement de la vapeur en prenant soin d'éviter toute contamination.

Pour remplir les mouleaux on emploie un appareil automatique qui évite toute perte possible de l'eau distillée.

L'eau distillée qui permet très facilement la fabrication de glace non seulement pure, mais aussi transparente est encore aidée dans ce dernier résultat par l'emploi d'agitateurs mécaniques.

Enfin, la question financière a été réglée aussi à la plus grande satisfaction de l'administration, puisque la glace obtenue ne coûte que $\frac{1}{3}$ du prix de celle que l'on employait auparavant.

L'appareil étant d'une très grande simplicité, peut être surveillé par n'importe qui, sans qu'aucunes connaissances spéciales lui soient nécessaires.

2° Skatings.

Signalons encore comme autre application des machines frigorifiques la préparation des Skatings du Palais de Glace, c'est-à-dire la congélation de l'eau en couche mince. Tel est, par exemple, le Palais de Glace des Champs-Élysées qui fonctionne au moyen de deux appareils Fixary.

3° Fonçage des puits.

Enfin, depuis quelques années, les Ingénieurs des Mines ont reconnu

les avantages et l'économie du fonçage des puits en terrains bouillants et aquifères par le procédé de congélation, système Poetsch.

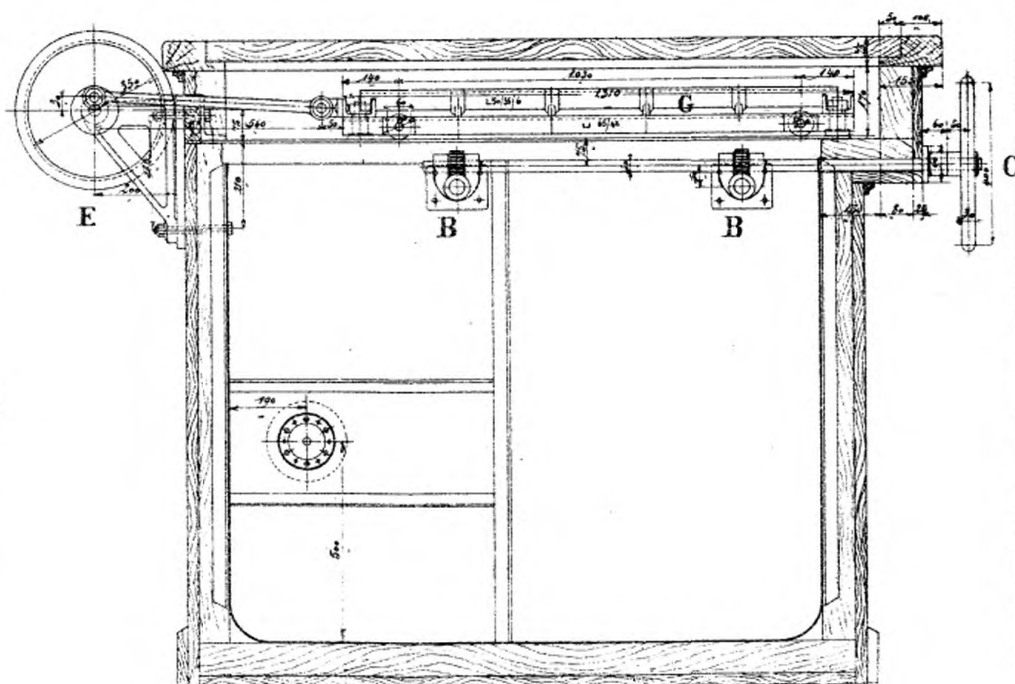
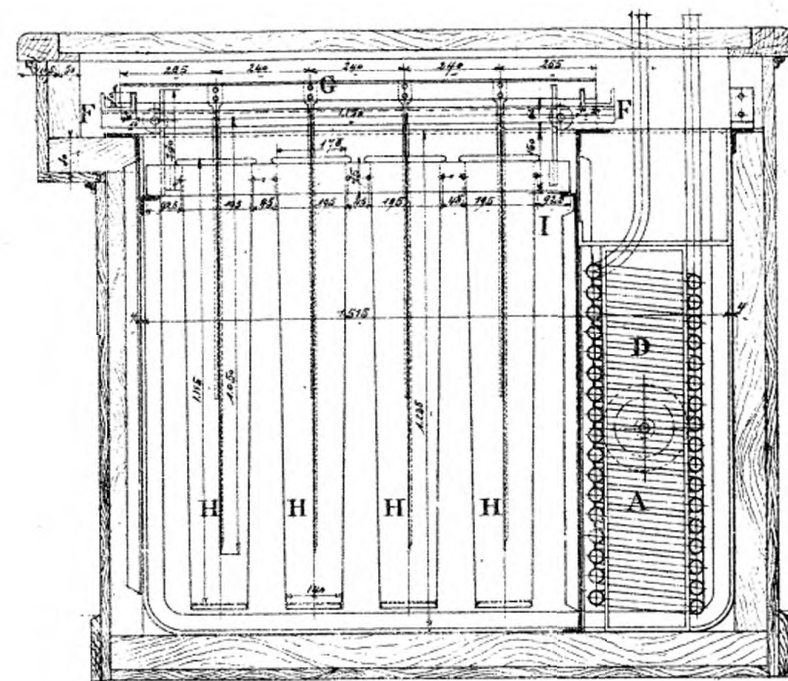
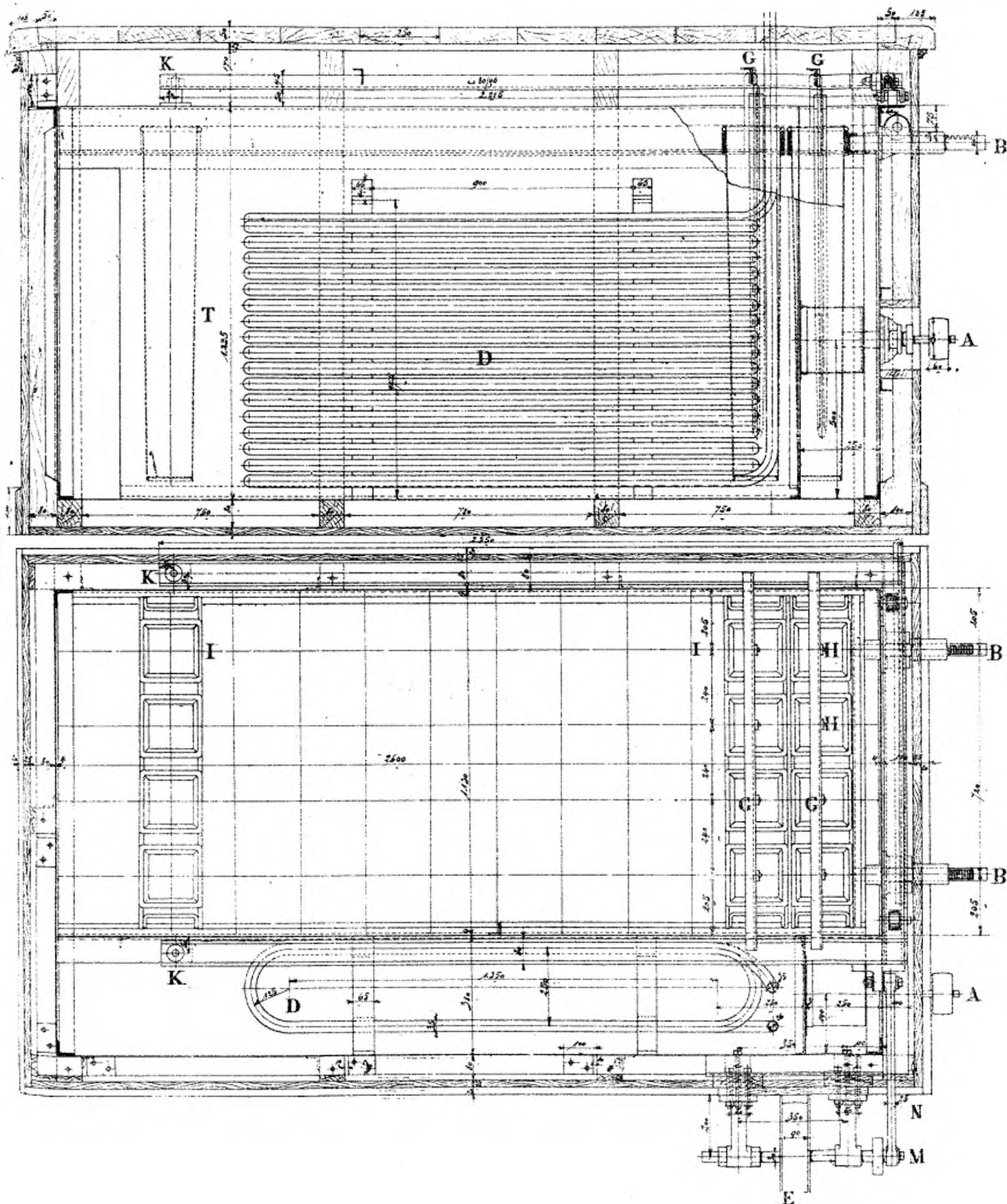
On a fait de ce procédé une étude toute spéciale et les Compagnies minières, les Ponts et Chaussées, etc., peuvent employer pour toutes entreprises de fonçage, barrage, muraille de glace, des appareils frigorifiques complets spécialement appropriés à ce genre de travail.

Signalons en particulier le premier fonçage exécuté aux mines de Dourges avec une machine Fixary de 120 000 frigories à l'heure; la congélation du puits a été opérée au moyen de 25 tubes de 60 m de longueur; nous donnons, au sujet de ce travail, un extrait d'une note de la Compagnie des mines de Dourges.

« La mise en marche de notre machine Fixary a eu lieu le 28 janvier 1892, et, le 27 mars de la même année, soit après deux mois seulement de travail continu, les terrains étaient complètement congelés et le creusement intérieur du puits fut commencé ».

« Ce creusement fut effectué dans d'excellentes conditions sans aucun arrêt de la machine, et le 16 juillet, on était arrivé à la profondeur de 62^m,50 au-dessous du sol et on avait dépassé le niveau des fortes venues d'eau ».

Plan d'un generateur de glace (50 kilogrammes à l'heure) avec appareil d'agitation
(Escher Wyss, de Zurich)



A Agitateur d'eau salée à hélice;
B Crémaillères de l'appareil d'avancement des séries de mouleaux;
C Roue de commande dudit appareil;
D Serpentin où se détend l'acide carbonique;

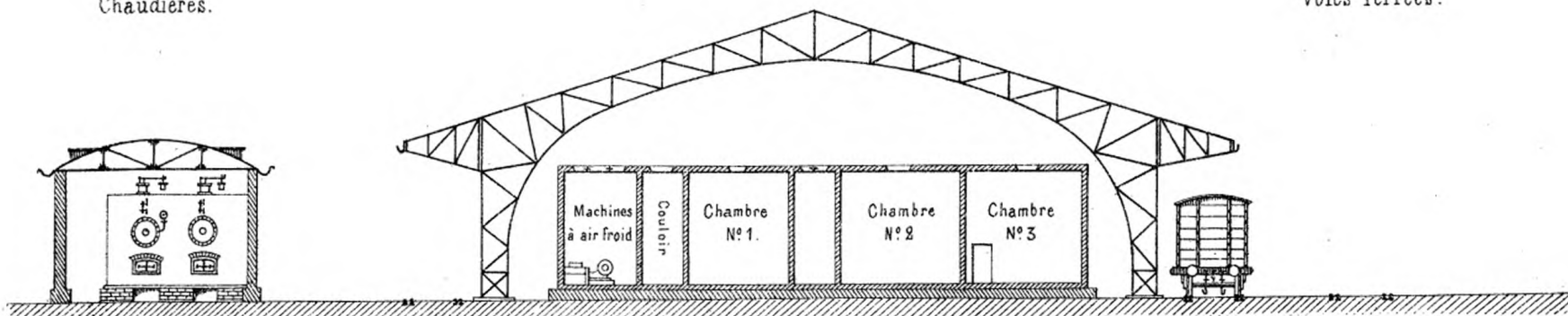
E Commande de l'appareil d'agitation de l'eau dans les mouleaux;
F Traverse dudit appareil actionnant les séries d'agitateurs G;
H Agitateur de l'eau proprement dit;

I Mouleau à glace;
K Pivot.

