

L. MARCHIS
PRODUCTION ET UTILISATION
DU
FROID

H. DUNOD ET E. PINAT . ÉDITEURS

PRODUCTION ET UTILISATION

DU

FROID

TOURS. — IMP. DESLIS FRÈRES

L. MARCHIS

LAURÉAT DE L'INSTITUT (PRIX PLUMEY ET SAINTOUR)

PROFESSEUR ADJOINT DE PHYSIQUE A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

PRODUCTION ET UTILISATION

DU

FROID

Préface de MM. E. MALAQUIN et L. NERDEUX

PARIS (VI^e)

H. DUNOD ET E. PINAT, ÉDITEURS

49, Quai des Grands-Augustins, 49

—
1906

Tous droits réservés

A MM. E. MALAQUIN ET L. NERDEUX

Hommage de cordiale sympathie.

PRÉFACE

Il manquait à notre littérature spéciale sur l'Industrie frigorifique un ouvrage didactique; M. MARCHIS s'est chargé de combler cette lacune, et le lecteur appréciera comme nous la façon dont il s'est acquitté de cette tâche qui demande une compétence toute particulière.

L'ouvrage de M. MARCHIS est encyclopédique dans son genre; il témoigne d'une grande érudition, d'une patience de chercheur remarquable, et l'on peut dire, sans crainte de se tromper beaucoup, qu'il n'est ouvrage, article ou note sur la question que n'ait lu ou traduit et résumé son auteur.

Mais ce n'est pas là son seul mérite. Il a aussi, nous sommes presque tentés de dire, il a surtout pour mérite d'être conçu dans un esprit de méthode et de coordination qui font de lui un véritable et précieux livre d'étude.

La raison en est aisée à trouver: il eut pour origine, il a pour *substratum* un cours de Faculté qui fut suivi avec intérêt par un public d'ingénieurs et de spécialistes, un cours qui fut couronné par l'Académie des Sciences.

Nous nous excusons auprès de M. MARCHIS d'offusquer sa modestie que nous savons grande, mais nous rappellerons qu'en 1903 déjà l'Académie lui décernait le prix *Plumey* « en sa qualité de professeur adjoint à l'Université de Bordeaux, pour l'enseignement libre de mécanique appliquée qu'il a créé, et plus particulièrement pour ses remarquables *Leçons sur les machines à vapeur, les machines thermiques et les instruments de mesures industrielles* ».

Les conclusions du rapport de 1905 ne sont pas moins intéressantes; elles ont trait au prix *Saintour* et le rapporteur s'exprime ainsi: « M. MARCHIS continue, avec le talent et le dévouement que l'Académie connaît, ses leçons sur les sujets les plus actuels choisis parmi les applications de la Science à l'Art de l'Ingénieur. Pour l'année scolaire écoulée il a choisi comme sujet les applications du froid, et le résumé de son enseignement qu'il a publié récemment ne le cède en rien comme intérêt scientifique et comme documentation à ses ouvrages antérieurs ».

M. MARCHIS, stimulé par cette distinction, et pensant qu'un ouvrage complet serait pour le monde industriel d'une utilité plus générale et plus précise à la fois qu'un simple résumé de cours, se remit à l'ouvrage et c'est ainsi qu'il a produit le livre que nous présentons aujourd'hui aux lecteurs.

On n'y trouvera point d'expériences personnelles ni de recherches nouvelles; l'auteur ne prétend pas « découvrir » le froid industriel, il s'est proposé simplement de réunir, de condenser et de mettre à la portée de tous ceux que la question peut intéresser, les recherches et les travaux des spécialistes et des praticiens de tous les pays.

La plupart de ceux qui depuis de longues années travaillent au développement de cette branche spéciale de l'industrie, connaissent vraisemblablement déjà tout ou partie de ces recherches et de ces travaux, plutôt en partie qu'en totalité d'ailleurs, car la question est toujours posée de savoir si l'ingénieur ou l'industriel que ses voyages, ses expériences personnelles et ses recherches bibliographiques mettent en possession de documents d'un intérêt vraiment général, en fait un meilleur usage en les conservant qu'en les publiant.

Garder pour soi la connaissance d'un résultat acquis et la confier, sous le manteau, à un public choisi mais restreint, c'est pour le constructeur courir la chance favorable de se créer une clientèle exclusive parmi ce public; mais d'autre part, publier largement, ouvertement et faire connaître du grand public le résultat en question, n'est-ce pas courir encore la chance favorable de faire naître chez un plus grand nombre le désir d'en tirer parti? N'est-ce pas, par conséquent, provoquer la demande générale dont on pourra soi-même, industriellement et commercialement, récupérer en partie les bénéfices?

Nous ne sachions pas que la question ait jamais été tranchée en ce qui concerne l'Industrie frigorifique de date récente; mais, par l'ouvrage de M. MARCHIS, l'intérêt qu'elle peut présenter se trouve évidemment diminué. C'est d'ailleurs au monde savant que revient la mission de coordonner les résultats acquis pour en tirer des conclusions propres à asseoir la théorie, et c'est d'autre part le rôle du corps enseignant de propager ces vérités.

Savant discret et professeur émérite, M. MARCHIS remplit cette double mission.

Son ouvrage peut se diviser en deux parties principales.

Il débute par une étude des machines destinées à produire le froid et parmi lesquelles nous regrettons de ne pas voir figurer les machines à absorption, d'autant que la même lacune existe déjà dans la plupart des ouvrages scientifiques antérieurs.

La deuxième partie, la plus développée, est consacrée à l'utilisation du froid, et c'est d'elle qu'on est en droit d'attendre les plus grands services; elle est un exposé clair, méthodique et complet de *l'Art de se servir du Froid*. Elle peut se subdiviser elle-même en deux sections dont la première traite des appareils, constructions et aménagements destinés à recevoir le froid produit par la machinerie, à l'emmagasiner, à le conserver pour permettre d'en tirer le meilleur parti industriel, et dont la seconde est consacrée à l'étude des emplois et applications de ce froid.

De ces deux sections, la première rentre encore exclusivement dans le domaine de l'ingénieur, et l'auteur a grandement raison de lui avoir donné quelque développement.

La machinerie actuelle semble en effet arrivée au point où les perfectionnements ne doivent plus guère porter que sur des détails de construction (à moins que des principes ou des agents nouveaux, au sujet desquels des expériences se poursuivent d'ailleurs, ne viennent à entrer dans le domaine de la pratique), et sa technique est

assez généralement connue pour qu'il ne soit pas nécessaire de s'y étendre très longuement.

Le réceptacle du froid, au contraire, dont traite la première section, demande qu'on s'y arrête et qu'on insiste, car c'est lui qui assure le rendement pratique de la machinerie productrice et c'est de lui seulement que dépend maintenant la valeur d'une installation frigorifique.

L'industrie frigorifique, en effet, se trouve dans ce cas tout à fait spécial que le constructeur n'y est pas appelé à fournir simplement une machine d'une puissance déterminée, en laissant à l'industriel le soin de l'utiliser, mais à prévoir et monter au contraire une installation complète comprenant la production du froid et l'aménagement propre à son utilisation économique.

La deuxième section est consacrée exclusivement à l'étude de la façon dont le froid est ou doit être appliqué à chacune des denrées qui sont susceptibles de bénéficier de son emploi.

Ces chapitres sont destinés surtout aux usagers du froid : producteurs, industriels et commerçants, dont l'ignorance, bien pardonnable à la vérité, a jusqu'ici contribué pour une si large part à enrayer les progrès de l'industrie frigorifique en France.

L'auteur y a montré quel rôle important joue le froid dans la conservation des denrées alimentaires et s'est efforcé de donner pour ces applications des règles précises fondées sur des essais dignes de confiance.

Tel est le plan général de l'ouvrage.

Nous sommes convaincus que, conçu dans cet esprit, il ne peut qu'avoir un succès mérité, et nous sommes heureux de constater que, d'autre part, il est mis à la disposition du public au moment où l'industrie frigorifique commence à préoccuper à juste titre le monde agricole et commercial. Jusqu'à présent, le marché des denrées alimentaires était national, la concurrence était limitée à l'intérieur de chaque pays et aux nations limitrophes, les besoins de faire de l'exportation, de se créer de nouveaux débouchés ne se faisaient pas sentir pour les produits agricoles. On était protégé par la nature même, essentiellement périssable, des produits et par son incompatibilité avec les transports aux grandes distances ; la lutte avec de lointains pays paraissait impossible.

Le réveil est dur ; on constate aujourd'hui l'existence de concurrents commerciaux insoupçonnés jusqu'alors. Ceux que ce nouvel état de choses atteint dans leurs intérêts les plus immédiats jettent tout à coup les yeux autour d'eux, mesurent avec étonnement le chemin fait à l'étranger dans la voie du progrès et constatent que les facteurs de ce progrès ne sont pas cependant pour nous des inconnues. Ils ne sont autres, en effet, que la mise en pratique des procédés scientifiques modernes et l'extension de cette forme nouvelle d'exploitation qu'est l'association des producteurs.

L'auteur fait à ce propos très heureusement précéder son ouvrage d'une intéressante introduction où il montre quelle répercussion a, en ce moment, sur l'évolution de certaines industries l'application du froid industriel.

Les Laiteries coopératives se créent dans tous les centres d'élevage sous l'heureuse influence de M. ROUVIER, si énergiquement secondé par M. DORNIC, et nous y voyons le froid jouer un rôle prépondérant depuis la traite jusqu'au transport en passant par la fabrication du beurre et du fromage.

L'industrie fruitière et l'horticulture complètent l'installation des forceries par celle des « retarderies » frigorifiques, si l'on veut bien nous permettre ce néologisme, et se font ainsi des cycles de saisons artificielles.

Les Syndicats du Sud-Est de la France empruntent à l'industrie frigorifique le moyen d'écouler au loin les produits du sol de notre généreux pays qui peut et doit être le « verger de l'Europe » comme la Californie est le « verger des États-Unis ».

La boucherie enfin et la charcuterie, pendant si longtemps systématiquement ennemies du froid, au point qu'il y a peu d'années encore on y cachait de rares petites glaciers dans les arrière-boutiques et les caves, viennent de faire bravement amende honorable par la voie des délégués d'un de leurs syndicats, après une visite dans les abattoirs allemands. « Il ne nous en coûte pas d'avouer, écrivent MM. Delahais et Foulon, président et délégué de la Boucherie d'Orléans, que si nous n'étions pas partisans des frigorifiques avant notre départ, nous sommes revenus parfaitement convaincus par les résultats vraiment surprenants que nous avons pu constater, et nous ne pouvons qu'engager nos collègues à en adopter l'usage. »

L'opinion favorable se montre de toutes parts unanime sur la valeur du froid ; les professeurs d'Agriculture attirent sur son emploi l'attention des cultivateurs. Les vétérinaires, directeurs d'abattoirs en réclament l'application à leurs services, et de tous côtés l'on demande des renseignements aux spécialistes, on s'efforce de se documenter.

A tous ceux qui sentent si vivement ce besoin d'étudier ce qu'on peut et doit demander à l'application du froid nous recommandons le livre de M. MARCHIS, car il est, nous le répétons, avec son allure encyclopédique, un livre d'étude et d'enseignement parfaitement ordonné.

Nous ne saurions terminer cet aperçu sur l'ensemble de l'œuvre sans nous joindre à l'auteur pour rendre hommage à l'inventeur du froid industriel, au précurseur, M. Charles TELLIER, qui du premier coup entrevit le problème dans toute sa généralité et qui tenta de le réaliser avec une hardiesse qui étonne encore aujourd'hui et que l'on admire à juste titre.

ÉMILE MALAQUIN & LÉON NERDEUX.

PRODUCTION ET UTILISATION DU FROID

INTRODUCTION

LE DÉVELOPPEMENT DE L'INDUSTRIE FRIGORIFIQUE

1. Difficultés que présentent, durant l'été, la conservation et le transport des denrées alimentaires. — Les denrées alimentaires plus ou moins fermentescibles ne tardent pas à perdre, pendant les fortes chaleurs de l'été, les qualités premières, aspect et goût, qui les font rechercher des consommateurs. Elles subissent, de ce fait, une forte dépréciation, sinon une perte complète quand, au bout de quelques jours, elles deviennent un danger pour la santé publique.

Le transport de ces denrées à de grandes distances devient alors un problème presque impossible à résoudre. Tous les expéditeurs connaissent, pour en avoir été plus ou moins victimes, les sérieux et fréquents mécomptes auxquels sont exposés, pendant la saison chaude surtout, les producteurs qui concourent à l'approvisionnement en lait, beurre, œufs, légumes, fruits, poissons, volailles, etc..., des grands centres et de Paris en particulier. Ces produits, déjà fatigués par le voyage, risquent fort, s'ils ne sont pas vendus le jour même, de rester pour compte aux expéditeurs ; en tous cas ils ne sont cédés qu'à des prix infimes qui parfois ne couvrent pas les frais de transport et les commissions des intermédiaires. Les pertes totales et les dépréciations se montent, chaque année, pour les Halles Centrales de Paris à plusieurs centaines de mille francs ; on compte, en effet, qu'annuellement 100.000 kilogrammes de viande, 500.000 kilogrammes de poisson et 600.000 œufs¹ sont saisis comme impropres à la consommation.

Aussi cherche-t-on depuis longtemps des procédés de conservation qui permettent de supprimer ces déchets, d'éviter l'avilissement des prix et de constituer des approvisionnements toujours frais, parfaitement intacts et en quantité suffisante pour répondre aux besoins les plus imprévus.

2. Divers procédés de conservation des denrées alimentaires. — A l'heure actuelle, quatre moyens principaux se présentent pour lutter contre les causes de détériorations et de pertes des denrées alimentaires² :

1° *La dessiccation* ;

¹ E. MALAQUIN, *L'Industrie frigorifique et l'Approvisionnement de Paris* (*L'Industrie frigorifique*, 2^e année, n° 16, septembre 1904).

² Pour les détails sur ces procédés de conservation, voir : URBAIN, *la Conservation des substances alimentaires* (*Encyclopédie chimique* de Frémy, V^o Ch. Dunod, éditeur). — DE LOVERDO, *le Froid artificiel* (Paris, V^o Ch. Dunod, éditeur, 1903).

- 2° *La chaleur*;
- 3° *Le sel marin et les antiseptiques*;
- 4° *Le froid*.

3. La dessiccation employée comme moyen de conservation. — La *dessiccation* est employée pour la conservation de la viande, des légumes et de certains fruits. Dans quelques pays chauds, on coupe la viande en minces lanières et on la fait sécher au soleil ; c'est la *carne secca* de l'Amérique du Sud. Ce produit, qui a ainsi perdu les 3/4 de son poids, est d'une digestion difficile ; les parties grasses rancissent et lui communiquent une saveur désagréable.

4. Les conserves alimentaires. — L'industrie des *conserves alimentaires* est fondée sur l'emploi de la *chaleur*. Dans des boîtes en fer-blanc généralement cylindriques, on place des produits (petits pois, poisson, viande, etc...) qui ont été préalablement préparés d'une manière convenable et notamment cuits ; on soude le couvercle et on porte le tout dans un autoclave chauffé à une température de 110° environ. Cette industrie est particulièrement développée à Bordeaux et sur les côtes de l'Océan, depuis les Sables-d'Olonne jusqu'à Douarnenez où 150 usines s'occupent de la préparation des conserves de sardines. Le *lait stérilisé*, préparé par un procédé analogue, est également l'objet d'un commerce très important.

Il n'est pas douteux que les conserves obtenues par cette méthode rendent de grands services. Mais elles sont en général d'un prix élevé ; de plus, elles présentent un goût parfois inférieur, le procédé de conservation ne convenant qu'à un assez petit nombre de produits.

5. La salaison employée comme moyen de conservation. — La *salaison* est le procédé de conservation le plus anciennement usité. Lorsqu'il pénètre les tissus, le sel marin constitue un milieu où les germes de putréfaction ne peuvent pas se développer. Toutefois, les aliments ainsi conservés subissent une sorte de coagulation, ils deviennent durs et indigestes. Les salaisons fatiguent à la longue, et leur usage prolongé donne naissance à des maladies graves, telles que le scorbut.

6. Les agents antiseptiques employés comme moyen de conservation. — Parmi les *agents antiseptiques*, le plus fréquemment employé est la *fumée de bois*. La viande exposée pendant quelques semaines à l'action de cette fumée se conserve sans altération ; cette action est due à l'existence dans la fumée de produits antiseptiques, tels que la créosote, l'acide phénique, l'acide acétique, etc... La préparation des jambons et autres articles de charcuterie, des poissons fumés, etc..., est basée sur ce principe.

L'*acide borique* et le *borax* (borate de soude) sont aussi très employés. A Buenos-Ayres, on fait tremper la viande pendant vingt-quatre heures dans une solution de 30 0/0 de borax, 20/0 d'acide borique et 1 0/0 de sel marin ; on la met ensuite dans des barils avec un peu de ce liquide.

D'autres agents antiseptiques ont été proposés : l'*acétate de soude*, l'*acide salicylique*, le *formol*, certains *fluorures alcalins*. Mais leur emploi n'est pas inoffensif.

7. La conservation par le froid est la seule qui maintienne les produits dans leur primitif état de fraîcheur. — Les procédés de conservation que nous venons d'énumérer, tout en étant d'une très grande utilité, présentent un défaut commun :

celui d'altérer la fraîcheur primitive et le goût des produits. Ils ne permettent pas de transporter d'un point à l'autre du globe les productions d'une contrée en leur conservant les qualités qu'elles ont à l'état de fraîcheur dans leur pays d'origine.

Le seul procédé de conservation qui jouisse de cette propriété de n'enlever aux produits aucun de leurs sucs nutritifs ou aromatiques, de garder intact leur aspect de fraîcheur, est le procédé de *conservation par le froid*.

8. Création et utilisation du froid industriel. — Charles Tellier. — Le *froid industriel* est, ainsi que son nom l'indique, un abaissement de la température aux environs et au-dessous de zéro, déterminé par des moyens exclusivement industriels.

Sa création et son utilisation pour la conservation des denrées alimentaires et leur transport à grande distance ne remontent guère à plus de trente ans. Nous voyons bien en 1856 un Américain, le professeur Nice, retirer de fort beaux bénéfices de la vente des œufs, des beurres et des légumes qu'il conserve dans une maison glacière de son invention¹; mais son installation compliquée et coûteuse est loin des procédés mécaniques en usage à l'heure actuelle.

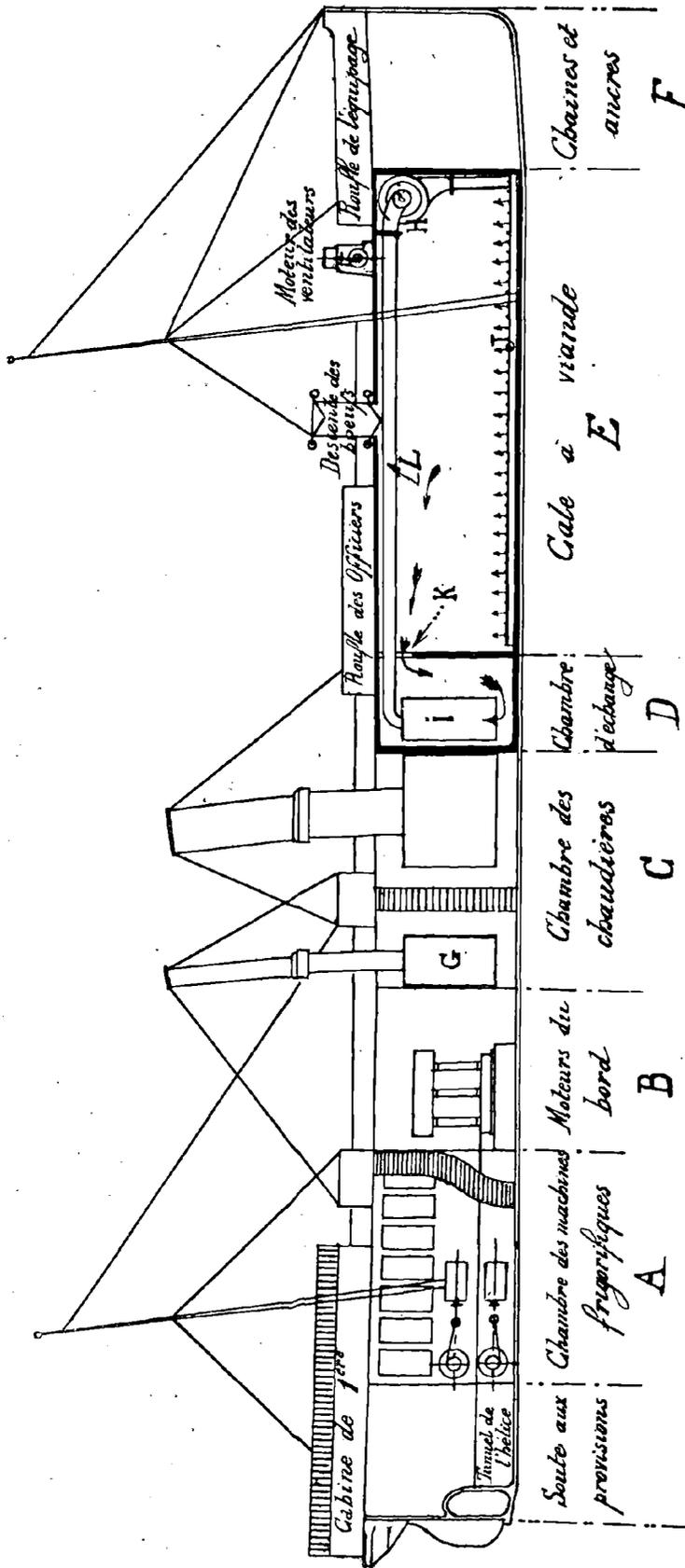
Le créateur du froid industriel est un Français, *Charles Tellier*, dont le nom doit être prononcé avec respect par tous ceux qu'enrichit actuellement la nouvelle branche commerciale qu'il a fondée.

Il résulte en effet de deux rapports², l'un présenté, en mars 1874, au Conseil de Salubrité de la Seine, par M. Poggiale, inspecteur général de la pharmacie militaire et membre de l'Académie de Médecine, l'autre fait à l'Institut par M. Bouley, que Charles Tellier avait, dès cette époque, installé à Auteuil une usine frigorifique où le froid industriel recevait diverses applications. On y pratiquait, entre autres, la conservation des denrées alimentaires dans une chambre froide isolée au moyen de coke en poudre et refroidie entre 0° C. et — 1° C. par un courant d'air froid et sec. Celui-ci était rendu tel par son passage sur des bassins dans lesquels on faisait circuler une solution de chlorure de calcium refroidie à une température de — 8° à — 10° C. L'état de sécheresse de l'air était d'ailleurs complété en introduisant dans la conduite d'air du chlorure de calcium solide. Dans cette chambre diverses pièces de viande, des moutons, des lièvres, des perdreaux, des faisans, etc., étaient parfaitement conservés. Des perdreaux retirés après trente et même cinquante-cinq jours de séjour étaient en parfait état. Un demi-mouton maintenu à 0° C. pendant trente-sept jours présentait les caractères de la viande fraîche; l'épaule de ce mouton était de bonne qualité après cinquante-neuf jours de conservation. Dans une réunion des membres de l'Académie des Sciences à laquelle assistaient Chasles, Frémy, de Quatrefages, Jamin, Edmond Becquerel, Larrey, Bouley, Cahours, Decaisne et Philipps, de la viande de mouton conservée depuis six semaines était goûtée et trouvée bonne.

Le problème de la conservation par le froid des denrées alimentaires, et en particulier des viandes, est donc résolu à l'usine d'Auteuil dès 1874. Fort de l'approbation des savants dont nous venons de citer les noms, Ch. Tellier entreprend en 1877 de démontrer la possibilité d'importer en France, conservés par le froid, des bœufs abattus dans la République Argentine. Un navire français, *le Frigorifique*, spécialement aménagé et outillé sur les plans de cet inventeur, comme le montre la figure 1, quitte Rouen en 1876 avec un chargement de viande de bœuf et arrive à la Plata après cent cinq jours de traversée. Malgré le roulis

1. H. BRUN, *les Entrepôts frigorifiques (L'Industrie frigorifique, 1^{re} année, n° 2)*.

2. Ces rapports ont été publiés *in extenso* dans *L'Industrie frigorifique*, 3^e année, n° 23, juin 1905, p. 186; 3^e année, n° 28, septembre 1905, p. 276.



Le FRIGORIFIQUE 1876

Fig. 1. — Schéma de l'installation du premier bateau aménagé par Charles Tellier avec des machines et des cales frigorifiques (Expérience de transport et de conservation à 0° C. de la viande de bœuf).

Caractéristiques du navire : longueur = 65 mètres, largeur au maître-bau = 8 mètres, profondeur sous le pont = 4 mètres. — Machine de 300 chevaux.
 D, Chambre d'échange frigorifique entre le courant liquide froid venant des machines frigorifiques (trois machines de 20.000 frigories-heure chacune à l'éther méthylique) et l'air de la cale à viande.
 E, Cale à viande (longueur = 25 mètres, largeur maxima = 8 mètres, largeur minima = 4 mètres).
 H, Ventilateurs (deux) de la cale à viande. Aspirent l'air par le conduit L, le forcent à traverser les tubes contenus dans 8 cylindres tubulaires (dont l'un se voit en I logé dans la chambre D) et refroidis par le liquide frigorifique, l'envoient sous le plancher J percé de trous. Chaque ventilateur fait circuler 10.000 mètres cubes d'air à l'heure.
 K, ouverture permettant à l'air échauffé de la cale à viande de pénétrer dans la chambre d'échange D.
 Isolément fait de placage en sapin de 18 millimètres appliqué sur la membrure ; un autre placage de même épaisseur placé à 10 centimètres du premier ; intervalle rempli de liège dans les fonds et de paille bûchée au-dessus de la ceinture.

et le tangage, malgré les exigences de bord (chaleur, odeur d'huile brûlée, etc.), la viande, maintenue simplement dans le *froid sec* à 0°, arrive en parfait état de conservation. Au retour, en juin 1877, *le Frigorifique* croise, à l'escale de Dakar, l'escadre de l'Atlantique du Sud; le chef d'état-major de cette division navale, après une visite et un dîner à bord du *Frigorifique*, constate que la viande de bœuf conservée est aussi bonne que la fraîche¹. *Le Frigorifique* arrive à Rouen le 11 juillet. Non seulement la viande est en très bon état, mais encore l'un des bœufs est transporté, en plein été, de Rouen à Paris; il est dépecé et des morceaux sont envoyés un peu partout jusque dans les Pyrénées-Orientales; ils parviennent tous en excellent état à leur destination².

Malgré les résultats obtenus à Auteuil, malgré le succès de l'expédition du *Frigorifique*, la conservation des denrées par le froid se heurte en France à une indifférence et à une hostilité que nous constatons encore aujourd'hui. Dès 1876, *le Frigorifique* voit sa carrière terminée: après s'être longtemps amarré, inactif, aux quais de Rouen, il vient s'offrir en 1878 à la curiosité des visiteurs de l'Exposition universelle. Il est enfin transformé.

Mais les essais de Charles Tellier trouvent des imitateurs à l'étranger. Nos rivaux, moins timides et moins prévenus, voient tout le profit qu'ils peuvent tirer du développement de l'industrie du froid. Ils entreprennent une série d'expériences systématiques qui conduisent aux remarquables résultats que nous constatons aujourd'hui. Grâce aux navires frigorifiques, les viandes, le beurre, les œufs de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande, les fruits du Cap et de la Tasmanie, le lait du Danemark viennent sur le marché anglais concurrencer nos produits similaires de la Normandie et de la Bretagne, qui jadis y régnaient en maîtres. C'est aussi à l'emploi de wagons frigorifiques et d'entrepôts frigorifiques bien compris que Bâle doit d'être aujourd'hui le marché central de l'Europe pour la marée fraîche; les maisons bâloises qui reçoivent du poisson de ports très éloignés, tels que Boulogne en France, Grimsby en Angleterre, Geestemünde et Stettin en Allemagne, fournissent de poissons frais non seulement les grands hôtels de l'Allemagne et les grandes compagnies de navigation italiennes, mais encore les hôtels de Nice et de la Riviera, les Compagnies françaises Transatlantique et des Messageries Maritimes.

9. Machines frigorifiques. — En quoi consistent les appareils qui permettent de réaliser les conditions industrielles de la production du froid? C'est ce que nous allons maintenant dire d'une manière sommaire.

Les machines frigorifiques appartiennent à trois types différents:

- 1° Les machines à absorption ou à affinité;
- 2° Les machines à détente d'un gaz;
- 3° Les machines à évaporation d'un liquide.

10. Principe des machines frigorifiques à absorption. — Les *machines à absorption ou à affinité* sont fondées sur la propriété que possède l'eau d'absorber à froid le gaz ammoniac et de former ainsi une dissolution qui restitue son gaz ammoniac sous l'action de la chaleur.

La figure 2 représente schématiquement les dispositions théoriques d'une machine à absorption³.

1. E. MARCHAL, *Des viandes de boucherie conservées par le froid (viandes congelées) et de leur usage dans l'armée* (Paris, Asselin et Houzau, 1895, p. 50).

2. CH. TELLIER, *le Froid et les Denrées alimentaires (L'Industrie frigorifique, 1^{re} année, n° 5)*; — « *Le Frigorifique* » en 1876, *premier bateau aménagé avec des machines et des cales frigorifiques (L'Industrie frigorifique, 3^e année, n° 30, novembre 1905)*.

3. Cette figure est empruntée à l'étude remarquable sur *le Froid industriel et ses applications*, que M. Pelletreau a publiée dans la *Bibliothèque du mois scientifique et industriel*.

A est une *chaudière* contenant la dissolution ammoniacale. Sous l'action de la chaleur, l'ammoniaque se volatilise et, sous sa propre pression, va se liquéfier dans le *liquéfacteur* B composé d'un serpentín baigné dans un courant d'eau froide; la chaleur dégagée au moment de la liquéfaction est absorbée par l'eau de circulation. L'ammoniaque liquide se rend ensuite dans un *réservoir* C, d'où elle passe dans le *congélateur* D par l'intermédiaire d'un robinet de détente.

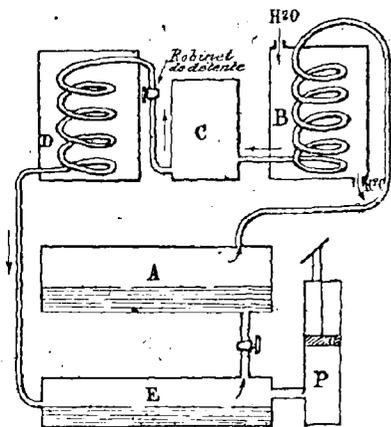


FIG. 2.

Elle s'y volatilise dans un serpentín en absorbant de la chaleur, c'est-à-dire en *produisant du froid*. Le gaz ammoniac produit est alors conduit dans un *absorbeur* E où il est dissous par l'eau provenant de la chaudière. La dissolution ammoniacale nouvelle est enfin refoulée dans la chaudière par l'intermédiaire d'une pompe, et le cycle des opérations recommence ¹.

Une solution incongelable de sel marin placée autour du serpentín D peut être ainsi refroidie à une basse température. On conçoit dès lors qu'en faisant circuler cette solution froide dans des tuyaux tapissant des chambres

construites d'une manière spéciale, il soit possible d'abaisser la température de ces chambres au degré voulu pour la conservation des denrées alimentaires.

11. Principe des machines à détente d'un gaz. — Les *machines à détente d'un gaz* sont fondées sur le principe suivant.

Lorsqu'on comprime un gaz, sa température s'élève; au contraire, sa température s'abaisse lorsqu'on le détend brusquement.

Le gaz employé est l'air.

Ces machines se composent essentiellement, comme l'indique le schéma² représenté par la figure 3, d'un *compresseur* A qui aspire l'air de l'atmosphère et le comprime dans un *refroidisseur* B. Un double courant d'eau froide circulant autour du compresseur et du refroidisseur absorbe la chaleur dégagée pendant la compression et ramène l'air comprimé à une température voisine de la température ambiante.

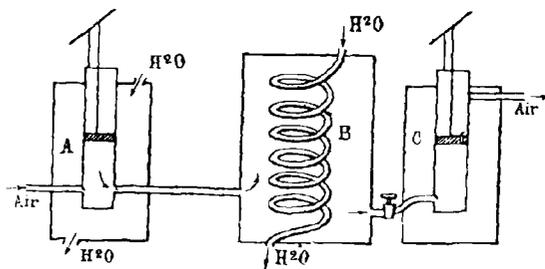


FIG. 3.

L'air comprimé passe dans un *détendeur* analogue au compresseur et dans lequel il se détend jusqu'à la pression atmosphérique. Cette détente est accompagnée d'un abaissement considérable de température.

L'air froid sortant du détendeur est recueilli dans une canalisation généralement en bois, entourée d'une couche épaisse de matériaux isolants pour éviter le réchauffement dû au rayonnement extérieur. A l'origine de cette tuyauterie, on constitue, par un élargissement

1. Malgré les perfectionnements introduits dans les machines à absorption par MM. Mignon et Rouart, Imbert frères, Vallicely, Mignette, ces machines ne se sont point répandues dans l'industrie. Nous réservons pour une publication ultérieure l'étude de leurs conditions de marche. Le lecteur trouvera d'ailleurs leur étude développée dans les ouvrages suivants : SYRTEFELD, *Die Eis und Kälteerzeugungs-Maschinen* (Max Waag, Stuttgart, 1901); — SIEBEL, *Compend of Mechanical Refrigeration* (Nickerson and Collins Co, Chicago, 1904).

2. PELLETREAU, *loc. cit.*, p. 3.

brusque de section, une sorte de chambre de repos relatif où l'air dépose une partie de la neige qu'il contient en suspension (boîte à neige).

L'air froid obtenu est envoyé directement dans les locaux à refroidir ou autour des mouleaux contenant l'eau à congeler pour la fabrication de la glace¹.

12. Principe des machines à compression et à évaporation d'un gaz liquéfiable. — Les machines qui, à l'heure actuelle, sont presque uniquement employées pour produire le froid industriel sont les *machines utilisant l'évaporation d'un gaz préalablement liquéfié par compression*, tel que l'ammoniaque, l'anhydride sulfureux, l'anhydride carbonique, le chlorure de méthyle.

Les organes essentiels d'une telle machine sont représentés schématiquement sur la figure 4.

Imaginons que dans le serpentin du *réfrigérant* ou *évaporateur* B se trouve de l'anhydride sulfureux liquide qui, sous la pression atmosphérique, bout à -10° . Si, au moyen d'une pompe, nous aspirons les vapeurs d'anhydride sulfureux qui surmontent le liquide, celui-ci entre en ébullition, se vaporise; cette vaporisation absorbe une quantité de chaleur fournie par le liquide incongelable (solution de sel marin ou de chlorure de calcium) qui, circulant de E en F autour du serpentin, est employé à abaisser la température des chambres frigorifiques.

Ces vapeurs d'anhydride sulfureux, aspirées par le conduit H, arrivent par l'une des soupapes O_2 ou O_3 dans un *compresseur*. Celui-ci les refoule par l'une des soupapes O ou O_1 dans un serpentin A appelé *condenseur* ou *liquéfacteur*; là, sous une pression suffisante qui dépend de la température de l'eau circulant de C en D, le gaz repasse à l'état liquide. Enfin, ce liquide retourne au réfrigérant par le robinet R ou *détendeur*.

Tels sont les appareils qui permettent de produire industriellement des températures inférieures à zéro. On utilise ces abaissements de température pour diverses applications que nous allons passer rapidement en revue en indiquant l'extension prise actuellement par chacune d'elles.

13. Fabrication de la glace. — Son développement aux États-Unis. — La *fabrication de la glace* s'effectue généralement en congelant l'eau contenue dans des mouleaux ou récipients en tôle étamée ou galvanisée. Ces mouleaux sont immergés presque complètement dans un réservoir contenant un liquide incongelable refroidi par la machine, comme nous l'avons indiqué plus haut. On peut obtenir ainsi soit de la glace ordinaire pour les usages commerciaux (expéditions du poisson, glaciers à viande, etc...), soit de la glace opaque ou transparente faite avec de l'eau stérilisée pour la consommation directe dans l'eau de boisson, les usages médicaux, etc.

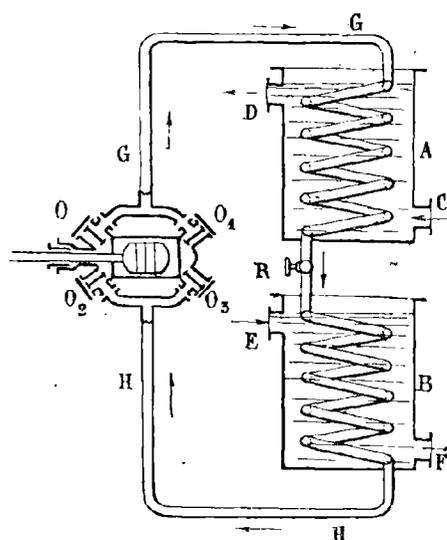


FIG. 4.

1. Nous n'étudierons pas ici ces machines qui sont actuellement complètement abandonnées dans l'industrie; nous y reviendrons dans une publication ultérieure. Le lecteur peut, pour la *théorie et le fonctionnement de ces machines*, se reporter aux ouvrages suivants: STETFIELD, *loc. cit.*; — DE MARCHENA, *Machines frigorifiques à air* (*Encyclopédie Léauté*, Paris, Gauthier-Villars). Dans un rapport présenté au *Congrès international de Mécanique appliquée* tenu à Liège en juin 1905, nous avons donné un aperçu du mode de construction de ces machines et de leurs inconvénients.

Les installations d'usines à glace artificielle augmentent d'importance de jour en jour; il existe actuellement des usines américaines produisant jusqu'à 500 tonnes par jour. La glace est en effet considérée comme un article de première nécessité par tout ménage des États-Unis; la ville de New-York seule consomme environ 5 millions de tonnes de glace par an¹. Aussi l'industrie de la glace artificielle, qui ne comptait en 1870 que quatre établissements représentant un capital de 2.170.000 francs et une production annuelle de 1.291.150 francs, s'est-elle rapidement développée. De 1870 à 1880 le nombre des établissements a passé de 4 à 35; de 1880 à 1890, il s'est élevé de 35 à 222; de 1890 à 1900, de 222 à 787 représentant un capital de 191.020.270 francs (dans lequel n'est pas compris le capital de réserve) et une production annuelle de 68.522.565 francs. Cette quantité de glace ne représente d'ailleurs que celle qui est fabriquée dans des usines spéciales; elle ne comprend pas la glace produite par certaines industries telles que la brasserie². Le coût moyen de la glace artificielle, pour toute l'année, varie entre 10 et 15 francs la tonne.

14. Conservation des denrées alimentaires. — Le froid industriel est appliqué surtout à la *conservation des denrées alimentaires*. On peut ainsi garder avec une *absolue sécurité* durant des laps de temps plus ou moins longs :

La *chair des animaux* (viande de boucherie, poisson, volaille, gibier, etc.);

Les *graisses ou dérivés* (saindoux, suif, margarine, stéarine, huiles);

Les *produits de laiterie* (lait, crème, beurre, fromage);

Les *fruits et légumes*;

Les *liquides fermentés peu alcoolisés* (vins, bières, cidres, poirés, hydromel, etc.).

15. Préjugés des consommateurs français contre les produits conservés par le froid. — Il importe, dès maintenant, de faire justice d'un préjugé qui, depuis les débuts de l'application du froid artificiel, ne s'est que trop répandu dans le public français.

Un grand nombre de consommateurs français professent encore, à l'heure actuelle, une horreur profonde pour les produits conservés par le froid. Ils croient que ces produits se décomposent avec une rapidité foudroyante dès qu'on les expose à l'air libre.

Cette opinion, complètement fautive et regrettable, s'explique facilement. Nos compatriotes ne connaissent comme moyen de conservation que celui qu'ils voient journellement employer pendant les chaleurs par les bouchers, c'est-à-dire la conservation tout à fait rudimentaire à l'aide de la glace. Or, ils savent qu'en été des viandes conservées dans ces conditions se sont gâtées avec une extrême rapidité et n'ont pas été, dans certains cas, sans occasionner des accidents sérieux. Le fait est exact, car le système de conservation par la glace est absolument primitif et imparfait.