Dépôt frigorifique sous hangar.

Chaudières.

Voies ferrées.



Les chaudières se placent loin ou près des machines à air froid, lorsqu'on doit utiliser des bâtiments déjà construits ; il sera prudent d'éloigner les chaudières de l'ensemble des magasins.

Lambert. — *Note sur le ravitaillement des places fortes et l'approvisionnement des armées en campagne*

*Installation frigorifique des Abattoirs
de la ville de Bâle
exécutée par MM. Escher Wyss et C^{ie}, de Zurich.*

ÉLEVATION

V Chemin de roulement pour les transports de viande.

A Salle des chaudières.

B Salles des machines.

C Accessoires de boucherie.

D Halle frigorifique.

d Une des cases de ladite halle.

E Avant cave.

F Premier étage.

G Rez-de-Chaussée.

A Chaudières.

B Appareils d'alimentation et de

dépuration.

C Économiser "Green".

D Cheminées.

E Machine à vapeur. Tandem.

F Double compresseur.

G Machine à vapeur de réserve.

H Condenseur d'acide carbonique.

I Condenseur complémentaire

(nachkühler).

J Évaporateur d'acide carbonique

et d'air combiné. Réfrigérant.

K Ventilateur.

L Gaine de refoulement d'air froid

M Gaine d'aspiration d'air froid.

N Réchauffeur d'air pour l'hiver.

O Puits et pompe.

P Pompe.

Q Réchauffeur d'eau.

R Réservoir d'eau froide.

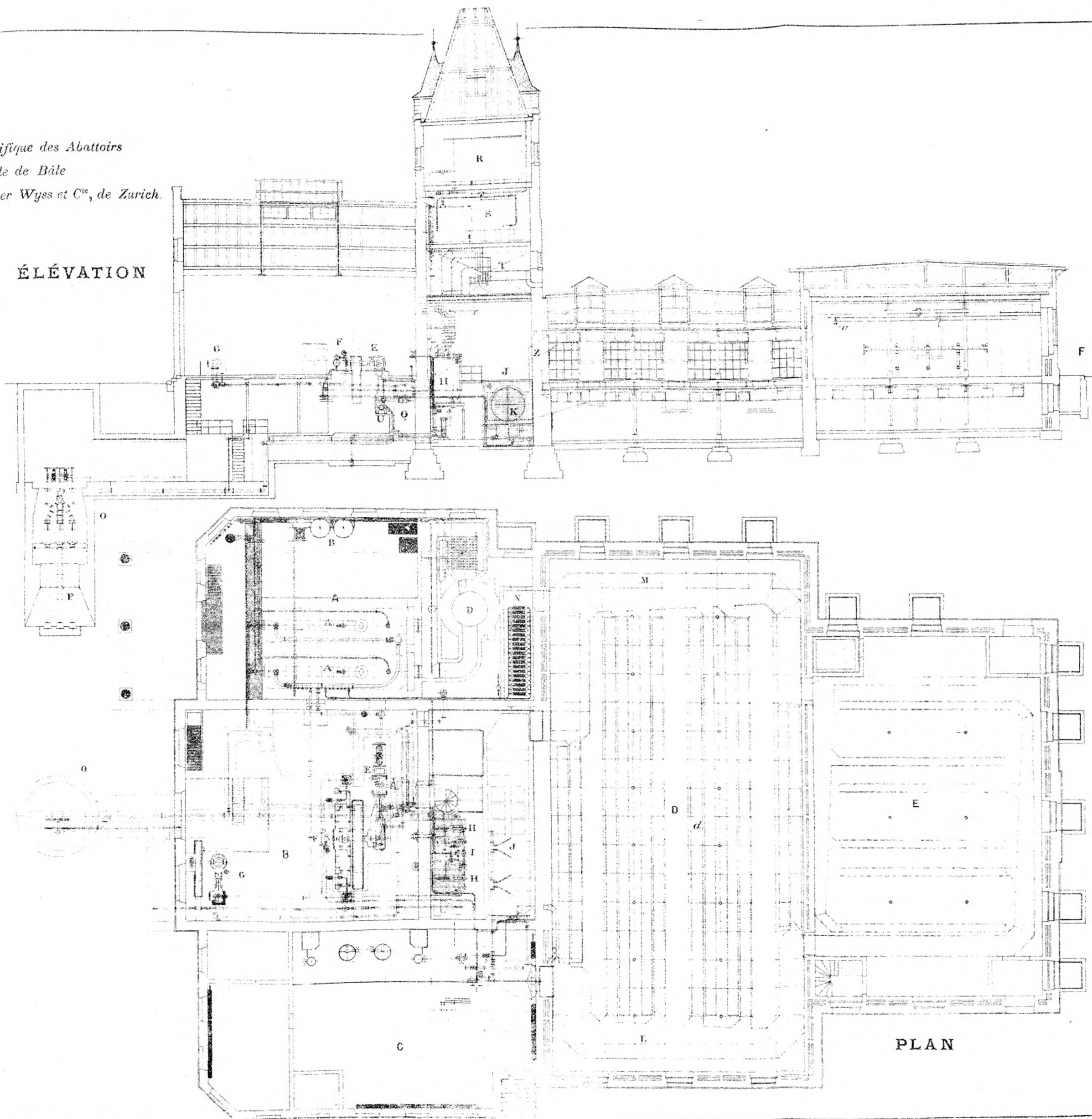
S Réservoir d'eau chaude.

T Échangeur de température pour

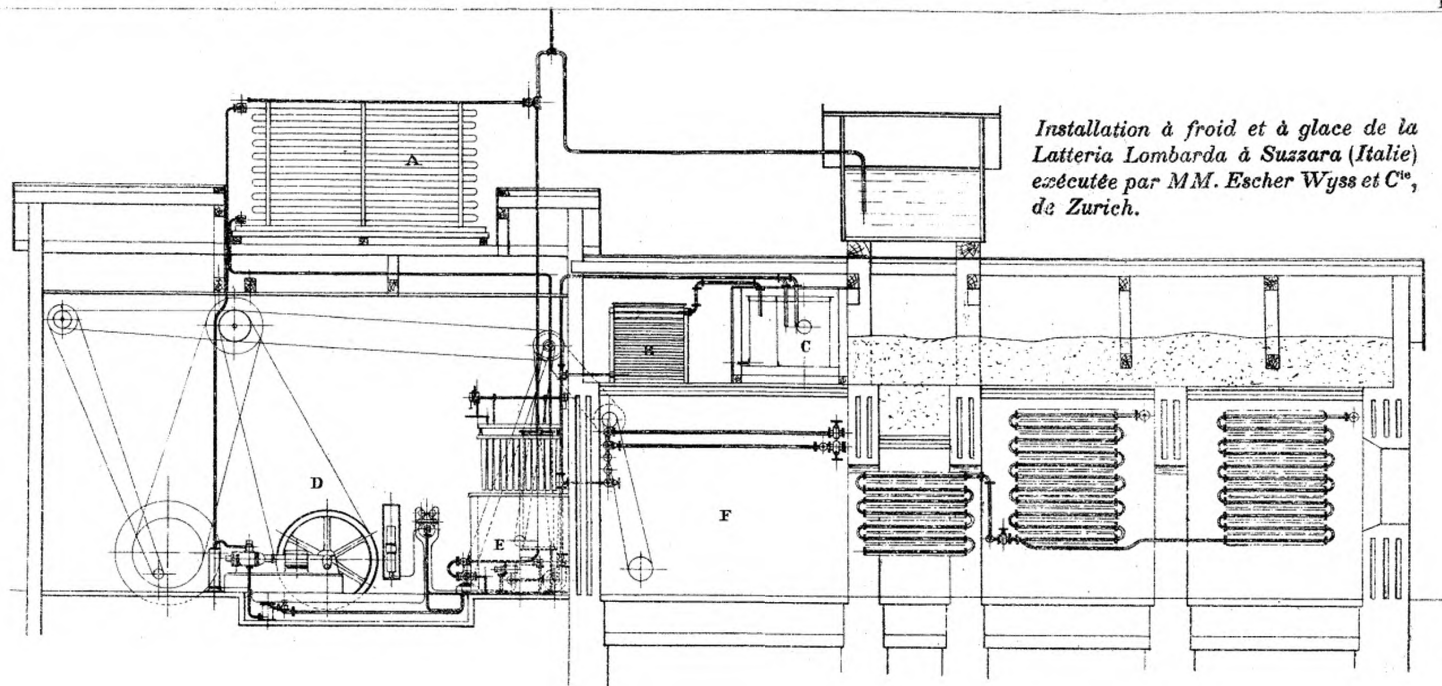
l'air.

U Condenseur de la machine à

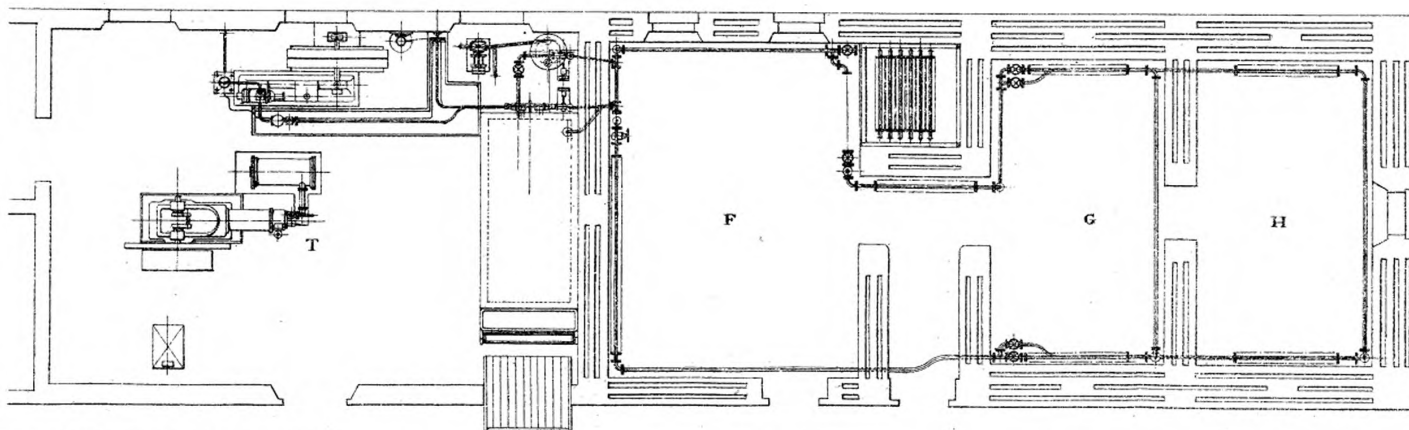
vaper.