16. Les marchés anglais sont alimentés en produits exotiques bien conservés par le froid. — Au contraire, l'expérience industrielle faite depuis quinze années dans les nombreuses applications des entrepôts frigorifiques à l'étranger infirme complètement cette manière de voir. Les marchés anglais sont approvisionnés par milliers de

1. Tous les chiffres que nous donnons ici sont empruntés à l'ouvrage de M. de Loverdo (*Le Froid artificiel et ses applications*).

La consommation de la glace est bien supérieure à la production de la glace artificielle; aussi exploite-t-on d'une manière industrielle la glace qui se produit sur les grands lacs de l'Amérique du Nord. La grande Compagnie des chemins de fer de Chicago R. I. and P. possède des voies spéciales aboutissant aux champs de glace. D'après l'*Encyclopédie d'Ap-pleton*, la quantité de glace recueillie sur les lacs américains est de 25.000.000 de tonnes par an.

2. D'après *Ice and Cold Storage Trade's Directory* (1903), il y a actuellement aux États-Unis 1.558 grandes sociétés de production et de vente de la glace. Cet ouvrage en donne la nomenclature (p. 422 à 446).

tonnes de viande, de beurre, d'œufs, de poisson, de fruits provenant des contrées les plus éloignées et qui n'ont pu supporter un long trajet dans les mers tropicales que grâce aux installations frigorifiques.

Or ces produits trouvent de nombreux acheteurs, ce qui prouve que leur qualité est satisfaisante. D'ailleurs, le service sanitaire anglais est mieux fait et plus rigoureux que le nôtre pour la qualité des denrées importées.

17. Conditions de conservation par le froid : nécessité d'une température constante. — Ces excellents résultats sont obtenus grâce à l'observation de certaines règles que nous classerons en deux catégories : les unes sont applicables à chaque substance en particulier, les autres sont générales et peuvent dès maintenant être énoncées.

En premier lieu, il faut éviter pour les produits soumis à la conservation par le froid les variations de température. Il convient de maintenir très régulièrement la température sensiblement égale à la valeur que l'expérience a démontrée être la meilleure pour garder autant que possible à la denrée son aspect et sa fraîcheur primitive : des variations de température, même peu importantes, sont nuisibles.

18. Conditions de conservation par le froid : nécessité d'une aération et d'un état hygrométrique convenables. — Il y a plus. Les chambres frigorifiques doivent être *convenablement aérées*; elles doivent présenter, *pour chaque produit, un état hygrométrique parfaitement déterminé.*

Ces conditions imposent certaines règles; que nous étudierons plus loin, pour la construction des entrepôts frigorifiques ou des chambres froides installées à bord des navires.

Mais il n'est pas suffisant que les chambres de réfrigération soient bien isolées, qu'elles soient convenablement aérées et que leur état hygrométrique atteigne le degré nécessaire; il faut encore que le traitement des denrées soit fait dans des conditions bien déterminées.

19. Conditions de conservation par le froid : n'introduire dans les chambres frigorifiques que des produits en bon état de conservation. — Il faut, et c'est un point sur lequel on n'insistera jamais trop, *n'introduire dans les chambres frigorifiques que des produits en bon état de conservation.* Il est absolument faux de croire que le froid améliore la qualité des denrées soumises à son action. Si, dans un appareil frigorifique, on introduit de la viande avariée par exemple, la décomposition s'arrête ou, tout au moins, diminue considérablement pendant le séjour à basse température, mais elle reprend aussitôt que cette viande est ramenée à la température ordinaire. A l'inverse de la chaleur, le froid ne tue pas les microorganismes susceptibles de produire la décomposition. Un grand nombre d'entre eux, notamment l'organisme typhoïde, peuvent être maintenus pendant un temps très long à -190° (température d'ébullition de l'air liquide sous la pression atmosphérique) sans que leur vitalité en soit affectée d'une manière notable. Leur développement seul est arrêté ou tout au moins considérablement diminué par les basses températures; il reprend dès qu'on les ramène à la température ordinaire¹. *Les produits frigorifiés*

1. Macfadyen et Rowland ont étudié l'influence des très basses températures sur les bactéries suivantes : *Bacillus typhosus*, *Bacillus coli communis*, *Bacillus diptheriæ*, *Bacillus proteus vulgaris*, *Bacillus acidi lactici*, *Bacillus anthracis*, *Bacillus phosphorescens*, *Spirillum cholerae asiaticæ*, *Staphylococcus pyogenes aureus*, 1 *Sarcina*, 1 *Saccharomyces*. Ces bactéries furent maintenues pendant vingt heures à des températures variant entre -182° C. et -190° C. (obtenues avec de l'air liquide); elles montrèrent cependant une évidente vitalité quand elles furent ramenées à la température ordinaire.

Dans une autre expérience, ces bactéries furent refroidies pendant sept jours à -190° C. dans un tube hermétiquement fermé. Après que le tube eut été décongelé, ouvert, et que son contenu eut été cultivé dans des milieux convenables,

qui se décomposent rapidement au sortir des appareils de réfrigération sont des produits qui ont été introduits dans ces appareils alors qu'un commencement de décomposition s'était déjà manifesté; ils n'étaient déjà plus sains et de première qualité au moment de leur entrée dans le frigorifique.

20. Conditions de conservation par le froid : congélation et décongélation progressives. — La congélation et la décongélation des denrées ne doivent pas être effectuées sans précautions. Il est très mauvais de faire varier brusquement la température d'un produit : il est essentiel que l'abaissement et l'élévation de la température se fassent d'une manière progressive.

21. Conditions particulières d'emballage, de température de réfrigération, de qualité du produit à choisir. — A ces conditions de réussite applicables à tous les produits s'en ajoutent d'autres concernant le mode d'emballage, la température de réfrigération, la qualité du produit à choisir, etc... Elles sont spéciales à chaque denrée, et dans la suite nous les indiquerons avec soin dans chaque cas particulier.

Tous ces procédés de conservation sont, pour la plupart, bien connus à l'époque actuelle; ils résultent d'expériences faites avec le plus grand soin. L'installation d'un entrepôt frigorifique se fait actuellement sur des données certaines, et tout spécialiste en matière frigorifique peut, s'il n'est pas gêné par des considérations financières, garantir la conservation pendant des temps très longs de toutes les denrées périssables.

22. Développement de l'industrie frigorifique aux États-Unis. — Aussi l'industrie frigorifique s'est-elle considérablement développée : soit dans les pays comme les États-Unis, où les distances des centres de production à ceux de consommation sont très considérables; soit dans les pays comme l'Angleterre, qui ont besoin de remédier par l'importation à l'insuffisance de leur production nationale.

Les *entrepôts réfrigérants* (cold storages) ont pris dans ces dernières années aux États-Unis un merveilleux développement. D'après l'*Annuaire du Ministère de l'Agriculture* de Washington, la capacité totale des dépôts frigorifiques de toute nature s'élevait en 1900 à 5.350.000 mètres cubes. Le tiers de cette capacité colossale était réservé au magasinage des fruits et plus particulièrement des pommes.

Aujourd'hui ce nombre doit être beaucoup plus grand. En effet, en 1901, 222 nouvelles Compagnies sont fondées avec un capital total de 223.700.000 francs. Ces Compagnies comprennent les entrepôts frigorifiques, fabriques de glace, crémeries et autres petites industries qui utilisent la réfrigération.

En 1902, 313 Compagnies sont créées avec un capital total de 481.000.000 de francs. En 1903, il y a création de plus de 300 nouvelles Compagnies avec un capital de plus de 300.000.000 de francs¹.

toutes les bactéries montrèrent qu'elles avaient gardé leur entière vitalité et leur entière capacité de se reproduire (O. KASDORF, *Eis und Kälte im Molkereibetrieb*, p. 45).

Aussi n'est-il pas étonnant que certaines bactéries, auxquelles on a donné le nom de *bactéries glaciales*, possèdent la propriété de se développer à 0° C. C'est ce qui résulte des recherches de Förster (*Centralblatt für Bakteriologie und Parasitenkunde*, Bd. II et XII) sur le bacille de la peste; de Conradi et de Fischer sur le *Bacillus proteus fluorescens*; du Dr Max Müller (*Wachstum und die Lebensweise der Bakterien bei verschiedenen Temperaturen*; *Archiv für Hygiene*, Bd. 47) sur les bacilles *Mucor* (*Mucor mucedo*?) (milieu d'origine : air), *Penicillium* (*Penicillium glaucum*?) (milieu d'origine : air), *Oidium* (milieu d'origine : farine), *Blastomyces* (milieu d'origine : lait).

1. B.-S. GIBSON, *le Froid industriel aux États-Unis* (*L'Industrie frigorifique*, 1^{re} année, n° 7, décembre 1903, p. 5). — D'après *Ice and Cold Storage Trade's Directory* (1903), il existe actuellement aux États-Unis 582 entrepôts frigorifiques proprement dits (Cold Stores), dont la liste est donnée dans l'ouvrage indiqué (p. 409-418). Si l'on y ajoute 60 fabriques de beurre ou crémeries, cela fait 642 établissements dans lesquels on conserve par le froid toutes sortes de denrées alimentaires.

Le prix de magasinage des produits de toutes sortes conservés dans ces entrepôts est minime. On peut conserver 1.000 œufs pendant six à huit mois en payant la somme de 6 fr. 50; 100 kilogrammes de beurre pendant la même période n'acquittent que 6 fr. 50 à 8 fr. 50 suivant la quantité conservée; la viande, 2 fr. 50 à 5 francs par 100 kilogrammes et par mois; les pommes, 1 centime par kilogramme et par mois¹.

Cette immense organisation frigorifique est complétée par un grand nombre de wagons réfrigérants. En mars 1901, le nombre de wagons réfrigérants en service aux États-Unis, au Canada et au Mexique, était de 60.000 environ, et la capacité totale de ces wagons pouvait être évaluée à environ un million et demi de tonnes². Le mode de réfrigération le plus fréquemment employé consiste à disposer à l'intérieur du wagon, soit sous le toit, soit aux deux extrémités, deux ou plusieurs bacs à glace dont l'eau de fusion est évacuée à l'extérieur: ces bacs peuvent être rechargés en cours de route au moyen de trappes qui s'ouvrent sur la toiture du wagon. La réfrigération est opérée à l'intérieur par une circulation d'air qui, refroidi au contact de la glace, tombe sur le plancher du wagon, s'y réchauffe et remonte de nouveau vers la partie supérieure pour venir passer sur la glace. Les trains de wagons frigorifiques traversent l'Amérique du Pacifique à l'Atlantique; ils vont en six jours de Sacramento à Chicago et en huit jours de la même ville à New-York. Des stations de recharge de glace se trouvent sur plusieurs points du parcours.

Les Compagnies de chemins de fer ont installé aux points terminus de leurs lignes d'immenses entrepôts frigorifiques. Il existe à Jersey-City, directement sur les quais de l'Hudson dans la traversée de New-York, plusieurs entrepôts frigorifiques aux terminus des Compagnies de chemins de fer Pennsylvania Erié, Delaware, Lackawana, Western Railway, etc. Chaque entrepôt est d'une capacité de 30 à 90.000 mètres cubes. Il est directement relié avec les lignes de chemins de fer, et les voies sont posées de telle façon que les wagons réfrigérants qui transportent des denrées sont amenés directement dans l'atmosphère refroidie des entrepôts; le contenu peut être déchargé et emmagasiné sans aucun risque de changement de température.

Pour se rendre compte du rôle important que joue la réfrigération dans l'approvisionnement, prenons comme exemple la ville de Chicago, dans l'État de l'Illinois. Grâce à ses vastes entrepôts frigorifiques³, si cette ville se trouvait à un certain moment complètement privée de communications avec le reste du pays, elle posséderait encore assez de ressources en vivres conservés pour nourrir pendant plusieurs mois ses 2 millions d'habitants, sans leur faire endurer la moindre privation. Il y a en effet 20 millions de livres de viande conservées; dans un seul entrepôt, il y a plus d'un million de livres de poissons qui y sont toujours en conserve⁴. Les usines Armour possèdent 17 machines frigorifiques, d'une puissance de 75 tonnes de glace chacune, soit de 3.000 kilogrammes à l'heure; elles permettent de traiter 15.000 porcs, 3.000 têtes de gros bétail et 7.000 moutons et veaux par jour⁵. Aux usines Hammond⁶, le magasin de réfrigération des bœufs a une superficie de $61 \times 83,6 = 5.099,6$ mètres carrés et il est élevé de sept étages; l'entrepôt frigorifique des porcs, un peu plus petit, a cependant une base de $59,17 \times 60,08 = 3.555$ mètres carrés et une hauteur de six étages. Les figures 5 et 6 donnent une idée de l'étendue des chambres

1. DE LOVERDO, *loc. cit.*, p. 620.

2. D'après M. Brown, directeur du Railway Equipment Register. — *Les Transports en wagons frigorifiques* (note du Service technique du Ministère de l'Agriculture) (*L'Industrie frigorifique*, 1^{re} année, n° 7, décembre 1903, p. 14).

3. D'après *Ice and Cold Storage Trade's Directory* (1905), il y a actuellement à Chicago 13 entrepôts frigorifiques proprement dits (Cold Stores).

4. B.-S. GIBSON, *loc. cit.*, p. 6.

5. DE LOVERDO, *loc. cit.*, p. 622.

6. *The Latest Addition to Packintown, Chicago (Ice and Refrigeration, t. XXVI, n° 1, janvier 1904).*



FIG. 5. — Usines G. H. Hammond C^e, Chicago.

Vue de l'une des chambres de réfrigération des quartiers de bœuf (*Ice and Refrigeration*, vol. XXVI, n^o 1, janvier 1904).

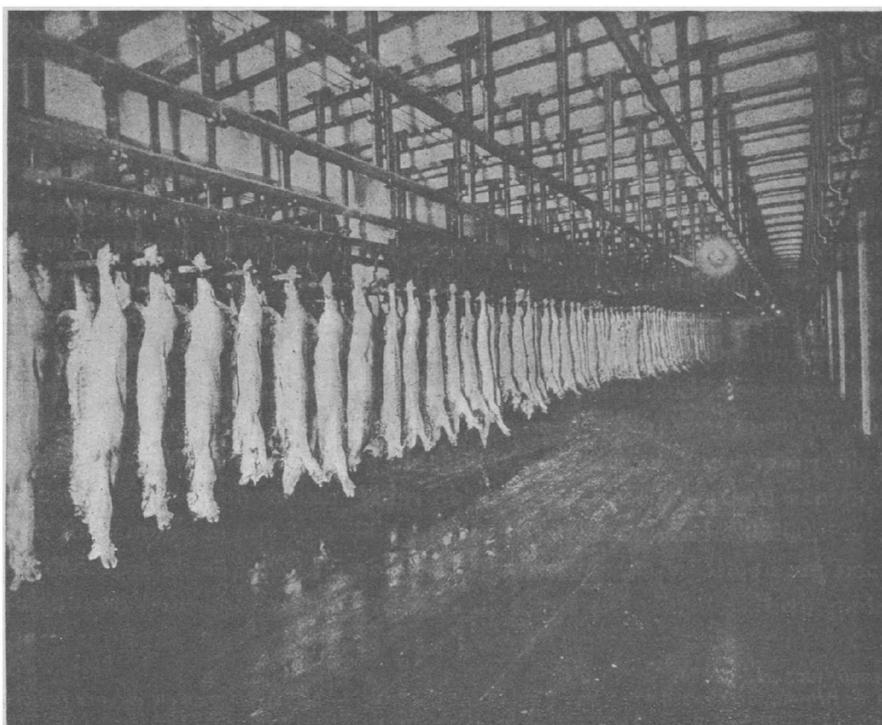


FIG. 6. — Usines G. H. Hammond C^e, Chicago.

Vue de l'une des chambres de réfrigération des porcs (*Ice and Refrigeration*, vol. XXVI, n^o 1, janvier 1904).

de réfrigération des quartiers de bœufs et des porcs placées à chacun de ces étages : la température y est maintenue entre 0° et + 1° C. L'usine possède, en outre, quinze chambres de congélation, dont dix ont chacune une superficie de $4,90 \times 9,80 = 48,02$ mètres carrés et cinq une superficie de $14,60 \times 9,80 = 143,08$ mètres carrés ; les plus petites peuvent être maintenues à des températures variant de -24° à -29° C. ; les plus grandes sont refroidies à des températures comprises entre -7° et -12° C. ; elles servent plus particulièrement à la conservation des denrées congelées. Le froid est produit dans cet immense entrepôt par quatre machines frigorifiques d'une puissance totale de près de 3.000.000 de frigories-heures correspondant à une production journalière de 425 tonnes de glace ; il est même question d'y ajouter un nouveau compresseur de 1.360.000 frigories-heures capable de produire 200 tonnes de glace par jour.

Enfin dans certaines villes des États-Unis (Boston, New-York, Saint-Louis, Baltimore, Los Angeles) on vient d'inaugurer dans les rues un système de canalisation de tuyaux permettant, au moyen d'une usine centrale, de distribuer le froid à domicile, comme on le fait pour l'eau et le gaz.

23. L'industrie frigorifique au Canada. — Au Canada, voisin des États-Unis, le Gouvernement favorise le plus possible le développement de l'industrie frigorifique en vue de l'exportation des produits de laiterie (beurres, fromages) et des fruits, en particulier des pommes. Les nombres de colis de beurre expédiés du port de Montréal, par bateaux frigorifiques, pour l'Angleterre, sont depuis 1898 ¹ :

	Colis de beurre		Colis de beurre	
1898.	209.172	}	1901.	410.893
1899.	429.734		1902.	525.735
1900.	227.863		1903.	335.935

Alors qu'en 1902 il était encore parti 1.593 colis de beurre transportés dans des cales non refroidies, il n'en a été transporté que 454 en 1903.

Pendant cette même année 1903, on a embarqué à Montréal, pour l'Angleterre, 43.800 boîtes de fromages, 21.834 barils et 27.102 boîtes de pommes, 6.734 caisses de poires ; toutes ces expéditions ont été faites en compartiments réfrigérés. 37 steamers pourvus de tels compartiments et attachés au port de Montréal ont fait 172 voyages.

Cette grande extension de l'exportation des produits de laiterie est due à l'application du froid à la préparation du beurre et du fromage. Dès 1897 le Parlement canadien a accordé une prime de 100 dollars (500 francs environ), payable en trois versements annuels, à chaque beurrerie pourvue de chambres frigorifiques. Jusqu'en 1903, 496 beurreries avaient reçu le premier versement de 50 dollars ; 346 avaient touché le second versement, et 210 avaient reçu la prime entière. Enfin des wagons frigorifiques, pour lesquels le Ministère de l'Agriculture accorde des primes aux Compagnies, partent toutes les semaines ou toutes les deux semaines de 49 points différents et reçoivent des consignations de beurre tout le long de la route jusqu'à Montréal. Des inspecteurs parcourent les différentes lignes pour se rendre compte du fonctionnement des installations frigorifiques, soit dans les beurreries, soit dans les moyens de transport.

24. L'industrie frigorifique dans la République Argentine. — Ce n'est pas seulement dans l'Amérique du Nord que l'industrie du froid a donné un bel essor au com-

¹ *Le froid artificiel et l'industrie laitière au Canada*, rapport du Ministère de l'Agriculture (*Industrie frigorifique*, 3^e année, n° 25, juin 1905).

merce d'exportation; elle a créé cette branche commerciale dans la République Argentine¹.

On sait que le stock des bœufs et des moutons (plus de 120.000.000) est, dans ce pays, bien supérieur à la consommation indigène. Aussi a-t-on pensé de bonne heure à utiliser le froid industriel pour expédier le surplus à l'étranger. Nous avons vu plus haut que Ch. Tellier avait fait cette tentative dès 1877; son insuccès retarde de quelques années la création de cette branche de commerce d'exportation.

Mais les excellents résultats obtenus par l'Australie dans ses expéditions de viande congelée sur la Grande-Bretagne provoquent de nouveaux essais en Argentine. En 1883, la *River Plate Fresh Meat Company* se fonde à la Plata et expédie dès la première année sur l'Angleterre 17.165 carcasses de moutons et d'agneaux. L'année suivante (1884), c'est la *Sansinena Frozen Meat Company* (*Compania Sansinena de Carnes congeladas*) qui est fondée à l'instar de la première. En 1886, la *Las Palmas Produce Company* (aujourd'hui *Nelson New River Plate Meat Co Ltd*) s'installe dans le port de *Zarate* sur le Parana. En 1889, une nouvelle Compagnie est encore fondée, sous le nom de *Argentine Meat Preserving Company Ltd*; elles s'installent dans la province de *Entre Rios*. Aujourd'hui à ces Compagnies s'ajoutent : la *Compania Argentina de Carnes congeladas*, dont le siège est à *Avellaneda*; *Fletcher W. et R. Ltd*, dont le siège est à *San Nicholas*; *La Blanca* et *La Plata*, dont les sièges sont à *Buenos-Ayres*. La plupart de ces Compagnies ont des bureaux à Londres et de nombreuses succursales en Angleterre et sur le continent². Alors qu'en 1883 le chiffre des exportations ne s'élevait qu'à 17.165 carcasses de mouton, en 1893 le nombre des carcasses de mouton congelé envoyées en Angleterre s'élève à 1.373.723, et, en 1903, ce nombre est de 3.125.950 ayant une valeur de 65.000.000 environ. D'après le rapport³ de M. Ross, consul d'Angleterre à Buenos-Ayres, les exportations de bœuf congelé vers le Royaume-Uni ont augmenté de 16.000 tonnes en 1904; quant aux expéditions de mouton congelé, elles ont augmenté de 10.000 tonnes (406.400 carcasses de 25 kilogrammes) et elles ont été dirigées sur la Grande-Bretagne et sur l'Afrique du Sud. Les tableaux I et II donnent d'ailleurs, d'une part, les exportations de viandes congelées depuis 1900 jusqu'à 1904 et, d'autre part, la production journalière de diverses usines en 1904⁴.

TABLEAU I

EXPORTATIONS DE VIANDES CONGELÉES DE LA RÉPUBLIQUE ARGENTINE DEPUIS 1900 JUSQU'À 1904

ANNÉES	TOTAL	BŒUF	MOUTON
	Tonnes anglaises de 1.016 kilog.	Tonnes anglaises de 1.016 kilog.	Tonnes anglaises de 1.016 kilogrammes
1900.	81.002	24.590	56.412 (environ 2.292.583 carcasses de 25 kilog.)
1901.	107.917	44.904	63.013 (environ 2.560.848 carcasses de 25 kilog.)
1902.	150.091	70.018	80.073 (environ 3.254.166 carcasses de 25 kilog.)
1903.	159.669	81.520	78.149 (environ 3.175.975 carcasses de 25 kilog.)
1904.	186.360	97.744	88.616 (environ 3.601.354 carcasses de 25 kilog.)

1. URIBURU, consul général de la République Argentine en Angleterre, *L'Industrie frigorifique dans la République Argentine* (*Cold Storage*, VII, 1904).

2. La *Compania Sansinena*, dont les sièges sont à Buenos-Ayres et à Bahia-Blanca, a des succursales à Liverpool, Manchester, Birmingham, Cardiff, Hull, Newcastle-on-Tyne, Paris-Pantin, le Havre, Dunkerque et Genève.

3. *Argentina, its Trade and Commerce* (*Ice and Cold Storage*, t. VIII, n° 87, juin 1905).

4. *Ice and Refrigeration* (1904, t. XXVII, p. 18).

TABLEAU II

PRODUCTION JOURNALIÈRE EN 1904 DE DIVERSES USINES A VIANDE CONGELÉE
DE LA RÉPUBLIQUE ARGENTINE

COMPAGNIES	SIÈGES	BŒUFS	MOUTONS
Sansinena	Buenos-Ayres.	250	6.000
Las Palmas	Zarate.	170	3.000
River Plate	Campana.	170	3.000
La Blanca	Buenos-Ayres.	150	3.000
La Plata	Buenos-Ayres.	300	6.000
Sansinena	Bahia-Blanca.	150	3.000

NOTA. — On tue généralement des bœufs de trois ans pesant 600 à 700 kilogrammes, souvent uniquement nourris d'alfa. Les bons jeunes bœufs de trois ans valent de 200 à 240 francs et coûtent 20 à 25 francs par tête pour les amener aux abattoirs dans les ports.

25. Les importations frigorifiques en Angleterre. — Comme nous venons de le voir par les exemples cités, le froid industriel, en permettant d'amener sur ses marchés les produits des autres nations dans les meilleures conditions de bon marché et de conservation, rend un très grand service au consommateur anglais. Nulle part, en Europe, les procédés frigorifiques n'ont pris une telle extension. On se rend compte de l'importance de ce mouvement frigorifique d'importation si l'on remarque que la Grande-Bretagne reçoit tous les ans de ses colonies, de la Russie, de l'Amérique, etc..., des denrées frigorifiées ou congelées d'une valeur d'environ un demi-milliard¹.

Voici des chiffres (vrais pour 1902) qui indiquent l'importance de l'importation de la viande congelée ou réfrigérée².

TABLEAU III

IMPORTATION EN 1902 DE LA VIANDE CONGELÉE OU RÉFRIGÉRÉE EN ANGLETERRE

NATURE DES PRODUITS	PROVENANCE	QUANTITÉS (CARCASSES)	
Moutons congelés.	Australie.	186.753	4.982.183
	Nouvelle-Zélande.	1.879.961	
	La Plata.	2.915.469	
Agneaux congelés.	Australie.	537.544	2.613.144
	Nouvelle-Zélande.	1.788.100	
	La Plata.	287.500	
Bœufs congelés ou réfrigérés.	Australie.	43.609	686.021
	Nouvelle-Zélande.	153.536	
	La Plata.	488.876	

1. DE LOVERDO, *loc. cit.*, p. 624.

2. W. WEDDEL, *Review of the frozen Meat Trade, 1902*; — A. PERRET, *Les Machines à glace et les applications du froid dans l'industrie* (Paris, E. Bernard, 1904) (*Le Commerce des matières alimentaires réfrigérées*, p. 426).

26. La flotte frigorifique anglaise. — Le développement de ces importations nécessite un développement parallèle du nombre des navires pourvus de cales refroidies. C'est pourquoi la flotte frigorifique de l'Angleterre a une importance qui va en croissant chaque année. Le nombre des navires qui transportent de l'Australie, de la Nouvelle-Zélande, de la République Argentine, du Canada, etc..., des denrées conservées par le froid, a doublé dans ces dernières années. Le tableau IV donne une statistique de ces navires frigorifiques; leur nombre, qui était de 167 en 1902, est maintenant de 311, présentant un volume de chambres froides supérieur à 756.000 mètres cubes. Ces navires appartiennent à plus de 40 Compagnies différentes, dont plusieurs ont en service jusqu'à 12 ou 15 steamers de 6.000 à 12.000 tonneaux. La capacité des chambres froides de ces navires va d'ailleurs en augmentant; alors qu'il y a quelques années elle ne dépassait pas 5.000 mètres cubes, elle atteint actuellement, 8.000 à 8.500 mètres cubes. Le tableau V donne la liste déjà longue de ces navires qui ont une capacité de chambres froides supérieure à 5.600 mètres cubes.

27. Importation du beurre en Angleterre. — 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 203.034 tonnes, ce qui donne un accroissement de 4.290 tonnes sur l'année précédente 1902 et de 17.890 tonnes sur l'année 1901¹. Malheureusement la France, pays agriculteur par excellence et le plus voisin de l'Angleterre, est pour bien peu de chose dans ce développement. Au point de vue de l'accroissement des importations, nous sommes actuellement de beaucoup dépassés par des pays beaucoup plus éloignés, comme 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 d'un prix inférieur à nos produits de la Normandie et de la Bretagne. Pour donner une idée de la décadence de notre commerce beurrier avec l'Angleterre, donnons le tableau suivant, emprunté à l'ouvrage si bien documenté de M. A. Perret sur *les Machines à glace et les applications du froid*.

En 1903, il a été importé en Angleterre :

Par le Danemark..	39.000 tonnes de plus qu'en 1894	
la Russie.	19.000	—
la Hollande.	13.000	—
le Canada.	12.000	—
la Nouvelle-Zélande.	7.000	—
l'Argentine..	5.000	—
la Belgique.	2.500	—
la France.	1.500	—
les États-Unis	400	—
la Norvège.	350	—

28. Importation des œufs en Angleterre. — Ce qui se passe pour le beurre est encore vrai pour les œufs. Jadis l'Angleterre tirait la presque totalité de ses œufs de la Normandie et de la Bretagne. Aujourd'hui elle absorbe presque toute la production danoise qui, grâce à ses 73 dépôts frigorifiques, a vu son exportation s'élever de 656.940 œufs en 1865 à 240 millions en 1893. De janvier à septembre 1902, le Danemark a livré à l'Angleterre plus de 280 millions d'œufs.

1. O. KASDORF, *Eis und Kälte im Molkereibetrieb*, p. 306 (Leipzig, Heinsius, 1904).

TABEAU IV
NAVIRES FRIGORIFIQUES IMPORTANT EN ANGLETERRE DES DENRÉES CONSERVÉES PAR LE FROID
(D'après *Ice and Cold Storage Trade's Directory*, London, The Ice and Cold Storage Publishing Company Limited, 20, Tudor Street, E. C.)

ROUTES	COMPAGNIES DE TRANSPORTS (Les nombres entre parenthèses indiquent le nombre des bâtiments appartenant à chaque Compagnie)	NOMBRE TOTAL des BÂTIMENTS	NOMBRE DES BÂTIMENTS DONT ON DONNE LA CAPACITÉ DES CHAMBRES FRIGORIFIQUES EN		CAPACITÉ DES CHAMBRES FRIGORIFIQUES EN	
			Mètres cubes	Nombre de carcasses de mouton de 25 kilog.	Mètres cubes	Nombre de carcasses de mouton de 25 kilog.
De l'Australie à Londres.....	Orient Pacific Line (10); — G. Thompson et Co (7); — P. et O. S. N. Co (9); — W. Lund and Sons (6); — Gulf Line Limited (5); — W. Milburn et Co (2); — C. Anderson (2); — British India As. (2). White Star Line (4); — Houlder Line (4); — Empire Transport Co Limited (1). Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	43	43	28	1.065.000	
De l'Australie à Liverpool et à Londres.....	White Star Line (4); — Houlder Line (4); — Empire Transport Co Limited (1). Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	9	9	9	890.000	
De la Plata à Londres.....	Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	9	3	8	293.000	
De la Plata à Liverpool.....	Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	22	18	22	920.366	
De la Plata à Liverpool et à Londres.....	Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	5	5	5	312.500	
De l'Australie et de la Plata à Liverpool et à Londres.....	Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	4	4	4	21.036,4	
De la Plata à Southampton.....	Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	5	5	1	7.094,3	
De la Nouvelle-Zélande à Londres.....	Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	38	38	32	2.505.413	
De la Nouvelle-Zélande à Liverpool et à Londres.....	Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	3	3	3	157.116	
De l'Australie, Nouvelle-Zélande et Amérique du Sud au Royaume-Uni.....	Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	45	45	45	1.633.000	
De l'Afrique du Sud à Londres.....	Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	27	27	»	»	
De l'Afrique du Sud à Southampton.....	Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	41	41	»	»	
De l'Amérique du Sud à Londres et à Southampton.....	Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	4	»	»	»	
De New-York à Liverpool.....	Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	17	17	14	104.033	
De New-York à Londres.....	Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	5	5	»	»	
De New-York à Southampton.....	Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	4	4	»	»	
De Boston à Londres.....	Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	7	7	»	»	
De Boston à Liverpool.....	Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	14	10	»	»	
De Baltimore à Liverpool.....	Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	5	5	»	»	
Du Canada à Liverpool.....	Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	18	15	»	»	
Du Canada à Londres.....	Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	11	11	»	»	
Du Canada à Bristol.....	Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	40	40	»	»	
Du Canada à Glasgow.....	Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	13	13	»	»	
Du Canada à Manchester.....	Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	3	3	»	»	
De Riga à Hull.....	Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	3	3	»	»	
De Gothenburg à Hull.....	Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	2	2	»	»	
De Copenhague au Royaume-Uni.....	Chargeurs-Réunis (6); — R. M. Hudson (4); — Houlder Line (1); — J. P. Corry and Co (4). Chargeurs-Réunis (4); — R. P. Houston and Co (8); — H. and W. Nelson and Sons Ltd. (7); — Turner Brightman and Co (6). Houlder Line (4); — J. P. Corry and Co (4).	4	4	»	»	
TOTAUX.....		311	290	140	8.285.332	

PRODUCTION ET UTILISATION DU FROID.

2

TABLEAU V

NAVIRES DONT LES CHAMBRES FRIGORIFIQUES ONT UNE CAPACITÉ DE PLUS DE 5.600 MÈTRES CUBES

(D'après *Ice and Cold Storage Trade's Directory*, London. — The Ice and

NOM du NAVIRE	COMPAGNIES DE TRANSPORTS	TONNAGE JAUGE BRUTE ¹ (Bureau Veritas)	CAPACITÉ DES CHAMBRES FROIDES		MARCHANDISES TRANSPORTÉES
			en mètres cubes	en carcasses de mouton de 25 kilog. (12 à 16 au mètre cube)	
<i>Afric</i>	White Star Line.	11.948	7.000	100.000	Viande, produits de laiterie, fruits.
<i>Aotea</i>	Shaw-Savill and Albion.	6.364	6.275	71.500	Viande congelée et produits de laiterie.
<i>Athenic</i>	White Star Line.	12.234	8.347	84.321	Viande et produits de laiterie.
<i>Ayrshire</i>	Turnbull, Martin and C ^o .	7.252	8.435	130.000	Viande congelée et produits de laiterie.
<i>Banffshire</i>	<i>Id.</i>	5.736	6.880	100.000	<i>Id.</i>
<i>Buteshire</i>	<i>Id.</i>	5.574	6.216	100.000	<i>Id.</i>
<i>Cornwall</i>	Federal S. N. C ^o .	5.490	6.439	100.000	<i>Id.</i>
<i>Delphic</i>	White Star Line.	8.273	8.028	100.000	Mouton congelé.
<i>Drayton Grange</i>	Houlder Line.	6.591	6.884	100.000	Viande congelée.
<i>Essex</i>	Federal S. N. C ^o .	7.016	8.421	130.000	<i>Id.</i>
<i>Everton Grange</i>	Empire Transport C ^o Ltd.	7.144	8.200	130.000	<i>Id.</i>
<i>Fifeshire</i>	Turnbull, Martin et C ^o .	5.672	6.300	119.000	Viande congelée et produits de laiterie.
<i>Gothic</i>	White Star Line.	7.752	6.214	72.500	Mouton congelé.
<i>Haversham Grange</i> .	Empire Transport C ^o Ltd.	7.505	8.465	130.000	Viande congelée.
<i>Indradevi</i>	T. B. Royden.	5.683	5.992	100.000	Mouton congelé.
<i>Indralema</i>	<i>Id.</i>	6.670	6.678	100.000	<i>Id.</i>
<i>Kaikoura</i>	New Zealand S. C ^o Ltd.	6.998	7.880	100.000	Mouton et produits de laiterie.
<i>Kaipara</i>	<i>Id.</i>	7.596	7.880	100.000	<i>Id.</i>
<i>Karamea</i>	Shaw-Savill Albion C ^o .	5.563	6.300	75.000	Viande congelée et produits de laiterie.
<i>Kent</i>	Federal S. N. C ^o .	5.464	6.480	100.000	Viande congelée.
<i>Kumara</i>	Shaw-Savill Albion C ^o .	6.034	6.420	100.000	Mouton congelé et produits de laiterie.
<i>Mamari</i>	<i>Id.</i>	7.000	7.000	85.000	<i>Id.</i>
<i>Maori</i>	<i>Id.</i>	5.317	5.880	67.500	<i>Id.</i>
<i>Marere</i>	The Tyser Line Ltd.	6.443	7.000	100.000	<i>Id.</i>
<i>Matatua</i>	Shaw-Savill Albion C ^o .	7.000	7.000	85.000	<i>Id.</i>
<i>Medic</i>	White Star Line.	11.985	7.000	100.000	Viande, produits de laiterie, fruits.

1. *Jauge brute totale* (Tonnage spécial pour la liquidation des primes et compensation d'armement). Correspond au volume de la coque au-dessous du pont supérieur (y compris les water-ballast du fond) augmenté du volume des superstructures limitées par des cloisons fixes et permanentes. (Unité de mesure 2^m3,83 ou 100 pieds cubes anglais).

Jauge brute (Identique au gros tonnage anglais). Diffère de la jauge brute totale en ce qu'on ne tient pas compte : 1^o des water-ballast du fond ; 2^o des coquerons ou peaks dont le plafond ne dépasse pas sensiblement la ligne de charge du navire ; d'un grand nombre de superstructures telles que claires-voies, dômes, capots de descente, cuisine, appareil distillatoire, bouteilles, écouteille, petite chaudière,

TABLEAU V

(200.000 PIEDS CUBES) QUI IMPORTENT EN GRANDE-BRETAGNE DES DENRÉES CONSERVÉES PAR LE FROID

Cold Storage Publishing Company Limited, 20, Tudor Street, E. C.)

DE	A	ÉPOQUE de la mise en SERVICE	MODE DE RÉFRIGÉRATION		
			SYSTÈME de réfrigération	CONSTRUCTEURS	ISOLEMENT
Australie.	Liverpool et Londres.	1899	CO ² circulat. de saumure.	Hall.	Silicate cotton.
Nouvelle-Zélande.	Londres.	1895	Air.	Haslam.	Charcoal.
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	1902	CO ² circulat. de saumure.	Hall.	Silicate cotton.
Australie, N.-Zélande, Amér. du Sud.	Royaume-Uni.	1904	AzH ³ saumure et air sec.	Linde.	<i>Id.</i>
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	1894	AzH ³	<i>Id.</i>	Charcoal, Silicate cot- ton, pierre ponce.
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	1894	AzH ³ .	<i>Id.</i>	Pierre ponce.
<i>Id.</i>	Afrique du Sud, Roy.-Uni	1896	Air sec.	Haslam.	Charcoal.
Nouvelle-Zélande.	Londres.	1897	Air.	<i>Id.</i>	<i>Id.</i>
Australie.	Liverpool et Londres.	1901	CO ² circulat. de saumure.	Hall.	<i>Id.</i>
Australie, N.-Zélande, Amér. du Sud.	Bristol.	1902	<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Silicate cotton.
Australie.	Liverpool et Londres.	1903	<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Charcoal.
Australie, N.-Zélande, Amér. du Sud.	Royaume-Uni.	1898	AzH ³ .	Linde.	<i>Id.</i>
Nouvelle-Zélande.	Liverpool.	1893	CO ² circulat. de saumure.	Hall.	<i>Id.</i>
La Plata et Australie.	Liverpool et Londres.	1902	<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	<i>Id.</i>
Nouvelle-Zélande.	Londres.	1900	<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	<i>Id.</i>
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	1901	<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	<i>Id.</i>
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	1903	AzH ³ circulat. de saumure.	Haslam.	Silicate cotton.
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	1903	<i>Id.</i>	Linde.	<i>Id.</i>
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	1899	Air.	Haslam.	Charcoal.
Australie, N.-Zélande, Amér. du Sud.	Liverpool.	1899	Air sec.	<i>Id.</i>	<i>Id.</i>
Nouvelle-Zélande.	Londres.	1899	<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	<i>Id.</i>
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	1904	CO ² circulat. de saumure.	Hall.	Silicate cotton.
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	1893	Air.	Haslam.	Charcoal.
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	1902	CO ² circulat. de saumure.	Hall.	<i>Id.</i>
<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	1904	<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	Silicate cotton.
Australie.	Liverpool et Londres.	1899	<i>Id.</i>	<i>Id.</i>	<i>Id.</i>

espaces réservés à la manœuvre du gouvernail, du guindeau et du cabestan, espaces réservés à l'appareil moteur.

Jauge nette. — S'obtient en déduisant de la jauge brute : 1° les compartiments affectés à l'usage exclusif du personnel du bord; 2° les espaces de navigation situés au-dessous du pont, tels que ceux qui sont affectés à la manœuvre du gouvernail et du cabestan, et qui contiennent les instruments de navigation, la petite chaudière, le magasin du maître d'équipage; 3° le volume afférent à l'appareil moteur. Cette dernière opération peut se faire en déduisant le volume exact des espaces affectés aux machines et chaudières, ainsi que ceux affectés aux soutes à charbon. La déduction en question ne peut pas toutefois dépasser 50 0/0 de la jauge brute.

TABLEAU V (suite)

NOM du NAVIRE	COMPAGNIES DE TRANSPORTS	TONNAGE JAUGE BRUTE ¹ (Bureau Veritas)	CAPACITÉ DES CHAMBRES FROIDES		MARCHANDISES TRANSPORTÉES
			en mètres cubes	en carcasses de mouton de 25 kilog. (12 à 16 au mètre cube)	
<i>Mimiro</i>	The Tyser Line Ltd.	6.225	7.035	100.000	Viande congelée.
<i>Minneapolis</i>	Atlantic Transport C ^o .	13.401	18.340	»	Bœuf.
<i>Minnehaha</i>	<i>Id.</i>	13.436	18.340	»	<i>Id.</i>
<i>Morayshire</i>	Turnbull, Martin et C ^o .	5.576	6.216	110.000	Viande congelée et produits de laiterie.
<i>Nairnshire</i>	<i>Id.</i>	5.673	6.356	110.000	<i>Id.</i>
<i>Norfolk</i>	Federal S. N. C ^o .	5.310	7.614	120.000	<i>Id.</i>
<i>Oswestry Grange</i> ...	Houlder Line.	6.592	6.884	100.000	<i>Id.</i>
<i>Papanui</i>	New Zealand S. C ^o Ltd.	6.582	6.328	75.500	Mouton congelé et produits de laiterie.
<i>Paparoa</i>	<i>Id.</i>	6.563	6.342	76.000	<i>Id.</i>
<i>Persic</i>	White Star Line.	11.973	7.006	100.000	Viande, produits de laiterie, fruits.
<i>Perthshire</i>	Turnbull Martin et C ^o .	5.550	6.210	100.000	Viande congelée, produits de laiterie.
<i>Philadelphia</i>	Int. Nav. C ^o .	10.433	5.600	»	Bœuf et fruits.
<i>Rakala</i>	New Zealand S. C ^o .	5.628	6.272	75.000	Mouton et produits de laiterie.
<i>Ruapehu</i>	<i>Id.</i>	7.801	7.364	90.000	<i>Id.</i>
<i>Runic</i>	White Star Line.	12.482	7.000	100.000	Viande, fruits, produits de laiterie.
<i>Somerset</i>	Federal S. N. C ^o .	7.010	8.250	130.000	Viande congelée. Produits de laiterie.
<i>Star of Australia</i> ..	J. P. Corry et C ^o .	7.198	7.084	93.000	Mouton congelé.
<i>Star of Ireland</i>	<i>Id.</i>	4.331	5.600	80.000	Mouton congelé et bœuf réfrigéré.
<i>Star of Scotland</i> ...	<i>Id.</i>	7.000	7.112	100.000	<i>Id.</i>
<i>Suevic</i>	White Star Line.	12.482	7.000	100.000	Viande, fruits, produits de laiterie.
<i>Suffolk</i>	Federal S. N. C ^o .	7.317	8.406	130.000	Viande congelée.
<i>Surrey</i>	<i>Id.</i>	5.454	6.507	100.000	<i>Id.</i>
<i>Sussex</i>	<i>Id.</i>	5.474	6.326	100.000	<i>Id.</i>
<i>Tokomaru</i>	Shaw-Savill and Albion C ^o .	6.238	7.216	84.000	Viande congelée, produits de laiterie.
<i>Tongariro</i>	New Zealand S. C ^o Ltd.	7.600	7.364	90.000	Fruits, viande, produits de laiterie.
<i>Tomoana</i>	The Tyser Line Ltd.	5.987	6.200	»	Viande congelée.
<i>Turakina</i>	New Zealand S. C ^o Ltd.	8.027	8.243	100.000	Fruits, viande, produits de laiterie.
<i>Walmate</i>	<i>Id.</i>	5.610	6.200	75.000	Mouton et produits de laiterie.
<i>Waiwera</i>	Shaw-Savill Albion C ^o .	6.237	6.737	80.000	<i>Id.</i>
<i>Wakanui</i>	New Zealand S. C ^o Ltd.	5.824	6.200	75.000	<i>Id.</i>
<i>Whakatane</i>	<i>Id.</i>	5.002	6.188	75.000	<i>Id.</i>

1. Voir la note 1 de la page précédente.

TABLEAU V (suite)

DE	A	ÉPOQUE de la mise en SERVICE	MODE DE RÉFRIGÉRATION		
			SYSTÈME de réfrigération	CONSTRUCTEURS	ISOLEMENT
Nouvelle-Zélande.	Londres	1900	CO ² circulat. de saumure.	Hall.	Charcoal.
New-York.	Id.	1900	Id.	Id.	Id.
Id.	Id.	1900	Id.	Id.	Id.
Australie, N.-Zélande, Amér. du Sud.	Royaume-Uni.	1898	AzH ³ .	Linde.	Id.
Id.	Id.	1899	Id.	Id.	Id.
Id.	Liverpool.	1900	CO ² circulat. de saumure.	Hall.	Silicate cotton.
Australie.	Londres et Liverpool.	1902	Id.	Id.	Charcoal.
Nouvelle-Zélande.	Londres.	1899	AzH ³ déléto dir. et circul. d'air	Linde.	Id.
Id.	Id.	1899	AzH ³ circulat. de saumure.	Id.	Id.
Australie.	Liverpool.	1899	CO ² circulat. de saumure.	Hall.	Id.
Australie, N.-Zélande, Amér. du Sud.	Royaume-Uni.	1893	AzH ³ .	Linde.	Id.
New-York.	Southampton.	1901	AzH ³ circulat. de saumure.	Liverpool Refri- gération C°.	Id.
Nouvelle-Zélande.	Londres.	1895	Id.	Linde.	Id.
Id.	Id.	1901	Id.	Haslam.	Id.
Australie.	Liverpool et Londres.	1901	CO ² circulat. de saumure.	Hall.	Silicate cotton.
Australie, N.-Zélande, Amér. du Sud.	Glasgow.	1903	Id.	Id.	Id.
Nouvelle-Zélande.	Londres.	»	Air.	Goodfellow.	Charcoal.
Id.	Londres et Liverpool.	1903	CO ² circulat. de saumure.	Hall.	Silicate cotton.
Id.	Londres.	1903	Id.	Id.	Charcoal et liège.
Australie.	Liverpool et Londres.	1901	Id.	Id.	Silicate cotton.
Australie, N.-Zélande, Amér. du Sud.	Id.	1902	Id.	Id.	Id.
Id.	Id.	1899	Air sec.	Goodfellow.	Charcoal.
Id.	Id.	1900	CO ² circulat. de saumure.	Hall.	Id.
Nouvelle-Zélande.	Londres.	1893	Air.	Haslam.	Id.
Id.	Id.	1901	AzH ³ .	Linde.	Id.
Id.	Id.	1899	CO ² circulat. de saumure.	Hall.	Id.
Id.	Id.	1902	AzH ³	Linde.	Id.
Id.	Id.	1896	Air.	Id.	Id.
Id.	Id.	»	Id.	Haslam.	Id.
Id.	Id.	1899	Id.	Linde.	Id.
Id.	Id.	1900	Id.	Id.	Id.

Les livraisons des autres pays d'approvisionnement ont été pendant le même laps de temps (janvier à septembre 1902) les suivantes :

Russie.	420 millions		Belgique.	240 millions
Allemagne.	360 —		France.	172 —

Alors que les oviculteurs français ne perçoivent qu'une somme de 15.200.000 francs, les ventes danoises, russes, allemandes, belges représentent un total de près de 87 millions, c'est-à-dire de six fois autant¹.

Cette diminution dans le trafic des œufs français est toujours causée par le même motif, *degré insuffisant de conservation*. Ceux du Danemark, de la Belgique, de l'Allemagne sont transportés, pour ainsi dire, aussitôt la ponte, dans des entrepôts frigorifiques; les trajets par mer et par terre s'effectuent dans des appareils réfrigérants. Ils arrivent dans un état de fraîcheur que ne peuvent égaler nos produits qui, malgré les soins apportés à leur emballage, subissent pendant le transport toutes les influences de la température ambiante.

29. Le lait congelé du Danemark à Londres. — Londres reçoit chaque jour plusieurs milliers d'hectolitres de lait congelé qui lui viennent du Danemark et de la Suède. Le lait frais pasteurisé à + 75° est congelé à — 10° : les blocs de lait gelés sont placés dans des barils en sapin bien étanches, d'une contenance à peu près double du volume des blocs. On remplit l'espace vide de lait stérilisé, puis on ferme hermétiquement les barils. Les récipients sont parfaitement pleins et rafraîchis par le bloc congelé qui fond lentement : il ne peut se produire aucun barattage, qui amènerait un commencement de transformation en beurre. On arrive ainsi à conserver le lait pendant près de vingt jours².

30. Importation des fruits de l'Australie, du Cap, de la Tasmanie. — Les transports frigorifiques permettent au marché de Londres d'être approvisionné, d'une façon presque continue, en fruits frais toute l'année. Les fruits du Cap, de la République Argentine, les pommes de l'Australie, de la Tasmanie, viennent alimenter le marché au moment où les envois d'Europe et la production indigène font défaut. Les expéditions du Cap à destination du Royaume-Uni qui, en 1899, n'étaient que de 10.817 caisses, se sont élevées en 1903 à 21.968, dont 9.043 pour les raisins, 7.457 pour les prunes, 3.276 pour les pêches, le reste étant réparti entre poires, abricots, brugnons, coings et ananas³. En 1903, la Tasmanie a envoyé plus de 300.000 caisses de pommes, dont le prix de transport est revenu à environ 81 fr. 25 la tonne anglaise de 1.016 kilogrammes.

31. Les entrepôts frigorifiques en Angleterre. — Pour assurer la conservation de tous ces produits, l'Angleterre possède une quantité considérable d'entrepôts frigorifiques qui permettent aux importateurs d'attendre les cours plus favorables du marché, de prolonger leur saison de vente, de subvenir à l'insuffisance momentanée des arrivages, d'approvisionner le marché presque à contre-saison. C'est ainsi que la saison des fraises (fruit cependant très difficile à conserver) peut durer jusqu'à dix ou douze semaines, à la fin desquelles le fruit peut être livré dans des conditions parfaites, sans altération de goût ou d'apparence.

Le tableau VI donne les caractéristiques de ces cold stores existant dans quelques villes du Royaume-Uni. On voit que certains d'entre eux ont des capacités qui atteignent de 50.000

1. H. BRUN, *les Entrepôts frigorifiques (L'Industrie frigorifique, 1^{re} année, n° 2, juillet 1903, p. 22).*

2. H. BRUN, *loc. cit.*, p. 49.

3. A. PRILLERAY, *la Réfrigération et l'approvisionnement en fruits du marché de Londres (L'Industrie frigorifique, 2^e année, n° 41, avril 1904, p. 117).*

à 55.000 mètres cubes, comme celui de *Royal Victoria and Albert Docks* à Londres ou comme l'*International Cold Storage and Lairage Co Ltd.* de Southampton. Les découvertes les plus récentes de la science moderne sont même mises à contribution pour l'exploitation rationnelle de ces immenses réservoirs de produits congelés. C'est ainsi que M. Elliott, directeur de la *The Union Cold Storage Company* de Liverpool, a conçu une application ingénieuse de la télégraphie sans fil. En communiquant à l'aide de ce procédé avec les paquebots de la *Cunard Line*, il s'assure de l'état des denrées qu'ils importent et de la température des chambres qui leur sont affectées à bord. Par ce moyen, les gardiens des entrepôts sont informés de l'état des produits; s'il y a lieu, des dispositions sont prises pour assurer le débarquement, la réception dans les *stores* ou la réexpédition vers les lieux de consommation dans des conditions particulières de célérité.

On est en train d'achever à Southampton un immense *cold storage*, destiné surtout à la réception, à la conservation des fruits exotiques et, d'une façon générale, des légumes et fruits frais de toute provenance. Il a une hauteur de 15^m,25, une longueur de 122 mètres et une largeur de 36 mètres; il est construit en béton armé. Les plus grands navires peuvent accoster à quai auprès de l'entrepôt et, d'autre part, les wagons du *London and South Western Railway*, auquel il appartient, viennent effectuer leur chargement tout près des chambres frigorifiques.

Le nouvel entrepôt de Southampton, en raison de sa proximité de Smithfield et de Covent-Garden, doit rendre aux deux grands marchés de Londres les services suivants¹: il permettra, d'une part, de prolonger la saison de vente de certains produits jusqu'au moment de leur plus grande rareté; et, d'autre part, si les arrivages sont insuffisants, de suppléer à un manque d'approvisionnement momentané, par des expéditions en wagons réfrigérants qui atteindront le marché central en deux heures.

Les opérations de réexpédition par ces wagons s'effectuent en effet dans les ports anglais avec la plus grande célérité. La totalité d'un chargement de 30.000 régimes de bananes arrivant le soir à Bristol par les paquebots de la *West India Mail* est mise en vente le lendemain matin à Londres. A Southampton, un paquebot arrivé à cinq heures du matin avec 1.000 colis de fruits tendres a eu son chargement réexpédié à six heures un quart. Les fruits arrivés à Nine Elm (Londres) à huit heures trois quarts ont pu être mis en vente à Covent-Garden ce matin-là. M. Fladgate, représentant de la Compagnie *Elder Dempster* à Southampton, estime que, lorsque les opérations de déchargement et de réexpédition s'effectuent dans des conditions normales, la cargaison entière d'un steamer de cette Compagnie doit être rendue à Londres, à la maison *Elder and Fryffer*, six heures après arrivage².

32. L'industrie frigorifique en Danemark. — Au cours de cette étude sur l'influence exercée par le froid industriel sur le commerce d'importation de l'Angleterre, nous avons montré comment le *Danemark* s'était emparé, à notre désavantage, du marché anglais du beurre et du lait. Ce succès est dû à ses 73 dépôts frigorifiques et à des navires réfrigérants qui partent tous les jours pour les divers ports du Royaume-Uni.

1. Nous avons puisé tous ces renseignements dans le mémoire suivant : *Commerce des fruits exotiques en Angleterre*; — *Mission Philippe*; — *Outillage économique en vue de l'entreposage et du transport frigorifique des fruits (L'Industrie frigorifique, 2^e année, n° 15, août 1904, p. 231)*.

2. Cette Compagnie vient de lancer un steamer, le *Matina*, destiné uniquement au transport des fruits. Les dimensions principales du navire sont les suivantes :

Longueur, 120 mètres environ; largeur, 15 mètres environ; hauteur, 10 mètres environ. Il peut charger un poids mort de 5.000 tonnes. La sécurité est assurée par un double fond et par 7 cloisons étanches; des quilles latérales empêchent le roulis. Ce navire pourra transporter 46.000 régimes de bananes. Lorsque la Compagnie aura complété sa flotte, elle entretiendra un service hebdomadaire entre Port-Limon et l'Angleterre. Les importations annuelles de bananes de Port-Limon et de la Jamaïque atteindront environ 2.500.000 grappes, ce qui portera le total des importations annuelles à environ 5.000.000 de grappes [*Le Froid dans la marine marchande (L'Industrie frigorifique, 2^e année, n° 8, janvier 1904, p. 9)*].

TABLEAU VI

ENTREPÔTS FRIGORIFIQUES DE QUEL

(D'après *Ice and Cold Storage Trade's Directory*, London. — The Ice and

NOM DE L'ENTREPOT FRIGORIFIQUE	DATE DE L'OUVERTURE	CAPA-
		EN MÈTRES CUBES
		BIR
Birmingham Cold Storage Ltd (King Edward's Place, Broad Street).....	1900	9.800 ou bien 11.000 sacs de houblon.
Linde British Refrigeration C ^o Ltd (City Meat Market).....	Noël 1897	2.660
Linde British Refrigeration C ^o Ltd (Digbeth).....	Janvier 1901	3.360
		BRIS
Corporation Cold Stores (Avonmouth Dock).....	"	3.080
Perry and Sons Ltd (127, Redcliffe Road).....	1897	11.200
		DU
Dublin Corporation Abattoirs (North Circular Road).....	Septembre 1902	420
Dublin Pure Ice and Cold Storage C ^o (Warren Mount Mills, Mill Street).....	"	2.400
Mather and C ^o Ltd (St Michan Street).....	"	700
Mather and C ^o Ltd (Island Bridge).....	Août 1900	2.100
		GLAS
Mac Lachlan, W., and C ^o (Bilbao Street).....	"	2.800
Milne, W. (Old Wynd).....	1902	28.000
Sawers, Ltd (Rutherford Lane).....	"	5.600
Scottish Cold Storage and Ice C ^o Ltd (219, George Street and 33, Montrose Street)....	1898	7.000
		LIVER
Bootle Cold Storage and Ice C ^o Ltd (Millers Bridge).....	1898	6.440
Bootle Cold Storage and Ice C ^o Ltd (Bureaux de ville et Chambres froides pour échantillons, Century Buildings).....	1904	280
Compania Sansinena de Carnes Congeladas (Sandon Dock).....	1895	"
Imperial Food Supplies, Ltd (Victoria Street).....	1904	4.060
Liverpool Cold Storage and Ice C ^o Ltd (Williamson Square).....	1890	"
Mersey Pure Ice and Cold Storage C ^o Ltd (Mill Lane, Bootle).....	1901	2.800
North-Western Cooperative Cold Storage C ^o Ltd (Redfern Street Bankhall).....	1899	7.560
Riverside Cold Storage and Ice C ^o Ltd (Albert Dock).....	1899	28.000
Ruddin's Central Cold Stores (Hood Street).....	1899	5.600
The Union Cold Storage C ^o Ltd (19-20, Produce Exchange Buildings, Victoria Street).	"	"

TABLEAU VI

QUES VILLES DU ROYAUME-UNI

Cold Storage publishing Company Limited, 20; Tudor Street, E. C.)

CITÉ en carcasses DE MOUTON de 25 kilogrammes	MARCHANDISES ENTREPOSÉES	MACHINE FRIGORIFIQUE et MODE DE RÉFRIGÉRATION	ISOLANT EMPLOYÉ
MINGHAM			
»	Houblon.	AzH ³ à compression.	Silicate cotton.
»	Viande congelée. Lapins. Gibier. Volailles. Produits de laiterie. Chambres pour la viande de bœuf et de mouton réfrigérée.	Système Linde. Air froid.	Silicate cotton.
»	Viande congelée. Œufs. Beurre. Lard. Lapins. (Fabrique de glace, 80 tonnes par jour.)	Système Linde. Air froid.	Silicate cotton.
TOL			
»	Produits de laiterie du Canada.	AzH ³ à compression.	»
»	Viande. Beurre. Fruits. Houblon. (Fabrique de glace, 15 tonnes par jour.)	AzH ³ à compression.	Silicate cotton.
BLIN			
»	Viande réfrigérée.	CO ² .	Silicate cotton.
»	Fabrique de glace, 35 tonnes par jour.	CO ² .	»
»	Fabrique de glace, 50 tonnes par jour.	AzH ³ à compression.	Silicate cotton.
»	Viande. Beurre. Œufs. (Fabrique de glace, 18 tonnes par jour.)	AzH ³ à compression.	Silicate cotton.
GOW			
»	Fabrique de glace, 45 tonnes par jour.	AzH ³ à compression.	»
»	De toutes sortes. (Fabrique de glace, 80 tonnes par jour.)	Détente directe et circulation d'air.	Silicate cotton.
»	De toutes sortes. (Fabrique de glace, 25 tonnes par jour.)	AzH ³ à compression.	Silicate cotton.
»	Viande. Gibier. Lapins. Poisson. Fruits. (Fabrique de glace, 25 tonnes par jour.)	AzH ³ à compression.	Silicate cotton.
POOL			
»	De toutes sortes.	AzH ³ à compression.	Silicate cotton.
»	Échantillons de toutes sortes.	CO ² .	Silicate cotton.
70.000	Viande congelée.	AzH ³ à compression.	Flake Charcoal et papier Willesden.
»	»	SO ² (air sec et froid; frigorigère).	Liège granulé et papier P. et B.
130.000	Viande. Poisson. Volaille. Lapins. Fruits. (Fabrique de glace, 60 tonnes par jour.)	AzH ³ à compression.	Silicate cotton, charcoal et papier Willesden.
»	Fabrique de glace, 40 tonnes par jour.	AzH ³ à compression.	Charcoal.
»	»	AzH ³ à compression.	»
»	Fabrique de glace, 50 tonnes par jour.	CO ² .	»
»	Viande. Produits de laiterie. Poisson.	AzH ³ à compression.	Charcoal.
»	Viande. Volailles. Produits de laiterie.	AzH ³ à compression et détente directe.	Silicate cotton.

TABLEAU VI (suite)

NOM DE L'ENTREPOT FRIGORIFIQUE	DATE DE L'OUVERTURE	CAPA
		EN MÈTRES CUBES
		LON
Anderson, Weber and Smith (Montagne Close, London Bridge).....	1895	»
Baersemann's Cold Stores (Bank End Wharf, Park Street, S. E.).....	1904	700
Cattley, Gridley and C ^o (9, Duke Street, London Bridge S. E.).....	»	»
Colonial Consignment and Distributing C ^o Ltd (15, Dowgate Hill, E. C. and Nelson's Wharf, Lambeth, S. E.).....	1893	»
Compania Sansinena de Carnes Congeladas (13, 14, 15, 16, Ling Lane, Smithfield, E. C.).....	»	»
Deptford Foreign Cattle Market Cold Stores (Deptford S. E.).....	»	»
Imperial Cold Stores Ltd (South Tottenham).....	1883	»
Johnson, Cole, Brier and Cordrey, Ltd (Galley Wall Road, Bermondsey, S. E.).....	1903	450 tonnes.
Linde British Refrigeration C ^o Ltd (Lower Shadwell, E.).....	»	»
London and India Docks Company	Royal Victoria and Albert Docks Stores.....	»
	West India Docks Stores.....	»
	South West India Docks Stores.....	»
	West Smithfield Stores.....	»
London Central Markets Cold Storage C ^o Ltd (South East Tower, Central Markets, E.C.).....	Octobre 1899	»
Lonsdale, J. and J., Ltd (D. Block, St-Katherine's Dock, E.).....	1899	6.076
Metropolitan Markets Cold Storage, Ltd (Charterhouse Street, E. C.).....	»	7.000
Palmer John (109-113, Charterhouse Street, E. C.).....	1900	1.792
Thames Cold Storage C ^o Ltd (67, Upper Thames Street, E. C.).....	Janvier 1901	»
Wigan, Richardson and C ^o (Stoney Lane, Tooley Street, S. E.).....	1899	18.200
Wood, Field and Hambury (Sparrick's Row, South Wark, S. E.).....	1901	5.880
		MAN
Corporation Cold Stores and Chill Rooms (Elm Street).....	Février 1895	»
Union Cold Storage C ^o of Manchester Ltd (Miller Street).....	Janvier 1903	7.560
		SOU
International Cold Storage and Lairage C ^o Ltd (Southampton Docks).....	1904	56.000
River Plate Fresh Meat C ^o 1 (80, High Street).....	1899	812

TABLEAU VI (suite)

CITÉ	MARCHANDISES ENTREPOSÉES	MACHINE FRIGORIFIQUE et MODE DE RÉFRIGÉRATION	ISOLANT EMPLOYÉ
en carcasses DE MOUTON de 25 kilogrammes			
DRES			
420.000	Viande. Produits de laiterie.	AzH ³ à compression.	"
"	"	AzH ³ à compression.	Silicate cotton.
10.000 sacs de houblon.	Houblon.	AzH ³ à compression.	Silicate cotton et papier Willesden.
200.000	Viande congelée.	AzH ³ à compression.	Sciure de bois dur.
55.000	Mouton et bœuf congelés.	AzH ³ à compression.	Charcoal et Liège.
5.000 quartiers de bœuf.	Viande réfrigérée.	AzH ³ à compression.	"
30.000 sacs de houblon.	Houblon (Fabrique de glace, 50 tonnes par jour).	AzH ³ à compression.	Silicate cotton.
"	"	AzH ³ à compression.	Silicate cotton.
16.000	Produits congelés de toutes sortes.	AzH ³ à compression.	"
550.000	"	AzH ³ à compression avec circula- tion d'air froid.	"
100.000	"	AzH ³ , type de la Vergne avec circulation de saumure dans les chambres.	"
14.000	"	Machines Haslam à air sec.	"
100.000	"	CO ² , type Hall avec circulation de saumure dans les chambres.	"
300.000	Viande. Volaille, Gibier. Beurre.	Air sec.	"
"	"	AzH ³ à compression.	Silicate cotton.
"	Viande.	AzH ³ à compression; détente di- recte.	"
20.000	Viande. Gibier. Volailles. Beurre. Chambre pour 1.000 quartiers de bœuf réfrigérés.	Air sec.	Silicate cotton.
150.000	"	AzH ³ à compression.	Silicate cotton.
16.000 sacs de houblon.	Houblon.	AzH ³ à compression; détente di- recte.	Silicate cotton.
6.600 sacs de houblon.	Houblon.	AzH ³ à compression.	Silicate cotton.
CHESTER			
420.000	Viande. Lait. Fruits. Gibier. Volailles. Lapins.	AzH ³ à compression.	"
100.000	De toutes sortes.	Détente directe et circulation d'air.	Charcoal.
THAMPTON			
4.800 quartiers de bœuf.	Bœuf et mouton congelés. Beurre. Poisson.	AzH ³ à compression, détente di- recte. 3 étages à système d'air confiné. 1 étage à circulation d'air.	"
135.000 carcasses de mouton.	Volailles. Gibier. Œufs. Fruits.		
36.400 mètres cubes pour les autres denrées.			
"	Viande congelée.	AzH ³ à compression.	Charcoal.

33. L'industrie frigorifique en Russie. — L'organisation de l'*importation russe*, bien que beaucoup moins importante que l'importation danoise, est plus remarquable par le trajet effectué par les divers produits; malgré la durée du transport, ceux-ci arrivent en parfait état de fraîcheur sur les marchés anglais, et cela grâce aux ressources frigorifiques mises en œuvre.

Ce n'est pas la Russie d'Europe, mais la Sibérie qui fournit de beurre le marché de Londres. Trois trains composés de 20 wagons *refrigerators* circulent trois fois par semaine au départ de Tobolsk, Kourgan et Omsk jusqu'à Riga. Dans ce port, la marchandise est reçue dans les chambres froides d'un entrepôt spécial et public; puis, de là, transportée par bateau jusque sur les bords de la Tamise. Ces bâtiments sont pourvus d'installations frigorifiques. Ces installations ont même été imposées à la Société de navigation *la Finska* comme condition *sine qua non* d'une subvention de trois millions de francs qui lui a été accordée par le Gouvernement russe.

Le développement pris par ces transports a été tel que, dès 1901, le matériel *refrigerator* du chemin de fer était devenu insuffisant et qu'il fallut demander 100 wagons nouveaux du même type¹.

En dépit des grandes distances et des frais qu'entraîne la réfrigération, le beurre sibérien a été vendu en 1901, sur le marché de Londres, de 174 à 176 shillings (223 à 225 francs) le quintal métrique.

D'autre part, la Finlande essaie, par tous les moyens possibles, de lutter contre la concurrence du beurre sibérien et de développer le commerce du beurre finnois. Le Sénat vient de décider la création d'un service maritime régulier entre Hango, le port le plus méridional du pays et le port anglais de Hull. Trois steamers de chacun 1.000 tonneaux, munis d'appareils frigorifiques, sont construits pour faire le trajet en quatre ou cinq jours au maximum.

34. Les abattoirs frigorifiques. — Leurs avantages. — Utilité de l'emploi des frigorifiques pour la charcuterie. — En *Allemagne*, les applications du froid ont pris une très grande extension dans les brasseries et les abattoirs.

Pendant l'été, la viande est généralement consommée toute chaude, c'est-à-dire le jour même de l'abatage des animaux. Dans ces conditions, le consommateur ne peut avoir que des viandes dures, coriaces, peu agréables au goût.

Or l'application du froid faite dans des conditions convenables a justement pour effet de *rassir* la viande, pour employer l'expression usitée en boucherie: la rigidité cadavérique disparaît, les liquides organiques imprègnent par osmose toute la masse musculaire, et les viandes sont, au bout de quelques jours, livrées au consommateur tendres, juteuses et savoureuses². D'ailleurs la viande abattue et gardée au moins vingt-quatre heures au frigorifique se conserve mieux à sa sortie que la viande portée directement de l'échaudoir à l'étal: en effet cette dernière, abattue par une température de 25° ou 30°, ne peut descendre au-dessous de cette température, à laquelle le développement des microorganismes est beaucoup plus actif qu'à une température voisine de zéro. Le boucher détaillant qui utilise le frigorifique n'a plus à redouter les fortes chaleurs, les orages, les temps humides et les variations brusques de température: il peut, par ses provisions faites en temps opportun, gagner sur le prix d'achat et profiter d'une abondance de bétail se produisant sur un marché.

Grâce à l'emploi des frigorifiques, les charcutiers peuvent saler en toute saison, alors que cette opération est en général impossible au cours de l'été. La viande, simplement

1. H. BRUN, *les Entrepôts frigorifiques* (*L'Industrie frigorifique*, n° 2, p. 21).

2. A. CARREAU, *De l'utilisation des frigorifiques pour la boucherie, Opinion d'un vétérinaire* (*L'Industrie frigorifique*, 1^{re} année, n° 4, septembre 1903, p. 24); — E. MÉNALQUE, *les Frigorifiques dans les abattoirs* (*L'Industrie frigorifique*, 2^e année, n° 16, septembre 1904, p. 273).

refroidie à 3° au-dessus de zéro, se conserve froide, après sa sortie, pendant deux jours au moins ; pendant ce temps on a tout le loisir de la vendre ou de la travailler.

35. Les abattoirs et l'industrie frigorifique en Allemagne. — Aussi les Allemands s'efforcent-ils de pourvoir de chambres frigorifiques tous leurs abattoirs. En aucun pays cette application des propriétés du froid n'est ni mieux comprise ni plus répandue : sur 700 abattoirs municipaux allemands, 352 sont pourvus de frigorifiques ¹. Ceux-ci ne sont pas toujours installés dans les grandes villes ; un grand nombre de petites villes de 6.000 à 20.000 habitants possèdent une installation des plus perfectionnées. Un grand nombre de ces frigorifiques, construits depuis quelques années à peine, sont devenus tout à fait insuffisants ; de larges crédits sont prévus pour leur agrandissement. C'est ainsi qu'à Hof (33.000 habitants), en Bavière, on vient d'établir un projet de 250.000 francs pour l'extension du frigorifique de l'abattoir ; qu'à Stettin, on construit de nouvelles chambres froides qui coûteront 360.000 francs ; qu'à Berlin, la salle à salaisons devenue trop petite va être complétée par une autre qui coûtera 36.000 francs. Ces établissements municipaux ne sont pas d'ailleurs les seuls ; à côté d'eux existent de nombreuses installations faites, soit par les Syndicats de Bouchers comme à Speyers (20.000 habitants), soit par les particuliers bouchers ou charcutiers. Non seulement ces commerçants ne cachent pas au public qu'ils lui vendent de la viande conservée au frigorifique, mais encore ils ont bien soin d'annoncer qu'il existe chez eux de telles installations.

Le traitement par le froid des produits de laiterie est aussi très répandu en Allemagne. Il existe actuellement 173 laiteries ou fabriques de beurre pourvues de l'installation frigorifique la plus complète. Certaines de ces usines sont installées pour traiter jusqu'à 20.000 litres de lait par jour ; tel est le cas de la laiterie de la Société coopérative de Strückhausen (Oldenbourg). Le tableau VII donne, d'après *Ice and Cold Storage Trade's Directory*, un aperçu de ce développement de l'industrie frigorifique en Allemagne.

TABLEAU VII

LES APPLICATIONS DU FROID EN ALLEMAGNE

(D'après *Ice and Cold Storage Trade's Directory*)

INDUSTRIES QUI UTILISENT LE FROID	NOMBRE TOTAL	RÉFRIGÉRATION MÉCANIQUE AGENT FRIGORIFIQUE EMPLOYÉ			OBSERVATIONS
		AzH ³	SO ²	CO ²	
Brasseries	1.484	929	204	207	Quelques brasseries emploient encore la glace naturelle.
Abattoirs municipaux	352	253	45	43	Quelques abattoirs ont encore des chambres refroidies par la glace naturelle.
Boucheries. Charcuteries. Marchands de gibier et de volailles.	456	103	125	228	
Laiteries. Beurreries et fabriques de margarine	173	35	43	95	
Fabriques de glace	157	27	16	14	Pour un grand nombre de fabriques nous ignorons quel est l'agent frigorifique employé.
Fabriques de chocolat	40	10	6	24	
TOTAUX	2.662	1.357	439	611	

1. E. MÉNALQUE, *loc. cit.* ; — Voir la liste des villes allemandes possédant un frigorifique dans leurs abattoirs.

36. L'industrie frigorifique en Italie¹. — L'Italie est entrée depuis quelques années à peine dans la voie de l'industrie frigorifique, et déjà le développement des applications du froid y est assez considérable.

A Turin, la *Società Italiana del ghiaccio artificiale* possède un entrepôt frigorifique dans lequel trois moteurs électriques, deux de 92 chevaux et un de 175 chevaux, actionnent des machines Linde à AzH³; l'une de ces machines est spécialement réservée pour le service des chambres froides; les autres servent à la fabrication de la glace. Les chambres froides ont une capacité totale de 7.000 mètres cubes; elles contiennent de la viande, des œufs; certaines d'entre elles sont maintenues à — 11° pour la conservation de la viande de bœuf congelée.

Gênes possède un frigorifique d'une capacité de 3.600 mètres cubes dans lequel le froid est produit par des machines Hall à CO². M. Fausto Scerno, président de la Société qui a construit cet entrepôt, fait tous ses efforts pour répandre par toute la péninsule un réseau d'établissements frigorifiques, dont chacun se spécialiserait dans la conservation des produits locaux les plus abondants; ces entrepôts seraient naturellement reliés entre eux par des transports frigorifiques.

A Naples, on trouve deux établissements frigorifiques importants.

La *Società delle ghiacciaie e neviere napoletane*, qui jusqu'ici fonctionnait avec un compresseur Linde de 12 tonnes de glace par jour et un compresseur Pictet à SO² de 24 tonnes de glace, vient d'installer un compresseur Linde d'une production journalière de 60 tonnes de glace. A côté de cette fabrique de glace qui se propose d'établir des chambres froides, une autre société a construit un entrepôt destiné plus particulièrement à la conservation des denrées par le froid. Celui-ci occupe une superficie de 170 mètres carrés et est refroidi par des machines Hall à CO². L'établissement dispose d'une chambre à œufs maintenue à + 1°, d'une chambre pour le beurre à — 5°, d'une chambre à viande congelée à — 8°, d'une autre pour la viande fraîche à + 4°, d'une chambre à 0° pour la conservation du poisson et d'une autre pour la volaille.

Rome ne possède qu'une importante fabrique de glace, la *Società riunite Fabbrica di ghiaccio e Ditta Francesco Peroni*, qui dispose de quatre machines Linde à AzH³ pouvant produire ensemble 75 tonnes de glace par jour; deux autres machines Linde, de moindre puissance (10 et 5 tonnes de glace par jour), servent à refroidir des chambres où l'on conserve de la bière et quelques denrées alimentaires. La firme Hall a fait, dans cette ville, deux autres petites installations: l'une au *Splendid Hotel*, l'autre chez un marchand de poisson.

A Milan, on rencontre les établissements frigorifiques les plus importants de toute l'Italie. L'un de ces entrepôts est le premier qui ait été construit dans la péninsule; il mesure 1.900 mètres cubes de capacité et dispose de 112 cases ayant chacune de 8 à 10 mètres carrés de superficie.

L'autre frigorifique est celui de MM. Gondrand et Mangili, où sont installés 5 compresseurs Linde avec 4 condenseurs et évaporateurs. Cet établissement produit 100 tonnes de glace par jour et a des chambres froides pour la conservation de la viande de boucherie à + 4°; des chambres à — 4° pour le poisson, la volaille et le gibier congelés; une chambre pour les salaisons à + 4°; un magasin pour 9 millions d'œufs à 0°.

La municipalité de Modane vient de décider la construction d'un entrepôt frigorifique comprenant 32 cases, chacune de 10 mètres carrés de superficie.

1. F. COTTAREL, *Le mouvement frigorifique en Italie* (*L'Industrie frigorifique*, 3^e année, n° 24, mai 1905); — VALVASSORI, *L'application du froid industriel à la conservation et au transport des substances alimentaires et en particulier des produits horticoles* (*L'Industrie frigorifique*, 3^e année, n° 25, juin 1905); — ERNESTO MANCINI, *L'Industria frigorifica in Italia* (*Annali dell' Industria e del Commercio*, 1903, G. Bertero, imprimeur à Rome).

Alexandrie possède un frigorifique du système Fixary avec une machine d'une puissance calorifique de 120.000 frigories-heure; 60.000 frigories sont dépensées pour refroidir des cases louées à des particuliers; les 60.000 autres servent à la fabrication de la glace.

A *Brescia*, il y a un frigorifique construit par la commune : 44 cases ont un volume total de 760 mètres cubes.

Bergame a un entrepôt frigorifique comprenant 80 cases de 10 mètres carrés chacune, qui appartient à la *Società anonima del ghiaccio artificiale*.

37. L'importation frigorifique du poisson frais en Suisse. — Réexpédition dans divers pays de l'Europe de ce poisson conservé au frigorifique. — Les installations frigorifiques se sont également très répandues en Suisse. Nous avons vu plus haut que, grâce aux transports frigorifiques rapides et à ses entrepôts frigorifiques, la ville de Bâle est actuellement le centre du marché au poisson frais de l'Europe. D'après la *Statistique générale de la Suisse*, l'importation du poisson frais y a été, en 1903, de 15.811 quintaux métriques valant 2.905.475 francs¹. Les pays de provenance sont :

Allemagne	5.783	quintaux métriques
Autriche-Hongrie	180	—
France	3.171	—
Hollande	953	—
Belgique	2.202	—
Grande-Bretagne	1.709	—
Italie	973	—
Suède et Norvège	300	—
Danemark	362	—
Etats-Unis et Canada	1.084	—
Divers	90	—

Ce poisson, conservé à Bâle dans des magasins où la température est maintenue à -5° C., est ensuite expédié de préférence par les lignes allemandes, autrichiennes et italiennes, qui mettent à la disposition des négociants bâlois des appareils frigorifiques très perfectionnés. Grâce à toutes ces précautions, le poisson pêché à Boulogne et à Hull parvient, près d'un mois après sa capture, dans un grand état de fraîcheur non seulement dans les pays voisins de la Suisse, mais encore jusqu'en Espagne, en Algérie et même en Égypte².

38. Conservation du poisson au moyen de la glace. — Ses inconvénients. — Au contraire, les pêcheurs de certains de nos ports du Nord et de la Manche, qui vont pêcher sur les côtes d'Espagne et de Portugal, voient leurs produits en défaveur sur le marché de

1. Pierre ROBBE, *L'Industrie frigorifique et la pêche maritime; transport du poisson des ports de pêche aux centres de consommation (L'Industrie frigorifique, 2^e année, n^o 17, octobre 1904, p. 293)*.

2. Une très intéressante expérience de conservation de poisson et de transport de poisson congelé a été faite en 1903 par la firme C. Lindenberg d'Altona. Un grand vapeur, le *Bianca*, de 1.400 tonneaux environ, fut frété pour transporter à Hambourg des saumons de l'Amour; deux cales (1.200 et 800 mètres cubes) situées l'une à l'avant, l'autre à l'arrière, furent parfaitement isolées; elles pouvaient être refroidies au moyen de tuyaux dans lesquels on faisait circuler de la saumure dont la température était abaissée à la valeur convenable au moyen de machines à anhydride carbonique. Le *Bianca* quitta Hambourg, pour l'Extrême-Orient, au début d'avril 1903; pendant le voyage d'aller, les machines frigorifiques ne furent pas mises en mouvement, et cependant, grâce au bon isolement des cales, la température à l'intérieur de celles-ci ne monta, dans la mer Rouge, qu'à 14° C. en moyenne, bien que la température de l'eau de la mer fût de 30° et la température de l'air de 36° . Le navire arriva sur les bords de l'Amour au milieu de juillet; là, tous les jours, on congela 2.800 saumons fraîchement pêchés, entourés de glace, convenablement emballés et introduits dans les cales refroidies à des températures variant de -8° à -10° . Le *Bianca* quitta l'Amour dans les derniers jours de septembre avec 150.000 saumons congelés et, après une traversée très dure, arriva à Hambourg à la fin de décembre. La température de -8° maintenue dans les cales pendant le voyage de retour permit d'amener le poisson dans le meilleur état de conservation [ROSENBERG, *Die Kühltanlagen an Bord der Schiffe (Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure, Bd. 48, n^o 46, 12 novembre 1904)*].