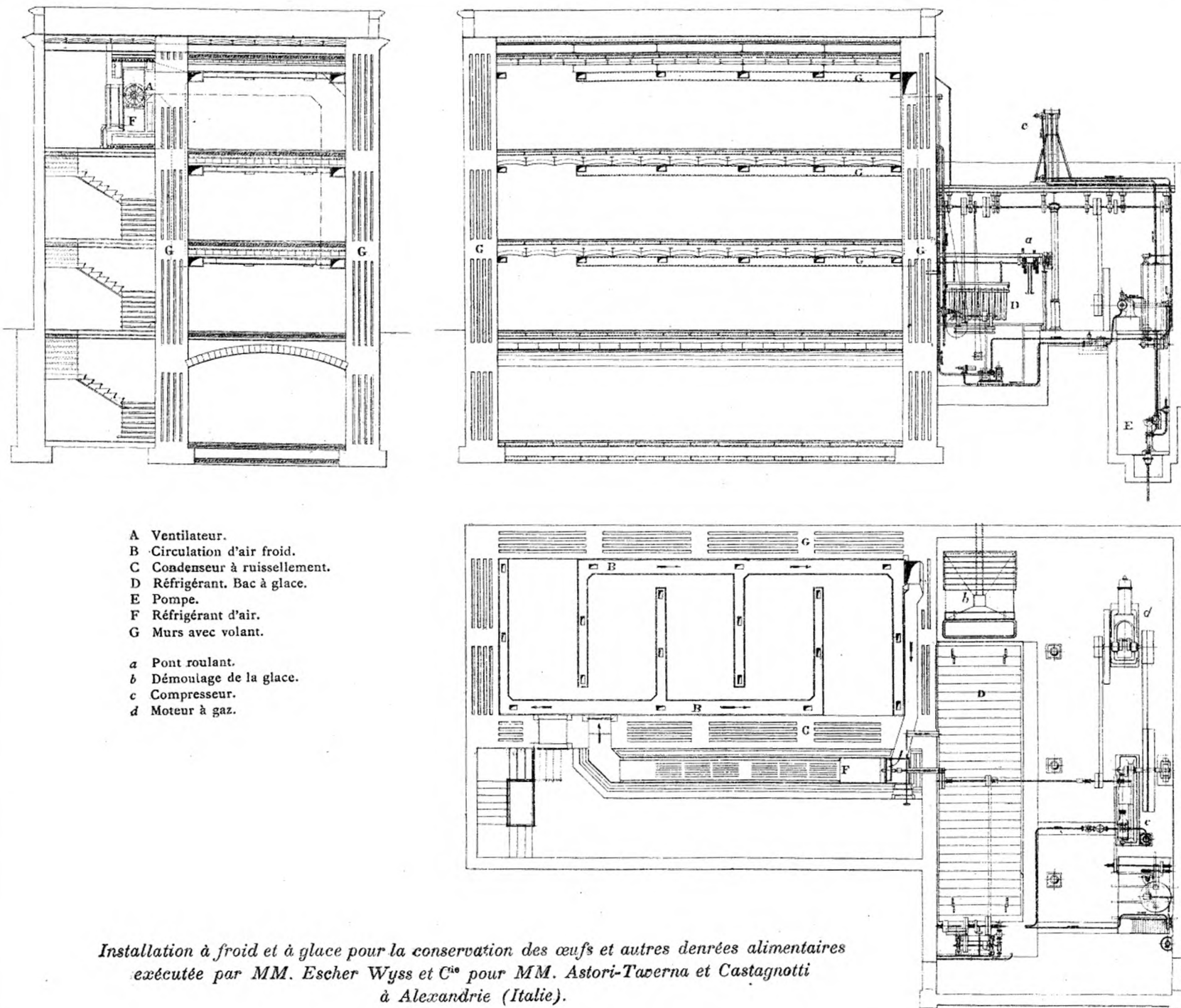


PLAN



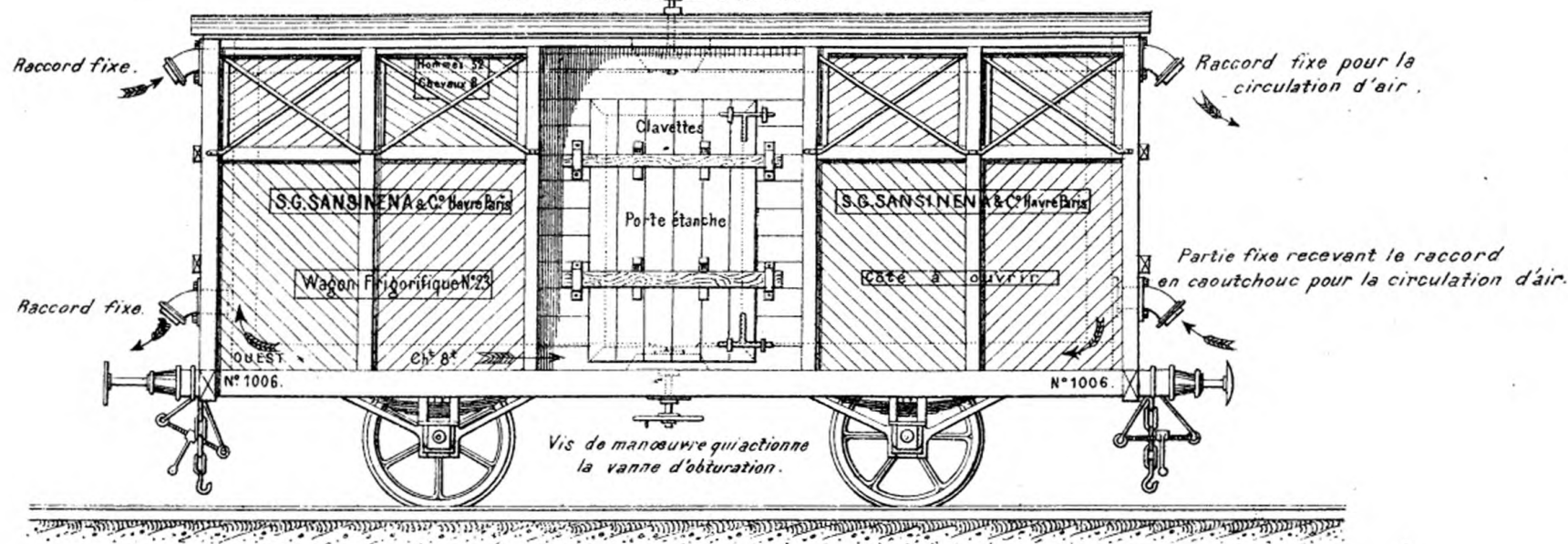
*Installation à froid et à glace de la
Latteria Lombarda à Suzzara (Italie)
exécutée par MM. Escher Wyss et C^{ie},
de Zurich.*





On suppose la porte glissante du wagon, enlevée pour indiquer le mode de fermeture étanche.

Vanne du Conduit d'air froid.



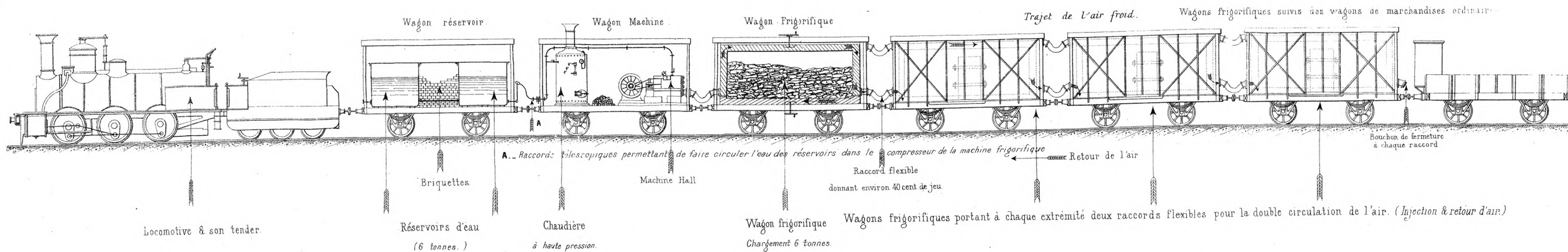
Wagon avec installation complète affecté à la composition des trains frigorifiques destinés au ravitaillement des Armées en Campagne.

Lambert. — Note sur le ravitaillement des places fortes et l'approvisionnement des armées en campagne

LE TRAIN FRIGORIFIQUE

Pl.VII

CIRCULATION DE L'AIR INJECTÉ DANS LES WAGONS, LE TRAIN ÉTANT EN ACTION OU EN MARCHÉ



Chaque wagon peut recevoir isolément l'injection d'air froid, quelle que soit sa place dans le convoi.

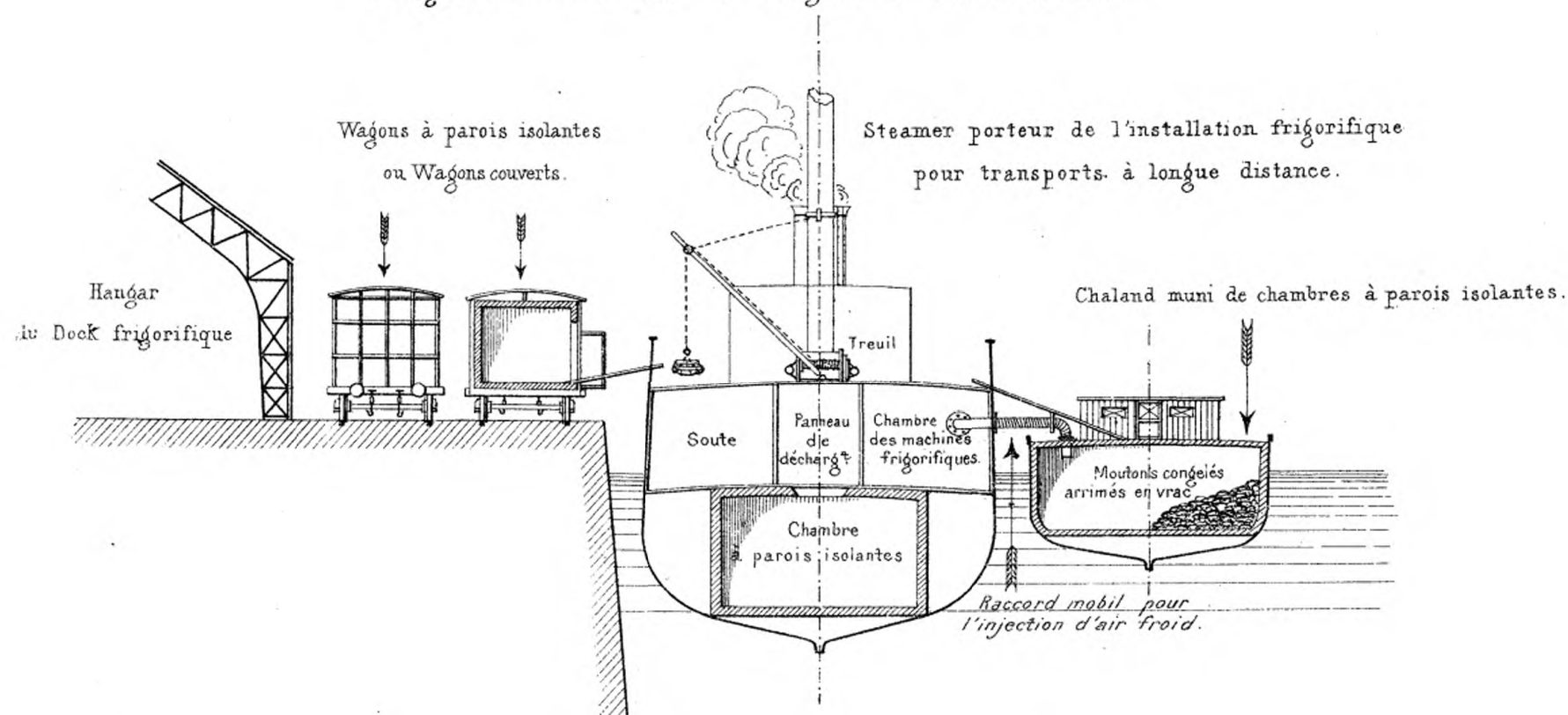
L'injection d'air froid s'exécute à la partie supérieure du wagon parce que cette paroi est la plus exposée à l'action du calorique extérieur. — Le retour prend son origine en bas de chaque wagon.