Paris, grâce aux procédés défectueux d'emballage et de conservation auxquels il restent attachés. Le poisson, au fur et à mesure de sa prise, est entassé en vrac dans la cale avec de la glace pilée jusqu'au moment de son arrivée à terre. Il est alors trié, classé pour être remis dans des caisses avec de la glace lui permettant un nouveau transport. Un pareil procédé de conservation est déplorable. L'eau de fusion de la glace se charge, en effet, de tous les sucs nutritifs du poisson, de tout ce qui constitue son enveloppe mucilagineuse protectrice extérieure; en peu de temps elle rend une odeur infecte et se trouve être le meilleur agent de décomposition du poisson. Il n'est donc pas étonnant que douze jours d'un tel traitement rendent ce poisson invendable aux Halles de Paris. Malgré la finesse des poissons pêchés sur certaines parties de notre littoral, notamment sur la côte comprise entre la Somme et la Seine, les produits étrangers de qualité inférieure tendent à nous supplanter sur les marchés de l'Europe à cause du manque d'installations frigorifiques.

39. Situation déplorable de l'industrie frigorifique en France. — Au point de vue de l'industrie frigorifique, la France en est encore, en effet, à la période de tâtonnements du début.

Si, dans certains de nos ports de pêche, comme Arcachon, La Rochelle, Boulogne, il existe des machines à glace pouvant fournir de 50 à 75 tonnes par jour; en revanche, sur la côte bretonne, les fabriques de glace sont rares. A Brest, la glace est vendue au prix fabuleux de 120 francs la tonne. Sur toute l'étendue du territoire, il y a de 120 à 130 fabriques de glace produisant annuellement 150.000 tonnes¹.

Le tableau VIII donne d'ailleurs une idée de ce qu'est actuellement en France l'industrie frigorifique.

TABLEAU VIII

LES APPLICATIONS DU FROID EN FRANCE

INDUSTRIES QUI UTILISENT LE FROID	NOMBRE TOTAL	RÉFRIGÉRATION MÉCANIQUE AGENT FRIGORIFIQUE EMPLOYÉ				OBSERVATIONS
		AzH ³	SO ²	CO ²	Chlorure de méthyle CH ³ Cl	
Brasseries.	95	15	30	17	»	Pour un grand nombre d'installations nous igno- rons quel est l'agent fri- gorifique employé.
Abattoirs municipaux.	2	2	»	»	»	
Laiteries. Beurreries. Fabriques de fromages.	60	1	»	20	30	
Fabriques de glace.	120	30	10	»	40	
Fabriques de chocolat.	10	»	1	1	4	
Entrepôts froids, soit pour denrées de toutes sortes, soit pour boucheries, charcuteries, marchands de vo- lailles	30	»	»	2	5	
TOTAL.	317					

40. Il n'existe actuellement en France que deux abattoirs pourvus de frigorifiques. — Les abattoirs frigorifiques ne sont qu'au nombre de deux, l'un à Chambéry, l'autre à Dijon. Il y a bien une importante installation frigorifique à l'abattoir de la

1. DE LOVERDO, *loc. cit.*, p. 610.

Villette; mais la première condition du bail consenti il y a quatre ou cinq ans a été : *qu'on n'y conserverait pas de viande.*

L'abattoir frigorifique municipal de Chambéry, en exploitation depuis l'année 1902, a déjà rendu de très grands services aux commerçants et aux consommateurs. La municipalité de Chambéry a considéré cette création non comme une source de bénéfices, mais comme un service rendu aux populations; la location faite aux bouchers ne représente que le coût des frais et l'amortissement du capital. La dépense totale a été de 60.000 francs environ; les recettes sont de 5.000 à 8.000 francs¹. Chaque case des chambres froides peut recevoir 1.960 kilogrammes de viande : elle est louée 400 francs par an.

La ville de Dijon a suivi en 1903 l'exemple de Chambéry : son frigorifique a une longueur de 45 mètres environ sur une largeur de 10 mètres, soit une surface couverte de 450 mètres carrés. Les cases froides sont au nombre de 58, présentant tant au rez-de-chaussée qu'au premier étage, une surface totale de 472^m2,50². D'après M. Carreau³, on peut dire, sans exagération aucune, que *la création du frigorifique à l'abattoir de Dijon fait réaliser annuellement aux bouchers et aux charcutiers plus de 80.000 francs d'économie.*

Il existe des projets d'installation d'abattoirs frigorifiques pour les villes de Reims et de Grenoble; enfin à Nantes la firme Lebrun vient d'installer sous le marché de Feltre un entrepôt frigorifique pour la conservation de diverses denrées.

Les abattoirs français sont dépourvus d'appareils frigorifiques, non pas seulement parce que le public français mal éclairé est un peu réfractaire à l'emploi du froid industriel, mais aussi surtout parce qu'il existe dans le commerce de l'alimentation des corporations puissantes qui, bénéficiant largement de l'inégalité des cours, sont des ennemis redoutables de tout agent de conservation susceptible d'égaliser ces cours. Les gros bouchers, perdant peu ou point de viande l'été, s'abstiennent de réclamer une installation favorable aux petits et moyens bouchers, leurs concurrents.

Les éleveurs et les marchands de bestiaux s'abstiennent également, de peur de l'introduction des viandes étrangères par les wagons frigorifiques aboutissant à des entrepôts frigorifiques⁴. Grâce à la coalition de ces intérêts privés, la viande de bœuf importée coûte à Londres moins cher que la viande de cheval à Paris.

Il existe cependant à Paris un petit nombre d'entrepôts frigorifiques bien installés, mais ils sont la propriété de certaines compagnies particulières. Nous citerons notamment l'entrepôt frigorifique de la Bourse du Commerce, d'un volume de 6.000 mètres cubes et qui contient des chambres spéciales à viande, gibier, poisson, beurres, œufs, fromages, volailles, fruits, triperie, charcuterie. Mais les mandataires aux Halles Centrales s'appuient sur les règlements pour refuser de recevoir les produits qui proviennent des entrepôts frigorifiques se trouvant dans Paris⁵ : la question de la qualité du produit conservé n'est pas prise en considération, c'est l'intérêt de l'intermédiaire qui seul entre en jeu.

41. Le froid industriel dans l'industrie laitière et beurrière française. —

L'utilisation du froid industriel s'est plus répandue dans l'industrie laitière et beurrière.

1. Ch. TELLIER, *le Frigorifique de l'abattoir municipal de Chambéry* (*L'Industrie frigorifique*, 1^{re} année, n° 6, novembre 1903, p. 8).

2. Ch. TELLIER, *le Frigorifique de l'abattoir de Dijon* (*L'Industrie frigorifique*, 2^e année, n° 8, janvier 1904, p. 12).

3. A. CARREAU, *Les Frigorifiques dans les abattoirs. Nécessité de leur création et résultats obtenus par celui de Dijon* (*L'Industrie frigorifique*, 4^e année, n° 32, janvier 1906).

4. Ch. MOROT, *le Froid et les Abattoirs* (*L'Industrie frigorifique*, 2^e année, n° 9, février 1904, p. 41).

5. *L'Industrie frigorifique et les Halles centrales de Paris*. Discussion entre M. Ch. Lambert, représentant du Syndicat général de l'industrie frigorifique, et M. Revil Gabet, président du Syndicat des mandataires au poisson aux Halles centrales de Paris (*L'Industrie frigorifique*, 2^e année, n° 14, juillet 1904, p. 204).

Les laiteries à appareils frigorifiques se rencontrent surtout dans les *Deux-Sèvres* (une quinzaine), les *Charentes*, le *Maine-et-Loire* et la *Vendée* (une quinzaine). L'impulsion a été donnée, dès 1899, par l'*Association des Laiteries coopératives des Charentes et du Poitou*, présidée par M. le sénateur *Rouvier*. Cette association met à la disposition de ses adhérents des wagons réfrigérés qui, tous les jours, sont attelés aux trains de nuit circulant entre la Rochelle, Saintes, Angoulême et Paris ; ces trains apportent, chaque matin, les tonnes de beurre expédiées la veille au soir de la région de *Niort*, *Parthenay*, *Melle*, *Luçon*, *Surgères* jusqu'à *Châtellerauld*. Dans le chapitre relatif aux *Transports frigorifiques*, nous verrons quel développement a pris, grâce au froid artificiel, l'industrie beurrière dans cette partie de la France.

42. Les wagons frigorifiques en France. — La Compagnie des chemins de fer de l'État et la Compagnie de l'Ouest viennent de faire des essais de transports frigorifiques de viandes abattues et de volailles mortes qui ont bien réussi. Les wagons de l'État sont refroidis au moyen de glace contenue dans des bacs convenablement disposés près de la toiture du wagon ; les différences de température résultant de la présence de cette glace produisent seules une circulation interne. Malheureusement la température n'est pas réglable à volonté, la provision de glace ne pouvant être renouvelée.

Les wagons de la *Compagnie des Laiteries coopératives* sont, au contraire, *ventilés* au moyen d'un simple souffleur qui agit avec la marche du train.

Ces wagons sont dits *wagons réfrigérés*.

Il existe, au contraire, des wagons dits *wagons réfrigérants*, dont la partie supérieure est tapissée de tubes dans lesquels on peut faire circuler un liquide incongelable. Ce liquide, refroidi dans certaines stations, abaisse au degré voulu la température de l'intérieur du wagon. Si celui-ci est bien isolé au point de vue calorifique, on peut lui donner chaque fois un refroidissement suffisant pour trois ou quatre jours de route¹. Il existe à Thouars une telle installation frigorifique, et des wagons refroidis par cette méthode circulent actuellement entre Thouars et Paris.

Enfin la *Société des magasins et transports frigorifiques de France* a déjà fait circuler sur le Nord, le Paris-Lyon-Méditerranée et l'Orléans des wagons refroidis par de la glace dont la provision peut être renouvelée de l'extérieur comme dans les wagons américains². Les résultats obtenus ont été très probants. Un wagon de fraises a mis huit jours pour aller de Carpentras à Berlin ; malgré ce long séjour en route, les fraises sont arrivées en parfait état ; il en a été de même de fraises dirigées sur Londres par Boulogne³.

43. Utilisation du froid pour la conservation de la boîte ou appât destiné à la pêche de Terre-Neuve. — Une intéressante utilisation du froid industriel a été tentée pour la conservation de la *boîte* ou *appât* destiné à la pêche de Terre-Neuve⁴. On sait que les appâts employés pour cette pêche sont de trois sortes :

Le *bulot* ;

L'*encornet* ou *seiche* ;

Le *hareng* et le *capelan*.

Le *bulot* est un mollusque, une sorte de coquillage qui se trouve sur les côtes de France

1. Renseignement communiqué par M. Ch. Lambert, ingénieur à Paris.

2. Léon NERDÉUX, *les Transports frigorifiques* (*L'Industrie frigorifique*, 1^{re} année, n° 2, p. 3).

3. H. LAVAL, *les Wagons frigorifiques* (*L'Industrie frigorifique*, 2^e année, n° 16, p. 270).

4. Ch. LAMBERT, *les Pêcheries de Terre-Neuve* (*L'Industrie frigorifique*, 1^{re} année, n° 5, p. 21) ; — *la Pêche à Terre-Neuve* (Communication faite au Congrès des chalutiers à vapeur, mai 1904) ; — Léon NERDÉUX, *l'Industrie frigorifique et la question de Terre-Neuve ; la boîte frigorifiée* (*L'Industrie frigorifique*, 3^e année, n° 20, janvier 1905).

et sur certains fonds de sable de faible profondeur aux environs de Terre-Neuve ou sur les côtes de cette île.

La pêche française, à elle seule, consomme chaque année, d'après certains calculs, environ 130 millions de ces mollusques.

Le *capelan* est un petit poisson qui, à certaines époques, atterrit en quantités énormes pour frayer sur la côte sud de Terre-Neuve. On l'a trouvé aussi en grande abondance sur les plages de la longue île double de Miquelon-Langlade. Toutefois il y manque depuis deux ans, repoussé au large par les efforts prématurés faits pour le capturer avant qu'il ait franchement atterri. Ce poisson constitue la boîte de juin.

L'*encornet* ou *seiche* se rencontre fréquemment sur les côtes de France ; sa chair gélatineuse fournit un appât excellent, donnant les meilleurs résultats pour la pêche. A la fin de juillet, on trouve en abondance ce précieux poisson sur les côtes de Terre-Neuve, mais sur des fonds de mer différents de ceux qui constituent l'habitat de la morue. On sait, d'autre part, toutes les difficultés soulevées par le Gouvernement de Terre-Neuve à l'occasion de la recherche de cet appât dans les eaux territoriales de l'île ou dans les havres et baies qui l'entourent¹. Le *hareng* salé n'est employé qu'exceptionnellement ; avec lui les résultats de la pêche sont toujours médiocres et nuls dans certains cas.

La longue exploitation des fonds de pêche fait que le succès d'une saison dépend de la quantité d'appât *parfaitement frais* que l'on est arrivé à se procurer en temps convenable. Or l'appât frais recueilli sur place commence à se décomposer au bout de quatre ou cinq jours : il est inutilisable dès le sixième jour. Le morutier doit donc faire de continuelles allées et venues entre le lieu de pêche de la morue et le lieu de pêche de l'appât ; en admettant même que ces deux lieux de pêche ne soient pas trop éloignés, de tels voyages présentent de réelles difficultés pour un voilier². De plus, lorsque la récolte de l'appât est faite, il se peut qu'au retour sur les lieux de pêche le poisson ait disparu. Enfin il peut arriver, comme l'année dernière, que l'appât lui-même fasse défaut, et alors la saison de pêche est entièrement manquée.

Tous ces inconvénients disparaissent si le terre-neuvier possède à bord une chambre frigorifique dans laquelle peut être conservée une quantité d'appât suffisante pour une longue période de pêche, à la condition toutefois que cet appât, au sortir de la chambre froide, possède les qualités exigées pour la pêche.

Sur la demande de M. Raymond Amour, armateur à Fécamp, des essais sur la conservation de l'appât ont été faits par M. Ch. Lambert, ingénieur à Paris. Du bulot congelé fut conservé pendant deux mois dans une des chambres frigorifiques de la Bourse du Commerce, à Paris ; au bout de ce temps, l'appât, convenablement décongelé, fut déclaré unanimement par des pêcheurs (ignorant la durée de la conservation) d'un emploi aussi pratique et aussi certain que s'il avait été sorti de l'eau depuis environ quarante-huit heures, c'est-à-dire dans l'état où il se trouve sur les navires lors du retour des lieux de pêche de l'appât sur les lieux de pêche de la morue.

A la suite de ces expériences, une chambre frigorifique pour la congélation de l'appât a été installée à bord des trois grands terres-neuviers, le *Saint-Charles*, le *Raymond* et le

1. En vertu du récent accord franco-anglais, nos pêcheurs ont le droit d'acheter de la boîte sur le French-Shore (côte française), alors que, par un bill de 1886, le Parlement de Terre-Neuve en avait interdit la vente. Cette vente est encore défendue dans les baies du sud de Terre-Neuve, qui sont proches du Grand-Banc.

2. Le French-Shore, où nos pêcheurs peuvent acheter la boîte, est à trois ou quatre cents milles du Grand-Banc où se pêche la morue ; il faut à un voilier de dix à quinze jours pour l'aller et le retour. Aussi nos pêcheurs sont ils obligés de se procurer l'appât sur des bancs en pleine mer. Comme cette ressource peut venir à manquer, certains armateurs viennent de fréter un vapeur spécial pour faire la navette entre le French-Shore et le Grand-Banc.

Le froid industriel est appelé à résoudre toutes ces difficultés.

Saint-Georges, appartenant à la Société *la Terre-neuvienne* de Fécamp. Ces navires sont actuellement les plus grands qui soient affectés à la pêche de la morue. Leurs caractéristiques sont les suivantes :

Longueur.	47 mètres
Largeur.	8 ^m ,50
Hauteur.	7 mètres
Tirant d'eau moyen.	4 ^m ,50 en charge
Surface totale de voile déployée.	1.200 mètres carrés
Chargement maximum en morue salée.	400.000 kilogrammes

Les résultats obtenus dans la campagne de pêche de 1903-1904 ont été très satisfaisants. La campagne des trois navires de Fécamp, loin d'avoir été désastreuse, comme on l'a prétendu, a été, au contraire, l'une des meilleures de toute la flotte française de pêche. *Le Saint-Charles* a livré 188.000 kilogrammes de morue nets, ce qui représente plus de 200.000 kilogrammes bruts ; *le Raymond* en a rapporté au moins autant ; quant au *Saint-Georges*, son chargement a été moindre parce qu'il a eu pendant six mois 17 malades à bord, ce qui réduisait les doris en mer à la moitié. Contrairement aux faux bruits qui ont circulé :

1° L'appât peut se congeler très bien ; on peut le fixer aux hameçons, et la morue l'accepte aussi bien que l'appât frais ;

2° Les capitaines rembarquent conservant à bord les machines frigorifiques dont ils n'ont pas demandé le débarquement ;

3° Tous les bons matelots formant les anciens équipages se sont engagés pour la campagne suivante¹.

44. Emploi de la boîte congelée à Terre-Neuve et au Canada. — Nous sommes d'ailleurs déjà dépassés dans l'application de la boîte congelée à la grande pêche. Le gouvernement de Terre-Neuve vient de constituer des réserves d'encornets qui sont placés dans des magasins frigorifiques, d'où ils peuvent être livrés aux pêcheurs anglais². D'après le *Bulletin trimestriel de l'Enseignement des Pêcheries maritimes*, les pêcheurs canadiens viennent d'expérimenter l'application du froid à la conservation de la boîte : grâce à ce procédé, les pêcheurs de Frog-Pond ont pris dans la dernière campagne 210.000 livres de morue, merluche et haddock, contre 95.000 dans la saison précédente. Le Gouvernement Canadien, ayant vu tout le parti que l'on pouvait tirer de cette méthode de pêche, accorde des subventions aux constructeurs d'entrepôts frigorifiques pour la conservation de la boîte.

Nous venons de montrer le développement pris par deux des applications les plus importantes du froid industriel : la production de la glace et la conservation des denrées alimentaires. Mais le froid est employé dans un grand nombre d'autres industries. Passons rapidement en revue ces diverses utilisations.

1. Ces renseignements sont extraits d'une lettre écrite, le 13 décembre 1904, à M. Ch. Lambert, ingénieur à Paris, par M. Pajot, armateur, administrateur de la Terre-neuvienne à Fécamp. Dans une lettre ouverte adressée à tous les sénateurs, M. André Lebon, président du Comité central des Armateurs de France, avait fait les affirmations suivantes : « Tous les essais de congélation de la boîte tentés jusqu'ici ont donné de mauvais résultats : la boîte congelée devient friable et ne tient pas sur les hameçons. Les capitaines des trois voiliers munis de frigorifiques ont exigé de leur armateur qu'il les débarquât ; leur campagne avait été désastreuse.... Enfin, contrairement à l'affirmation de M. le Ministre, aucun vapeur n'a jamais tenté d'opération de ce genre ; les prétendus vapeurs auxquels il fait allusion sont les trois voiliers sur lesquels les équipages refusent de continuer à faire campagne. » On voit, par les extraits de la lettre de M. Pajot, combien M. Lebon a été mal renseigné sur les résultats de l'application du froid à la conservation de la boîte.

2. Les Terre-Neuviens viennent d'installer des chambres frigorifiques pour la conservation du hareng, du homard et du saumon frais dans les centres de pêche, à bord des vapeurs côtiers ou des navires servant à faire l'exportation au loin. En 1903, 414.000 barils de harengs ainsi conservés ont été vendus aux États-Unis [*la Pêche à Terre-Neuve et l'Industrie frigorifique (L'Industrie frigorifique, 2^e année, n° 17, octobre 1904, p. 315)*].

45. Utilisation du froid industriel en chocolaterie. — Parmi les industries touchant à l'alimentation qui ont recours au froid artificiel, on peut citer la *chocolaterie*¹. Pour mouler le chocolat, on doit porter les moules dans une étuve dont la température est aux environs de 30°. Quand on veut retirer le chocolat de ces moules, il faut le refroidir brusquement, parce qu'autrement il continuerait à adhérer aux parois et ne présenterait pas l'aspect brillant sans lequel il n'a pas de valeur commerciale. Avant l'emploi du froid artificiel on était obligé de transporter les moules en des endroits frais et de les y laisser assez longtemps. L'été, il fallait recourir à l'eau ou à la glace. Cette opération réclamait d'assez larges espaces et pas mal de temps. Aujourd'hui, avec le froid artificiel, on peut arriver à faire beaucoup plus vite. Ainsi la Société française de Constructions mécaniques (Anciens Établissements Cail) a fait à la maison Potin, de Paris, une installation frigorifique qui permet de démouler 10.000 kilogrammes de chocolat par journée de dix heures². Un procédé analogue de démoulage du chocolat a été installé par la Société genevoise, chez MM. Fosse, à Bordeaux; par la Société Escher Wyss de Zürich, chez M. A. Matte, à Montpellier³.

46. Utilisation du froid industriel en brasserie. — La *brasserie* est une des industries qui ont le plus recours aux nouveaux procédés de production du froid. En l'absence de tout procédé réfrigérant, la bière ne peut être fabriquée, dans nos contrées, avec succès qu'au printemps et à l'automne. Maintenant, grâce au froid industriel, la fabrication peut avoir lieu en toute saison, et la qualité de la bière est devenue si régulière que l'on reconnaît au goût les produits des différents brasseurs. Le froid artificiel intervient aussi pour le séchage et la conservation du *houblon*. En Angleterre, depuis cinq ou six ans, le nombre des entrepôts frigorifiques consacrés au houblon s'accroît tous les jours. A Birmingham, l'entrepôt réfrigérant consacré au houblon forme une grande bâtisse de quatre étages et possède une capacité totale de 10.000 mètres cubes⁴. Nous ne faisons qu'indiquer rapidement cette application; nous nous proposons d'y revenir plus longuement dans un chapitre spécial de cet ouvrage.

47. Utilisation du froid industriel en sériciculture. — Une autre application très curieuse du froid artificiel se rapporte à la *sériciculture*. Les graines de vers à soie pondues en juin et qui doivent servir à l'élevage de l'année suivante sommeillent pendant tout l'hiver. Seulement il peut arriver que quelques chaudes journées hâtent l'éclosion des vers à soie avant que les feuilles de mûrier ne soient poussées. Pour retarder cette éclosion malencontreuse, on transporte les graines dans des régions froides où on va les chercher quand le moment approche où on pourra sans difficulté nourrir les vers à soie. C'est ainsi que les sériciculteurs de Valence et d'Aubenas vont, au mois d'octobre, déposer leurs semences au couvent de Notre-Dame-des-Neiges situé dans l'Ardèche à plus de 2.500 mètres d'altitude; ceux de Bergame escaladent l'Engadine; ceux de Lombardie, les Alpes. L'emploi du froid artificiel était tout indiqué pour éviter ces transports et pour rester beaucoup plus maître encore du moment où l'on fera éclore les vers. Les Italiens se sont engagés dans cette voie; ils emploient actuellement d'assez nombreuses chambres froides où ils maintiennent les

1. *Le froid artificiel en chocolaterie* (*La Glace et les industries du froid*, 2^e année, n° 4, avril 1905).

2. DE LOVERDO, *loc. cit.*, p. 512.

3. On trouvera la description et les plans de cette installation dans l'article publié par M. A. Perret dans le périodique, *La Glace et les industries du froid*, *loc. cit.*

4. Dans les ouvrages anglais, on trouve souvent la capacité des stores à houblon exprimée en sacs de houblon; on admet qu'un sac de houblon occupe un espace d'environ 10 pieds cubes anglais ou 0^m3,28.

graines à une température de 0° environ. On a remarqué que les graines soumises à la température constante et dépourvue d'humidité de ces chambres froides donnaient une éclosion magnifique et un rendement de cocon très satisfaisant.

Le froid artificiel peut être aussi utilement employé par les sériciculteurs pour étouffer le cocon. Pour que le cocon puisse être employé en filature, il faut qu'il ne soit pas brisé par le papillon qui s'est formé à l'intérieur. Pour empêcher cette brisure, on étouffe le cocon au moyen de divers procédés. Les appareils les plus employés sont des étouffoirs à air chaud ou à vapeur; mais avec eux on risque de détériorer la soie du cocon. En plaçant, au contraire, les cocons dans une chambre refroidie à une température suffisamment basse, on n'a pas à craindre de tacher ou d'altérer l'enveloppe des cocons.

M. de Loverdo, dans son livre sur *le Froid artificiel*, considère que la chambre d'étouffage doit être à une température comprise entre — 6° et — 9° C. Dans une note présentée à l'Académie des Sciences¹, le même ingénieur indique qu'il convient de laisser séjourner la chrysalide pendant près d'un mois à une température de — 8° C.

MM. Pagès et Darbousse² préconisent l'étouffage en soumettant les cocons à une température de — 15° à — 30° C. pendant une durée de deux heures à vingt-quatre heures, suivant la température.

Des expériences viennent d'être faites en Italie à *Reggio*, chef-lieu de la province de l'Émilie, sous le patronage du Syndicat des Agriculteurs de la région et de la municipalité de Reggio³.

Il s'agissait de démontrer que, par un séjour prolongé dans un entrepôt frigorifique ordinaire, les chrysalides étaient infailliblement détruites, la production des papillons complètement empêchée, sans que les qualités de la soie fussent altérées.

Un lot de cocons, les uns placés dans une enveloppe de papier, les autres dans un sac de gaze, fut soumis pendant soixante-dix jours à la température de 0° C. Au bout de ce temps, les caractères organoleptiques des cocons n'étaient nullement altérés; toutes les chrysalides étaient mortes, et aucune n'avait trace de moisissure; elles présentaient des apparences de momification. La fermeté des cocons était seule légèrement réduite par suite de la trop grande humidité de l'atmosphère des chambres froides; mais, au bout d'une courte exposition à l'air, l'humidité disparaissant, la fermeté naturelle réapparaissait.

Les cocons conservés dans les chambres froides donnèrent des écheveaux d'une longueur supérieure à celle des écheveaux provenant de cocons étouffés par la chaleur, au moyen de l'étouffoir *Bianchi-Dubini*, très employé en Italie. Le nombre des ruptures par 1.000 mètres de fil fut inférieur, pour les premiers, au nombre de ruptures donné par ces derniers.

Ces expériences sont surtout intéressantes par leur caractère de pratique industrielle. La municipalité de Reggio n'a pas modifié, en effet, le régime de son entrepôt frigorifique; elle s'est bornée à y accueillir les lots de cocons soumis à l'expérience en leur faisant payer les droits d'entreposage, fixés à 1 franc par quintal et par jour, pour les cinq premiers jours, et à 0 fr. 40 par jour après cette période; cela représente 31 francs par quintal pour un dépôt de soixante-dix jours dans les chambres froides.

48. Utilisation du froid industriel en horticulture. — L'horticulture peut aussi se servir du froid artificiel. Jusqu'à ces dernières années on ne connaissait d'autre méthode pour obtenir des fleurs en dehors des saisons normales que de *forcer* les plantes,

1. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 6 juin 1904.

2. E. MÉNALQUE, *le Froid en Sériciculture (L'Industrie frigorifique, 2^e année, n° 14, juillet 1904, p. 208)*.

3. F. COTTAREL, *le Froid en Sériciculture (L'Industrie frigorifique, 3^e année, n° 24, mai 1905)*.

c'est-à-dire de créer des saisons artificielles au moyen de la chaleur dans des serres dites *forceries* installées dans ce but. De l'étude des conditions nécessaires à une plante pour donner des fleurs à contre-saison, on a été amené à joindre à celui de la chaleur l'emploi du froid pour arriver à faire passer à la plante toutes les saisons que la nature a prévues pour son évolution normale. Par le froid artificiel, on crée un hiver factice dans des chambres spéciales; puis à volonté on fait passer la plante dans des serres chauffées au degré voulu pour lui donner les conditions indispensables à sa floraison. La particularité de ce système est de donner des inflorescences très vigoureuses, alors que, par le forçage au moyen de la chaleur, on n'obtient que des produits faibles et anémiés; mais il faut pour cela que les plantes ou les racines soient résistantes; si elles sont débiles, elles succombent à la suite de cet hiver artificiellement prolongé. Cette méthode du *retardage* opposé au *forçage* est très en faveur en Angleterre; on l'applique au muguet, aux diverses sortes de lys, aux lilas. A Londres et à Hambourg, se trouvent des entrepôts frigorifiques où l'on conserve des millions de rhizomes de muguet¹.

La figure 7 représente une des chambres froides de l'établissement de M. W. Neubert à Wansbeck, près de Hambourg², où l'on conserve des griffes de muguels.

Cet établissement exporte annuellement en Amérique, en Afrique, en Chine et au Japon environ 14 millions de rhizomes de muguet. Une superficie de 20 hectares est occupée par des muguels, plantés en lignes espacées de 0^m,30 et à une distance de 0^m,05 sur les lignes. Chaque rhizome est cultivé isolément. On applique du fumier de ferme bien décomposé la première année, et on laisse en place pendant trois années consécutives, en pratiquant les sarclages nécessaires. Au mois d'octobre, on enlève les rhizomes et on les divise en trois catégories. Les rhizomes les mieux formés constituent la première qualité destinée à l'exportation ou à la conservation dans le magasin frigorifique³. La deuxième qualité est utilisée dans l'établissement pour le forçage. Les rhizomes de constitution et de forme défectueuses constituant la troisième qualité sont replantés et restent en terre encore une année ou deux, suivant que cela est nécessaire.

Les rhizomes sont placés dans le magasin frigorifique en caisses qui en contiennent chacune de 2.300 à 2.700, liés en paquets et congelés à la température de — 6° C.⁴.

M. Maumené pense qu'une température de — 2° à — 3° C. est suffisante pour la conservation des griffes de *muguet*, des touffes de *Deutzia*, *Spirée*, *Prunier de Chine*, *Azalée à feuillage caduc* (*Azalea mollis*, *pontica* et *hybride*). Pour les *lis* et les *rosiers*, on peut admettre 1° à 2° *au-dessus* de zéro.

Lorsque les plantes et les bulbes sont sortis des chambres froides pour être mis en végétation, il faut avoir soin de leur éviter une transition trop brusque qui pourrait compromettre leur floraison.

Le *muguet* fleurit au bout de trois semaines environ. Les autres plantes demandent un temps plus long, car il est préférable de les cultiver en serre tempérée froide. Il n'y a pas

1. DE LOVERDO, *loc. cit.*, p. 506; — A. PRILLERAY, *le Froid en Horticulture (L'Industrie frigorifique, 2^e année, n° 12, mai 1904)*; — VALVASSORI, *l'Application du Froid industriel à la conservation et au transport des substances alimentaires et en particulier des produits horticoles (L'Industrie frigorifique, 3^e année, n° 23, juin 1905)*; — A. MAUMENÉ, *Notes sur la culture retardée des plantes (L'Industrie frigorifique, 3^e année, n° 26, juillet 1905)*; — ERNST OELRICH, *Die Anwendung der künstlichen Kälte in der Blumenzucht (Eis und Kälte-Industrie, t. VII, n° 16, 20 février 1906)*.

2. Il paraît que la première idée de l'application du froid à la conservation des plantes, en vue d'en retarder la floraison, est due à un modeste jardinier de Hambourg, F.-H. Botcher; il avait pensé offrir des fleurs hors saison au roi de Prusse, à l'occasion de sa visite à la ville, il y a trente ans. Les magasins frigorifiques n'existant pas encore, il avait conservé des muguels et des bulbes d'autres fleurs dans un mélange réfrigérant de glace et de sel; l'expérience avait assez bien réussi.

3. Il ne faut introduire dans les chambres froides que des individus sains.

4. Pour leur expédition, ces caisses de griffes congelées sont emmagasinées dans les chambres froides à bord des navires. Elles franchissent l'Équateur sans se détériorer et arrivent en Amérique du Sud dans un parfait état de conservation.

intérêt à les faire fleurir rapidement en serre chaude. Il faut compter : 6 à 7 semaines pour les *Spiræa*, 13 à 15 pour les *Lilium longiflorum* et *Lilium Harrisii*, 16 à 18 pour les *Lilium auratum*, 18 à 20 pour les *Lilium Lancifolium*, 5 à 6 pour les *Azalea mollis*.

A leur sortie de la chambre froide, les caisses contenant les griffes glacées de *muguets* sont placées dans un milieu frais pour que ceux-ci se dégèlent. Ces griffes sont alors plantées bien enfoncées dans une terre légère contenue dans des caissettes; la terre étant bien mouillée, ces caisses doivent être placées quatre ou cinq jours dans un châssis froid que

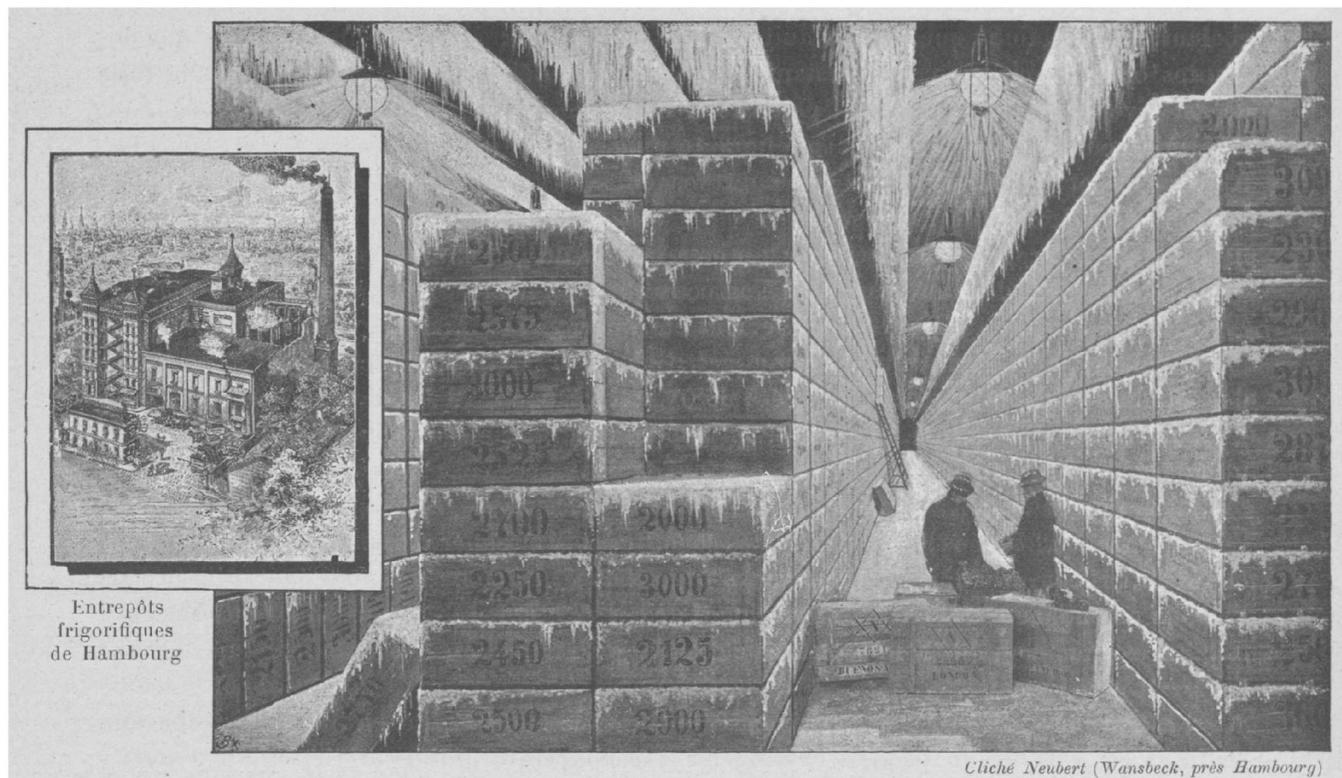


FIG. 7. — Chambre froide pour la conservation des griffes de muguets.

l'on tient ombré. Au bout de ce temps, on les met dans une serre bien aérée et ombrée, où elles fleurissent plus ou moins vite selon le degré de température; celle-ci peut s'élever progressivement jusqu'à 25° ou 30° C.

Les *lis* demandent une préparation plus longue. Les bulbes sont empotés une fois dégelés; mais, au lieu de remplir les pots, on ne met au fond de ceux-ci que 3 à 4 centimètres de compost; dans ces conditions, les racines émises par les tiges peuvent se développer dans l'épaisseur de terre qui recouvre le bulbe, et, de cette façon, fortifier les tiges florales. Ces pots sont placés sous châssis froid, dans une partie ombragée ou, de préférence, dans une tranchée, toujours au nord, sous une épaisseur de 40 à 50 centimètres de terre, le sol étant encore recouvert de paillassons. Les bulbes émettent d'abord quantité de racines, tandis que la tige florale ne se développe qu'après.

Après ce traitement, les sujets les plus avancés peuvent être mis en serre, ou demeurer sous châssis froid¹.

1. Ces détails sur la floraison des plantes retardées par le froid sont empruntés à l'article cité plus haut de M. Maumené; nous conseillons la lecture de ce travail si précis et si bien documenté à ceux qu'intéresse l'application du froid en horticulture.

49. Utilisation du froid industriel en parfumerie. — La parfumerie tire des avantages considérables de l'application du froid. Les extraits de parfums sont obtenus en traitant, par l'alcool, les pommades dans lesquelles les matières odorantes sont fixées. Or ces extraits contiennent en dissolution une partie des corps gras avec lesquels l'alcool a été en contact. On a tout intérêt à séparer ces corps gras qui nuisent à la limpidité des extraits et leur communiquent une odeur rance. Comme ces matières grasses se déposent dès que la température baisse, leur séparation devient facile par l'intervention du froid.

50. Utilisation du froid industriel dans la préparation des extraits pharmaceutiques, dans la fabrication du sulfate de soude, dans l'industrie de la margarine. — Le froid industriel joue encore un très grand rôle dans la *préparation des extraits pharmaceutiques*, dans leur *clarification*; dans la fabrication du *sulfate de soude* extrait des eaux-mères des marais salants; dans la *purification d'un grand nombre d'huiles*; dans l'industrie de la *margarine* pour conserver très fraîche la graisse de bœuf d'où le produit est extrait¹.

51. Application du froid industriel à l'essai des matériaux de construction. — Le froid industriel permet d'essayer d'une façon rapide et sûre les différents matériaux de construction sur lesquels les températures extérieures agissent d'une façon plus ou moins fâcheuse. La méthode consiste à porter alternativement pendant plusieurs jours des briques formées des matériaux à essayer, d'enceintes refroidies à diverses températures inférieures à zéro dans des enceintes entourées d'eau chaude. Une installation de ce genre existe au Laboratoire d'essais de l' Arsenal de l'État Belge à Malines; une autre a été faite à Madrid, à la Station d'essais de l'École des Ingénieurs.

52. Application du froid industriel à la conservation des cadavres dans les morgues. — L'application du froid industriel à la conservation des cadavres dans les morgues est bien connue². Lorsqu'un cadavre arrive à la morgue, on le soumet d'abord pendant dix heures à une température de -15° à -20° ; comme l'a reconnu M. Brouardel, lorsque cette congélation se fait dans un milieu tranquille, la peau conserve sa coloration, ce qui facilite la constatation de l'identité. Les corps qui doivent être conservés dans l'attente d'une confrontation ou pour un examen médico-légal sont placés dans des cases maintenues à la température de -5° ; ceux dont l'identité n'est pas établie sont disposés dans une salle dite d'exposition dont la température ne dépasse pas -3° .