Les carneaux de circulation d'air sont ménagés dans l'épaisseur des parois isolantes. — Deux vannes permettent d'isoler ou de raccorder chaque wagon à la circulation d'air.

SYSTÈME PROPOSÉ PAR M. B. DURAND, MAISON S. & G. SANSINENA & C^E, PARIS.

Lambert. — Note sur le ravitaillement des places fortes et l'approvisionnement des armées en campagne

Chargement simultané en wagons et sur chalands.

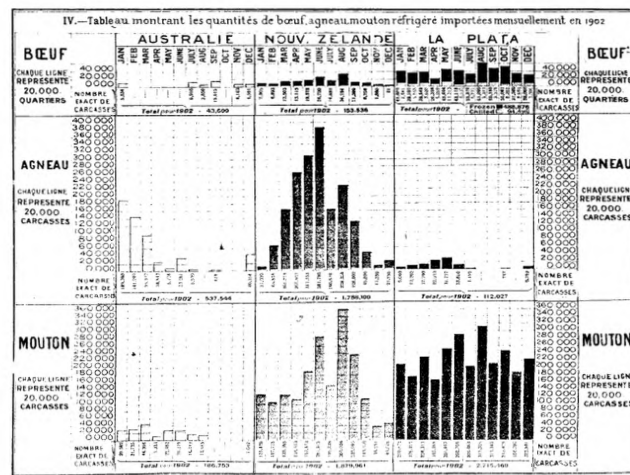
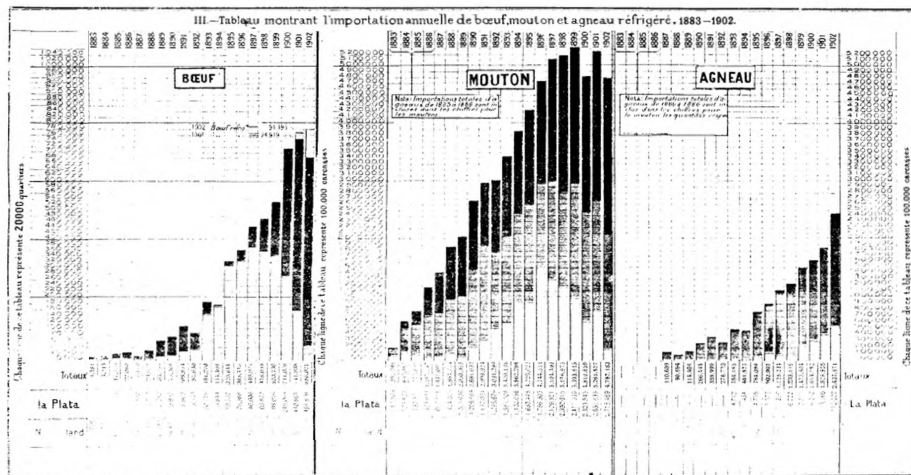
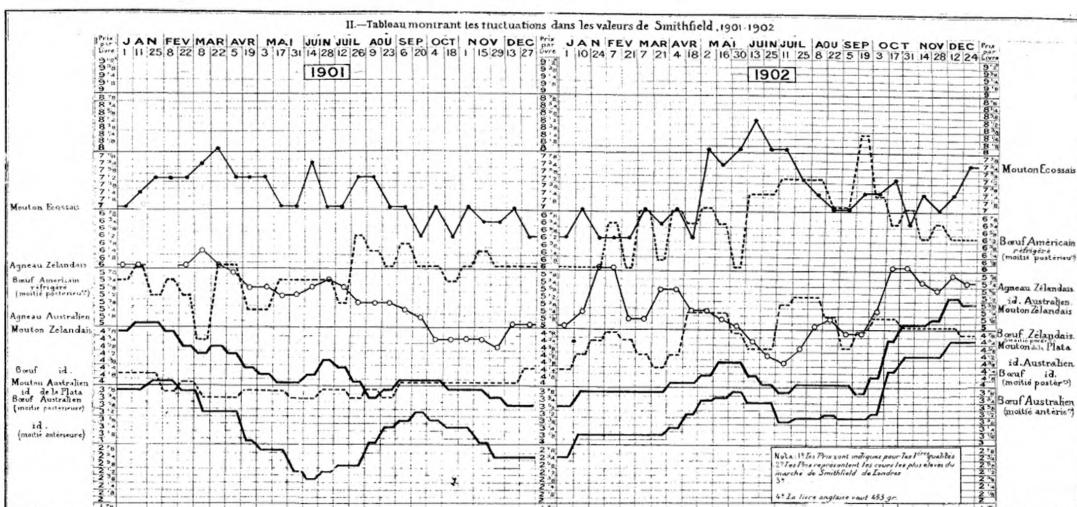


*Injection d'air froid dans les chambres du chaland
avant le transport.*

Lambert. — *Note sur le ravitaillement des places fortes et l'approvisionnement des armées en campagne*

Pl. IX

l'abbé par W. WEDDEL & Co, 16, St. Helen's Place, London, E. C., comme supplément au n° 1 de la *Revue du Commerce de la Viande réfrigérée pour 1902* (15^e année).



ENTERED AT 37,110/FHS' HALL.

NOTE.—Throughout these Tables Australian prices and quantities are shown in

New Zealand in *RED*, and River Plate in *BLACK*

DUNN, COLLIN A CO., E.C.

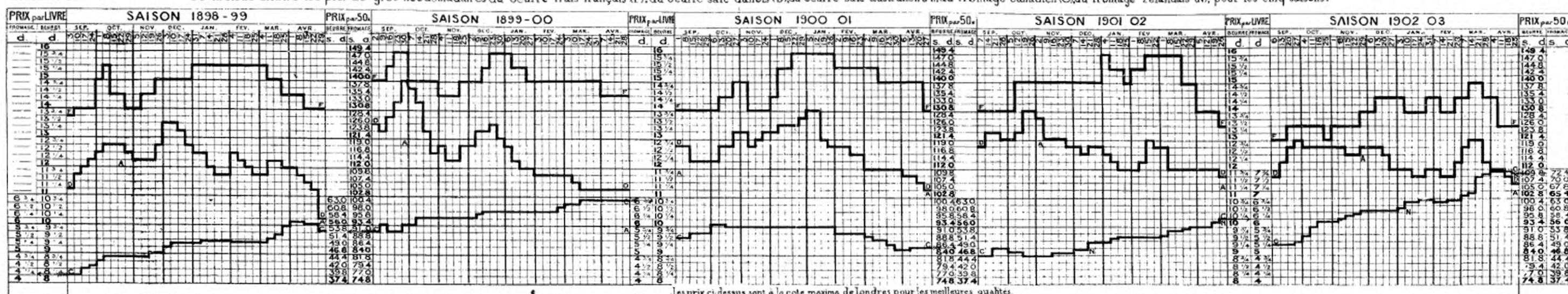
IMPORTATION DANS LA MÉTROPOLE DES PRODUITS COLONIAUX DE BEURRERIE & DE LAITERIE

Année finissant au 30 juin 1903

Publié par W. WEDDEL et C^e, 16, St. Helen's Place, London, E. C.

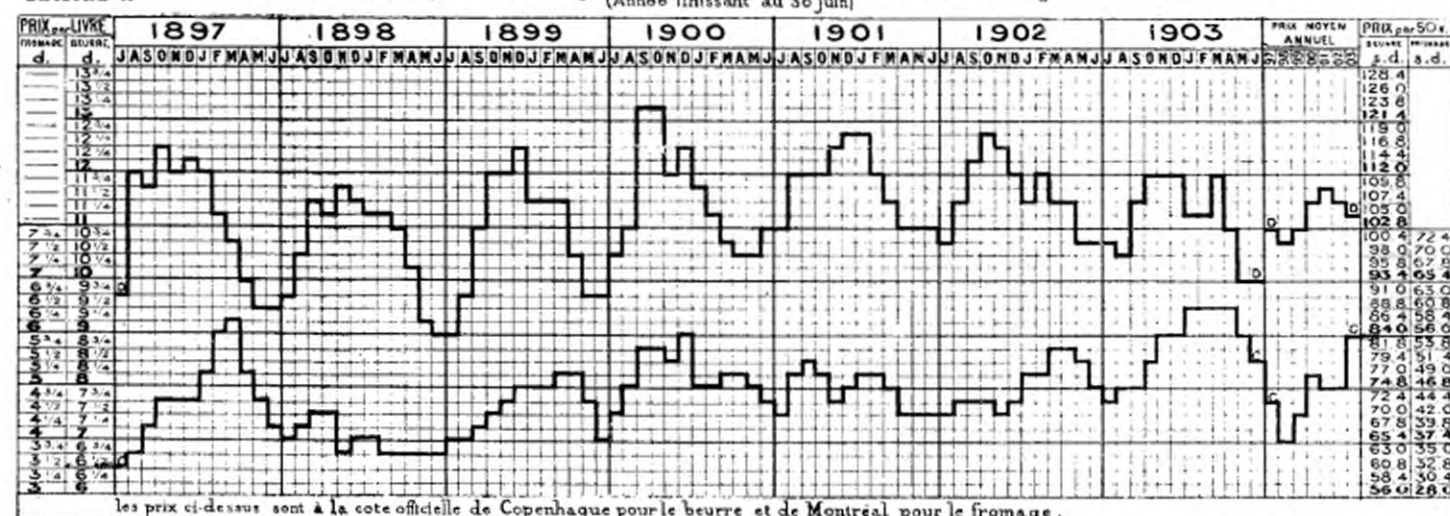
Pl. X

Tableau I. Ce tableau montre les prix de gros hebdomadaires du beurre frais français (F), du beurre salé danois (D), du beurre salé australien (A), du fromage canadien (C), du fromage zélandais (N), pour les cinq saisons.