53. Application du froid industriel au rafraîchissement des salles de spectacle. — Le rafraîchissement des salles de spectacle par ventilation au moyen de l'air refroidi vient d'être appliqué pour la première fois au théâtre de Cologne; grâce à cette installation, la plus haute température atteinte au cours des représentations a été de 20° C. Les conduites d'air et les ventilateurs sont communs au chauffage et au rafraîchissement; par la manœuvre de quelques vannes, le mécanicien peut substituer l'un à l'autre. Le courant d'air pénètre par des orifices pratiqués dans le plafond, et il est aspiré par d'autres orifices pratiqués dans les planchers sous les fauteuils³.

1. Voir pour les détails l'ouvrage de M. de Loverdo.

2. LAMMERHIRT, *Die Kühlanlage im Leichenschauhaus zu Hamburg (Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie, 12^e année, heft 2, février 1905)*.

3. VANUXEM, *L'Installation frigorifique du théâtre de Cologne (L'Industrie frigorifique, 2^e année, n^o 12, mai 1904)*.

54. Palais de glace. — Les pistes de glace artificielle sont obtenues par la congélation, au moyen de machines frigorifiques puissantes, d'une nappe d'eau placée au centre d'une salle convenablement disposée. Ces palais de glace sont répandus aux États-Unis : à Brooklyn notamment fonctionne une piste d'une surface de 1.420 mètres carrés ; à Pittsburg, une de 1.460 mètres carrés ; à Washington, une de 2.200 mètres carrés. En France, il existe deux telles pistes : une à Paris, de 900 mètres carrés ; et une à Lyon, de 1.200 mètres carrés¹.

55. Application du froid industriel au fonçage des puits dans les terrains mouvants et détremés. — Le fonçage des puits par la congélation des terrains aquifères est une des plus ingénieuses applications du froid artificiel².

On emploie ce procédé lorsqu'il s'agit de foncer un puits à travers des couches de terres mouvantes et détremées. On provoque au travers de ces dernières la formation d'un rempart de terrains congelés assez épais pour résister à la pression des terrains environnants et arrêter toute infiltration d'eau jusqu'à ce que le fonçage soit terminé et qu'on ait pu pousser au travers de toute la région dangereuse le revêtement en maçonnerie du puits ou un cuvelage en tôle de fer. Il s'agit d'amener, de la température ordinaire à zéro, tous les terrains compris dans un certain rayon autour du puits, puis de congeler l'eau renfermée dans ces terrains et d'abaisser la température du bloc congelé à un degré suffisant pour que les multiples causes de réchauffement du terrain n'amènent pas une décongélation partielle susceptible de compromettre le succès du fonçage.

Une des plus importantes applications de ce procédé de fonçage a été faite par la Compagnie des Mines d'Anzin, en 1894, pour le fonçage de ses puits de Vicq. On a traversé 90 mètres de terrains aquifères et foncé simultanément deux puits ayant comme diamètres utiles 3^m,65 et 5 mètres ; ces puits étaient distants de 37 mètres. Le même procédé a été employé en 1901 pour foncer à Harchies, pour la Société anonyme des Charbonnages de Bernissart (Belgique), deux puits de 3^m,50 de diamètre utile traversant une couche de terrains aquifères de 227 mètres de profondeur. La pression exercée à la base du cylindre de glace par la nappe d'eau environnante était de 23 atmosphères. C'est la plus grande profondeur que l'on ait atteinte par ce procédé³.

56. Desséchage de l'air insufflé dans les hauts-fourneaux par congélation de la vapeur d'eau. — Une récente découverte vient encore d'accroître le champ des applications du froid industriel en lui permettant de rendre de réels services en métallurgie.

A la réunion de l'« Iron and Steel Institute », qui s'est tenue à New-York, le 26 et le 27 octobre 1904, M. James Gayley, directeur de hauts fourneaux de la Compagnie Carnegie, à Etna, près de Pittsburg, a fait une communication très remarquée sur la dessiccation de l'air insufflé dans les hauts fourneaux. Il a annoncé qu'en desséchant d'une manière convenable l'air insufflé dans les hauts fourneaux, on pouvait obtenir une même qualité de fonte avec une dépense notablement moindre de combustible qu'en insufflant de l'air ordinaire d'état hygrométrique variable. D'expériences faites sur un haut fourneau, M. Gayley a déduit que, toutes choses égales d'ailleurs, l'emploi de l'air partiellement desséché a fait

1. DE LOVERDO, *loc. cit.*, p. 546.

2. G. RICHARD, *la Mécanique à l'Exposition de 1900*, 13^e livraison : *Les Machines frigorifiques*, p. 13. — LEBRETON, *Annales des Mines*, août 1885 ; — *Bulletin de l'industrie minière*, 1894, 1895, 1897, 1899 : Mémoires de MM. François, Schmidt, Saclier et Weymel ; — *Österreichische Zeitschrift für Berg und Hüttenwesen*, avril et mai 1900 : Mémoire de M. Pötsch.

3. DE LOVERDO, *loc. cit.*, p. 504.

Voir aussi *Procédé de congélation par reprises pour creusement d'un puits de grande profondeur (L'Industrie frigorifique, 3^e année, n° 21, février 1905)* ; — Carl GEBHARDT, *Perfectionnements aux tubes congélateurs pour le fonçage de puits profonds (L'Industrie frigorifique, 3^e année, n° 31, décembre 1905)*.

passer la production moyenne journalière de 358 à 447 tonnes et que la consommation de coke par tonne de fonte est descendue, dans les mêmes conditions, de 967 à 777 kilogrammes, soit une économie de près de 20 0/0¹.

Nous n'avons pas l'intention de discuter ici la réalité et les causes de cette économie², nous voulons seulement indiquer le mode de dessèchement de l'air. Après de nombreuses études, on s'est arrêté au système de dessiccation par refroidissement de l'air, la vapeur se condensant à l'état d'eau et de glace, par suite de l'abaissement de la température de l'air au-dessous du zéro. Le froid est produit par une machine à ammoniaque qui refroidit un liquide incongelable porté à une température de — 12°. On fait passer ce liquide froid dans des tubes disposés dans une chambre de réfrigération que l'air traverse en circulant autour de ces tubes. Il y abandonne une grande partie de son humidité avant de se rendre aux souffleries. Cette expérience constitue la première application industrielle du froid en métallurgie.

1. *Dessiccation du vent des hauts fourneaux* (*Génie civil*, t. XLVI, n° 5, 3 décembre 1904).

2. Voir les opinions émises sur la question par M. A. Lodin, M. H. Le Chatelier, M. A. Pourcel (*Génie civil*, t. XLVI, n° 6, 10 décembre 1904).

La question a été de nouveau traitée avec beaucoup d'ampleur au Congrès de Métallurgie tenu à Liège en juin 1905. Elle a fait l'objet de mémoires importants que nous signalons à l'attention des lecteurs.

A. LODIN, *Influence de la dessiccation du vent sur la marche du haut-fourneau* : M. Lodin fait l'historique des essais tentés depuis plus de dix ans par M. Gayley dans la voie de la dessiccation du vent soufflé aux hauts fourneaux ; il montre ensuite les contradictions qui existent entre les nombres fournis par l'ingénieur américain.

DIVARY, *La Dessiccation du vent* : M. Divary signale qu'au Creusot on avait constaté depuis longtemps l'augmentation de la consommation du coke et la diminution parallèle de la production des fourneaux, en été par rapport à l'hiver ; il donne les nombres obtenus avec un haut fourneau marchant en fonte Thomas.

V. DEFAYS, *La Dessiccation de l'air insufflé aux hauts fourneaux*.

M. MAGERY a pu se rendre compte de la réalité des résultats annoncés par M. Gayley.

M. LE CHATELIER signale à son tour que, dans les documents publiés par M. Gayley, il y a trop de chiffres contradictoires, trop de résultats certainement erronés.

Voici, d'autre part, la bibliographie d'autres mémoires publiés sur cette question.

VON LINDE, *Conférence faite à l'Association des ingénieurs métallurgistes à Düsseldorf* (*Stahl und Eisen*, 1^{er} janvier 1905) ; — *L'Industrie frigorifique*, 3^e année, n° 21, février 1905) ; — *Notes de M. Ch. Lambert, de MM. Faucher et Lejeune et de M. Pourcel* (*L'Industrie frigorifique*, 3^e année, n° 23, avril 1905) ; — Louis LÉVÊQUE, *Sur l'emploi de l'air desséché par le froid pour le soufflage des hauts fourneaux* (*L'Industrie frigorifique*, 3^e année, n° 28, septembre 1905).

W. RICHARDS, Discussion sur le mémoire de M. Gayley présenté au Lake Superior Meeting (*Transactions of the Am. Inst. of Mining Eng.*, mars 1905. — *L'Industrie frigorifique*, 4^e année, n° 33, février 1906) ; l'augmentation obtenue par M. Gayley aurait pu être obtenue théoriquement par une élévation de température du vent seule ; on aurait ainsi une économie de coke, mais on laisserait le fourneau sujet aux irrégularités inévitables avec l'emploi de l'air ordinaire dont la température et le degré d'humidité sont variables. La justification de l'innovation de M. Gayley se trouve dans la plus grande régularité dans la marche du fourneau et dans la qualité du produit.

CHAPITRE I

ÉTUDE DES MACHINES FRIGORIFIQUES A GAZ LIQUÉFIÉS PAR COMPRESSION

I

RAPPEL DE QUELQUES PROPRIÉTÉS DES VAPEURS SATURÉES

1. **Tension de vapeur saturée.** — Dans une enceinte E fermée, dont tous les points sont à une température T, se trouve un fluide (de l'anhydride sulfureux, par exemple) sous les deux états, l'état liquide et l'état de vapeur. Il y a *équilibre* entre ce liquide et sa vapeur quand la masse du liquide ne tend ni à diminuer au profit de la masse de la vapeur, ni à augmenter à son détriment. Dans un tel système en équilibre, on dit que la vapeur d'anhydride sulfureux qui surmonte le liquide est de la *vapeur saturée*.

A chaque température T correspond une pression P qui assure l'équilibre entre le liquide et la vapeur. Cette pression s'appelle *tension de vapeur saturée à la température T*.

A chaque pression P correspond une température T qui assure l'équilibre entre le liquide et la vapeur. Cette température s'appelle *température d'ébullition du liquide sous la pression P*.

La tension de *vapeur saturée* est une *fonction croissante de la température*; la *température d'ébullition du liquide* est une *fonction croissante de la pression*.

Le tableau IX donne pour les fluides employés dans les machines frigorifiques à gaz liquéfiables les valeurs des tensions de vapeurs saturées à diverses températures.

2. **Accroissement à température constante de la pression sur un fluide.** — Prenons de la vapeur d'ammoniaque à la température de 15° C. sous la pression atmosphérique. Accroissons la pression de cette vapeur en maintenant sa température constante. L'expérience met en évidence les phénomènes suivants. Tant que la pression est inférieure à 7,211 atmosphères, le volume de la vapeur d'ammoniaque va en diminuant quand la pression croît; le fluide reste homogène, il est à l'état de *vapeur non saturée* ou de *vapeur surchauffée*. On ne commence à observer la séparation du fluide en liquide et vapeur qu'à partir du moment où la pression supportée par ce fluide est égale à 7,211 atmosphères; de plus, il est impossible d'accroître la pression tant qu'il reste de la vapeur d'ammoniaque. Lorsque tout le fluide est à l'état d'ammoniaque liquide, il faut d'énormes augmentations de pression pour produire une petite diminution de volume.

Il résulte immédiatement de là que, si le condenseur d'une machine frigorifique à ammoniaque est maintenu à la température de 15° C., il faudra, au moyen du compresseur, accroître jusqu'à 7,211 atmosphères la pression de la vapeur aspirée au réfrigérant pour obtenir de l'ammoniaque liquide.

TABLEAU IX

TENSIONS DE VAPEUR DES FLUIDES
EMPLOYÉS DANS LES MACHINES FRIGORIFIQUES A GAZ LIQUÉFIABLES

TEMPÉRATURES	AMMONIAQUE	ANHYDRIDE SULFUREUX	ANHYDRIDE CARBONIQUE	CHLORURE DE MÉTHYLE
degrés centigrades	atmosphères ¹	atmosphères ¹	atmosphères ¹	atmosphères ¹
— 30.	1,153	0,379	14,5	0,76
— 25.	1,463	0,492	16,9	0,94
— 20.	1,839	0,631	19,7	1,15
— 15.	2,291	0,800	22,8	1,42
— 10.	2,828	1,003	26,2	1,72
— 5.	3,464	1,246	30,0	2,07
0.	4,207	1,533	34,3	2,48
+ 5.	5,072	1,870	39,0	2,96
+ 10.	6,069	2,263	44,2	3,51
+ 15.	7,211	2,717	50,0	4,25
+ 20.	8,509	3,239	56,3	4,82
+ 25.	9,976	3,837	63,3	5,62
+ 30.	11,622	4,515	70,7	6,50
+ 35.	13,438	5,283	»	7,50
+ 40.	15,495	6,145	»	8,50

1. 10.333 kilogrammes par mètre carré.

Comme le montre le tableau IX, cette pression à réaliser par le compresseur d'une machine frigorifique varie, à une même température, avec la nature du liquide qui sert à produire le froid. Ainsi à 15° cette pression est de 50 atmosphères pour l'anhydride carbonique; les machines de ce type doivent donc présenter des difficultés particulières de construction sur lesquelles nous aurons à revenir.

3. Volumes spécifiques du liquide saturé et de la vapeur saturée. — Prenons 1 kilogramme de fluide, d'anhydride carbonique par exemple. Le volume occupé par cette masse de fluide à la température T et sous la pression P reçoit le nom de *volume spécifique du fluide*. Si le fluide est de la vapeur saturée à la température T et sous la tension de vapeur saturée à cette température, son volume spécifique $s(T)$ est dit *volume spécifique de la vapeur saturée* à la température T; si le fluide est du liquide à la température T et sous la tension de vapeur saturée à cette température, son volume spécifique $\sigma(T)$ est appelé *volume spécifique du liquide saturé à la température T*.

Le tableau X contient les valeurs des volumes spécifiques $s(T)$ et $\sigma(T)$ à différentes températures pour l'ammoniaque, l'anhydride sulfureux et l'anhydride carbonique.

TABLEAU X

VALEURS DES VOLUMES SPÉCIFIQUES $s(T)$ ET $\sigma(T)$ POUR LES GAZ LIQUÉFIABLES
EMPLOYÉS LE PLUS SOUVENT DANS LES MACHINES FRIGORIFIQUES

TEMPÉRATURES CENTIGRADES	AMMONIAQUE ¹		ANHYDRIDE SULFUREUX ²		ANHYDRIDE CARBONIQUE ³	
	$s(T)$ M ³ : KILOGR.	$\sigma(T)$ M ³ : KILOGR.	$s(T)$ M ³ : KILOGR.	$\sigma(T)$ M ³ : KILOGR.	$s(T)$ M ³ : KILOGR.	$\sigma(T)$ M ³ : KILOGR.
- 30.....	0,998		0,7941		0,0270	0,00097
- 25.....	0,800		0,6289		0,0229	0,00098
- 20.....	0,646	Le volume spécifique de l'ammoniaque liquide est sensiblement constant entre -30° et +40°. Il est égal à 0,0016	0,5026	Le volume spécifique de l'anhydride sulfureux liquide est sensiblement constant entre -30° et +40°. Il est égal à 0,0007	0,0195	0,00100
- 15.....	0,525		0,4049		0,0167	0,00102
- 10.....	0,432		0,3287		0,0143	0,00104
- 5.....	0,358		0,2687		0,0122	0,00107
0.....	0,298		0,2210		0,0104	0,00110
+ 5.....	0,250		0,1829		0,0089	0,00113
+ 10.....	0,211		0,1521		0,0075	0,00117
+ 15.....	0,180		0,1272		0,0063	0,00123
+ 20.....	0,154		0,1068		0,0052	0,00131
+ 25.....	0,132		0,0902		0,0042	0,00142
+ 30.....	0,114	0,0762	0,0030	0,00167		
+ 31,35.....	"	"	0,002155	0,002155		
+ 35.....	0,099	"	"	"		
+ 40.....	0,087	"	"	"		

1. D'après Zeuner et Mollier.
2. D'après Cailletet et Mathias.
3. D'après Amagat et Mollier.

4. Isothermes d'un fluide. — Proposons-nous de représenter les variations du volume spécifique de l'unité de masse (1 kilogramme) d'anhydride carbonique lorsque, à température constante, la pression supportée par le système varie.

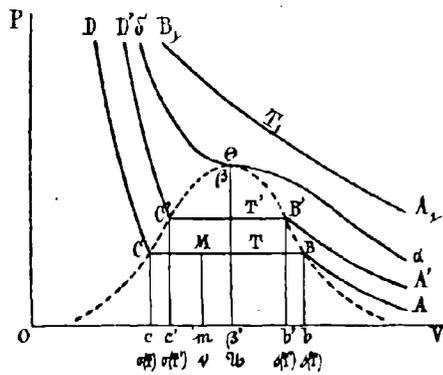


FIG. 8. — Isothermes d'un fluide.

Nous obtenons ainsi le tracé de l'isotherme de l'anhydride carbonique correspondant à la température étudiée. Sur deux axes de coordonnées rectangulaires, portons en abscisses des longueurs proportionnelles aux volumes spécifiques et en ordonnées des longueurs proportionnelles aux pressions (fig. 8). Soit A le point figuratif qui représente l'état initial de la masse de la vapeur d'anhydride carbonique à la température T. Augmentons, à la température constante T, la pression supportée par cette vapeur, son volume diminue ; elle reste à l'état de fluide homogène. Le point figuratif de son état décrit la courbe AB, qui est ainsi relative

à la vapeur non saturée ou surchauffée.

Le point B représente l'état de la vapeur au moment de la saturation : l'abscisse Ob figure le volume spécifique $s(T)$ de la vapeur saturée à la température T ; l'ordonnée bB représente la tension de vapeur saturée p à cette même température.

A partir du moment où la pression a la valeur p , toute diminution du volume du système entraîne sa séparation en deux parties : l'anhydride carbonique liquide et la vapeur saturée d'anhydride carbonique. La ligne figurative de cette transformation est la parallèle BC

à l'axe des abscisses. Le point C représente l'état du liquide saturé : l'abscisse Oc figure le volume spécifique $\sigma(T)$ du liquide saturé; l'ordonnée cC = bB représente la tension de vapeur p . Soit M un point de la droite BC; son ordonnée mM mesure la pression p ; son abscisse Om représente le volume d'un système formé d'une masse x de vapeur saturée d'anhydride carbonique et d'une masse $(1 - x)$ d'anhydride carbonique liquide saturé. Si v désigne ce volume, on a

$$v = x \times s(T) + (1 - x) \times \sigma(T)$$

ou, en posant

$$(1) \quad \begin{cases} u(T) = s(T) - \sigma(T), \\ v = \sigma(T) + x \times u(T). \end{cases}$$

On donne à cette quantité x le nom de *titre du mélange de liquide et de vapeur*; si $x = 0$, le mélange ne contient que du liquide; si $x = 1$, le mélange est formé par de la vapeur saturée sèche.

Enfin, tout le système étant à l'état liquide, une petite diminution de volume correspond à une très grande augmentation de pression. La courbe CD qui représente les variations, à température constante, du volume spécifique du liquide est sensiblement parallèle à l'axe des ordonnées.

L'ensemble des lignes AB, BC, CD constitue l'*isotherme de l'anhydride carbonique correspondant à la température T*.

Soit, par exemple, $T = 0^\circ \text{C.}$; on a

$$\left\{ \begin{array}{l} Ob = s(0) = 0^{\text{m}^3},0104 \\ Oc = \sigma(0) = 0^{\text{m}^3},00110 \end{array} \right\} bc = BC = u(0) = 0^{\text{m}^3},00930.$$

Au lieu de considérer l'isotherme relative à la température $T = 0^\circ \text{C.}$, traçons l'isotherme relative à la température $T' = 20^\circ \text{C.}$ Les volumes spécifiques $s(20)$ et $\sigma(20)$ ont alors pour valeurs

$$\left\{ \begin{array}{l} s(20) = 0^{\text{m}^3},0052 \\ \sigma(20) = 0^{\text{m}^3},00134 \end{array} \right\} u(20) = 0^{\text{m}^3},00389.$$

L'isotherme est alors telle que la partie rectiligne qui représente $u(20)$ est plus petite que BC; elle est représentée par l'ensemble des trois lignes A'B', B'C', C'D'.

Ainsi, lorsque la température s'élève, la partie rectiligne de l'isotherme va en diminuant parce que, comme le montrent les nombres inscrits dans le tableau X, le volume spécifique de la vapeur saturée diminue constamment, tandis que le volume spécifique du liquide saturé augmente constamment. Le point représentatif du volume spécifique du liquide saturé se déplace, lorsque la température s'élève sur une courbe CC' β , qui monte constamment de gauche à droite; le point représentatif du volume spécifique de la vapeur saturée se déplace, lorsque la température s'élève, sur une courbe BB' β , qui monte constamment de droite à gauche¹.

On démontre que ces deux courbes viennent se raccorder en un point β de manière à

1. Dans les ouvrages allemands, on donne le nom de *courbe limite (Grenzkurve)* à l'ensemble des deux courbes CC' β et BB' β . La courbe CC' β reçoit le nom de *courbe limite inférieure (untere Grenzkurve)* et la courbe BB' β le nom de *courbe limite supérieure (obere Grenzkurve)*. Selon Zeuner (*Technische Thermodynamik*, t. II, p. 36), l'équation de la courbe limite supérieure est, pour la vapeur d'eau,

$$ps^\mu = C,$$

dans laquelle

$$\begin{array}{lll} \mu = 1,0646, & C = 1,7049, & \text{si } p \text{ est exprimé en atmosphères (10.333 kilogrammes par mètre carré),} \\ \mu = 1,0646, & C = 1,7617, & \text{si } p \text{ est exprimé en kilogrammes par centimètre carré.} \end{array}$$

avoir en ce point une tangente parallèle à l'axe OV . De plus, la ligne isotherme passant par le point β et correspondant à la température $\Theta = 31^{\circ},35$ C. est tangente en ce point à la ligne $BB'\beta CC'$.

5. L'isotherme $\alpha\beta\beta$ sépare les parties du plan POV , où les isothermes ont une partie rectiligne, des parties où les isothermes n'ont pas de partie rectiligne.

— Cette ligne isotherme $\alpha\beta\beta$ ne présente plus de partie rectiligne correspondant au partage de l'anhydride carbonique en liquide et vapeur saturée. Il résulte immédiatement de là que si, à la température Θ , on fait croître la pression à laquelle est soumise une masse d'anhydride carbonique, jamais on n'observera le passage de ce corps à l'état liquide. Il en est de même à une température T_1 supérieure à Θ ; l'isotherme A_1B_1 correspondante est une courbe continue sans partie rectiligne.

On voit donc qu'il n'est pas toujours possible de liquéfier l'anhydride carbonique par simple augmentation de pression à température constante. Si cette température est supérieure à $\Theta = 31^{\circ},35$ C., un accroissement de pression, si grand qu'il soit, ne produira jamais la liquéfaction; celle-ci ne peut être observée sous une pression suffisante que si la température à laquelle est porté l'anhydride carbonique est inférieure à cette température Θ .

6. État critique. — La température Θ a reçu le nom de *température critique*.

L'inspection de la figure 8 nous montre que le point β est un point particulier de la courbe $\alpha\beta\beta$, c'est celui où la tangente à cette courbe est une tangente d'inflexion parallèle à l'axe OV . Les coordonnées $O\beta' = \mathcal{U}$, $\beta\beta' = \mathcal{P}$ reçoivent le nom de *volume critique* et de *pression critique*; les grandeurs Θ , \mathcal{P} , \mathcal{U} caractérisent l'*état critique*. Voici les valeurs de ces grandeurs pour les corps employés dans les machines frigorifiques.

TABLEAU XI

CONSTANTES CRITIQUES DES GAZ LIQUÉFIABLES EMPLOYÉS DANS LES MACHINES FRIGORIFIQUES

	Θ CENTIGRADES	\mathcal{P} ATMOSPHÈRES	\mathcal{U} MÈTRES CUBES par kilogramme
Ammoniaque	+ 431	443	0,00418
Anhydride sulfureux	+ 456	78,9	0,00192
Anhydride carbonique	+ 31,35	72,9	0,002155
Chlorure de méthyle	+ 142	69,5	0,00282

Les valeurs de la température critique inscrites dans ce tableau montrent que, dans les conditions ordinaires de température de l'eau de refroidissement que l'on fait circuler dans le condenseur d'une machine frigorifique, on peut toujours obtenir la liquéfaction de l'ammoniaque, de l'anhydride sulfureux, du chlorure de méthyle. Il n'en est plus de même pour l'anhydride carbonique; si l'on dispose d'une trop petite quantité d'eau de refroidissement ou si cette eau est à une température élevée, supérieure à 31° (cas fréquent sous les climats tropicaux), l'anhydride carbonique ne passe plus à l'état liquide dans le condenseur. Dans ces conditions, une machine à anhydride carbonique fonctionne plutôt comme une machine à détente d'un gaz.

7. Chaleur de vaporisation. — L'abaissement de température produit par la vapo-

risation d'un gaz liquéfiable dépend de la grandeur de la chaleur de vaporisation de ce liquide.

On appelle *chaleur de vaporisation d'un liquide à la température T* la *quantité de chaleur* (nombre de grandes calories) *absorbée par la vaporisation de l'unité de masse* (1 kilogramme) *du liquide, cette vaporisation étant effectuée à la température T et sous la tension de vapeur saturée à cette température.*

Voici les valeurs de la chaleur de vaporisation à diverses températures des corps employés dans les machines frigorifiques.

TABLEAU XII

CHALEURS DE VAPORISATION DES GAZ LIQUÉFIABLES EMPLOYÉS DANS LES MACHINES FRIGORIFIQUES

TEMPÉRATURES	AMMONIAQUE	ANHYDRIDE	ANHYDRIDE	CHLORURE
		SULFUREUX	CARBONIQUE	DE MÉTHYLE
— 30	330,6	95,89	70,40	»
— 25	329,1	95,59	68,47	»
— 20	327,2	95,00	66,36	»
— 15	324,9	94,30	64,03	»
— 10	322,3	93,44	61,47	»
— 5	319,4	92,40	58,63	»
0	316,1	91,20	55,45	200
+ 5	312,5	89,83	51,86	»
+ 10	308,6	88,29	47,74	»
+ 15	304,4	86,58	42,89	»
+ 20	299,9	84,70	36,93	»
+ 25	295,0	82,65	28,98	»
+ 30	289,7	80,44	15,00	»
+ 31,35	»	»	0,00	»
+ 35	284,0	78,05	»	»
+ 40	278,0	75,50	»	»

La chaleur de vaporisation diminue constamment quand la température s'élève; elle tend vers zéro quand on s'approche des conditions de l'état critique.

Pour produire le froid par évaporation d'un liquide, on a intérêt à prendre un liquide dont la chaleur de vaporisation soit grande; à ce point de vue, on peut, par ordre de chaleurs de vaporisation décroissantes, ranger de la manière suivante les gaz liquéfiables employés dans les machines frigorifiques :

Ammoniaque, chlorure de méthyle, anhydride sulfureux, anhydride carbonique.

8. Chaleur du liquide. — Nous aurons à considérer dans la théorie des machines frigorifiques la *quantité de chaleur nécessaire pour élever sous pression constante de 0° à T°C. 1 kilogramme de gaz liquéfié employé dans la machine frigorifique.* Dans les ouvrages allemands, on donne à cette grandeur le nom de *chaleur du liquide* (*Flüssigkeitswärme*). Le tableau XIII donne les valeurs de cette quantité pour l'ammoniaque, l'anhydride sulfureux, l'anhydride carbonique.

II

**LES DEUX PRINCIPES FONDAMENTAUX DE LA THERMODYNAMIQUE
ÉNONCÉ ET APPLICATIONS**

Nous allons maintenant rappeler l'énoncé des deux principes de la thermodynamique et en faire quelques applications qui nous seront utiles dans la théorie des machines frigorifiques.

TABLEAU XIII
VALEURS DE LA CHALEUR DU LIQUIDE

TEMPÉRATURES	AMMONIAQUE	ANHYDRIDE	
		SULFUREUX	CARBONIQUE
— 30.	— 25,51	— 9,31	— 13,78
— 25.	— 21,47	— 7,68	— 11,70
— 20.	— 17,34	— 6,20	— 9,55
— 15.	— 13,13	— 4,70	— 7,32
— 10.	— 8,83	— 3,16	— 5,00
— 5.	— 4,47	— 1,60	— 2,57
0.	0	0	0
+ 5.	+ 4,54	+ 1,62	+ 2,74
+ 10.	+ 9,17	+ 3,28	+ 5,71
+ 15.	+ 13,87	+ 4,96	+ 9,01
+ 20.	+ 18,66	+ 6,68	+ 12,82
+ 25.	+ 23,53	+ 8,42	+ 17,57
+ 30.	+ 28,49	+ 10,19	+ 25,25
+ 35.	+ 33,52	+ 11,99	»
+ 40.	+ 38,64	+ 13,82	»

1. Énoncé du principe de l'équivalence de la chaleur et du travail. — Le principe de l'équivalence entre le travail et la chaleur peut s'énoncer de la manière suivante¹ :

Considérons un système qui, en se transformant, passe d'un état initial 0 à un état final 1. Désignons par :

Q , la quantité de chaleur absorbée par le système durant cette transformation ;

ϵ_e , le travail extérieur produit par le système ;

$\Delta \sum \frac{mv^2}{2}$, la variation de la force vive sensible du système ;

$U_1 - U_0$, la variation subie pendant la transformation considérée par une fonction U qui dépend uniquement de l'état du système et à laquelle on donne le nom d'énergie interne de ce système.

1. Nous avons exposé complètement le principe de l'équivalence du travail et de la chaleur dans les publications suivantes : leçons autographiées sur *les Moteurs à gaz* ; leçons autographiées sur *les Machines à vapeur* ; leçons sur *les Moteurs à gaz* (Paris, Gauthier-Villars) ; *Thermodynamique, I. Principes* (Grenoble, Gratiot et Rey, 1904).

Il existe entre ces diverses grandeurs la relation suivante

$$(2) \quad EQ - \varepsilon_e = \Delta \sum \frac{mv^2}{2} + E(U_1 - U_0)$$

dans laquelle E est une constante à laquelle on donne le nom d'*équivalent mécanique de la chaleur*.

Dans le système d'unités, kilogramme, mètre, seconde, grande calorie, cette constante est égale à 424.

Supposons que le système étudié parcoure un cycle fermé de telle façon que la force vive du système dans l'état final soit la même que sa force vive dans l'état initial, c'est-à-dire que l'on ait

$$\Delta \sum \frac{mv^2}{2} = 0.$$

L'état final étant identique à l'état initial, l'énergie interne U_1 est égale à l'énergie interne U_0

$$U_1 - U_0 = 0.$$

L'équation (2) devient alors

$$(2 \text{ bis}) \quad EQ - \varepsilon_e = 0.$$

Cette dernière forme de l'équation qui exprime le principe de l'équivalence est très importante dans l'étude des machines frigorifiques; car, nous le verrons, l'agent frigorifique (ammoniacque, anhydride sulfureux, anhydride carbonique, etc.) part d'une région quelconque de la machine dans un certain état pour y revenir dans le même état, parcourant ainsi un cycle fermé.

2. Équation du mouvement permanent d'un fluide dans un tuyau. — Application de l'équation (2). — Déterminons d'abord, en partant de cette relation, l'équation du mouvement permanent d'un fluide dans un tuyau.

Considérons un fluide en mouvement dans un canal et faisons sur ce mouvement les hypothèses suivantes :

1° *Le régime permanent est établi*, c'est-à-dire qu'en un point déterminé du fluide la vitesse, l'accélération, la densité, la température, la pression, les propriétés physiques et chimiques sont les mêmes à tout instant du mouvement;

2° *L'écoulement se fait par tranches*, c'est-à-dire que la vitesse d'écoulement a la même grandeur en tous les points d'une même section normale du tuyau; elle est perpendiculaire à cette section;

3° *Le frottement du fluide contre les parois est nul.*

Soit ABCD la masse du fluide à laquelle nous allons appliquer le principe de l'équivalence. A l'instant t , cette masse se trouve en ABCD; à l'instant $t + dt$, elle se trouve en A'B'C'D' (fig. 9).

L'équation (2) appliquée à cette transformation devient

$$(3) \quad EdQ - d\varepsilon_e = d \sum \frac{mv^2}{2} + EdU.$$

Calculons les différents termes de cette équation.

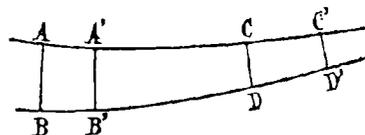


FIG. 9.

1° Terme $d \sum \frac{mv^2}{2}$. — La force vive de la masse ABCD au temps t comprend celle de la masse contenue dans l'espace ABA'B', plus celle de la masse contenue dans l'espace A'B'CD. La force vive de la masse A'B'C'D' au temps $t + dt$ comprend celle de la masse contenue dans le volume CDC'D' augmentée de celle de la masse contenue dans l'espace A'B'CD.

Pour avoir $d \sum \frac{mv^2}{2}$, il faut faire la différence de ces deux forces vives. Or le mouvement est *permanent*; par suite, aux temps t et $t + dt$, le volume A'B'CD est rempli par des masses égales de fluide animées de vitesses identiques. Le terme $d \sum \frac{mv^2}{2}$ se réduit donc à la différence entre la force vive de la masse comprise au temps $t + dt$ dans CDC'D' et celle de la masse enfermée au temps t dans ABA'B'.

Mais, si on appelle V_0 la vitesse du fluide en un point de la tranche AB de section ω_0 , comme cette vitesse est normale à la tranche AB, le volume ABA'B' est, à des infiniment petits près du second ordre,

$$\omega_0 V_0 dt,$$

et la masse dm enfermée dans le volume ABA'B' est, en appelant ρ_0 la densité du fluide en un point de AB,

$$dm = \rho_0 \omega_0 V_0 dt.$$

La force vive de la masse enfermée au temps t dans ABA'B' a pour expression

$$\frac{1}{2} V_0^2 dm = \frac{1}{2} V_0^2 \times \rho_0 \omega_0 V_0 dt.$$

On verrait de même qu'en appelant V_1 la vitesse normale en un point de la tranche CD de section ω_1 , la force vive de la masse du fluide enfermée dans CDC'D' a pour expression

$$\frac{1}{2} V_1^2 dm' = \frac{1}{2} V_1^2 \times \rho_1 \omega_1 V_1 dt.$$

Mais, puisque le régime permanent est établi, la densité en chaque point du volume A'B'CD est la même aux instants t et $t + dt$; par suite, la masse de fluide enfermée dans le volume A'B'CD est la même aux instants t et $t + dt$. Comme la masse totale du fluide est la même à ces deux instants, on a nécessairement l'égalité

$$dm = dm'.$$

Le terme $d \sum \frac{mv^2}{2}$ de l'équation (3) a donc pour valeur

$$d \sum \frac{mv^2}{2} = \frac{1}{2} dm (V_1^2 - V_0^2).$$

2° Terme EdU . — U est l'énergie interne du système ABCD; dU est la variation de cette énergie quand ce système passe de la position ABCD à la position A'B'C'D'.

Au temps t , U est la somme de l'énergie interne de la masse ABA'B' et de celle de la masse A'B'CD. Au temps $t + dt$, U est la somme des énergies internes de CDC'D' et de A'B'CD. Le mouvement étant permanent, les masses de fluide qui occupent respectivement aux temps t et $t + dt$ le même espace A'B'CD sont dans le même état et ont, par suite, des

énergies internes égales. dU se réduit donc à la différence entre l'énergie interne de la masse enfermée dans CDC'D' et celle de la masse enfermée dans ABA'B'.

Si U_0 et U_1 sont les énergies internes en AB et CD de l'unité de masse du fluide considéré comme homogène, on a

$$dU = dm(U_1 - U_0).$$

3° Terme $d\bar{c}_s$. — Quel est le travail produit par le système se déplaçant de la position ABCD à la position A'B'C'D'? Pour le calculer, nous allons déterminer le travail produit dans ce déplacement par les forces extérieures agissant sur ce système, puis nous changerons le signe du résultat.

Parmi les forces extérieures qui agissent sur ABCD, il y a d'abord les forces qui agissent sur chaque élément de masse; leurs composantes suivant les axes de coordonnées sont

$$\rho X dv, \quad \rho Y dv, \quad \rho Z dv.$$

Calculons leur travail.

Partageons par la pensée le système ABCD en tranches infiniment minces, normales aux vitesses en chaque point du canal et ayant toutes la même masse que ABA'B' (fig. 10). La première de ces tranches est ABA'B' elle-même. Au temps $t + dt$, la tranche 1 est venue coïncider exactement avec la position qu'occupait au temps t la tranche 2 (car le mouvement est permanent et les deux tranches ont même masse). De même, 2 est venu dans la position qu'avait 3 à l'instant t , et ainsi de suite. La dernière tranche n est venue en CDC'D'. Chaque tranche est d'ailleurs soumise à une force dont les composantes sont

$$X dm, \quad Y dm, \quad Z dm.$$

Il faut évaluer, pour la tranche 1, le travail de cette force dans le déplacement de la position 1 à la position 2; pour la tranche 2, son travail dans le déplacement de 2 en 3, et ainsi de suite. X, Y, Z ne dépendant pas du temps (le mouvement est permanent), ce travail est évidemment le même que celui qu'on obtiendrait en considérant la tranche 1 passant de ABA'B' en CDC'D'. Il a pour valeur

$$dm \int_{M_0}^{M_1} (X dx + Y dy + Z dz).$$

Parmi les autres forces extérieures qui agissent sur le système, il y a les pressions qui s'exercent normalement sur les sections AB et CD. En AB la pression donne naissance à une force $p_0 \omega_0$, le déplacement est $V_0 dt$; le travail est donc

$$p_0 \omega_0 V_0 dt;$$

en CD ce travail a pour expression

$$- p_1 \omega_1 V_1 dt.$$

Le liquide ne frottant pas contre la paroi, les pressions qui s'exercent sur la surface latérale ABCD sont, en chaque point, normales à cette surface; comme les déplacements sont parallèles à cette surface, le travail de ces pressions est nul.

Le travail des forces extérieures appliquées au système a donc pour expression

$$dm \int_{M_0}^{M_1} (X dx + Y dy + Z dz) + p_0 \omega_0 V_0 dt - p_1 \omega_1 V_1 dt.$$

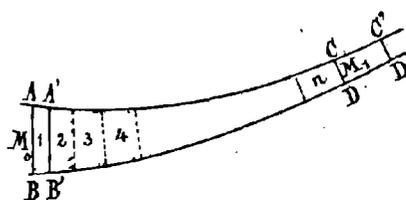


FIG. 10.

Le travail $d\mathcal{E}_e$ produit par le système qui se transforme s'obtient en changeant le signe de cette expression; il a donc pour valeur

$$d\mathcal{E}_e = - dm \int_{M_0}^{M_1} (Xdx + Ydy + Zdz) - p_0 \omega_0 V_0 dt + p_1 \omega_1 V_1 dt.$$

Mais, d'autre part, on a

$$dm = \rho_0 \omega_0 V_0 dt = \rho_1 \omega_1 V_1 dt.$$

Si on appelle $\sigma_0 = \frac{1}{\rho_0}$ le volume spécifique du fluide en AB, et $\sigma_1 = \frac{1}{\rho_1}$ le volume spéci-

fique du fluide en CD, l'expression précédente du travail devient

$$d\mathcal{E}_e = - dm \int_{M_0}^{M_1} (Xdx + Ydy + Zdz) + dm(p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0).$$

4° *Terme dQ.* dQ représente la quantité de chaleur absorbée par le système durant la transformation. Cette quantité de chaleur se compose de la chaleur absorbée de l'extérieur du canal par conductibilité et rayonnement, augmentée de la quantité de chaleur fournie au système ABCD par le fluide environnant.

En revenant à l'équation (3) et en y portant les valeurs trouvées pour ses différents termes, on trouve

$$(4) \quad E \frac{dQ}{dm} = p_1 \sigma_1 - p_0 \sigma_0 - \int_{M_0}^{M_1} (Xdx + Ydy + Zdz) + \frac{1}{2} (V_1^2 - V_0^2) + E(U_1 - U_0).$$

Considérons le cas particulier où le fluide soumis uniquement à l'action de la pesanteur circule dans un canal *horizontal*: le travail de la pesanteur est nul dans le mouvement, et l'on a

$$\int_{M_0}^{M_1} (Xdx + Ydy + Zdz) = 0.$$

Admettons, de plus, que les *échanges de chaleur avec le milieu extérieur soient nuls*; $dQ = 0$. L'équation (4) devient alors la suivante

$$(5) \quad \begin{cases} p_1 \sigma_1 + \frac{1}{2} V_1^2 + EU_1 = p_0 \sigma_0 + \frac{1}{2} V_0^2 + EU_0 \\ p\sigma + \frac{1}{2} V^2 + EU = C^{\text{te}}, \end{cases}$$

p, σ, V, U étant pour une section normale quelconque du canal les valeurs de la pression, du volume spécifique du fluide, de la vitesse d'écoulement de ce fluide, de son énergie interne.

REMARQUE. — Supposons que le fluide partant de l'état 0 sans vitesse initiale arrive à l'état 1 sans vitesse. Dans ce cas, la formule (5) devient, en y faisant $V_0 = V_1 = 0$,

$$(6) \quad EU_1 + p_1 \sigma_1 = EU_0 + p_0 \sigma_0.$$

Les formules (5) et (6) vont nous être utiles dans la théorie des machines frigorifiques.

3. Énergie interne d'un mélange contenant une proportion x de vapeur saturée. — Comme autre application de l'équation (2), proposons-nous de déterminer

l'énergie interne de 1 kilogramme d'un système formé d'une masse x de vapeur saturée en présence d'une masse $(1-x)$ de liquide saturé à la température T .

Supposons que les états initial et final de notre système soient les suivants :

État initial :

1 kilogramme d'anhydride sulfureux liquide à 0°C . ;

État final :

x kilogrammes de vapeur d'anhydride sulfureux saturée à la température de T°
en présence de $1-x$ kilogrammes d'anhydride sulfureux liquide.

Si U_0 désigne l'énergie interne du système dans l'état initial, et U_T son énergie interne dans l'état final, le principe de l'équivalence donne, en remarquant que la force vive sensible du système est nulle,

$$E(U_T - U_0) = EQ - \mathcal{E}_e.$$

Comme nous voulons seulement calculer la variation d'énergie interne ($U_T - U_0$), nous pouvons considérer les modifications suivantes conduisant le système de l'état initial à l'état final que nous venons de définir :

1° Une masse x d'anhydride sulfureux liquide à la température de 0° est d'abord chauffée de 0° à T° , puis transformée, sous la tension de vapeur saturée, en une masse x de vapeur saturée d'anhydride sulfureux à la température T ;

2° Une masse $(1-x)$ d'anhydride sulfureux liquide à la température de 0°C . est portée à la température T sous la tension de vapeur saturée à cette température.

La quantité de chaleur absorbée dans l'ensemble de ces deux modifications est, pour des températures éloignées de la température critique,

$$(q+r)x + q(1-x),$$

q , chaleur de liquide ;

r , chaleur de vaporisation.

Le travail produit par le système est, en négligeant le travail produit dans la dilatation du liquide, *ce qui ne peut avoir lieu que si la température T est éloignée de la température critique*,

$$px[s(T) - \sigma(T)] = pxu(T).$$

On a donc

$$E(U_T - U_0) = E(q+r)x + Eq(1-x) - pxu(T)$$

ou

$$(7) \quad U_T - U_0 = q + x \left[r - \frac{1}{E} pu(T) \right].$$

Posons

$$R(T) = r - \frac{1}{E} pu(T);$$

l'équation (7) devient

$$(8) \quad U_T - U_0 = q + xR(T).$$

Convenons de prendre égale à 0 l'énergie interne de 1 kilogramme d'anhydride sulfureux liquide à la température de 0°C . ; la formule précédente donne, pour l'énergie interne à la température T du système formé d'une masse x d'anhydride sulfureux en vapeur et d'une masse $(1-x)$ d'anhydride sulfureux liquide,

$$(9) \quad U_T = q + xR(T).$$

4. Énoncé du principe de Carnot-Clausius. — En 1824, Sadi-Carnot, fils du grand Carnot, a énoncé un principe de thermodynamique que le physicien allemand Clausius a, en 1850, généralisé et transformé au point d'en faire l'un des principes les plus vastes et les plus féconds de la philosophie naturelle. Ce principe, connu sous le nom de *principe de Carnot-Clausius*, s'énonce de la manière suivante.

Considérons une modification réversible infiniment petite; soit $t^{\circ}\text{C}$. la température que le système étudié possède en tous ses points à un instant quelconque de la modification; soit dQ la quantité de chaleur absorbée par le système pendant cette modification; on a la relation

$$(10) \quad dS = \frac{dQ}{273 + t},$$

dS étant la variation infiniment petite pendant la transformation étudiée d'une fonction dépendant uniquement de l'état du système à chaque instant. Cette fonction a reçu le nom d'entropie du système.

Posons

$$T = 273 + t.$$

Si la température centigrade t est lue sur un thermomètre à gaz parfait à volume constant, par exemple sur un thermomètre à hydrogène à volume constant, la quantité T est ce que l'on nomme la *température absolue* correspondant à la température centigrade t .

En introduisant la température absolue T , la relation (10) qui exprime le principe de Carnot-Clausius devient

$$(10 \text{ bis}) \quad dS = \frac{dQ}{T}.$$

Si la modification réversible éprouvée par le système n'est plus infiniment petite, mais est une modification réversible conduisant le système d'un état initial 0 à un état final 1 non infiniment voisin du premier, la variation de l'entropie pendant cette transformation est donnée par la relation

$$(11) \quad S_1 - S_0 = \int_0^1 \frac{dQ}{T}.$$

5. Variation d'entropie dans la vaporisation d'un liquide à une certaine température. — Comme application immédiate de cette formule et pour donner un sens concret à la notion d'entropie, cherchons la variation d'entropie résultant de la vaporisation sous tension de vapeur saturée de 1 kilogramme de liquide.

Soit T_1 la température à laquelle se fait la vaporisation;

$S(T_1)$, l'entropie de 1 kilogramme de vapeur saturée sèche à la température T_1 ;

$\Sigma(T_1)$, l'entropie de 1 kilogramme de liquide saturé à la même température.

La relation (11) donne

$$S(T_1) - \Sigma(T_1) = \frac{1}{T_1} \int dQ.$$

Mais la quantité de chaleur absorbée dans la transformation n'est autre que la chaleur de vaporisation $r(T_1)$. On a donc l'égalité

$$(12) \quad S(T_1) - \Sigma(T_1) = \frac{r(T_1)}{T_1}.$$

Quant à la quantité $\Sigma(T_1)$, si l'on se trouve loin de l'état critique et si l'on suppose constante entre les limites T_0 et T_1 la chaleur spécifique sous pression constante du liquide, elle se déduit de l'équation

$$(13) \quad \Sigma(T_1) - \Sigma(T_0) = \int_{T_0}^{T_1} \frac{dQ}{T} = C_p \int_{T_0}^{T_1} \frac{dT}{T} = C_p \log \text{nép} \frac{T_1}{T_0}.$$

Si T_0 est la température absolue correspondant à la température 0° de la glace fondante, c'est-à-dire $T_0 = 273$, on prend par convention

$$\Sigma(T_0) = 0,$$

et l'on a

$$(13 \text{ bis}) \quad \Sigma(T_1) = \int_{T_0}^{T_1} \frac{dq}{T} = C_p \log \text{nép} \frac{T_1}{T_0}.$$

Le tableau XIV contient les valeurs de $\Sigma(T)$ et de $\frac{r(T)}{T}$ pour les divers fluides employés dans les machines frigorifiques. Les méthodes qui ont servi à déterminer les valeurs de $\Sigma(T)$ seraient trop longues à exposer et à énumérer ici; nous y reviendrons dans une prochaine publication.

TABLEAU XIV

VALEURS DE $\Sigma(T)$ ET DE $\frac{r(T)}{T}$ POUR LES DIVERS FLUIDES EMPLOYÉS DANS LES MACHINES FRIGORIFIQUES

TEMPÉRATURES DEGRÉS CENTIGRADES <i>t</i>	TEMPÉRATURES DEGRÉS ABSOLUS <i>T</i>	AMMONIAQUE		ANHYDRIDE SULFUREUX		ANHYDRIDE CARBONIQUE	
		$\Sigma(T)$	$\frac{r(T)}{T} = S(T) - \Sigma(T)$	$\Sigma(T)$	$\frac{r(T)}{T} = S(T) - \Sigma(T)$	$\Sigma(T)$	$\frac{r(T)}{T} = S(T) - \Sigma(T)$
- 30	243	- 0,099	1,361	- 0,0354	0,3946	- 0,053	0,290
- 25	248	- 0,083	1,327	- 0,0295	0,3852	- 0,045	0,276
- 20	253	- 0,066	1,293	- 0,0236	0,3755	- 0,036	0,262
- 15	258	- 0,050	1,259	- 0,0177	0,3655	- 0,028	0,248
- 10	263	- 0,033	1,226	- 0,0118	0,3553	- 0,019	0,234
- 5	268	- 0,017	1,192	- 0,0059	0,3448	- 0,010	0,219
0	273	0	1,158	0	0,3341	0	0,203
+ 5	278	+ 0,017	1,124	+ 0,0059	0,3231	+ 0,010	0,187
+ 10	283	+ 0,033	1,096	+ 0,0118	0,3120	+ 0,021	0,169
+ 15	288	+ 0,050	1,057	+ 0,0177	0,3006	+ 0,032	0,149
+ 20	293	+ 0,066	1,023	+ 0,0236	0,2891	+ 0,043	0,126
+ 25	298	+ 0,083	0,989	+ 0,0295	0,2773	+ 0,064	0,097
+ 30	303	+ 0,099	0,956	+ 0,0354	0,2655	+ 0,087	0,050
+ 31,35	304,35	"	"	"	"	+ 0,112	0
+ 35	308	+ 0,116	0,922	+ 0,0413	0,2534		
+ 40	313	+ 0,132	0,888	+ 0,0472	0,2412		

Du principe de Carnot-Clausius on déduit, par des considérations qu'il serait trop long d'exposer ici, la formule fondamentale de la thermodynamique connue sous le nom de *formule de Clapeyron*.

6. Énoncé de la formule de Clapeyron. — Considérons un système formé d'un liquide et de la vapeur saturée de ce liquide, qui est en équilibre à la température T et

sous la tension de vapeur saturée p à cette température. Supposons que, dans ce système, 1 kilogramme de liquide passe à l'état de vapeur saturée à la température T et sous la tension de vapeur saturée p . La quantité de chaleur absorbée dans cette transformation réversible est égale à la chaleur de vaporisation r .

La formule de Clapeyron relie de la manière suivante cette chaleur de vaporisation à la variation de volume $u(T) = s(T) - \sigma(T)$ produite pendant la modification et à la valeur de la température T du coefficient angulaire $\frac{dp}{dT}$ de la tangente à la courbe des tensions de vapeur saturée,

$$r = \frac{1}{E} T \times u(T) \frac{dp}{dT}.$$

Nous avons maintenant toutes les propositions qui sont nécessaires pour démontrer une formule qui va nous être très utile dans la théorie des machines frigorifiques.

7. Transformation adiabatique d'un mélange de liquide et de vapeur saturée. — Considérons un système de masse égale à 1 kilogramme, formé d'une masse $(1 - x)$ d'anhydride sulfureux liquide et d'une masse x de vapeur saturée d'anhydride sulfureux; ce système est en équilibre à la température T sous la tension de vapeur saturée p correspondant à cette température. Supposons que ce système éprouve une transformation adiabatique infiniment petite, c'est-à-dire une transformation infiniment petite durant laquelle le système ne reçoit pas de chaleur de l'extérieur et n'en cède pas à l'extérieur. Durant cette modification, l'énergie interne du système subit une variation égale à dU ; le travail produit est égal à $p dv$, dv représentant la variation de volume du système. Le principe de l'équivalence donne donc l'équation

$$0 = p dv + E dU.$$

Mais le volume total v du système est

$$v = \sigma + xu.$$

Si le système se trouve dans des conditions éloignées de l'état critique, les variations du volume spécifique σ du liquide sont négligeables par rapport aux variations du volume u . On a donc

$$dv = d(xu).$$

L'énergie interne du système a pour expression

$$U = q + xR(T).$$

On en déduit

$$dU = dq + d[xR(T)] = dq + d(xr) - \frac{1}{E} d(xpu)$$

et, par suite,

$$E dU - p dv = Edq + E d(xr) - d(xpu) + p d(xu) = 0$$

ou, en simplifiant,

$$Edq + E d(xr) - xudp = 0.$$

Mais la formule de Clapeyron donne

$$xudp = \frac{E x r dT}{T}.$$

L'équation précédente devient alors

$$dq + d(xr) - \frac{xr}{T} dT = 0.$$

Si on appelle $d\Sigma$ la variation d'entropie de l'unité de masse d'anhydride sulfureux liquide dans cette transformation, on a

$$d\Sigma = \frac{dq}{T}.$$

Cette valeur de dq portée dans l'équation précédente lui donne la forme

$$d \left[\Sigma + \frac{xr}{T} \right] = 0.$$

Si la modification adiabatique considérée, au lieu d'être infiniment petite, est finie et fait passer le système de l'état 0 à l'état 1, l'équation qui définit cette transformation est

$$(14) \quad \Sigma_1 + \frac{x_1 r_1}{T_1} = \Sigma_0 + \frac{x_0 r_0}{T_0}.$$

Le travail extérieur produit dans cette modification adiabatique a pour expression, puisque $Q = 0$,

$$\mathfrak{E}_e = E(U_0 - U_1)$$

ou

$$\mathfrak{E}_e = E[q_0 - q_1 + x_0 R(T_0) - x_1 R(T_1)].$$

III

ACTIONS SUR LES MÉTAUX DES FLUIDES EMPLOYÉS DANS LES MACHINES FRIGORIFIQUES

L'étude des actions exercées sur les métaux qui sont employés dans la construction des diverses parties d'une installation frigorifique possède une très grande importance au point de vue de sa durée et de son fonctionnement.

1. Ammoniaque. — En présence de l'oxygène de l'air ou de l'eau contenant de l'air en dissolution, l'ammoniaque attaque particulièrement le cuivre et ses alliages (bronze, laiton). Aussi doit-on éviter l'emploi du cuivre dans les parties des installations qui viennent en contact avec l'ammoniaque; il est en effet très difficile d'éviter soit la présence de l'air, soit la présence de l'eau aérée. Toutefois, même en Amérique, où le compresseur fonctionne avec de la vapeur très surchauffée, il n'y a pas à craindre le danger d'explosion de l'ammoniaque, parce que la décomposition de ce corps et la mise en liberté d'hydrogène (donnant naissance à des explosions) ne peut se produire qu'au rouge¹. On n'observe d'explosions de ce genre que dans les incendies où une partie des machines est portée au rouge.

Il est souvent prudent de vérifier la pureté de l'ammoniaque employée, soit avant son introduction dans la machine, soit au cours de son fonctionnement. Pour cela, on fait une

¹. SIEBEL, *Störungen im Kühlmaschinen-betrieb* (*Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie*, 1894); — HANS LORENZ, *Neuere Kühlmaschinen* (Berlin, R. Oldenbourg, 1904).

prise d'ammoniaque liquide au moyen d'un appareil spécial et on produit l'évaporation de ce liquide; le résidu qui, d'après les recherches de Bunte et Eitner¹, d'une part, et de Lange², de l'autre, se compose d'eau, de substances alcooliques et de corps organiques à point d'ébullition élevé, permet de juger du degré de pureté du fluide employé.

Les substances organiques proviennent soit de l'huile de graissage de la pompe de compression servant à la fabrication de l'ammoniaque, soit de l'huile de graissage du compresseur pendant le fonctionnement de l'appareil frigorifique. L'eau provient soit de la pompe à huile, soit des restes d'eau résultant d'une incomplète dessiccation du serpent.

2. Anhydride carbonique. — L'anhydride carbonique n'exerce, quand il est pur, aucune action sur les métaux. Mais le liquide du commerce peut contenir des impuretés dont la présence dans les machines est nuisible. Ces impuretés ont été étudiées par Grünhut³. Il a trouvé dans l'anhydride carbonique liquide de l'oxyde de fer hydraté, du chlorure et du sulfate de fer. Ces composés proviennent de la production de l'anhydride carbonique en présence de l'eau et de l'air ou en présence d'acide chlorhydrique et d'acide sulfurique. Si un peu de ces acides est mélangé, même à l'état de traces, à l'anhydride carbonique introduit dans les machines, il peut s'y produire des détériorations notables. *Aussi est-il bon, pour le fluide à employer dans les machines, de se servir d'un liquide provenant de la condensation d'anhydride carbonique naturel qui se présente dans un grand état de pureté.*

D'après Constanz Schmitz⁴, on rencontre dans l'anhydride carbonique liquide du commerce, de l'air, de l'oxyde de carbone, de l'hydrogène sulfuré, des carbures d'hydrogène; de l'eau et de l'huile de graissage; de la graisse. La présence de l'eau est particulièrement préjudiciable; car, en se congelant, elle donne naissance à des bouchons de glace qui arrêtent le fonctionnement de l'appareil. On peut reconnaître la présence d'une notable quantité d'eau au moyen du sulfate de cuivre. En trempant un morceau de papier à filtre dans une dissolution de ce sel, on obtient par le séchage un papier blanc ou légèrement teinté en vert; si on place ce papier devant l'orifice de la bouteille faiblement ouvert et incliné vers le bas, on constate le virage au bleu, quand l'acide carbonique contient de l'eau.

On peut d'ailleurs éliminer en grande partie cette eau de la bouteille en la plaçant verticalement, l'ouverture en bas: l'eau plus lourde s'accumule au voisinage du robinet. En ouvrant légèrement celui-ci, on peut se débarrasser de cette eau.

Nous indiquerons plus loin, dans la description des compresseurs à anhydride carbonique, la précaution qu'il convient de prendre pour arrêter, avant la soupape d'aspiration, la neige provenant de l'eau entraînée dans la machine.

Il convient d'éviter la présence dans la machine à anhydride carbonique, comme d'ailleurs dans toutes les machines frigorifiques, de gaz, tel que l'air, qui ne sont pas condensables dans les conditions des expériences. Ces gaz produisent en effet un accroissement de pression au condenseur et augmentent inutilement la puissance dépensée dans la machine. Des dispositifs spéciaux, que nous indiquerons dans l'étude des condenseurs, permettent l'échappement de ces gaz.

La glycérine bien neutre, qui est le lubrifiant généralement employé dans les machines à anhydride carbonique, est jusqu'à un certain point, par sa propriété d'absorber l'eau, un agent de purification. On peut, sans gêner le fonctionnement, laisser une petite quantité de ce liquide circuler dans la machine avec l'anhydride carbonique. Il convient toutefois d'éviter

1. *Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie*, 1887; — *Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung*, 1897.

2. *Id.*, 1887; — *Wochenschrift für Brauerei*, 1897.

3. *Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie*, 1895.

4. Constanz Schmitz, *Verunreinigungen in flüssiger Kohlensäure*. (*Eis und Kälte-Industrie*, t. VII, p. 11, 5 décembre 1905.)

que la glycérine se rassemble en un point quelconque de la machine; sa présence en grande masse peut en effet rendre plus difficiles les échanges de chaleur avec le milieu extérieur ou donner naissance à des coups de bélier dans le compresseur.

3. Anhydride sulfureux. — L'anhydride sulfureux parfaitement pur n'attaque ni le fer ni le cuivre à la température ordinaire. Mais ce corps forme en présence de l'eau des hydrates $\text{SO}_2 + n\text{H}_2\text{O}$ [$\text{SO}_2 + 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{SO}_2 + 14\text{H}_2\text{O}$], qui ont sur le fer une action très corrosive et sont presque sans action sur le cuivre. De plus, dans la partie où la dissolution des hydrates est en contact avec l'air, il se forme de l'acide sulfurique qui, lui aussi, attaque le fer et non le cuivre à la température ordinaire. D'après M. Desvignes, ingénieur à Paris, qui a pendant longtemps étudié les machines à SO_2 et les solutions de SO_2 (pour la fabrication de la cellulose), c'est la formation des hydrates $\text{SO}_2 + n\text{H}_2\text{O}$ qu'il faut éviter plus particulièrement dans les machines frigorifiques à SO_2 .

Or, l'eau peut s'introduire dans la machine à SO_2 par des fuites du condenseur ou du serpentín plongé dans de la saumure refroidie. Il convient donc de n'employer que du cuivre pour faire ces parties d'une installation frigorifique à anhydride sulfureux.

Il faut naturellement n'employer que de l'anhydride sulfureux parfaitement pur et exempt des hydrates dont nous venons de parler. Il convient de ne se servir que d'anhydride sulfureux préparé à 400°C . par l'action du soufre en canons, redistillé sur l'acide sulfurique à 66°B ., complètement épuré et ne contenant, par suite, ni arsenic, ni plomb, ni produits nitreux (procédé Raoul Pictet). Il convient, de plus, de faire subir à cet anhydride sulfureux des épurations successives dont la dernière doit avoir pour but d'éliminer, par un abaissement de température à -10°C ., les dernières traces de vapeur d'eau et les hydrates.

Il faut éviter surtout l'anhydride sulfureux provenant du grillage des pyrites; il contient en effet des impuretés comme hydrogène sulfuré; acides arsénieux, carbonique, sulfurique, produits nitrés, etc.; hydrates $\text{SO}_2 + n\text{H}_2\text{O}$; qui ne tardent pas à mettre les machines hors de service.

IV

THÉORIE DES MACHINES FRIGORIFIQUES A GAZ LIQUÉFIABLE

LE COMPRESSEUR FONCTIONNE EN RÉGIME HUMIDE¹

1. Application des principes de la thermodynamique aux transformations d'une masse fluide dans une machine à gaz liquéfiable. — Considérons la machine frigorifique à gaz liquéfiable représentée schématiquement sur la figure 4. O est le compresseur, A le condenseur, R le robinet de réglage, B le réfrigérant. L'eau qui circule autour du serpentín du condenseur arrive à la partie inférieure à la température Θ'_2 et sort à la partie supérieure à la température Θ_2 supérieure à Θ'_2 ; le fluide qui circule dans la machine se condense à une température T_2 légèrement supérieure à Θ_2 ; appelons p_2 la tension de vapeur

1. Pour la rédaction de ce paragraphe, nous avons fait de nombreux emprunts aux ouvrages suivants : DE MARCHENA, *Machines frigorifiques à gaz liquéfiable* (*Encyclopédie des aide-mémoire Léauté*, Paris, Gauthier-Villars); — STETSFELD, *Die Eis und Kälteerzeugungs-Maschinen* (Stuttgart, Max Waag, 1901).

Voir aussi, pour cette théorie thermodynamique des machines frigorifiques : OTTO HENCKEL, *Vergleichende Theorie und Praxis der drei Kälte-Erzeugungs-Systeme* (*Eis und Kälte-Industrie*, t. VII, n° 4 et suiv., 1905); — ZEUNER, *Technische Thermodynamik*, t. II, p. 439.

saturée de ce fluide à la température T_2 . La saumure qui se trouve autour du serpentín du réfrigérant entre dans ce réfrigérant à une température Θ'_1 et en sort à une température Θ_1 inférieure à Θ'_1 ; le fluide qui se trouve dans le serpentín du réfrigérant est à une température moyenne T_1 inférieure à Θ_1 ; soit p_1 sa tension de vapeur saturée à la température T_1 . Nous allons étudier, au point de vue de la thermodynamique, les diverses transformations de la masse M de fluide qui, à chaque coup de piston, circule dans la machine lorsque le régime permanent est établi.

1° Le liquide passe du condenseur au réfrigérant à travers le robinet de détente R. —

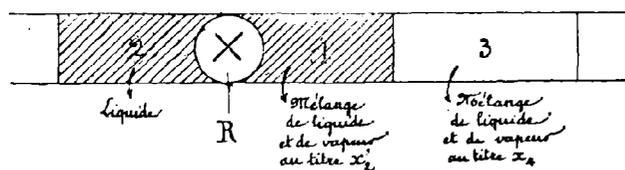


FIG. 11.

Représentons sur la figure 11 la partie du tube de communication entre le condenseur et le réfrigérant qui est voisine du robinet de détente R. Étudions la transformation suivante qui est voisine de celle qui se passe réellement dans les machines frigorifiques.

Considérons en l'état 2 à l'état de repos une masse M de liquide non saturé à une température T'_2 légèrement supérieure à la température Θ'_2 de l'eau de réfrigération à son entrée dans le condenseur. Cette masse de liquide traverse le robinet de détente avec une certaine vitesse et se transforme au-delà de ce robinet dans le serpentín du réfrigérant en un mélange 1 de liquide et de vapeur de masse M au titre x'_1 .

Négligeons les échanges de chaleur qui peuvent se faire, soit avec le milieu extérieur au travers des parois du robinet, soit entre la masse M et le fluide qui l'entourne dans le serpentín du condenseur ou dans celui du réfrigérant; d'autre part, le liquide étant soumis uniquement à la pesanteur, négligeons le travail de cette force. Appliquons l'équation (5) du paragraphe II à la transformation de la masse M du fluide passant de l'état 2 à l'état 1.

Soient dans l'état 2 : p_2 , la pression supportée par ce liquide;

σ'_2 , le volume spécifique de ce liquide sous la pression p_2 ;

U_2 , son énergie interne.

Soient dans l'état 1 : p_1 , la pression supportée par le mélange de liquide et de vapeur;

v_1 , le volume spécifique du mélange de liquide et de vapeur sous la tension de vapeur saturée p_1 ;

U_1 , l'énergie interne de ce même mélange;

V_1 , la vitesse de ce mélange dans l'état 1.

L'équation (5) donne la relation

$$(15) \quad Mp_2\sigma'_2 + EU_2 = Mp_1v_1 + \frac{1}{2}MV_1^2 + EU_1.$$

Mais, d'après l'équation (1) du paragraphe I, on a

$$v_1 = \sigma_1 + x'_1u_1.$$

La relation (9) du paragraphe II conduit, d'autre part, aux expressions

$$\begin{aligned} U_2 &= Mq'_2, \\ U_1 &= M[q_1 + x'_1R(T_1)], \end{aligned}$$

q'_2 étant la quantité de chaleur nécessaire pour faire passer 1 kilogramme de liquide de 0°C . à la température T'_2 sous la pression p_2 .

En portant ces valeurs dans l'équation (15), on trouve la relation

$$p_2\sigma_2' + Eq_2' = p_1(\sigma_1 + x_1'u_1) + \frac{1}{2}V_1^2 + E[q_1 + x_1'R(T_1)]$$

ou en remarquant que

$$(16) \quad \begin{aligned} R(T_1) &= r(T_1) - \frac{1}{E} p_1 u_1 \\ \frac{1}{2} V_1^2 &= p_2\sigma_2' - p_1\sigma_1 - Ex_1'r(T_1) + E(q_2' - q_1). \end{aligned}$$

La masse M du mélange de liquide et de vapeur au titre x_1' passe ensuite de l'état 1 où elle a la vitesse V_1 à l'état 3 où elle forme à l'état de repos un mélange de liquide et de vapeur au titre x_4 .

Dans l'état 3, le mélange de liquide et de vapeur est sous la pression p_1 , et son volume spécifique est

$$\sigma_1 + x_1'u_1.$$

L'équation (5), appliquée à cette transformation que nous supposons encore adiabatique, donne

$$Mp_1(\sigma_1 + x_1'u_1) + \frac{1}{2}MV_1^2 + EM[q_1 + x_1'R(T_1)] = Mp_1(\sigma_1 + x_1'u_1) + EM[q_1 + x_1'R(T_1)]$$

ou, en faisant les simplifications nécessaires,

$$(17) \quad \frac{1}{2}V_1^2 = Er(T_1)(x_4 - x_1').$$

Si on retranche finalement membre à membre les équations (16) et (17), on trouve l'équation¹

$$(18) \quad Er(T_1)x_4 = p_2\sigma_2' - p_1\sigma_1 + E(q_2' - q_1).$$

Comme les températures T_1 et T_2 sont éloignées de la température critique (ce qui est nécessaire pour pouvoir écrire les expressions précédentes des énergies internes), on a

$$\sigma_2' = \sigma_1,$$

et l'équation (18) devient

$$(18 \text{ bis}) \quad Er(T_1)x_4 = (p_2 - p_1)\sigma_1 + E(q_2' - q_1).$$

Cette équation permet de connaître le titre x_4 du mélange de liquide et de vapeur qui se trouve dans le réfrigérant au début de l'opération.

2° *Période d'aspiration du compresseur.* — Supposons que le compresseur aspire le mélange M de liquide et de vapeur saturée au titre x_4 et sous la tension de vapeur saturée p_1 . Désignons, à la fin de l'aspiration, par x_1 le titre du mélange M de liquide et de vapeur

1. Quand on ne veut pas calculer la vitesse de passage du fluide au travers du robinet de détente, on peut établir cette équation d'une manière très simple, en considérant seulement les états 2 et 3 du fluide et en appliquant l'équation (6) du paragraphe II à la transformation du fluide de l'état 2 à l'état 3. On a, en effet,

$$EU_2 + Mp_2\sigma_2' = EM[q_1 + x_4R(T_1)] + Mp_1[\sigma_1 + x_4u_1]$$

ou

$$EMq_2' + Mp_2\sigma_2' = EM\left[q_1 + x_4\left\{r(T_1) - \frac{1}{E}p_1u_1\right\}\right] + Mp_1[\sigma_1 + x_4u_1],$$

équation d'où on déduit la relation (18) par des simplifications évidentes.

saturée sous la pression p_1 . Soit Q_1 la quantité de chaleur absorbée par le système du mélange de liquide et de vapeur, qui se transforme comme nous venons de l'indiquer; cette quantité de chaleur est fournie tout entière par la saumure¹ du réfrigérant, si les échanges de chaleur entre le système et les parois du cylindre du compresseur pendant l'aspiration sont négligés. Le principe de l'équivalence donne

$$EQ_1 - Mp_1[\sigma_1 - x_1 u_1 - \sigma_1 + x_1 u_1] = EM[q_1 + x_1 R(T_1) - q_1 - x_1 R(T_1)]$$

ou

$$Q_1 = Mr(T_1)(x_1 - x_1)$$

ou, en tenant compte des équations (18) et (18 bis),

$$(19) \quad Q_1 = M \left[r(T_1) x_1 - (q'_2 - q_1) - \frac{1}{E} (p_2 \sigma'_2 - p_1 \sigma_1) \right],$$

$$(19 \text{ bis}) \quad Q_1 = M \left[r(T_1) x_1 - (q'_2 - q_1) - \frac{1}{E} (p_2 - p_1) \sigma_1 \right].$$

3° *Compression du mélange aspiré.* — Supposons que le mélange aspiré par le compresseur soit ensuite comprimé d'une manière *adiabatique* et passe de la température T_1 à la température T_2 du condenseur. Admettons, de plus, que, pendant cette compression, ce mélange reste *homogène* et soit formé de liquide et de vapeur saturés. Au début de la compression, le titre de la vapeur est x_1 ; à la fin de la compression, il est x_2 . Le compresseur aspire et comprime de la vapeur humide : on dit qu'il fonctionne en *régime humide* (*Der Nasse Compressorgang*, comme disent les auteurs allemands).

Si les températures du fluide sont éloignées de sa température critique, l'équation (13) du paragraphe II donne la relation

$$(20) \quad \Sigma_1 + \frac{x_1 r(T_1)}{T_1} = \Sigma_2 + \frac{x_2 r(T_2)}{T_2}.$$

Nous aurons à considérer avec Zeuner le cas où la vapeur est exactement saturée et sèche à la fin de la compression, c'est-à-dire le cas où $x_2 = 1$. L'équation (20) devient alors

$$(20 \text{ bis}) \quad \Sigma_1 + \frac{x_1 r(T_1)}{T_1} = \Sigma_2 + \frac{r(T_2)}{T_2}.$$

4° *Liquéfaction à la température T_2 et sous la pression p_2 du mélange au titre x_2 .* — Le mélange de liquide et de vapeur au titre x_2 , qui se trouve à la température T_2 et sous la pression p_2 dans le compresseur à la fin de la compression adiabatique, est liquéfié dans le condenseur et transformé en une masse M de liquide saturé à la température T_2 .

Si Q_2 désigne la quantité de chaleur absorbée par le système qui se transforme ainsi, le principe de l'équivalence donne

$$EQ_2 - Mp_2[\sigma_2 - \sigma_2 - x_2 u_2] = EM[q_2 - q_2 - x_2 R(T_2)]$$

ou, en simplifiant,

$$(21) \quad Q_2 = -Mx_2 \left[R(T_2) + \frac{1}{E} p_2 u_2 \right] = -Mx_2 r(T_2).$$

1. On dit que la saumure reçoit une quantité de chaleur ($-Q_1$), et l'on exprime cette quantité de chaleur en *frigories*; une frigorie est une calorie négative. Une machine frigorifique qui cède à la saumure 1.000 frigories par heure est une machine dans laquelle la vaporisation du fluide qui y circule absorbe par heure 1.000 calories.

La quantité de chaleur Q_2 est de la chaleur dégagée; cette quantité de chaleur est absorbée par l'eau qui circule autour du serpentin du condenseur.

Si à la fin de la compression adiabatique dans le compresseur, la vapeur est saturée et sèche, on a $x_2 = 1$, et l'équation (21) devient

$$(21 \text{ bis}) \quad Q_2 = -Mr(T_2).$$

5° *Le liquide saturé à la température T_2 passe à l'état de liquide non saturé à la température T'_2 .* — Enfin, le liquide saturé à la température T_2 passe à l'état de liquide non saturé à la température T'_2 inférieure à la température T_2 .

Dans cette transformation, qui s'effectue sous la pression p_2 , le volume spécifique du fluide passe de la valeur σ_2 à la valeur σ'_2 ; si Q'_2 est la quantité de chaleur absorbée dans cette transformation, le principe de l'équivalence conduit à la relation

$$EQ'_2 - Mp_2(\sigma'_2 - \sigma_2) = EM(q'_2 - q_2).$$

Si, comme nous l'avons fait dans toute cette théorie, nous supposons que le fluide est éloigné de son point critique, nous pouvons négliger la différence $(\sigma'_2 - \sigma_2)$ et écrire

$$(22) \quad Q'_2 = M(q'_2 - q_2).$$

La quantité

$$q_u = -\frac{Q'_2}{M} = q_2 - q'_2$$

reçoit le nom de *chaleur de refroidissement du liquide au-dessous de la température de liquéfaction au condenseur* (*Unterkühlungswärme*, suivant l'expression des auteurs allemands).

De l'équation (22) on tire

$$q'_2 = q_2 + \frac{Q'_2}{M} = q_2 - q_u.$$

En portant cette valeur dans l'équation (18 bis), qui donne le titre du mélange de liquide et de vapeur au début de l'aspiration, on obtient la relation

$$(23) \quad Er(T_1)x_1 = (p_2 - p_1)\sigma_1 + E(q_2 - q_u - q_1).$$

Dans un grand nombre de cas, on néglige la quantité de chaleur q_u , et on écrit cette relation sous la forme

$$(23 \text{ bis}) \quad Er(T_1)x_1 = (p_2 - p_1)\sigma_1 + E(q_2 - q_1).$$

2. Calcul du travail qu'il faut fournir au compresseur. — Proposons-nous maintenant de calculer le travail qu'il faut fournir au compresseur.

Pour cela, considérons seulement ce qui se passe d'un côté du piston, le vide étant supposé exister sur l'autre face.

Pendant l'aspiration du mélange de liquide et de vapeur, le travail moteur produit est, en remarquant que le piston supporte seulement sur une de ses faces une pression égale à p_1 et en appelant V le volume du corps de pompe du compresseur,

$$\mathcal{E}_1 = p_1 V = p_1 M(\sigma_1 + x_1 u_1),$$

M étant la masse du mélange de liquide et de vapeur au titre x_1 qui remplit le compresseur à la fin de l'aspiration.

Dans la compression adiabatique, le travail produit par le système est, en vertu du principe de l'équivalence, égal à la variation de l'énergie interne de ce système. Il a donc pour expression

$$\mathfrak{e}_2 = -EM [q_2 + x_2 R(T_2) - q_1 - x_1 R(T_1)].$$

Le travail qu'il faut fournir au piston pour effectuer cette compression est égal à $-\mathfrak{e}_2$.

Pendant le refoulement de la masse M au condenseur, la pression sur la face du piston reste égale à p_2 , et le volume balayé par le piston a pour valeur $M(\sigma_2 + x_2 u_2)$. Le travail qu'il faut produire est alors

$$\mathfrak{e}_3 = p_2 M(\sigma_2 + x_2 u_2).$$

Le travail total que l'on doit fournir au piston du compresseur est donc égal à

$$\mathfrak{e}_i = \mathfrak{e}_3 - \mathfrak{e}_2 - \mathfrak{e}_1,$$

ou

$$\mathfrak{e}_i = M(p_2 \sigma_2 - p_1 \sigma_1) + M(p_2 x_2 u_2 - p_1 x_1 u_1) + EM \left[q_2 + x_2 \left\{ r(T_2) - \frac{1}{E} p_2 u_2 \right\} - q_1 - x_1 \left\{ r(T_1) - \frac{1}{E} p_1 u_1 \right\} \right]$$

ou, en effectuant les simplifications,

$$\mathfrak{e}_i = M[E \{ (q_2 - q_1) + x_2 r(T_2) - x_1 r(T_1) \} + p_2 \sigma_2 - p_1 \sigma_1].$$

Si le fluide est très éloigné de son point critique, cette expression devient

$$(24) \quad \mathfrak{e}_i = M[E(q_2 - q_1) + E x_2 r(T_2) - E x_1 r(T_1) + (p_2 - p_1) \sigma_1].$$

Si on se reporte aux expressions trouvées pour Q_1 , Q_2 et Q'_2 , on voit que la formule (24) se réduit à la forme

$$\mathfrak{e}_i = -EQ_1 - EQ'_2 - EQ_2,$$

ou

$$(24 \text{ bis}) \quad Q_1 + \frac{1}{E} \mathfrak{e}_i = -(Q_2 + Q'_2).$$

Si on remarque que le travail \mathfrak{e}_i est un travail indiqué et que la quantité de chaleur $-(Q_2 + Q'_2)$ est la quantité de chaleur dégagée au condenseur, on a le théorème suivant.

La quantité de chaleur dégagée au condenseur est égale à la quantité de chaleur absorbée au réfrigérant augmentée de la quantité de chaleur équivalente au travail indiqué fourni au compresseur.

3. Diagramme théorique du compresseur. — Voyons comment on peut représenter géométriquement dans le plan (P, V) le travail indiqué \mathfrak{e}_i .

Sur deux axes de coordonnées rectangulaires (*fig. 12*), portons en abscisses des

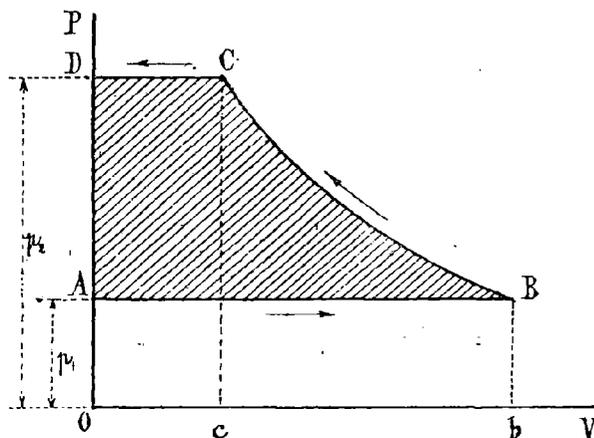


FIG. 12. — Diagramme théorique d'un compresseur.

longueurs proportionnelles aux volumes balayés par le piston du compresseur et en ordonnées des longueurs proportionnelles aux pressions qui s'exercent sur l'une des faces du piston. Sur

OV, prenons une longueur $Ob = V$ représentant le volume du cylindre du compresseur, et sur OP une longueur $OA = p_1$ représentant la pression à l'aspiration. La phase d'aspiration est représentée par la ligne horizontale AB; la phase de compression adiabatique par la courbe BC; enfin, la phase de refoulement est figurée par la ligne horizontale CD menée à une distance $OD = p_2$ de l'axe des abscisses.