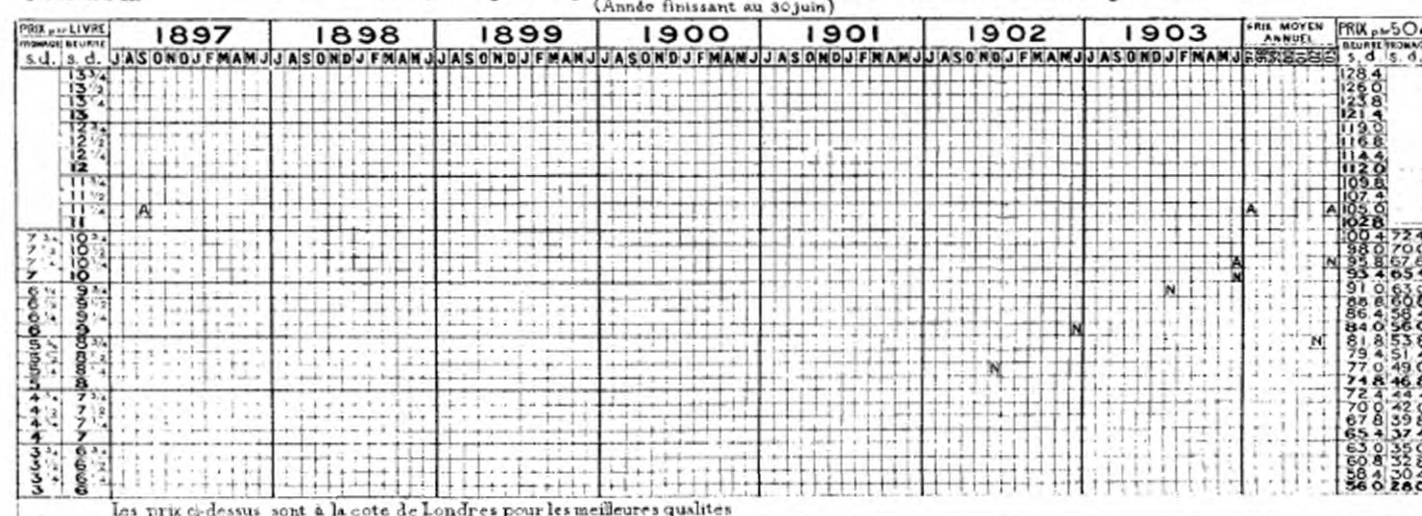
Les prix ci-dessus sont à la cote maxima de Londres pour les meilleures qualités.

Tableau II. Ce tableau montre les prix moyens de gros mensuels du beurre danois (D) et du fromage canadien (C) (Année finissant au 30 juin).



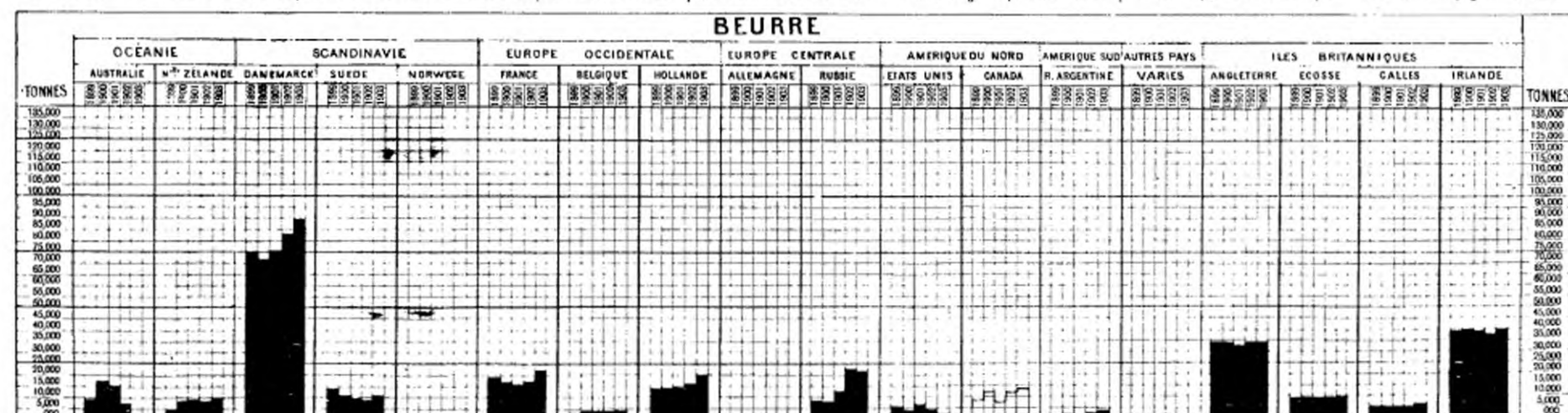
Les prix ci-dessus sont à la cote officielle de Copenhague pour le beurre et de Montréal pour le fromage.

Tableau III. Ce tableau montre les prix moyens de gros mensuels et annuels du beurre australien (A) et du fromage de la Nouvelle Zélande (N) (Année finissant au 30 juin).

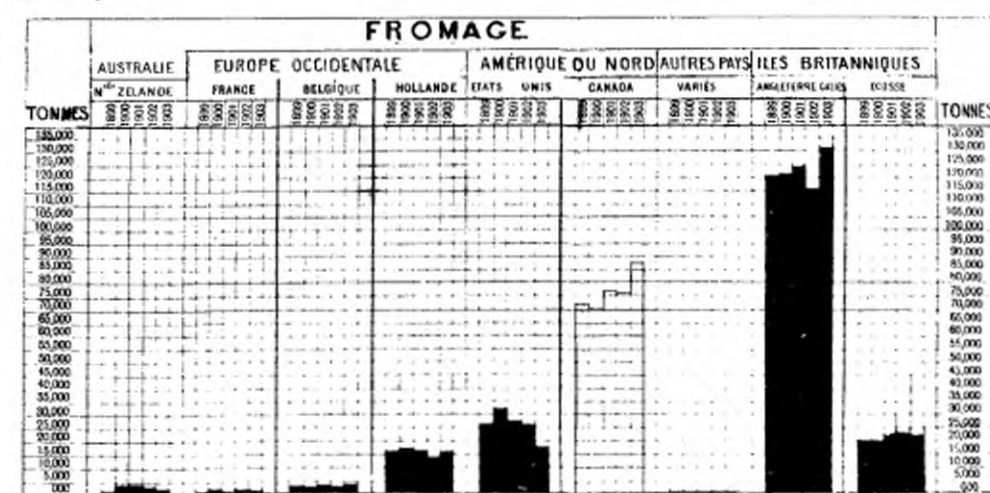


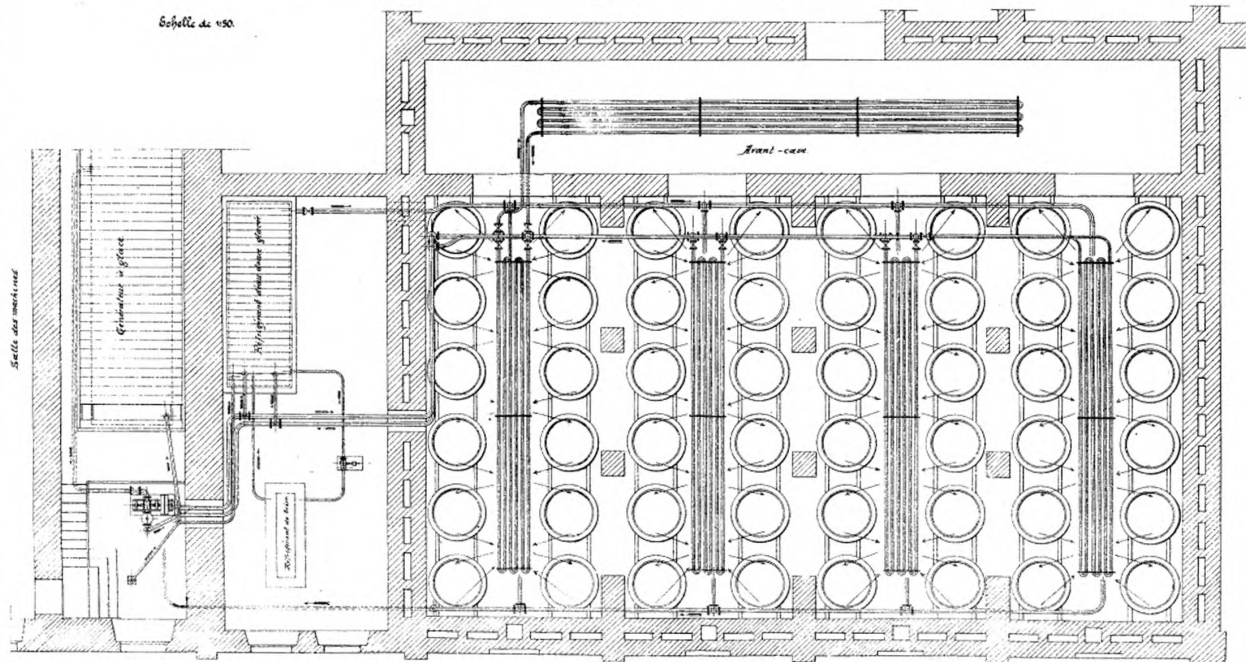
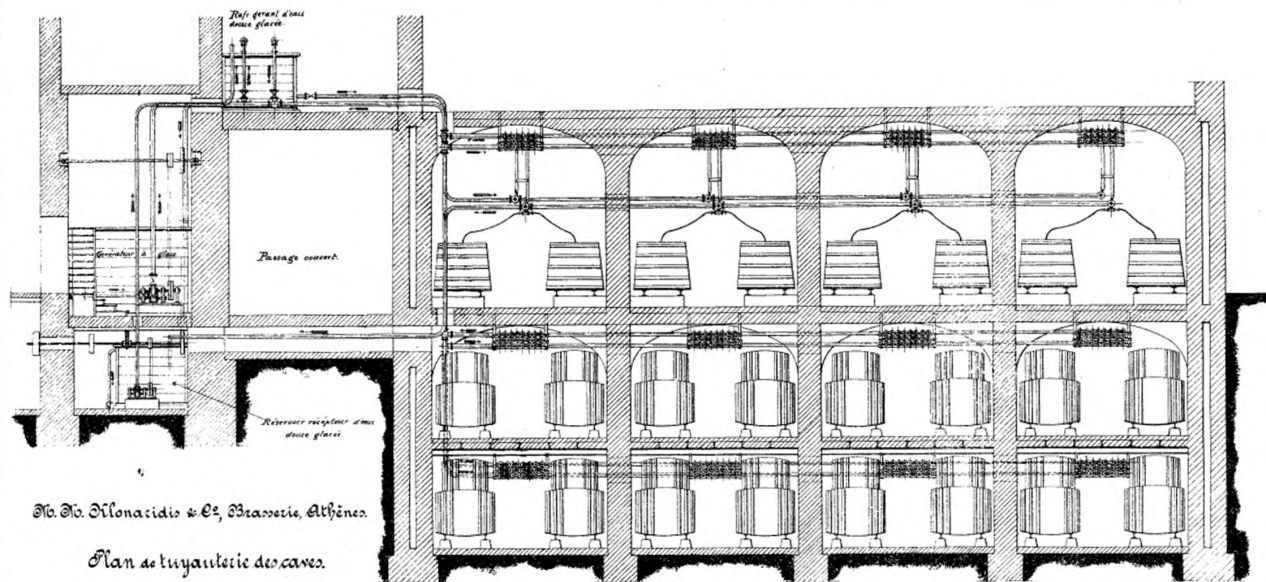
Les prix ci-dessus sont à la cote de Londres pour les meilleures qualités.

Tableau IV. Ces tableaux indiquent pour les 5 dernières années les provenances et les quantités exactes de beurre et fromage importées et les quantités approximatives produites dans le pays. (Année finissant au 30 juin)



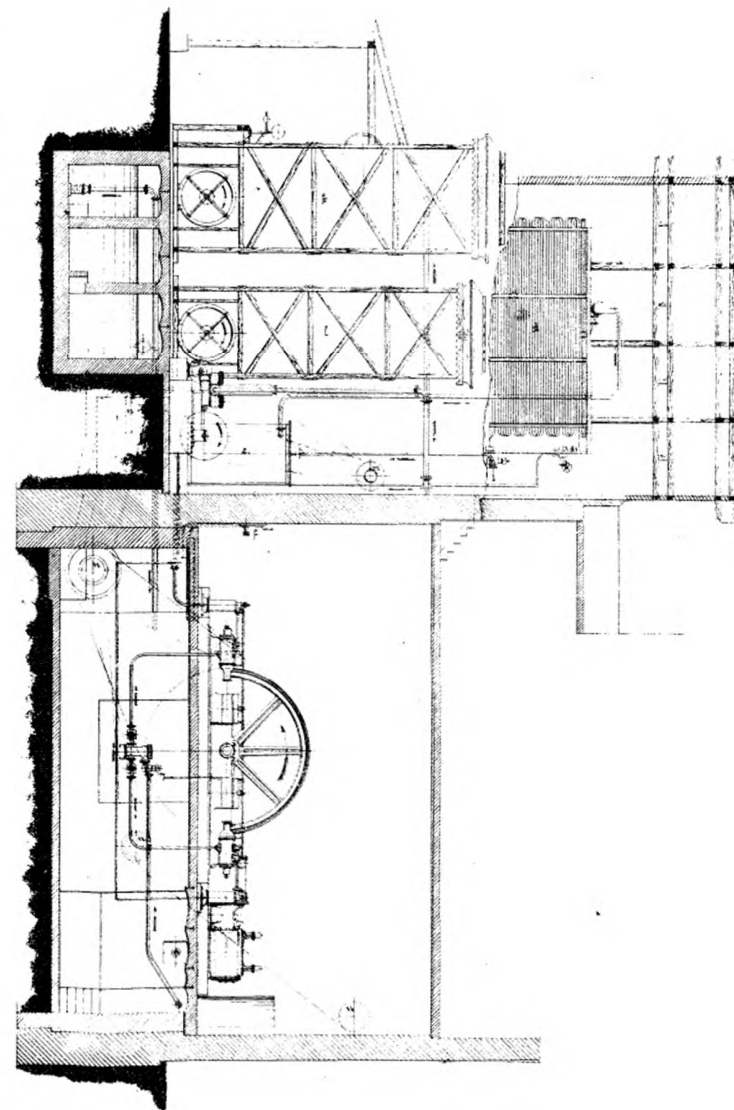
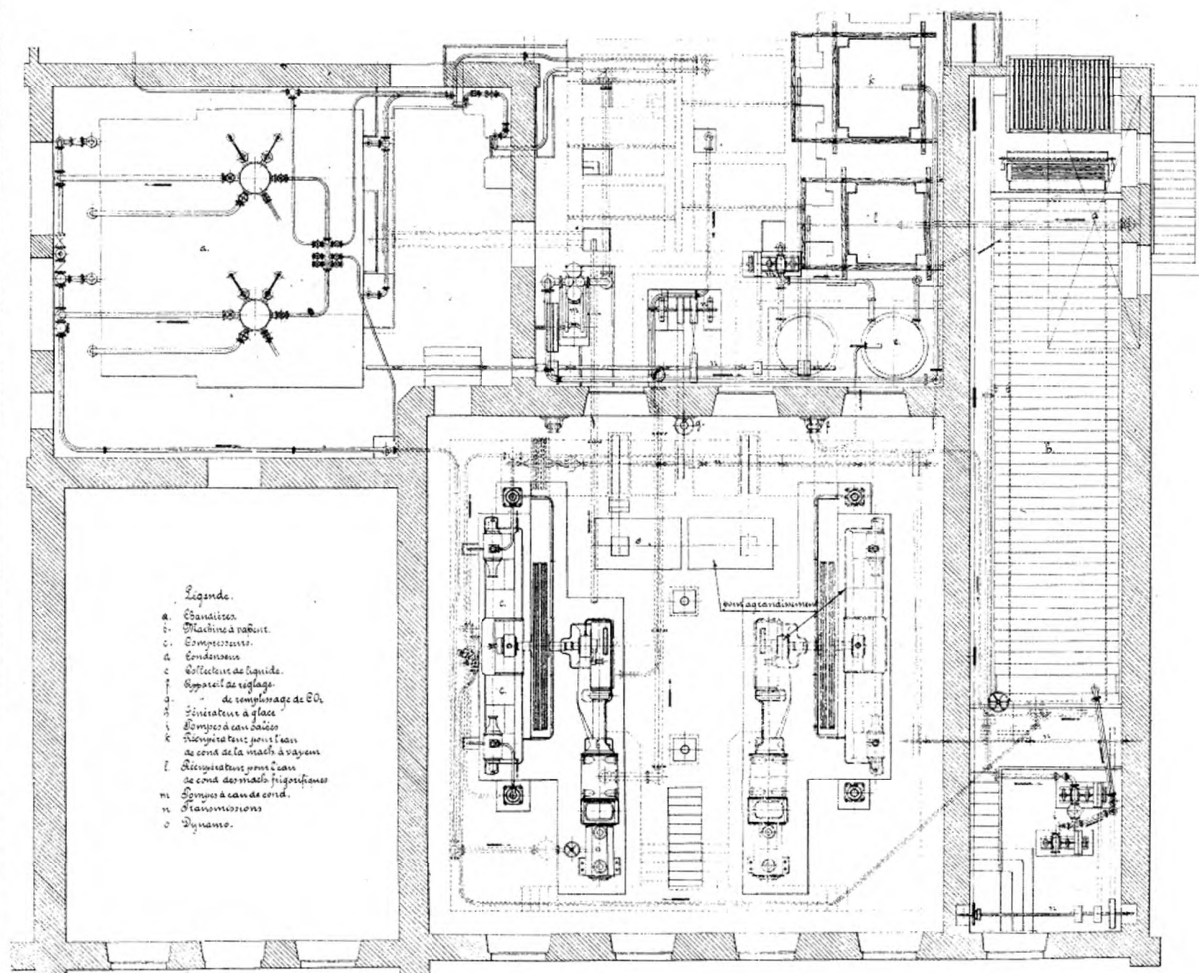
FROMAGE

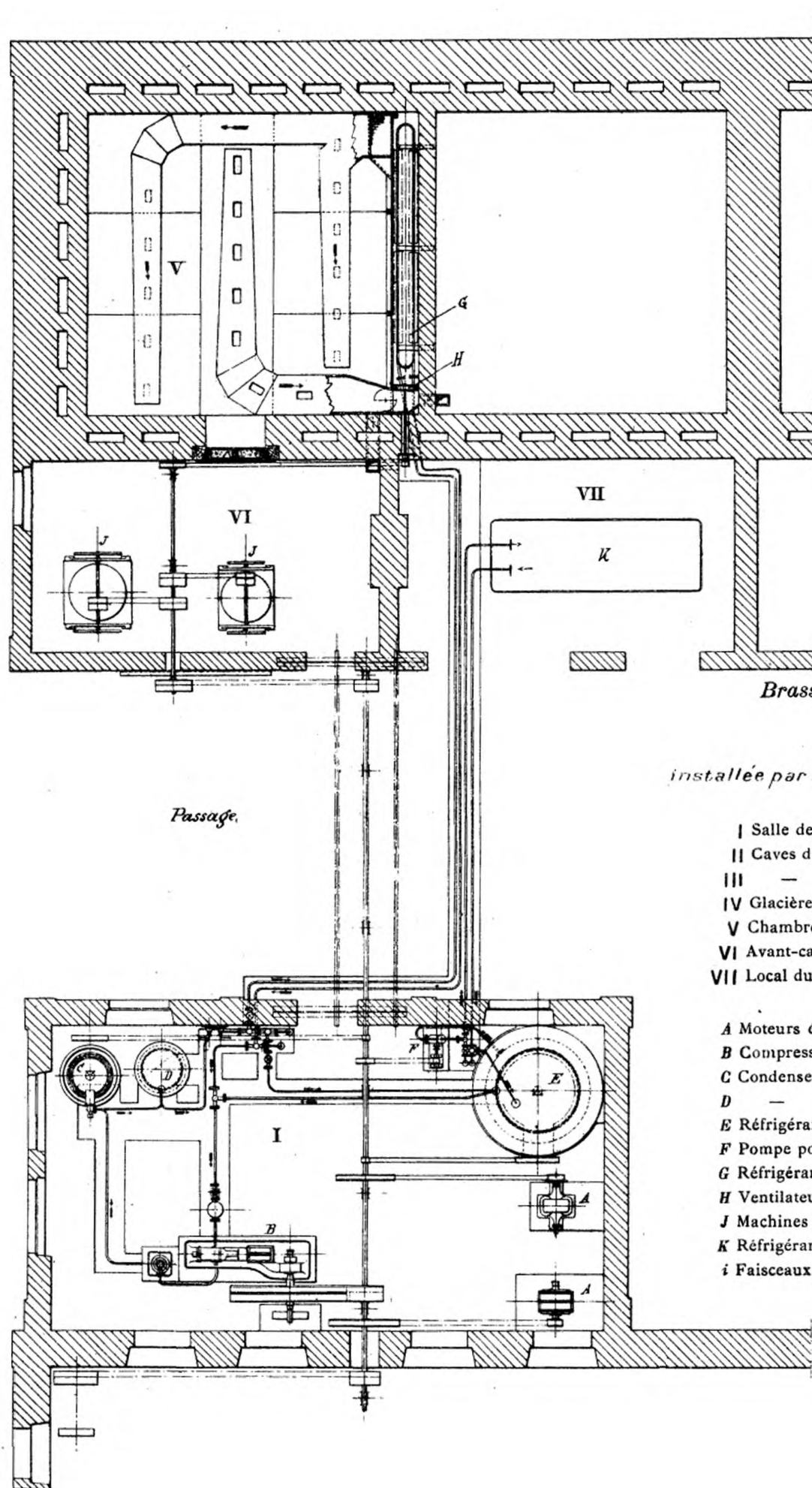




Mess. M. M. Klonaridis Brasserie, Athènes.
Plan général de l'installation frigorifique.

Échelle de 1:50.