Le travail indiqué fourni au compresseur est égal à la valeur absolue de la surface ABCD couverte de hachures.

Le contour ABCDA représente le *diagramme théorique d'un compresseur*.

4. Le travail à fournir au compresseur peut se calculer au moyen du diagramme théorique comme si le contour de ce diagramme était un cycle fermé. — Revenons maintenant aux séries de transformations éprouvées par la masse M de fluide qui circule dans la machine lorsque le régime permanent est établi. Comme on peut le voir facilement par ce que nous avons dit plus haut, le système formé par cette masse M parcourt un *cycle fermé*. Si donc Q est la quantité totale de chaleur absorbée pendant le parcours de ce cycle; \mathfrak{E}_e , le travail extérieur produit, le principe de l'équivalence donne l'équation

$$EQ = \mathfrak{E}_e,$$

l'énergie interne du système étant la même au début et à la fin de la série des modifications qui constituent le cycle.

Or, on a évidemment

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_2'$$

et, par suite,

$$\mathfrak{E}_e = E(Q_1 + Q_2 + Q_2').$$

Il résulte immédiatement de là que

$$\mathfrak{E}_e = -\mathfrak{E}_i.$$

Le travail \mathfrak{E}_i peut donc être calculé comme si le contour ABCDA représentait un cycle fermé parcouru par un système qui absorberait la quantité de chaleur Q_1 pendant la modification AB et dégagerait la quantité de chaleur, $-(Q_2 + Q_2')$, pendant l'ensemble des deux modifications CD + DA. Nous verrons plus loin l'importance de cette remarque.

Proposons-nous maintenant d'étudier les variations de la quantité de chaleur Q_1 .

5. Puissance frigorifique par coup de piston. — Puissance frigorifique par unité de masse du liquide circulant dans la machine. — Puissance refroidissante du condenseur. — La quantité de chaleur Q_1 reçoit le nom de « *puissance frigorifique par coup de piston* », et la quantité de chaleur $\frac{Q_1}{M}$ le nom de « *puissance frigorifique par unité de masse de fluide* » qui circule dans la machine. On donne aussi quelquefois à la quantité de chaleur $(Q_2 + Q_2')$ le nom de *puissance refroidissante du condenseur par coup de piston*, et à la quantité

$$\frac{Q_2 + Q_2'}{M},$$

le nom de *puissance refroidissante du condenseur par unité de masse du fluide qui circule dans la machine*.

La quantité de chaleur $\frac{Q_1}{M}$ a pour expression, d'après l'équation (19 bis),

$$\frac{Q_1}{M} = r(T_1)x_1 - (q_2' - q_1) - \frac{1}{E}(p_2 - p_1)\sigma_1$$

ou, si on néglige la différence $(q_2' - q_2)$,

$$\frac{Q_1}{M} = r(T_1)x_1 - (q_2 - q_1) - \frac{1}{E}(p_2 - p_1)\sigma_1.$$

Mais on a

$$M = V(\sigma_1 + u_1x_1),$$

V étant le volume du compresseur. Par suite, Q_1 se met sous l'une des formes

$$(25) \quad \begin{cases} Q_1 = \frac{V}{\sigma_1 + u_1x_1} \left[r(T_1)x_1 - (q_2' - q_1) - \frac{1}{E}(p_2 - p_1)\sigma_1 \right] \\ Q_1 = \frac{V}{\sigma_1 + u_1x_1} \left[r(T_1)x_1 - (q_2 - q_1) - \frac{1}{E}(p_2 - p_1)\sigma_1 \right]. \end{cases}$$

Considérons, en particulier, cette seconde forme de Q_1 .

On tire de l'équation (20)

$$r(T_1)x_1 = T_1(\Sigma_2 - \Sigma_1) + \frac{T_1}{T_2}r(T_2)x_2,$$

ce qui donne, pour la valeur de Q_1 ,

$$Q_1 = \frac{V}{\sigma_1 + u_1x_1} \left[r(T_2)x_2 \frac{T_1}{T_2} + T_1(\Sigma_2 - \Sigma_1) - (q_2 - q_1) - \frac{1}{E}(p_2 - p_1)\sigma_1 \right]$$

ou approximativement, si la différence $(T_2 - T_1)$ n'est pas très grande ¹,

$$(25 \text{ bis}) \quad Q_1 = \frac{V}{\sigma_1 + u_1x_1} \left[r(T_2)x_2 \frac{T_1}{T_2} - (q_2 - q_1) \frac{T_2 - T_1}{2T_1} - \frac{1}{E}(p_2 - p_1)\sigma_1 \right].$$

1. Si le fluide qui circule dans la machine est éloigné de son point critique, on a, en appelant C sa capacité

$$dq = CdT,$$

C étant constant entre les températures T_1 et T_2 , si ces températures ne sont pas très différentes.

Or, d'après le théorème de Carnot-Clausius, on a

$$\Sigma_2 - \Sigma_1 = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dq}{T} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{CdT}{T} = C \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = C \log \text{nép} \frac{T_2}{T_1}.$$

Mais, si la différence $(T_2 - T_1)$ n'est pas considérable, on peut écrire avec une certaine approximation

$$\frac{q_2 - q_1}{T_2 - T_1} = C$$

et, par suite,

$$\Sigma_2 - \Sigma_1 = \frac{q_2 - q_1}{T_2 - T_1} \log \text{nép} \frac{T_2}{T_1}.$$

Développons en série $\log \text{nép} \frac{T_2}{T_1}$

$$\log \text{nép} \frac{T_2}{T_1} = \log \text{nép} \left[1 + \frac{T_2 - T_1}{T_1} \right] = \frac{T_2 - T_1}{T_1} - \frac{1}{2} \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1} \right)^2 + \frac{1}{6} \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1} \right)^3 - \dots$$

Si $(T_2 - T_1)$ n'est pas considérable, on peut réduire la série à ses deux premiers termes et écrire

$$\Sigma_2 - \Sigma_1 = \frac{q_2 - q_1}{T_2 - T_1} \times \frac{T_2 - T_1}{T_1} \left[1 - \frac{T_2 - T_1}{2T_1} \right]$$

ou

$$\Sigma_2 - \Sigma_1 = \frac{q_2 - q_1}{T_1} \left[1 - \frac{T_2 - T_1}{2T_1} \right].$$

6. Dans le fonctionnement du compresseur en régime humide, la vapeur doit être saturée et sèche à la fin de la compression. — Remarquons d'abord que, dans la parenthèse, le terme principal est le terme $r(T_2) x_2 \frac{T_1}{T_2}$.

Supposons, d'autre part, que, T_1 et T_2 *restant constants*, on fasse varier x_1 et par suite x_2 . La puissance frigorifique Q_1 variera comme le terme

$$\frac{x_2}{\sigma_1 + u_1 x_1} = \frac{\frac{x_2}{x_1}}{\frac{\sigma_1}{x_1} + u_1};$$

ou, puisque $\frac{\sigma_1}{x_1}$ est petit par rapport à u_1 , elle variera comme le terme $\frac{x_2}{x_1}$.

Or, on a

$$d\left(\frac{x_2}{x_1}\right) = \frac{x_1 dx_2 - x_2 dx_1}{x_1^2} = \frac{dx_2}{x_1^2} \left[x_1 - x_2 \frac{dx_1}{dx_2} \right].$$

Mais, d'autre part, on peut écrire les relations suivantes :

$$\begin{aligned} r(T_1) x_1 &= \frac{T_1}{T_2} r(T_2) x_2 + T_1 \int_{T_1}^{T_2} \frac{dq}{T}, \\ r(T_1) dx_1 &= \frac{T_1}{T_2} r(T_2) dx_2, \\ \frac{dx_1}{dx_2} &= \frac{T_1}{T_2} \times \frac{r(T_2)}{r(T_1)}, \\ d\left(\frac{x_2}{x_1}\right) &= \frac{dx_2}{x_1^2} \times \frac{T_1}{r(T_1)} \int_{T_1}^{T_2} \frac{dq}{T}. \end{aligned}$$

Le signe de $d\left(\frac{x_2}{x_1}\right)$ est donc le même que celui de dx_2 .

$\frac{x_2}{x_1}$ et par suite Q_1 augmentent en même temps que x_2 .

Pour les mêmes valeurs des températures du condenseur et du réfrigérant, on a donc intérêt à fonctionner avec une valeur aussi grande que possible de x_2 et par suite de x_1 .

Dans le fonctionnement du compresseur en régime très humide (x_1 petit), la puissance frigorifique développée par coup de piston est plus petite que lorsque le compresseur marche suivant un régime tel que la vapeur soit, à la fin de la compression adiabatique, exactement saturée mais sèche, c'est-à-dire dans un état tel que $x_2 = 1$.

On peut donc énoncer cette règle :

Lorsque le compresseur fonctionne en régime humide, il est avantageux que la vapeur sorte du compresseur exactement saturée et sèche.

On conçoit qu'il ne soit pas possible d'arriver à un réglage aussi précis des proportions de liquide et de vapeur dans le fluide aspiré au compresseur. Mais, en pratique, il est bon de prendre x_1 assez voisin de l'unité, c'est-à-dire d'aspirer de la vapeur très peu humide et de laisser la vapeur se surchauffer légèrement pendant la compression.

Quand on a $x_2 = 1$, la quantité Q_1 devient

$$Q_1 = \frac{V}{\sigma_1 + u_1 x_1} \left[r(T_2) \frac{T_1}{T_2} - (q_2 - q_1) \frac{T_2 - T_1}{2T_1} - \frac{1}{E} (p_2 - p_1) \sigma \right].$$

D'un autre côté, la formule (24) donne, quand on y fait $x_2 = 1$,

$$\epsilon_i = \frac{V}{\sigma_1 + u_1 x_1} [E(q_2 - q_1) + Er(T_2) - Ex_1 r(T_1) + (p_2 - p_1) \sigma_1],$$

ou, en remplaçant $x_1 r(T_1)$ en fonction de $r(T_2)$,

$$\epsilon_i = \frac{V}{\sigma_1 + u_1 x_1} \left[Er(T_2) \left(1 - \frac{T_1}{T_2}\right) + E(q_2 - q_1) \frac{T_2 - T_1}{2T_1} + (p_2 - p_1) \sigma_1 \right].$$

7. Rendement thermique indiqué. — On appelle *rendement thermique indiqué* le rapport

$$\eta_{ii} = \frac{EQ_1}{\epsilon_i}.$$

Les valeurs de Q_1 et de ϵ_i permettent de mettre ce rendement thermique sous la forme

$$\eta_{ii} = \frac{r(T_2) \frac{T_1}{T_2} - (q_2 - q_1) \frac{T_2 - T_1}{2T_1} - \frac{1}{E} (p_2 - p_1) \sigma_1}{r(T_2) - \left[r(T_2) \frac{T_1}{T_2} - (q_2 - q_1) \frac{T_2 - T_1}{2T_1} - \frac{1}{E} (p_2 - p_1) \sigma_1 \right]}.$$

8. On doit fonctionner avec la température la plus élevée possible au réfrigérant. — On voit immédiatement que, si T_1 diminue, T_2 restant constant, η_{ii} diminue. Le rendement thermique indiqué va en diminuant quand la température au réfrigérant s'abaisse.

On a donc intérêt à faire fonctionner une machine frigorifique à la température la plus élevée possible au réfrigérant.

9. Puissance frigorifique par heure. — Donnons d'autres expressions de la puissance frigorifique et du rendement thermique indiqué.

La puissance frigorifique par tour de l'arbre est égale à

$$2Q_1,$$

puisque la machine est à double effet.

Si n est le nombre des tours par minute, la puissance frigorifique par heure a pour expression

$$2 \times 60 \times n Q_1 = 120n Q_1.$$

Si nous désignons par W_t cette puissance frigorifique théorique par heure¹, nous avons, en vertu des équations (25) et (25 bis), les relations

$$(26) \quad W_t = 120n \frac{V}{\sigma_1 + u_1 x_1} \left[r(T_1) x_1 - (q_2 - q_1) - \frac{1}{E} (p_2 - p_1) \sigma_1 \right],$$

$$(26 \text{ bis}) \quad \begin{cases} W_t = 120n \frac{V}{\sigma_1 + u_1 x_1} \left[r(T_1) x_1 - (q_2 - q_1) - \frac{1}{E} (p_2 - p_1) \sigma_1 \right] \\ W_t = 120n \frac{V}{\sigma_1 + u_1 x_1} \left[r(T_2) \frac{T_1}{T_2} - (q_2 - q_1) \frac{T_2 - T_1}{2T_1} - \frac{1}{E} (p_2 - p_1) \sigma_1 \right]. \end{cases}$$

1. Unités employées pour exprimer la puissance frigorifique d'une machine. — En France et en Allemagne, au lieu de dire qu'une machine frigorifique a une puissance frigorifique par heure de 100.000 calories par exemple, on dit simplement qu'elle a une puissance frigorifique de 100.000 frigories-heure en exprimant par là que, dans le réfrigérant, l'agent frigorifique est capable de céder au milieu environnant 100.000 frigories par heure ou d'absorber à ce même milieu 100.000 calories par heure.

En Angleterre et aux États-Unis on considère de préférence la puissance frigorifique par journée de vingt-quatre heures et on l'exprime en tonnes frigorifiques.

La tonne frigorifique (*Ton of Refrigeration*) est la quantité de chaleur absorbée par la fusion de 1 tonne de glace.

En Angleterre on compte 2.240 pounds à la tonne métrique; 1 pound vaut 0^{rs},4536; 1 tonne anglaise vaut 1.016^{rs},064. La chaleur de fusion de la glace est de 142 unités thermiques anglaises (142 B. T. U.); c'est la quantité de chaleur néces-

10. Exemple numérique. — Considérons une machine à ammoniaque (type normal Linde), qui fonctionne dans les conditions suivantes :

Nombre de tours.....	$n \approx 45,1$ par minute
Pression au condenseur.....	$p_2 \approx 92.400$ kilogrammes par mètre carré
Pression au réfrigérant.....	$p_1 \approx 29.500$ — —
Volume du cylindre du compresseur....	$V \approx 0,0202$ mètre cube
Température admise pour le fluide dans le serpentín du condenseur avant le robinet de régulation.....	$+ 10^\circ \text{ C.}$

Les données du tableau IX indiquent, pour les températures correspondant aux pressions p_1 et p_2 ,

$$t_1 = - 9,77 \text{ C.}, \quad T_1 = 263,23 \text{ Abs.},$$

$$t_2 = + 21,48 \text{ C.}, \quad T_2 = 294,48 \text{ Abs.}$$

Le tableau X donne

$$s_1 = 0,406, \quad \sigma_1 = 0,0016, \quad u_1 = s_1 - \sigma_1 = 0,404.$$

Du tableau XII on tire

$$r(T_1) = 322,2, \quad r(T_2) = 298,45.$$

Le tableau XIII donne

$$q_1 = - 8,63, \quad q'_2 = + 9,47, \quad q_2 = 20,10.$$

saire pour fondre à 0° C. (32° Fah.) 1 pound de glace. La tonne frigorifique anglaise est donc la chaleur absorbée par la fusion de 2.240 pounds de glace ou $2.240 \times 142 = 318.080 \text{ B. T. U.}$ Comme une unité thermique anglaise (B. T. U., *British Thermal Unit*) vaut 0,2555 grande Calorie, la tonne frigorifique anglaise vaut donc 81.285,12 grandes Calories ou, en chiffres ronds, 81.300 grandes Calories.

Aux États-Unis on compte 2.000 pounds à la tonne; 1 tonne des États-Unis vaut donc $907^{\text{ts}},2$. La tonne frigorifique des États-Unis vaut donc $2.000 \times 142 = 284.000 \text{ B. T. U.}$, et par suite 72.576 grandes calories ou, en chiffres ronds, 72.600 grandes calories :

Tonne frigorifique anglaise.....	318.080 B. T. U.,	81.300 grandes calories
Tonne frigorifique des États-Unis.....	284.000 B. T. U.,	72.600 grandes calories

Une machine frigorifique d'une puissance frigorifique égale à 1 tonne frigorifique anglaise produit donc pendant vingt-quatre heures 81.300 frigories ou $\frac{81300}{24} = 3.387,5$ frigories-heure, ou, en chiffres ronds, 3.400 frigories-heure. Une machine frigorifique d'une puissance frigorifique égale à 1 tonne frigorifique des États-Unis produit en vingt-quatre heures 72.600 frigories ou $\frac{72600}{24} = 3.025$ frigories-heure ou, en chiffres ronds, 3.000 frigories-heure.

Aux États-Unis les architectes et les ingénieurs-conseils expriment souvent les puissances frigorifiques des machines en *gallons-degrés par minute*, la température de la saumure à la sortie du réfrigérant étant égale à $- 10^\circ \text{ Fah.}$ ($- 23^\circ,3 \text{ C.}$). Considérons une machine capable de refroidir par minute N gallons d'une dissolution de chlorure de calcium, de densité 1,240, de la température de $(\Theta - 10^\circ) \text{ Fah.}$ à la température de $- 10^\circ \text{ Fah.}$; on dit que cette machine a une puissance frigorifique de $N \times \Theta$ gallons-degrés par minute; si, par exemple, elle est capable de refroidir par minute N gallons de la dissolution considérée de chlorure de calcium de la température de $- 9^\circ \text{ Fah.}$ à la température de $- 10^\circ \text{ Fah.}$, on dit que la machine a une puissance frigorifique de N gallons-degrés par minute. Une machine d'une puissance frigorifique de $N \times \Theta$ gallons-degrés par minute produit

$$N \times \Theta \times 3,8 \times 1,240 \times \frac{5}{9} \times 0,7 \times 60 = N \times \Theta \times 110,26 \text{ frigories-heure,}$$

$$\frac{N \times \Theta \times 110,26}{3400} = N \times \Theta \times 0,032 \text{ tonne frigorifique anglaise.}$$

$$\frac{N \times \Theta \times 110,26}{3000} = N \times \Theta \times 0,037 \text{ tonne frigorifique des États-Unis.}$$

Prenons un exemple. L'entrepôt frigorifique A. Booth and Co, de Chicago, est refroidi par deux machines Pontifex-Hendrick ayant chacune une puissance frigorifique de 2.856 gallons-degrés par minute, la température de la saumure au sortir du réfrigérant étant égale à $- 10^\circ \text{ Fah.}$ La puissance frigorifique de chacune de ces machines est donc, d'après les formules précédentes,

$$2856 \times 110,26 = 314.902,56 \text{ frigories-heure; en chiffres ronds, } 314.900 \text{ frigories-heure,}$$

$$2856 \times 0,032 = 91,392 \text{ tonnes frigorifiques anglaises; ou, en chiffres ronds, } 91,4 \text{ tonnes frigorifiques anglaises,}$$

$$2856 \times 0,037 = 105,672 \text{ tonnes frigorifiques des États-Unis; ou, en chiffres ronds, } 105,7 \text{ tonnes frigorifiques des États-Unis.}$$

Si la machine fonctionne de telle façon que la vapeur soit saturée et sèche à la fin de la compression, on a la relation

$$\Sigma_1 + \frac{x_1 r(T_1)}{T_1} = \Sigma_2 + \frac{r(T_2)}{T_2}.$$

Les données du tableau XIV fournissent pour Σ_1 et Σ_2 les valeurs

$$\Sigma_1 = -0,027, \quad \Sigma_2 = +0,071.$$

On a donc

$$-0,027 + x_1 \frac{322,2}{263,23} = 0,071 + \frac{298,45}{294,48},$$

d'où on déduit

$$x_1 \doteq 0,91.$$

Ces données permettent de calculer la valeur de W_t en partant de l'équation (26),

$$W_t = 120 \times 45,1 \frac{0,0202}{0,0016 + 0,91 \times 0,404} \left[322,2 \times 0,91 - 17,80 - \frac{1}{424} \times 0,0016 (92400 - 29500) \right]$$

$W_t = 81859,25$ grandes calories.

On dit que la puissance frigorifique théorique de cette machine est de 81.859,25 frigories-heure¹.

Si on néglige la différence $(q_2 - q_2')$ [formule (26 bis)], on trouve

$$W_t = 78.585 \text{ grandes calories.}$$

La différence des deux valeurs de W_t est environ les 4/100 de la première valeur de W_t .

11. Expressions approchées de la puissance frigorifique par heure et du rendement thermique indiqué. — Pour les machines à ammoniac et à acide sulfureux qui fonctionnent à des températures très éloignées des températures critiques de ces fluides, on peut simplifier notablement les formules (26) et (26 bis).

On a, en effet, d'après la formule (26),

$$W_t = 120 n \frac{V}{u_1 + \frac{\sigma_1}{x_1}} \left[r(T_1) - \frac{1}{x_1} (q_2' - q_1) - \frac{\sigma_1}{x_1} \times \frac{1}{E} (p_2 - p_1) \right].$$

Or, en marche normale, x_1 n'est jamais inférieur à 0,8; comme σ_1 est égal à 0,0016 pour AzH_3 et à 0,0007 pour SO_2 , on voit que les termes $\frac{\sigma_1}{x_1}$ et $\frac{\sigma_1}{x_1} \times \frac{1}{E} (p_2 - p_1)$ sont négligeables². On peut donc écrire

$$(27) \quad W_t = 120 n Q_t = 120 n \frac{V}{u_1} \left[r(T_1) - \frac{1}{x_1} (q_2' - q_1) \right].$$

Le travail $\bar{\epsilon}_i$ peut se mettre sous une forme analogue.

La formule (24) donne en effet, en y faisant $x_2 = 1$,

$$\bar{\epsilon}_i = \frac{V}{\sigma_1 + u_1 x_1} [E(q_2 - q_1) + Er(T_2) - Ex_1 r(T_1) + (p_2 - p_1) \sigma_1],$$

ou

$$\bar{\epsilon}_i = \frac{V}{u_1 + \frac{\sigma_1}{x_1}} \left[E \frac{1}{x_1} (q_2 - q_1) + E \frac{r(T_2)}{x_1} - Er(T_1) + (p_2 - p_1) \frac{\sigma_1}{x_1} \right],$$

1. La puissance frigorifique de cette machine serait, par jour, de

$$81859,25 \times 24 = 1964622 \text{ grandes calories,}$$

ou 24,165 tonnes frigorifiques anglaises, ou encore 27,06 tonnes frigorifiques des États-Unis.

2. Dans l'exemple précédent, $\frac{\sigma_1}{x_1}$ est plus petit que $\frac{u_1}{200} \cdot \frac{\sigma_1}{x_1} \cdot \frac{1}{E} (p_2 - p_1)$ est plus petit que le $\frac{1}{1000}$ de $\left[r(T_1) - \frac{1}{x_1} (q_2' - q_1) \right]$.

ou, en négligeant $\frac{\sigma_1}{x_1}$ et $\frac{\sigma_1}{x_1} (p_2 - p_1)$,

$$(28) \quad \epsilon_i = \frac{V}{u_1} \left[E \frac{1}{x_1} (q_2 - q_1) + E \frac{r(T_2)}{x_1} - Er(T_1) \right].$$

Le travail indiqué par tour est $2\epsilon_i$.

Si n est le nombre de tours par minute, le travail en kilogrammètres est

$$2 \frac{n}{60} \epsilon_i,$$

et la puissance indiquée en chevaux a pour expression

$$(29) \quad N_i = \frac{2n}{60 \times 75} \epsilon_i,$$

$$N_i = \frac{2n}{60 \times 75} \cdot \frac{V}{u_1} \left[E \frac{1}{x_1} (q_2 - q_1) + E \frac{r(T_2)}{x_1} - Er(T_1) \right].$$

Enfin, le rendement thermique indiqué η_{ii} a pour expression

$$\eta_{ii} = \frac{EQ_i}{\epsilon_i} = \frac{r(T_1) - \frac{1}{x_1} (q_2' - q_1)}{\frac{1}{x_1} (q_2 - q_1) + \frac{r(T_2)}{x_1} - r(T_1)}$$

ou

$$\eta_{ii} = \frac{x_1 r(T_1) - (q_2' - q_1)}{(q_2 - q_1) + r(T_2) - x_1 r(T_1)}.$$

12. Influence de l'espace nuisible du compresseur. — Jusqu'ici nous avons supposé qu'à la fin de sa course le piston du compresseur s'appliquait exactement sur les parois du corps de pompe. En réalité, le piston laisse toujours devant lui un espace αV qui, à la fin de la compression, est rempli de fluide à la pression p_2 et dans l'état (T_2, x_2) .

Quand le piston commence sa course rétrograde, la soupape de refoulement se ferme, et le fluide contenu dans l'espace nuisible se détend sans que la soupape d'aspiration s'ouvre dès le début; l'ouverture ne se produit que lorsque la pression de ce fluide est devenue légèrement inférieure à p_1 .

Si nous supposons toujours le fonctionnement entièrement adiabatique, quand la pression du fluide est devenue égale à p_1 , sa température est égale à T_1 , et la proportion x de vapeur se déduit de la relation (20):

$$\frac{x r(T_1)}{T_1} = \frac{x_2 r(T_2)}{T_2} + \int_{T_1}^{T_2} \frac{dq}{T}.$$

Par suite, x sera précisément égal à x_1 , c'est-à-dire que la composition et l'état du fluide enfermé dans l'espace nuisible seront absolument les mêmes que ceux du fluide aspiré.

La masse de fluide enfermée dans l'espace nuisible étant

$$(31) \quad m = \frac{\alpha V}{u_2 x_2 + \sigma_2},$$

le volume occupé par cette masse, au moment où sa pression sera devenue p_1 , aura pour expression

$$V_m = \alpha V \frac{u_1 x_1 + \sigma_1}{u_2 x_2 + \sigma_2}.$$

Le volume décrit par le piston pendant la détente de ce fluide sera, en remarquant que $\sigma_2 - \sigma_1$ est sensiblement nul,

$$V_m - \alpha V = \alpha V \frac{u_1 x_1 - u_2 x_2}{u_2 x_2 + \sigma_2}.$$

Par suite, la masse de fluide véritablement aspirée au compresseur à chaque coup de piston sera

$$(32) \quad M_1 = \frac{V}{u_1 x_1 + \sigma_1} \left[1 - \alpha \frac{u_1 x_1 - u_2 x_2}{u_2 x_2 + \sigma_2} \right].$$

La masse de fluide existant dans le cylindre à la fin de l'aspiration est alors, en négligeant σ_1 et σ_2 ,

$$(33) \quad M'_1 = M_1 + m = \frac{V(1 + \alpha)}{u_1 x_1 + \sigma_1}.$$

Le travail indiqué au compresseur par kilogramme de fluide ne sera pas théoriquement changé, le travail produit par le fluide renfermé dans l'espace nuisible pendant sa détente étant égal et de signe contraire au travail qu'il faut dépenser pour produire sa compression. Ceci est presque évident *a priori*, puisque les états du fluide renfermé dans l'espace nuisible au commencement et à la fin de la détente sont exactement les mêmes que ceux de la masse du fluide comprimé à la fin et au commencement de la compression.

Mais le calcul permet de mettre ce fait en évidence. Le travail nécessaire pour produire la compression est, puisque cette compression est adiabatique, égal à la variation de l'énergie interne de la masse M'_1 existant dans le cylindre du compresseur à la fin de l'aspiration.

Comme cette masse passe de l'état (x_1, T_1) à l'état (x_2, T_2) , on a

$$\mathcal{E}' = E \frac{V(1 + \alpha)}{u_1 x_1 + \sigma_1} \left[q_2 - q_1 + x_2 r(T_2) - x_1 r(T_1) - \frac{1}{E} (p_2 u_2 x_2 - p_1 u_1 x_1) \right].$$

Le travail nécessaire pour produire le refoulement de la masse M_1 a pour expression

$$\mathcal{E}'' = p_2 M_1 (u_2 x_2 + \sigma_2) = \frac{V}{u_1 x_1 + \sigma_1} \left[1 - \alpha \frac{u_1 x_1 - u_2 x_2}{u_2 x_2 + \sigma_2} \right] p_2 (u_2 x_2 + \sigma_2).$$

Le travail de détente de la masse m est, puisque cette détente est adiabatique, égal et de signe contraire à la variation d'énergie interne de la masse m passant de l'état (x_2, T_2) à l'état (x_1, T_1) .

$$\mathcal{E}''' = E \frac{\alpha V}{u_2 x_2 + \sigma_2} \left[q_2 - q_1 + x_2 r(T_2) - x_1 r(T_1) - \frac{1}{E} (p_2 u_2 x_2 - p_1 u_1 x_1) \right].$$

Enfin le travail moteur d'aspiration a pour valeur

$$\mathcal{E}^{(iv)} = \frac{V}{u_1 x_1 + \sigma_1} \left[1 - \alpha \frac{u_1 x_1 - u_2 x_2}{\sigma_2 + u_2 x_2} \right] p_1 (\sigma_1 + u_1 x_1).$$

Le travail indiqué par coup de piston est alors

$$\mathcal{E}'_i = \frac{V}{u_1 x_1 + \sigma_1} \left[1 - \alpha \frac{u_1 x_1 - u_2 x_2}{\sigma_2 + u_2 x_2} \right] \left[E(q_2 - q_1) + E x_2 r(T_2) - E x_1 r(T_1) + (p_2 - p_1) \sigma_1 \right].$$

Le travail indiqué par kilogramme du fluide aspiré est le même que lorsqu'il n'y a pas d'espace nuisible.

La puissance frigorifique développée par coup de piston a, au contraire, pour expression

$$(34) \quad Q'_1 = \frac{V}{\sigma_1 + u_1 x_1} \left[1 - \alpha \frac{u_1 x_1 - u_2 x_2}{\sigma_2 + u_2 x_2} \right] \left[r(T_1) x_1 - (q_2 - q_1) - \frac{1}{E} (p_2 - p_1) \sigma_1 \right].$$

Si on compare cette valeur de Q'_1 à la valeur de Q_1 donnée par l'équation (25), on voit que l'on a

$$(35) \quad \frac{Q'_1}{Q_1} = 1 - \alpha \frac{u_1 x_1 - u_2 x_2}{\sigma_2 + u_2 x_2} = \eta'_s.$$

Si le compresseur fonctionne de telle façon que la vapeur soit exactement saturée et sèche à la fin de la compression adiabatique, c'est-à-dire de telle façon que $x_2 = 1$, on trouve

$$(35 \text{ bis}) \quad \frac{Q'_1}{Q_1} = 1 - \alpha \frac{u_1 x_1 - u_2}{\sigma_2 + u_2} = \eta_s.$$

13. Rendement en volume théorique du compresseur. — On désigne ce rapport sous le nom de *rendement en volume théorique du compresseur*.

Si T_1 diminue, le terme $u_1 x_1$ va en augmentant, bien que x_1 diminue (équation 20), et l'expression

$$1 - \alpha \frac{u_1 x_1 - u_2}{\sigma_2 + u_2}$$

va en diminuant.

Les espaces nuisibles ont donc pour effet d'accélérer la diminution de la puissance frigorifique de la machine au fur et à mesure que la température au réfrigérant s'abaisse.

On donne parfois à la quantité

$$\eta_v = \frac{V - \alpha V}{V} = 1 - \alpha,$$

qui représente le rapport du volume balayé par le piston au volume total du cylindre du compresseur, le nom de *rendement en volume de construction* ou de *rendement en volume visible du compresseur*.

14. Rendement en volume de construction du compresseur. — Pour une bonne machine, ce rendement visible oscille entre 0,90 et 0,98.

15. Rendement en volume véritable du compresseur. — Le rendement en volume véritable du compresseur est en réalité plus faible que η_s , η'_s ou η_v .

En effet, les soupapes d'aspiration et surtout de refoulement ne ferment pas avec une précision mathématique, principalement aux allures rapides, et il arrive souvent que cette dernière reste ouverte un peu après le début de la course du piston. Ce fait, quand il se produit, est très fâcheux et a pour résultat d'augmenter d'une manière considérable l'effet de l'espace nuisible.

Pour y remédier et pour produire une fermeture aussi prompte que possible des organes de distribution, on donne aux soupapes une très faible levée; mais la section de ces dernières étant forcément limitée, il peut alors en résulter, aux allures rapides, une perte de charge sensible.

Nous verrons, en étudiant la construction des compresseurs, comment on rend les espaces nuisibles aussi petits que possible.

16. Expression de la puissance frigorifique indiquée par heure (en tenant compte de l'espace nuisible). — Si nous tenons compte de l'influence de l'espace nuisible, la

puissance frigorifique par heure W_t donnée par la formule (27) doit être multipliée par η_v . La plupart du temps il suffit, dans le calcul de la puissance frigorifique par heure, de remplacer le rendement en volume η_v par le rendement en volume visible η_v' . On appelle alors *puissance frigorifique indiquée par heure*, la puissance frigorifique ainsi calculée.

Pour les machines dans lesquelles le fluide qui y circule est très éloigné de son point critique (machines à ammoniaque et à anhydride sulfureux), la puissance frigorifique indiquée par heure, W_t , est, d'après la relation (27), donnée par la formule

$$(36) \quad W_t = 120n \times \eta_v' \frac{V}{u_1} \left[r(T_1) - \frac{1}{x_1} (q_2' - q_1) \right].$$

On voit immédiatement que, si l'on veut conserver une puissance frigorifique par heure égale à la puissance théorique (formule 27), il faut prendre un compresseur de volume égal à $\frac{1}{\eta_v}$ V.

Dans l'exemple donné plus haut, en prenant $\eta_v = 0,95$, on trouve

$$W_t = 77.766 \text{ grandes calories.}$$

Pour les *machines à ammoniaque*, la somme des deux termes de la parenthèse (formule 36) est, dans les conditions normales d'exploitation de ces machines où la vapeur aspirée est très peu humide (x_1 voisin de 0,90 avec $x_2 = 1$), peu différente de 300.

On peut donc, pour les *machines à ammoniaque*, appliquer la formule approchée

$$(37) \quad W_t = 36000n \times \eta_v' \frac{V}{u_1}.$$

Avec les données de l'exemple précédent, cette formule conduit à la valeur $W_t = 77121$. L'erreur commise est inférieure à $\frac{1}{100}$ de la valeur calculée au moyen de la formule complète.

17. Principe de la nouvelle théorie donnée par Lorenz du fonctionnement du compresseur en régime humide. — Avec Zeuner, nous avons supposé dans ce qui précède que le mélange de liquide et de vapeur, aspiré par le compresseur dans le réfrigérant, se maintient toujours homogène dans la conduite qui va du réfrigérant au compresseur et dans le compresseur lui-même; à un même instant la composition de ce mélange est donc la même en tous les points du cylindre du compresseur.

Lorenz, au contraire, se fondant sur la production de certains phénomènes dont nous parlerons plus loin, admet que le mélange reste homogène dans la conduite reliant le réfrigérant au compresseur; mais à son arrivée dans le cylindre, qui joue par rapport à la conduite le rôle d'une grande chambre, le mélange se sépare en vapeur et liquide. Tandis que la vapeur remplit uniformément le cylindre à l'état de vapeur sèche, le liquide qui s'en est séparé se dépose sur les parois du cylindre, sur la surface du piston, etc...

On a donc dans le compresseur un fluide sous deux états différents: l'état de vapeur saturée sèche et l'état de liquide saturé. Si ce liquide était uniformément mélangé à la vapeur, il devrait se vaporiser par suite de l'élévation de température résultant de la compression; comme il ne se trouve pas mélangé avec la vapeur, mais est déposé sur les parois du cylindre, il se vaporise peu, par suite de l'élévation de température de la vapeur; il est en majeure partie balayé par le piston le long des parois et ne s'en sépare, pour se mélanger à la vapeur alors surchauffée et se vaporiser en partie, qu'au moment du refoulement du fluide dans le condenseur.

Soit M la masse de fluide aspirée par le compresseur à chaque coup de piston. Au début de la compression, le cylindre du compresseur contient une masse Mx_1 de vapeur saturée sèche et une masse $M(1 - x_1)$ de liquide saturé qui, d'après l'hypothèse de Lorenz, sont séparées et restent séparées pendant la compression. Nous sommes donc amenés, pour faire la théorie du mode de fonctionnement imaginé par Lorenz, à étudier la marche du compresseur alimenté avec de la vapeur initialement sèche.

IV

THÉORIE DES MACHINES FRIGORIFIQUES. — LE COMPRESSEUR FONCTIONNE EN RÉGIME SEC

1. Étude des transformations de la vapeur saturée sèche aspirée dans le cylindre du compresseur. — Supposons qu'à la fin de l'aspiration le cylindre du compresseur soit rempli non plus d'un mélange de liquide et de vapeur comme dans la marche en régime humide, mais de *vapeur saturée sèche*. Dans ces conditions, la vapeur se surchauffe par suite de la compression; à la fin de cette opération, il y a dans le compresseur de la vapeur surchauffée à la température T''_2 et sous la pression p_2 . Pendant le refoulement sous cette pression, la température diminue de la valeur T''_2 , à la valeur T_2 pour laquelle la vapeur saturée a la tension p_2 , puis la vapeur se liquéfie. On désigne ce mode de fonctionnement du compresseur sous le nom de *fonctionnement en régime sec*.

Si l'on connaissait la manière dont varie la chaleur spécifique sous pression constante d'une vapeur au voisinage de la saturation, il serait facile de connaître la quantité de chaleur dégagée au condenseur¹.

L'équation (24 bis) donnerait alors le travail indiqué fourni au compresseur.

Mais, comme nous venons de l'indiquer dans la note ci-contre, il n'est pas possible de suivre cette méthode; on est alors obligé de calculer au moyen de l'équation (24 bis) non plus le travail indiqué \mathfrak{E}'_i , mais la quantité de chaleur dégagée au condenseur.

La puissance frigorifique Q'_1 a pour expression (d'après ce que nous avons dit plus haut)

$$(38) \quad Q'_1 = Mr(T_1)(1 - x_1).$$

Le travail produit par le système pendant l'aspiration est

$$\mathfrak{E}'_i = p_1 V = p_1 M(\sigma_1 + u_1),$$

puisque la vapeur est sèche à la fin de l'aspiration.

Si Mw_2 est le volume occupé par la vapeur surchauffée sous la pression p_2 et à la température T''_2 , le travail qu'il faut fournir au compresseur pendant le refoulement a pour valeur

$$\mathfrak{E}'_s = p_2 Mw_2.$$

Pour calculer le travail produit par le système pendant la compression adiabatique,

1. C'est ce qu'a fait Zeuner (*Technische Thermodynamik*, t. II, p. 460) en supposant que la chaleur spécifique sous pression constante de la vapeur surchauffée était constante jusqu'aux environs du point de saturation et avait la valeur qu'elle possède à haute température. Cette hypothèse, trop éloignée de la vérité, nous a fait rejeter le mode de calcul de Zeuner.

nous allons *supposer* que la loi de compression adiabatique de la vapeur surchauffée est représentée par une équation de la forme

$$pv^K = C^{te},$$

dans laquelle K a pour l'ammoniaque la valeur 1,32; pour l'anhydride sulfureux la valeur 1,27.