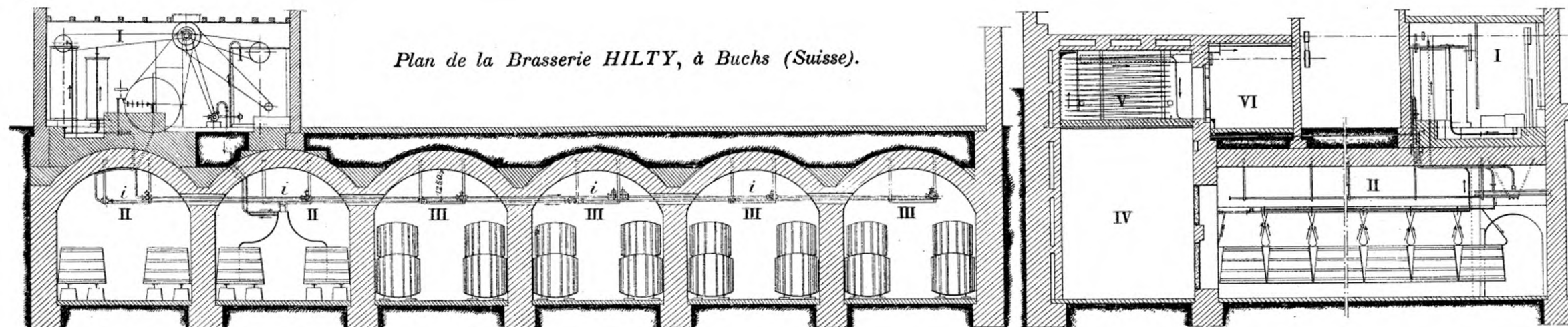
*Brasserie P. HILTY
à Buchs.*

installée par Escher Wiss et C^{ie}

- I Salle des machines
- II Caves de fermentation.
- III — garde.
- IV Glacières.
- V Chambres frigorifiques.
- VI Avant-cave, machines à hâcher.
- VII Local du réfrigérant de bière.

- A Moteurs électriques.
- B Compresseur d'acide carbonique.
- C Condenseur.
- D — complémentaire.
- E Réfrigérant d'eau douce glacée.
- F Pompe pour l'eau douce glacée.
- G Réfrigérant d'air froid sec.
- H Ventilateur.
- J Machines à hâcher.
- K Réfrigérant de moût.
- i Faisceaux frigorifiques des caves.

Plan de la Brasserie HILTY, à Buchs (Suisse).



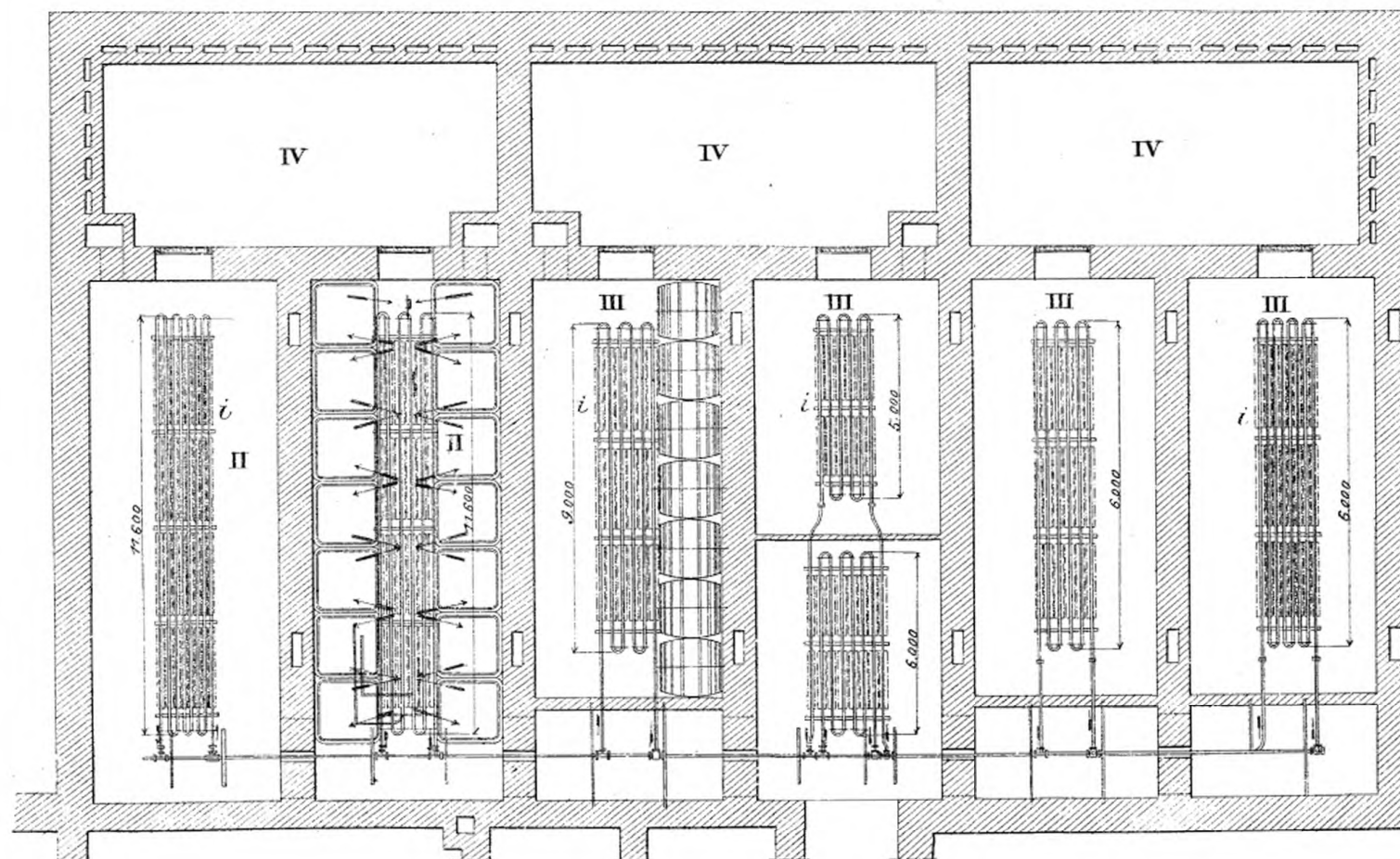
Brasserie P. HILTY

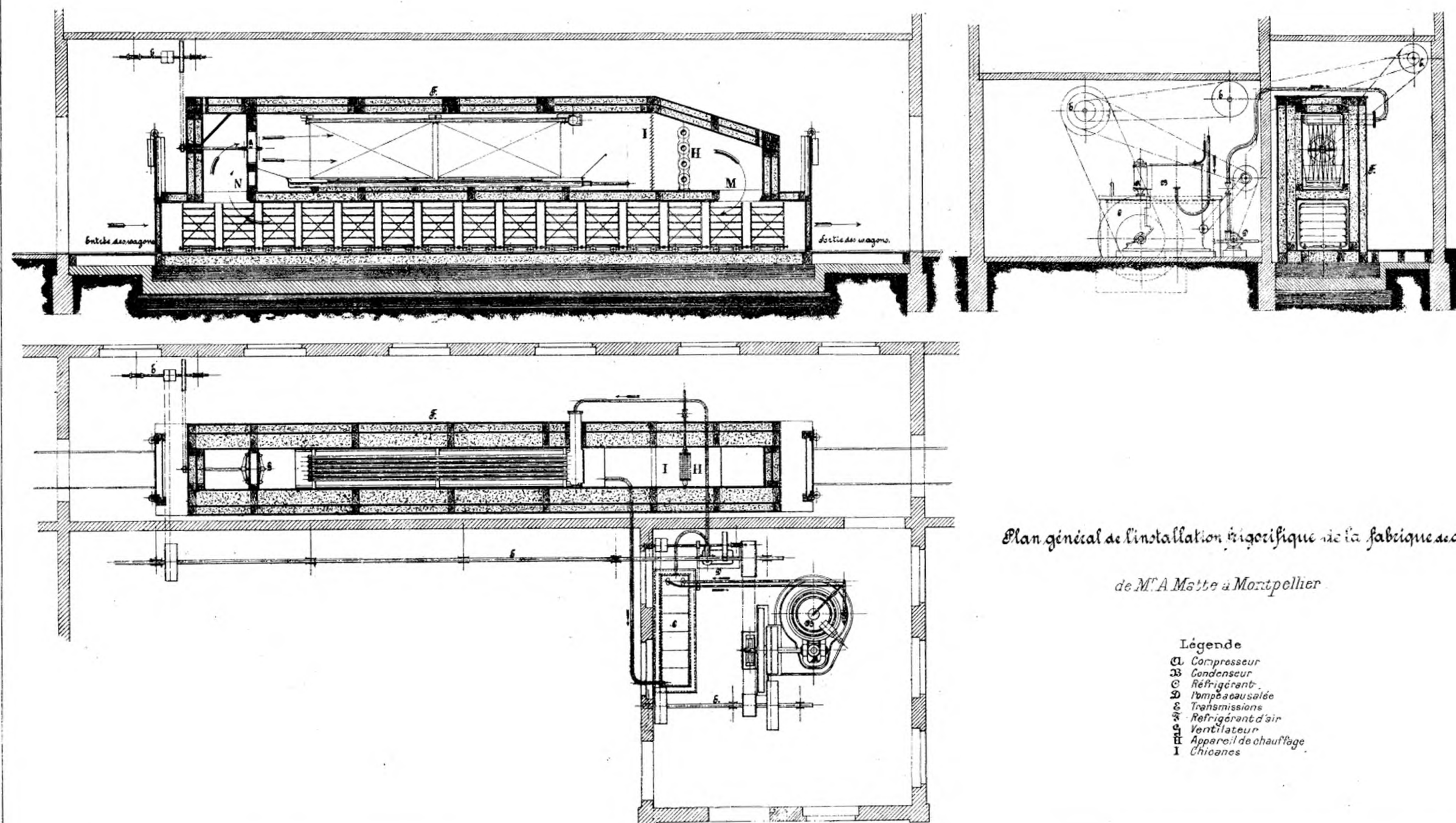
à Buchs.

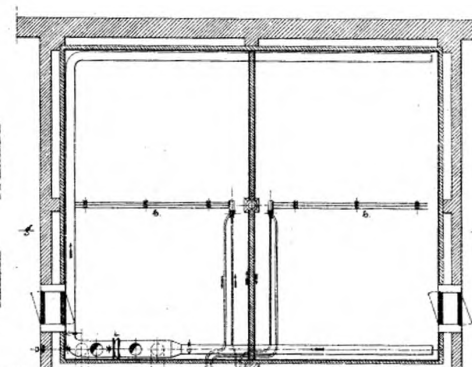
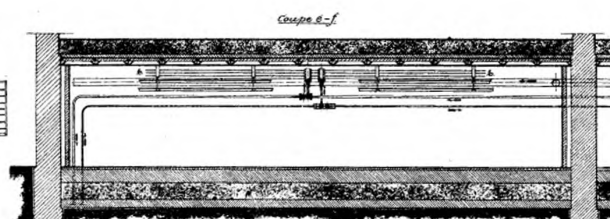
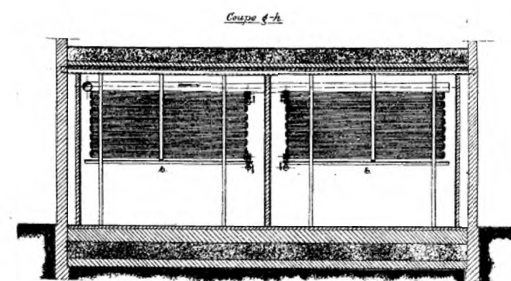
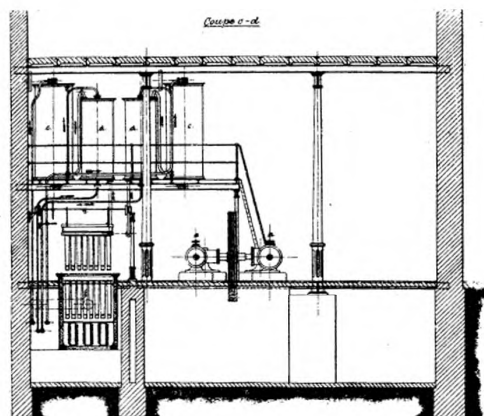
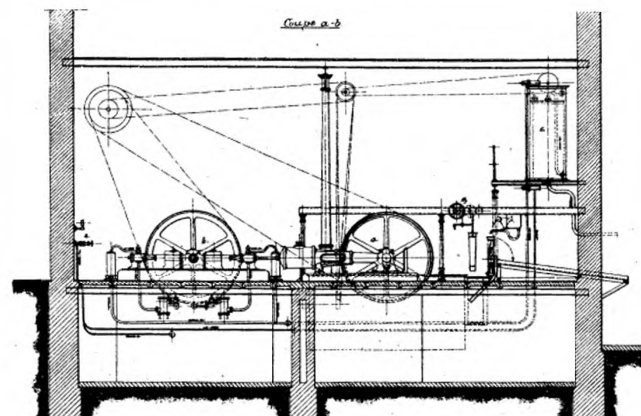
installée par Escher Wiss et C^{ie}

- I Salle des machines
- II Caves de fermentation.
- III — garde.
- IV Glacières.
- V Chambres frigorifiques.
- VI Avant-cave, machines à hâcher.
- VII Local du réfrigérant de bière.

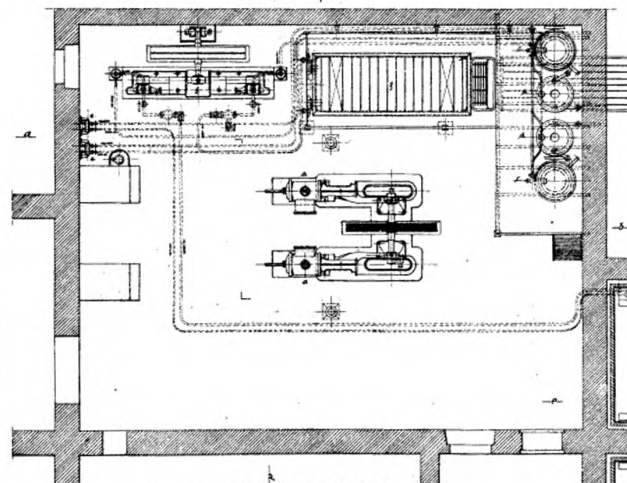
- A Moteurs électriques.
- B Compresseur d'acide carbonique.
- C Condenseur.
- D — complémentaire.
- E Réfrigérant d'eau douce glacée.
- F Pompe pour l'eau douce glacée.
- G Réfrigérant d'air froid sec.
- H Ventilateur.
- J Machines à hâcher.
- K Réfrigérant de mout.
- i Faisceaux frigorifiques des caves.





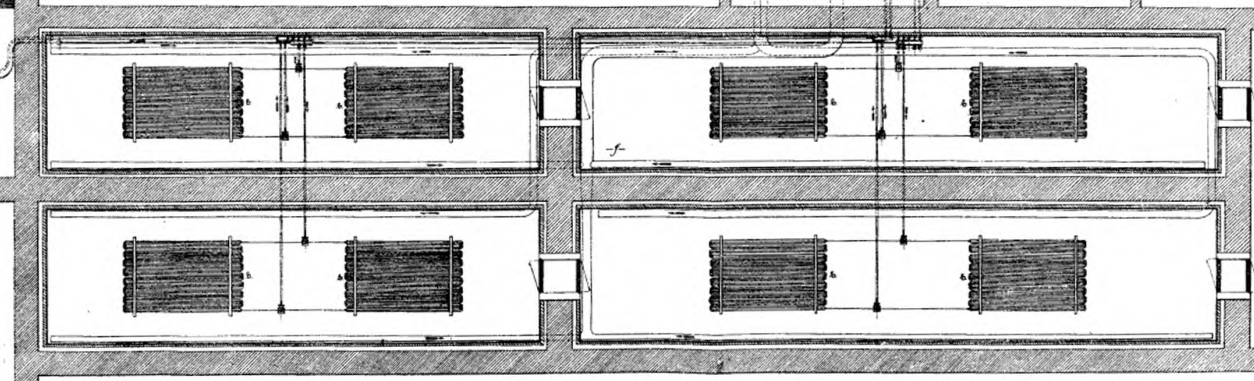


- Legende
- A. Machine à vapeur
 - B. Condenseur
 - C. Condenseur
 - D. Colonne de liquide
 - E. Appareil de réglage
 - F. Évaporateur à glace
 - G. Évaporateur
 - H. Système frigorifique
 - I. Appareil à glace
 - J. Installation pour
 - K. Endosseur de l'eau

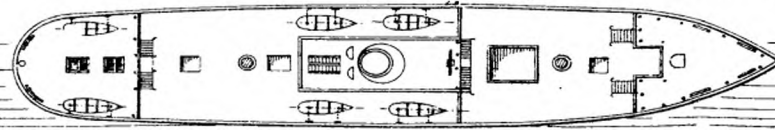


Plan général de l'installation frigorifique
d'une fabrique de Margarine

Échelle de 1/50

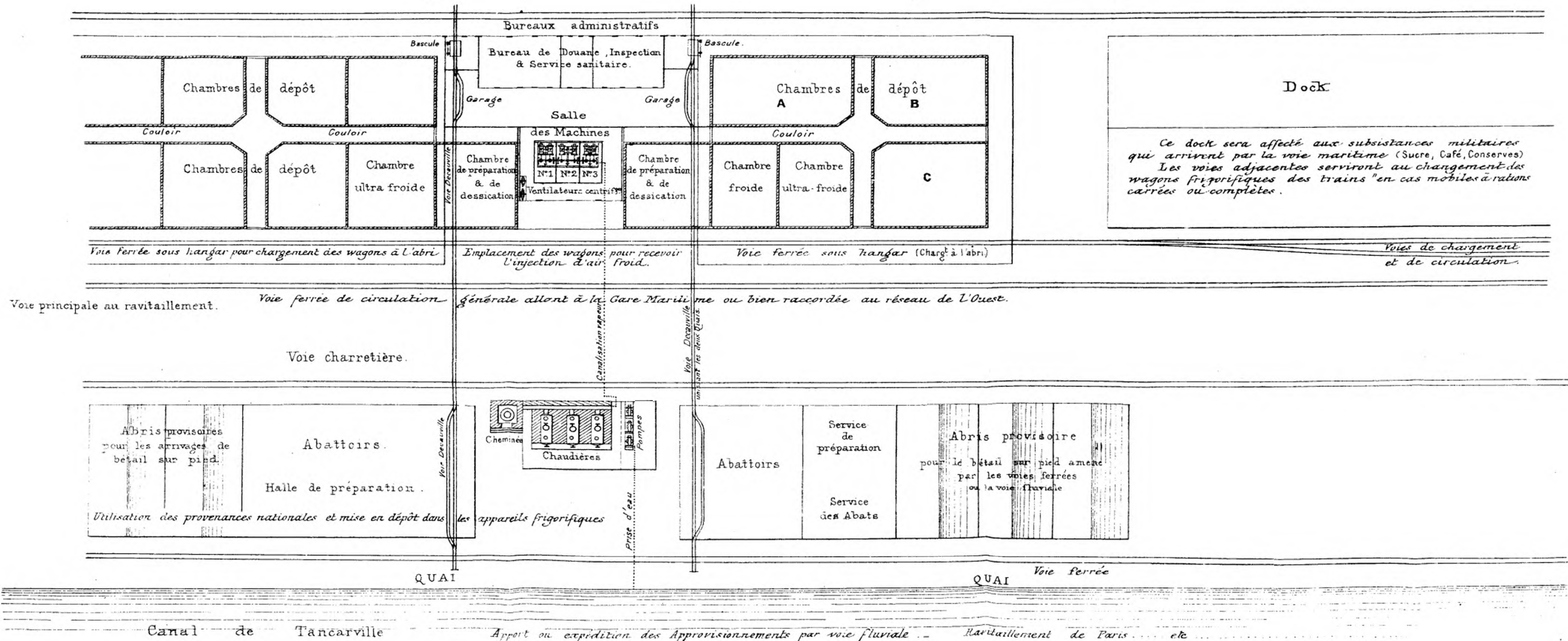


Steamer à Quai. Type "Pampa" ou "Rio-Negro" (Service de la Plata.)



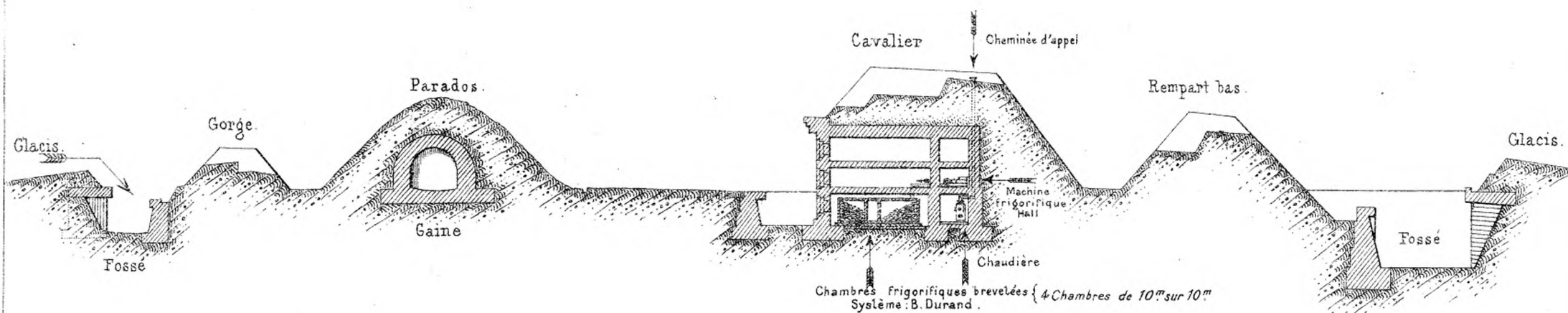
Utilisation des provenances étrangères

Quai maritime pour déchargement des navires qui apporteront les cargaisons de viande congelée de la République Argentine ou l'Australie.



INSTALLATION D'UN DÉPÔT FRIGORIFIQUE DANS UN FORT D'ARRÊT INDÉPENDANT

La présence d'un dépôt frigorifique permet d'emmagasiner au moment de l'investissement toutes les ressources locales des pays voisins par réquisition du bétail sur pied en supprimant l'embarras des approvisionnements de fourrages ainsi que les soins journaliers de gardiennage, le personnel qui y serait affecté devient disponible.



Un dépôt frigorifique pouvant contenir **UN MILLION DE RATIONS** occupe 400 mètres carrés (voir tableau)

La chaudière de la machine frigorifique peut être la même que celle qui actionne les appareils électriques ou les coupes blindées; il suffit d'adjoindre une canalisation d'air ou d'eau sous pression aux appareils déjà existants dans les principaux forts modernes