Dans le cas actuel, on a donc pour équation de la compression adiabatique

$$(39) \quad p_1 V^K = p_2 M w_2^K.$$

Si, de plus, la vapeur surchauffée suit la loi de Mariotte

$$\frac{p_1 V}{T_1} = \frac{p_2 M w_2}{T_2''},$$

on a pour la température de la vapeur à la fin de la compression

$$(40) \quad \frac{T_2''}{T_1} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{K-1}{K}}$$

Le travail produit par le système pendant la compression adiabatique a dès lors pour expression

$$\begin{aligned} \mathcal{E}'_2 &= \int_v^{Mw_2} p dv = p_1 V^K \int_v^{Mw_2} \frac{dv}{v^K} \\ \mathcal{E}'_2 &= -\frac{1}{K-1} p_1 V \left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] = -\frac{1}{K-1} p_2 M w_2 \left[1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{K-1}{K}} \right]. \end{aligned}$$

Le travail total indiqué \mathcal{E}'_i à fournir au compresseur est

$$\mathcal{E}'_i = -\mathcal{E}'_2 + \mathcal{E}'_3 - \mathcal{E}'_1,$$

c'est-à-dire en remplaçant \mathcal{E}'_2 , \mathcal{E}'_3 et \mathcal{E}'_1 par leurs valeurs

$$(41) \quad \mathcal{E}'_i = \frac{K}{K-1} p_1 V \left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] = -\frac{K}{K-1} p_2 M w_2 \left[\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right].$$

On sait que le cheval-heure vaut $75 \times 3.600 = 270.000$ kilogrammètres. Le travail \mathcal{E}'_i exprimé en *chevaux-heures indiqués* est donc

$$(42) \quad N'_i = \frac{\mathcal{E}'_i}{270000} = \frac{\mathcal{E}'_i}{424 \times 637} = \frac{1}{637} \mathcal{E}'_i.$$

Connaissant Q'_1 et \mathcal{E}'_i , on a la chaleur totale dégagée au condenseur ($-Q''_2$) par la relation

$$(43) \quad Q'_1 + \frac{1}{E} \mathcal{E}'_i = -Q''_2.$$

La puissance frigorifique Q'_1 est plus grande que la puissance frigorifique Q_1 correspondant au fonctionnement en régime humide, mais le travail indiqué \mathcal{E}'_i est aussi plus grand que \mathcal{E}_i . On peut donc se demander si, dans la marche en régime sec, la puissance frigorifique par cheval-heure indiqué ou *puissance frigorifique spécifique* est plus grande ou plus petite que dans la marche en régime humide.

2. Comparaison numérique de la marche d'un compresseur en régime sec et humide. — Pour faire cette comparaison, prenons un exemple numérique. Supposons que la saumure doive être abaissée de la température de -5° C. à -2° C., ce qui exige que la température du réfrigérant soit égale à -10° C. Admettons, de plus, que l'eau de réfrigération du condenseur entre à $+10^{\circ}$ pour sortir à $+20^{\circ}$; la température de liquéfaction au condenseur devant être légèrement supérieure à $+20^{\circ}$, prenons $+25^{\circ}$ pour cette température.

La machine étudiée est une machine à ammoniacque.

Le titre x_4 du mélange de liquide et de vapeur existant dans le réfrigérant est donné par l'équation (18 bis)

$$x_4 = \frac{\frac{1}{E}(p_2 - p_1)q_1 + (q_2 - q_1)}{r(T_1)}$$

en négligeant la différence $q'_2 - q_2$.

En remplaçant les lettres par des nombres convenables inscrits dans les tableaux du paragraphe I, on trouve

$$x_4 = \frac{22,556 + 8,83 + 0,286}{322,3} = 0,0983.$$

Le titre x_1 de la vapeur à la fin de l'aspiration est $x_1 = 1$, si le compresseur fonctionne en régime sec.

Si le compresseur fonctionne en régime humide, et si la vapeur est saturée et sèche à la fin de la compression ($x_2 = 1$), l'équation

$$\Sigma_1 + \frac{x_1 r(T_1)}{T_1} = \Sigma_2 + \frac{r(T_2)}{T_2}$$

donne pour x_1 la valeur

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{T_1(\Sigma_2 - \Sigma_1)}{r(T_1)} + \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{r(T_2)}{r(T_1)}, \\ x_1 &= \frac{263(0,0796 + 0,033)}{322,3} + \frac{263}{297} \cdot \frac{294}{322,3}, \\ x_1 &= 0,9. \end{aligned}$$

La puissance frigorifique développée par kilogramme de fluide circulant dans la machine a pour valeurs

$$\text{Régime humide : } \frac{Q_1}{M} = (x_1 - x_4)r(T_1) = 258 \text{ calories;}$$

$$\text{Régime sec : } \frac{Q_1}{M} = (1 - x_4)r(T_1) = 290 \text{ calories.}$$

Cette puissance frigorifique est donc nettement plus grande dans la marche en régime sec que dans la marche en régime humide.

Le travail indiqué à fournir au compresseur est en chevaux-heures pour le fonctionnement en régime humide [d'après l'équation (24 bis)]

$$N_t = \frac{(-Q_2) - Q_1}{637} = 0,0566 \text{ cheval-heure indiqué.}$$

Dans le fonctionnement en régime sec, le travail indiqué se déduit de l'équation (41), dans laquelle on fait $K = 1,32$, $\frac{K-1}{K} = 0,213$.

On a ainsi

$$N_i = 0,0666 \text{ cheval-heure indiqué.}$$

La *puissance frigorifique par cheval-heure indiqué* ou *puissance frigorifique spécifique* a dès lors pour valeurs :

En régime humide :

$$\frac{Q_1}{N_i} = \frac{258}{0,0666} = 4.559 \text{ calories par cheval-heure indiqué.}$$

En régime sec :

$$\frac{Q'_1}{N_i} = \frac{290}{0,0666} = 4.353 \text{ calories par cheval-heure indiqué;}$$

Ainsi dans le fonctionnement en régime sec, bien que la puissance frigorifique par unité de masse du fluide circulant dans la machine soit plus grande que dans le fonctionnement en régime humide, la puissance frigorifique par cheval-heure indiqué est plus petite.

3. Contradiction entre la théorie et l'expérience. — Ce résultat théorique conduisit, en Allemagne, à considérer pendant longtemps le fonctionnement du compresseur en régime humide comme plus avantageux que le fonctionnement du compresseur en régime sec. Au contraire, les Américains, moins préoccupés de la théorie, démontrèrent par la pratique qu'une certaine surchauffe de la vapeur dans le compresseur était favorable à son fonctionnement; que, par suite, le régime sec était plus favorable que le régime humide.

4. Dans la marche en régime humide l'hypothèse de l'homogénéité du mélange fluide aspiré est en contradiction avec les faits observés. — Cette contradiction entre l'expérience et la théorie tient à ce que, dans la théorie du fonctionnement en régime humide, nous avons fait une hypothèse qui est en contradiction avec le fait suivant observé par Lorenz¹. Celui-ci, en étudiant le fonctionnement d'une machine à anhydride carbonique remarqua qu'au moment où le fluide se trouvant dans le compresseur était refoulé dans le condenseur, il se produisait un coup de bélier provenant de l'anhydride carbonique liquide se trouvant sur les parois du cylindre. De là l'hypothèse que nous avons développée plus haut de la séparation du fluide dans le cylindre du compresseur, d'une part en vapeur saturée sèche, et d'autre part en liquide qui se dépose sur les parois du cylindre, sur la surface du piston, etc...

5. Retour à la théorie du fonctionnement du compresseur en régime humide. — Théorie de Lorenz. — Nous sommes ainsi ramenés à formuler la théorie du fonctionnement du compresseur en régime humide d'après les idées de Lorenz, c'est-à-dire à établir les formules de la compression adiabatique en considérant, d'un côté, la vapeur primitivement saturée sèche qui se surchauffe; et, d'autre part, le liquide saturé déposé sur les parois.

Désignons toujours par x_1 le titre qu'aurait le mélange de liquide et de vapeur à la fin de l'aspiration, si ce mélange était resté homogène. D'après l'hypothèse de Lorenz, à la fin de l'aspiration, il y a dans le cylindre du compresseur une masse Mx_1 de vapeur saturée sèche et une masse $M(1 - x_1)$ de liquide.

1. LORENZ, *Kälteerzeugung (Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1897, fasc. 3).*

Si le compresseur fonctionnait uniquement avec de la vapeur sèche, le travail à fournir à ce compresseur serait, d'après la relation (41),

$$(44) \quad \bar{\epsilon}_i' = \frac{K}{K-1} p_1 V_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right] = - \frac{K}{K-1} p_2 M x_1 w_2 \left[\left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right]$$

ou

$$\bar{\epsilon}_i'' = x_1 \bar{\epsilon}_i'$$

avec

$$V_1 = M x_{1s}(T_1).$$

D'autre part, pendant la compression adiabatique, la masse $M(1 - x_1)$ de liquide passe de la pression p_1 à la pression p_2 . Si l'on est loin du point critique, on peut négliger la variation du volume spécifique du liquide; le travail de compression correspondant est alors négligeable.

La puissance frigorifique par coup de piston a comme précédemment pour valeur

$$Q_1 = Mr(T_1)(x_1 - x_4).$$

La puissance frigorifique spécifique ou puissance frigorifique par unité de travail est alors

$$\frac{Q_1}{\bar{\epsilon}_i'} = \frac{Mr(T_1)(x_1 - x_4)}{\frac{K}{K-1} p_1 V_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right]}$$

ou, en remplaçant V_1 par la valeur $M x_{1s}(T_1)$,

$$(45) \quad \frac{Q_1}{\bar{\epsilon}_i'} = \left(1 - \frac{x_4}{x_1} \right) \frac{r(T_1)}{\frac{K}{K-1} p_{1s}(T_1) \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right]}$$

Sous cette forme, on voit que la puissance frigorifique spécifique va en croissant avec x_1 .
Calculons de nouveau, pour une machine à ammoniac, la puissance frigorifique par cheval-heure indiqué.

Le travail indiqué à fournir au compresseur a pour expression

$$N_i' = \frac{1}{637} \bar{\epsilon}_i' = x_1 N_i = 0,9 \times 0,0666$$

$$N_i' = 0,06.$$

La puissance frigorifique par cheval-heure indiqué est alors, en marche humide,

$$\frac{Q_1}{N_i'} = \frac{238}{0,06} = 4.300 \text{ calories par cheval-heure indiqué.}$$

Or, nous avons vu qu'en marche sèche cette puissance frigorifique était de 4.355 calories par cheval-heure indiqué.

Pour les machines à ammoniac, on voit donc que le fonctionnement du compresseur en régime sec ne présente pas un avantage marqué sur le fonctionnement en régime humide.

Il n'en est pas de même pour les machines à anhydride sulfureux.

Considérons une machine à anhydride sulfureux qui fonctionne entre les mêmes limites de température (-10° et $+24^{\circ}$) que la machine à ammoniacque que nous venons d'étudier. Des calculs analogues aux précédents donnent

$$x_4 = 0,121, \quad x_1 = 0,9.$$

La puissance frigorifique développée par kilogramme de fluide circulant dans la machine est :
Régime sec :

$$\frac{Q'_1}{M} = (1 - x_4)r(T_1) = 0,879 \times 93,44 = 82,2 \text{ calories,}$$

Régime humide :

$$\frac{Q_1}{M} = (x_1 - x_4)r(T_1) = 0,779 \times 93,44 = 72,7 \text{ calories.}$$

Le travail en chevaux-heures indiqués à fournir au compresseur est, en régime sec,

$$N'_1 = 0,01905$$

et, en régime humide,

$$N'_1 = x_1 N_1 = 0,9 \times 0,01905 = 0,01714.$$

La puissance frigorifique par cheval-heure indiqué est alors, en *régime sec*,

$$\frac{Q'_1}{N'_1} = \frac{82,2}{0,01905} = 4.320 \text{ calories par cheval-heure indiqué;}$$

en *régime humide*,

$$\frac{Q_1}{N'_1} = \frac{72,7}{0,01714} = 4.240 \text{ calories par cheval-heure indiqué.}$$

Au point de vue de la puissance frigorifique par cheval-heure indiqué d'une machine à anhydride sulfureux, le fonctionnement en régime sec avec surchauffe est donc préférable au fonctionnement en régime humide.

6. Raison pratique pour laquelle il y a intérêt, dans les machines à anhydride sulfureux, à fonctionner en régime sec. — D'un autre côté, au point de vue de la pratique, cette préférence est encore confirmée. L'intérêt qu'il y a à ne pas aspirer de liquide est plus grand dans les machines à anhydride sulfureux que dans les machines à ammoniacque. En effet, la chaleur de vaporisation de l'anhydride sulfureux liquide est, à une même température, notablement plus petite que la chaleur de vaporisation de l'ammoniacque liquide. Il en résulte que, pour développer une puissance frigorifique déterminée, il faut vaporiser une masse plus grande d'anhydride sulfureux que d'ammoniacque. Si la vapeur formée entraîne avec elle du liquide, les coups de bélier seront plus à craindre avec les machines à anhydride sulfureux qu'avec les machines à ammoniacque.

7. Exemple numérique. — Fonctionnement en régime sec d'un compresseur à ammoniacque. — Caractéristiques d'un compresseur rapportées à l'unité de volume de vapeur aspirée ou au volume-unité balayé par le piston. — Pour fixer les idées, donnons un exemple numérique d'application de quelques-unes des formules contenues dans ce paragraphe.

Supposons que nous ayons une machine à ammoniacque fonctionnant dans les conditions suivantes.

La température de l'ammoniacque dans le réfrigérant est égale à -10° C. On a donc

$$T_1 = 273 - 10 = 263^{\circ} \text{ absolus.}$$

Dans le condenseur, l'eau de réfrigération entre à $+ 10^{\circ}$ C. et sort à $+ 20^{\circ}$ C. ; admettons que la température à laquelle se fait la condensation de l'ammoniaque soit légèrement supérieure à 20° C., qu'elle ait par exemple la valeur $+ 24^{\circ}$ C. On en déduit

$$T_2 = 273 + 24 = 297^{\circ} \text{ absolus.}$$

Admettons enfin qu'avant le robinet de détente l'ammoniaque liquide soit à une température légèrement supérieure à $+ 10^{\circ}$ C., soit 11° C.,

$$T'_2 = 273 + 11 = 284^{\circ} \text{ absolus.}$$

Les conditions que nous venons d'énoncer sont les conditions normales de fonctionnement d'une machine frigorifique.

Les tables que nous avons données dans le paragraphe I de ce chapitre donnent les renseignements suivants :

$$\begin{array}{lll} T_1 = 263^{\circ} \text{ absolus,} & q_1 = - 8,83 \text{ calories,} & r(T_1) = 322,3 \text{ calories} \\ \sigma_1 = 0,0016 \text{ mètre cube par kilogramme,} & & p_1 = 29.200 \text{ kilogrammes par mètre carré} \\ T_2 = 297^{\circ} \text{ absolus,} & q_2 = 22,556 \text{ calories,} & r(T_2) = 296 \text{ calories} \\ & & p_2 = 100.060 \text{ kilogrammes par mètre carré} \\ T'_2 = 284^{\circ} \text{ absolus,} & q'_2 = 10,11 \text{ calories} & \end{array}$$

Le compresseur fonctionne en *régime sec*; le volume spécifique $s(T_1)$ de la vapeur saturée et sèche qui remplit le compresseur à la fin de l'aspiration est donc

$$s(T_1) = 0,432 \text{ mètre cube par kilogramme.}$$

Calculons d'abord le titre x_4 du mélange de liquide et de vapeur qui se trouve dans le réfrigérant au début de l'aspiration.

D'après la formule (18 bis), on a

$$x_4 = \frac{10,11 - (- 8,83) + \frac{1}{424} \times 0,0016 (100060 - 29200)}{322,3}$$

$$x_4 = 0,0596, \quad 1 - x_4 = 0,9404.$$

L'équation (38) donne alors

$$\frac{Q'_1}{M} = 0,9404 \times 322,3 = 303 \text{ calories.}$$

$\frac{Q'_1}{M}$ représente la puissance frigorifique par kilogramme d'ammoniaque circulant dans la machine.

La puissance frigorifique par mètre cube de vapeur saturée et sèche d'ammoniaque à la température de $- 10^{\circ}$ C. ($T_1 = 263^{\circ}$ abs.), ou *puissance frigorifique de la machine par mètre cube du volume balayé par le piston du compresseur*, est, d'après la valeur de $s(T_1)$,

$$\frac{Q'_1}{V} = \frac{Q'_1}{Ms(T_1)} = \frac{303}{0,432} = 700 \text{ calories par mètre cube du volume balayé par le piston du compresseur.}$$

Un compresseur de machine à ammoniaque marchant en régime sec doit, par mètre cube de son volume intérieur, produire dans le réfrigérant une absorption de chaleur de 700 calories à chaque coup de piston.

La formule (41) donne

$$\frac{\bar{e}_i}{V} = \frac{K}{K-1} p_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right],$$

dans laquelle on doit faire

$$K = 1,32, \quad \frac{K}{K-1} = 4,12, \quad \frac{K-1}{K} = 0,242,$$

$$\frac{\bar{e}_i}{V} = 4,12 \times 29200 \left[\left(\frac{100060}{29200} \right)^{0,242} - 1 \right] = 41.746 \text{ kilogrammètres},$$

Quantité de chaleur équivalente au travail indiqué fourni au compresseur par mètre cube

$$\text{du volume balayé par le piston} = \frac{1}{E} \cdot \frac{\bar{e}_i}{V} = \frac{1}{424} \times 41746 = 99 \text{ calories.}$$

On en déduit, d'après l'équation (42),

Dépense de travail par mètre cube du volume balayé par le piston du compresseur

$$= \frac{N_i}{V} = \frac{99}{637} = 0,1546 \text{ cheval-heure.}$$

La formule (43) donne

$$\frac{Q_i}{V} + \frac{1}{E} \cdot \frac{\bar{e}_i}{V} = -\frac{Q_2''}{V} = 700 + 99 = 799 \text{ calories par mètre cube}$$

du volume balayé par le piston du compresseur.

La puissance frigorifique de la machine par cheval-heure indiqué ou *puissance frigorifique spécifique* est

$$\frac{\frac{Q_i}{V}}{\frac{N_i}{V}} = \frac{Q_i}{N_i} = \frac{700}{0,1546} = 4.530 \text{ calories par cheval-heure indiqué.}$$

La quantité de chaleur $\left(-\frac{Q_2''}{V}\right)$ dégagée au condenseur est la somme de trois quantités de chaleur :

1° La quantité de chaleur dégagée par la vapeur qui passe, à la pression constante du condenseur, de l'état de vapeur surchauffée à l'état de vapeur saturée; c'est la *chaleur de surchauffe* (*Überhitzungswärme*, d'après l'expression des Allemands);

2° La quantité de chaleur dégagée par le fluide qui passe, sous la pression constante du condenseur, de l'état de vapeur saturée à l'état de liquide saturé; c'est la *chaleur de condensation*;

3° La quantité de chaleur dégagée par le fluide qui passe, sous la pression constante du condenseur, de l'état de liquide saturé à l'état de liquide non saturé à la température T_2 (*Unterkühlungswärme*, d'après l'expression allemande).

On a, en effet, d'après le principe de l'équivalence,

$$EQ_2'' = p_2 M [w_2 - s(T_2)] + p_2 M [s(T_2) - \sigma(T_2)] + p_2 M [\sigma(T_2') - \sigma(T_2)] \\ + [EQ_s - p_2 M \{w_2 - s(T_2)\}] + EM [q_2 - R(T_2) - q_2] + EM (q_2' - q_2)$$

ou, en simplifiant et négligeant la différence $[\sigma(T_2') - \sigma(T_2)]$,

$$\begin{aligned} (-Q_2'') &= \underbrace{(-Q_s)}_{\text{Chaleur de surchauffe}} + \underbrace{Mr(T_2)}_{\text{Chaleur de condensation}} + \underbrace{Mq_u}_{\text{Unterkühlungswärme}} \\ -\frac{Q_2''}{V} &= \frac{-Q_s}{V} + \frac{r(T_2)}{s(T_1)} + \frac{q_u}{s(T_1)}, \end{aligned}$$

Chaleur de condensation = $\frac{-r(T_2)}{s(T_1)} = \frac{-296}{0,432} = -685$ calories par mètre cube,

Unterkühlungswärme = $\frac{q_2 - q'_2}{s(T_1)} = \frac{22,556 - 10,11}{0,432} = 29$ calories par mètre cube,

Chaleur de surchauffe = $799 - (29 + 685) = 85$ calories par mètre cube.

Quelle est la température de la vapeur à la fin de la compression adiabatique dans le cylindre?

La relation (40) donne

$$\text{Log } T_2'' = \text{log } T_1 + \frac{K-1}{K} [\text{log } p_1 - \text{log } p_2].$$

On tire de là

$$T_2'' = 354^\circ \text{ absolu ou } 81^\circ \text{ C.}$$

La quantité totale de chaleur dégagée au condenseur étant de 799 calories par mètre cube de vapeur aspirée dans le compresseur, la dépense d'eau (dont la température s'élève de + 10° C. à + 20° C.) nécessaire pour absorber cette quantité de chaleur est

Dépense d'eau par mètre cube du volume balayé par le piston du compresseur

$$= \frac{L}{V} = \frac{799}{20 - 10} = 80 \text{ litres par mètre cube du volume balayé par le piston du compresseur.}$$

La puissance frigorifique de la machine par litre d'eau de réfrigération circulant au condenseur a pour valeur

$$\frac{\frac{Q_1}{V}}{\frac{L}{V}} = \frac{Q_1}{L} = \frac{700}{80} = 8^{\text{cal}}, 75 \text{ par litre d'eau dépensé pour la réfrigération du condenseur.}$$

REMARQUES. — 1° En partant des formules dont nous venons de montrer des applications, M. Stetefeld¹ a calculé les valeurs des quantités :

$$\frac{Q_1}{V}, \quad \frac{1}{E} \cdot \frac{Q_1}{V}, \quad \frac{N_1}{V}, \quad \left(-\frac{Q_2}{V}\right), \quad \frac{Q_1}{N_1}, \quad \frac{L}{V}, \quad \frac{Q_1}{L},$$

1. STETFELD, *Compendium der gesamten Kälte-Industrie*, p. 218. — Pour faciliter au lecteur la consultation de ces tables nous donnons ici la correspondance de nos notations avec celles de Stetefeld :

- $\frac{Q_1}{V}$, Verdampferleistung Q_2
- $\frac{1}{E} \cdot \frac{Q_1}{V}$, Wärmeäquivalent der kompressionsarbeit AL
- $-\frac{Q_2}{V}$, Kondensatorleistung Q_1
- $\frac{N_1}{V}$, Kraftverbrauch in indizierten Pferdestärken N_1
- $\frac{Q_1}{N_1}$, Verdampferleistung pro indizierte Pferdestärke $\frac{Q_2}{N_1}$
- $\frac{L}{V}$, Kühlwasserverbrauch K
- $\frac{Q_1}{L}$, Verdampferleistung pro 1 ltr. Kühlwasser $\frac{Q_2}{K}$
- $-\frac{Q_s}{V}$, Überhitzungswärme w_1
- $\frac{r(T_2)}{s(T_1)}$, Verflüssigungswärme r_1
- $\frac{q_u}{s(T_1)}$, Unterkühlungswärme $q_1 - q'_1$
- T_2'' , Überhitzungstemperatur t'_1
- T_2 , Temperatur vor dem Regulierventil t_1 .

pour les températures de -20° , -10° , 0° C. au réfrigérant, et pour les conditions suivantes de fonctionnement du condenseur :

	<i>1^o Cas normal :</i>	
Cas où le condenseur est à immersion.	Température de l'eau à l'entrée.	+ 10° C.
	Température de l'eau à la sortie.	+ 20° C.
	Température à laquelle se fait la condensation de l'agent frigorifique.	+ 24° C.
	Température de l'agent frigorifique liquide avant le robinet de réglage.	+ 11° C.
	<i>2^o Cas où l'eau de réfrigération est à une température élevée :</i>	
Cas du condenseur à ruissellement.	Température de l'eau à l'entrée.	+ 18° C.
	Température de l'eau à la sortie.	+ 26° C.
	Température à laquelle se fait la condensation de l'agent frigorifique.	+ 31° C.
	Température de l'agent frigorifique avant le robinet de réglage.	+ 20° C.
	<i>3^o Cas où il y a pénurie d'eau de réfrigération et où celle-ci est à une température élevée :</i>	
Cas du condenseur à ruissellement.	Température de l'eau à l'arrivée.	+ 25° C.
	Température de l'eau au départ	+ 28° C.
	Température à laquelle se fait la condensation de l'agent frigorifique.	+ 33° C.
	Température de l'agent frigorifique avant le robinet de réglage.	+ 33° C.
	<i>4^o Cas où il y a pénurie d'eau de réfrigération, mais où on fait une addition d'eau froide à $+10^{\circ}$ C.</i>	
Cas du condenseur à ruissellement.	Température de l'eau à l'arrivée.	+ 25° C.
	Température de l'eau au départ	+ 28° C.
	Température à laquelle se fait la condensation de l'agent frigorifique.	+ 33° C.
	Température de l'agent frigorifique avant le robinet de réglage.	+ 12° C.

2^o Pour le calcul de $\frac{Q'}{V}$ et, par suite, comme nous le verrons, du volume du compresseur nécessaire à la production d'une puissance frigorifique déterminée, on ne commet pas une erreur présentant des inconvénients dans la pratique en supposant que l'agent frigorifique liquéfié dans le condenseur a la même température dans toute sa masse et que cette température est la moyenne entre les températures de l'eau de réfrigération à l'arrivée et au départ.

C'est pourquoi, dans les ouvrages anglais¹, trouve-t-on pour le calcul de $\frac{Q'}{V}$, des tables à double entrée donnant les valeurs de cette quantité en fonction de la température de vaporisation au réfrigérant et de la température du liquide au condenseur. $\frac{Q'}{V}$ est souvent exprimé

1. Voir SIEBEL, *Compend of Mechanical Refrigeration*, p. 424, Table showing refrigerating effect of one cubic foot of ammoniac gas at different condenser and suction (back) pressure in B. T. U.; — H. MUNSTER, *Tables and diagrams showing the relative efficiency power required, and refrigerating effect on AzH³, SO² and CO²* (*Ice and Cold Storage Trade's Directory*, p. 46).

en B. T. U. (British Thermal Unit) et rapporté au pied cube; les nombres donnés représentent le nombre de B. T. U. absorbés au réfrigérant pour chaque pied cube du volume balayé par le piston du compresseur. Or 1 B. T. U. vaut 0,255 calorie-kilogramme et un pied cube vaut 0,0283 mètre cube. Pour transformer les nombres inscrits dans les tableaux publiés par les Anglais, afin de les rapporter aux unités adoptées ici (grande calorie, mètre cube), il suffit de multiplier le nombre exprimé en unités anglaises par le rapport $\frac{0,255}{0,0283} = 9$ environ. Prenons un exemple. D'après le tableau publié par Siebel, la quantité de chaleur absorbée au réfrigérant par pied cube d'ammoniaque aspiré est égale à 75,88 B. T. U. lorsque les températures moyennes au réfrigérant et au condenseur sont 15° Fah. (— 9°,4 C.) et 65° Fah. (+ 18°,3 C.); cette quantité de chaleur exprimée avec les unités qui nous servent dans cet ouvrage est représentée par le nombre $75,88 \times 9 = 682,92$ ou approximativement 683 grandes calories.

3° Dans l'ouvrage de *Lehnert (Moderne Kältetechnik, p. 163 et suiv.)* et dans H. Munster, on trouve des tables à double entrée donnant les valeurs de $\frac{Q'}{V}$ (*Kälteleistung in WE für 1 cbm, — Absorption of B. T. U. per 1 cubic foot capacity*) en fonction de la température du liquide avant le robinet de régulation et de la température moyenne du liquide contenu dans l'évaporateur. Dans ces mêmes publications on trouve des tables à double entrée donnant les valeurs de $\frac{N_i}{V}$ (*Energieverbrauch in PS; für 1 cbm, — I. H. P. required per 100 cubic feet capacity*) en fonction des températures moyennes du gaz liquéfié au condenseur et au réfrigérant; les nombres inscrits dans les tables anglaises doivent d'ailleurs être divisés par 2,83 pour être rapportés au volume aspiré par le compresseur exprimé en mètres cubes.

CHAPITRE II

LES COMPRESSEURS

I

DÉTERMINATION DU VOLUME RÉEL D'UN COMPRESSEUR¹

1. **Volume théorique d'un compresseur.** — Supposons que nous ayons une machine frigorifique fonctionnant dans les conditions suivantes

Refroidissement de saumure de	— 2° à — 5° C.
Température du liquide frigorifique contenu dans le réfrigérant.	— 10° C.
Eau de réfrigération du condenseur entrant à + 10° C. et sortant à	+ 20° C.
Température à laquelle se fait la condensation ou température du liquide frigorifique à l'entrée du condenseur.	+ 24° C.
Température du liquide frigorifique à la sortie du condenseur avant le robinet de détente	+ 11° C.

La théorie développée au chapitre précédent conduit aux résultats suivants.

La quantité de chaleur absorbée au réfrigérant (ou le nombre de frigories cédées au réfrigérant) par mètre cube de *vapeur saturée sèche* aspirée par le compresseur (marche du compresseur en régime sec) est

Pour l'ammoniaque.	700 calories
l'anhydride sulfureux	263 —
l'anhydride carbonique.	3.544 —

Il résulte immédiatement de là que, si la quantité de chaleur absorbée au réfrigérant est égale à 1.000 calories, le volume que doit, pour produire cet effet, engendrer le piston dans le compresseur est

Pour une machine à ammoniaque.	$\frac{1000}{700} = 1^{\text{m}^3},43$
— à anhydride sulfureux.	$\frac{1000}{263} = 3^{\text{m}^3},80$
— à anhydride carbonique.	$\frac{1000}{3544} = 0^{\text{m}^3},282$

1. Ce paragraphe est rédigé d'après un travail remarquable publié récemment par l'ingénieur allemand Stetefeld. RICH. STEFELD, *Die Berechnung der Kompressorgröße und des Kraftverbrauchs neu zu erbauender Kältemaschinen aus der graphischen Konstruktion des Indikatorgramms* (*Zeitschrift für die gesamte Kälteindustrie*, 11^e année, fascicule 12, décembre 1904). Ce mémoire faisait partie d'un rapport lu, le 31 octobre 1904, devant « Cold Storage Ice Association » à Londres.

On voit donc que, par ordre de grandeur du volume du compresseur, on peut ranger de la manière suivante les machines frigorifiques :

	Volumes
Machines à anhydride sulfureux.	13,50
— à ammoniaque.	5 environ
— à anhydride carbonique.	1

2. Diamètre théorique d'un compresseur. — Considérons une machine frigorifique fonctionnant *dans les conditions précédentes* et susceptible d'absorber au réfrigérant 100.000 calories par heure (ou de fournir au réfrigérant 100.000 frigories-heure).

D'après ce que nous venons de dire, le piston doit pendant une heure aspirer dans le compresseur un volume de vapeur saturée sèche qui est

Pour les machines à AzH ³	143 mètres cubes
— à SO ²	380 —
— à CO ²	28,2 —

Désignons ce volume par W¹.

Soit *n* le nombre des tours de la machine par minute;

l, la course du piston en mètres;

S, la section du cylindre du compresseur en mètres carrés;

s, la section de la tige du piston en mètres carrés.

Si le compresseur est à *double effet*, on a évidemment la relation

$$W = (2S - s) l \times n \times 60$$

ou, en introduisant la vitesse moyenne linéaire du piston,

$$v_m = \frac{ln}{30}$$

$$W = (2S - s) 1800v_m = \frac{\pi}{4} (2D^2 - d^2) 1800v_m,$$

en désignant par *D* et *d*, les diamètres en mètres du piston et de sa tige.

Si on pose $\frac{d}{D} = \epsilon =$ souvent 0,2, la relation précédente donne

$$\text{Diamètre du cylindre du compresseur} = D = 0,0266 \sqrt{\frac{W}{v_m(2 - \epsilon^2)}}$$

3. Puissance théorique à fournir au compresseur. — Rendement indiqué théorique. — Le nombre des chevaux-heure indiqués à fournir au compresseur par mètre cube de vapeur saturée et sèche aspirée est

Pour l'ammoniaque.	0,1546 cheval-heure
l'anhydride sulfureux.	0,05806 —
l'anhydride carbonique.	1,008 —

1. On trouve dans Siebel (*Compend of Mechanical Refrigeration*, p. 125) un tableau donnant, pour différentes températures moyennes du condenseur et du réfrigérant, le nombre de pieds cubes de vapeur saturée sèche qu'il faut aspirer par minute pour produire en vingt-quatre heures une tonne de réfrigération (*Table giving number of cubic feet of gas that must be pumped per minute at different condenser and suction pressures, to produce one ton of refrigeration in 24 hours*). Si l'on veut rapporter les nombres inscrits dans ce tableau aux unités adoptées ici (mètre cube, heure), il faut les multiplier par $0,0283 \times 60 = 1,698$ ou 1,7 environ; on obtient ainsi le nombre de mètres cubes de vapeur saturée sèche que, pour différentes températures moyennes du condenseur et du réfrigérant, on doit aspirer par heure pour produire 3.000 frigories-heures, s'il s'agit d'une tonne de réfrigération des États-Unis.

Dans le cas actuel, le travail à fournir en chevaux-heure indiqués pour absorber 1.000 calories a dès lors pour valeur :

Machine à ammoniaque	$0,1546 \times 1,43 = 0,2211$	cheval-heure
— à anhydride sulfureux	$0,05806 \times 3,8 = 0,2206$	—
— à anhydride carbonique	$1,008 \times 0,282 = 0,2842$	—

Le rendement théorique indiqué ou le nombre de calories absorbées au réfrigérant par cheval-heure indiqué fourni au compresseur est ¹ :

Machine à ammoniaque.	$\frac{1000}{0,221} = 4.525$	calories
— à anhydride sulfureux.	$\frac{1000}{0,221} = 4.525$	—
— à anhydride carbonique.	$\frac{1000}{0,284} = 3.520$	—

4. Causes qui rendent nécessaires un accroissement du volume théorique d'un compresseur et une augmentation du travail indiqué qui doit lui être fourni. — En réalité, le volume d'un compresseur et le travail que l'on doit lui fournir pour produire une puissance frigorifique de 1.000 calories sont *supérieurs au volume et au travail que nous venons de calculer.*

Les causes qui rendent nécessaires un accroissement du volume théorique du compresseur et une augmentation du travail indiqué à lui fournir sont les suivantes :

- 1° *La quantité de chaleur que, par conductibilité ou rayonnement, le réfrigérant absorbe au milieu extérieur ;*
- 2° *L'existence de l'espace nuisible ;*
- 3° *La dépression à l'aspiration ;*
- 4° *La non-étanchéité des organes du compresseur ;*
- 5° *La surpression au refoulement.*

5. Forme du diagramme réel d'un compresseur. — Voyons d'abord comment

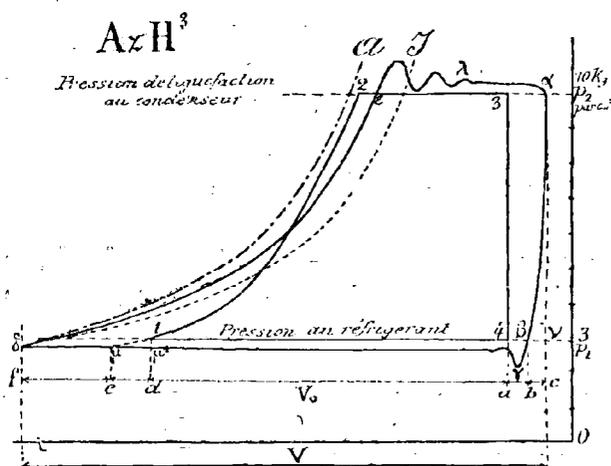


FIG. 13. — Diagramme réel d'un compresseur à AzH³.

quelques-unes des circonstances du fonctionnement réel d'un compresseur modifient la forme théorique du diagramme de ce compresseur.

La figure 13 représente le diagramme réel et le diagramme théorique d'une machine à ammoniaque.

En 1, 2, 3, 4 est figuré le diagramme théorique tracé entre les limites de pression p_1 correspondant à la température T_1 du réfrigérant et p_2 correspondant à la température de liquéfaction T_2 .

En $\alpha\beta\gamma\delta\epsilon\lambda$ est représenté le diagramme réellement pris sur la machine. La partie $\alpha\beta$ du diagramme réel correspond

à la détente dans l'espace nuisible du fluide qui reste dans cet espace au moment où,

1. Les tables de H. Munster (*Ice and Cold Storage Trade's Directory*, p. 53) donnent le nombre de tonnes de réfrigération (tonne des États-Unis) produites par jour quand on fournit au compresseur un cheval-heure indiqué. Pour rapporter les nombres inscrits dans ces tableaux aux unités adoptées ici (calories absorbées par cheval-heure indiqué), il faut les multiplier par 3000.

en α , se ferme la soupape de refoulement au condenseur. La soupape d'aspiration s'ouvre quand la pression dans le compresseur est devenue inférieure à la pression p_1 qui correspond à la température T_1 du liquide au réfrigérant. La portion de courbe $\beta\gamma\delta$ représente la phase réelle d'aspiration. La période de compression est figurée par la ligne $\delta\epsilon$. Enfin la ligne ondulée $\epsilon\gamma\alpha$ est représentative de la phase de refoulement.

Le volume réel du compresseur est V au lieu d'être égal à V_0 , volume théorique représenté par la longueur 4-1.

De quelle manière et suivant quelle proportion les causes énumérées plus haut agissent-elles pour produire cet accroissement de volume $V - V_0$? C'est ce que nous allons maintenant examiner.

6. Influence sur l'accroissement du volume théorique du compresseur de la chaleur cédée par le milieu extérieur au réfrigérant. — Il faut produire un *effet frigorifique utile* de 1.000 calories. C'est dire que ces 1.000 calories doivent être uniquement employées à refroidir les espaces dont on veut abaisser la température. Mais le réfrigérant peut recevoir par conductibilité et rayonnement une quantité de chaleur cédée par des milieux différents de ceux que l'on veut refroidir. La *quantité d'ammoniaque vaporisée doit donc être plus grande que celle qui correspond à une absorption de chaleur de 1.000 calories*. Supposons que le refroidissement des chambres frigorifiques soit obtenu par une circulation de saumure dans des tuyaux disposés dans ces chambres. La saumure doit recevoir des chambres une quantité de chaleur égale à 1.000 calories; mais elle a d'autres causes de réchauffement provenant des milieux extérieurs aux chambres. Toutes ces quantités de chaleur doivent être absorbées par la vaporisation de l'ammoniaque dans le serpentín du réfrigérant.

Pour un réfrigérant à saumure bien isolé, qui a la forme cylindrique, cette quantité de chaleur va en diminuant de 35 0/0 à 10 0/0 de la puissance frigorifique totale¹, lorsqu'on passe de machines ayant une puissance de 5.000 frigories-heure à une puissance de 150.000 frigories-heure. Voici, à cet égard, les nombres donnés par Stetefeld² :

Frigories par heure	De la puissance calorifique totale	Frigories par heure	De la puissance calorifique totale
5.000.	35 0/0	70.000.	13,5 0/0
10.000.	31	80.000.	12,5
15.000.	28	90.000.	11,5
20.000.	25	100.000.	11
25.000.	23	110.000.	10
30.000.	21	120.000.	10
40.000.	18	130.000.	10
50.000.	15	140.000.	10
60.000.	14	150.000.	10

Dans une autre publication, Stetefeld³ admet 6 0/0 pour les puissances supérieures à 200.000 frigories. On peut, dans tous les cas, se servir de ces nombres approchés pour déterminer l'augmentation de volume à donner au cylindre théorique du compresseur pour tenir compte de l'afflux de chaleur par conductibilité et rayonnement.

Supposons que cet afflux de chaleur soit les 10 0/0 de la puissance calorifique totale.

1. Somme de la puissance frigorifique utile et de la quantité de chaleur transmise au réfrigérant par conductibilité et rayonnement.
 2. STETEFELD, *Compendium der gesamten Kälte-Industrie*, p. 254.
 3. STETEFELD, *Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie*, décembre 1904.

Dans le cas que nous avons choisi, cette puissance calorifique a dès lors pour expression

$$x = 1000 + 0,4x$$

ou

$$x = \frac{1000}{1 - 0,4} = \frac{1000}{0,6} = 1666,67 \text{ calories environ.}$$

Le volume que doit balayer le piston dans le compresseur pour absorber 1.000 calories utiles n'est plus égal à $1^{\text{m}^3},43$, mais à $\frac{1111}{700} = 1^{\text{m}^3},59$, s'il s'agit d'une machine à AzH³. En d'autres termes, le nouveau volume du compresseur d'une machine à ammoniaque doit subir un accroissement d'environ 10 0/0 du volume théorique. Sur la figure 13, représentons cet accroissement en ab . L'accroissement de puissance par rapport à la puissance théorique est représenté par l'aire du diagramme qui se trouve au-dessus de ab , c'est-à-dire sensiblement par l'aire $ab \times 34$.

7. Influence de l'existence de l'espace nuisible sur l'accroissement du volume théorique du compresseur. — A la fin de la phase de refoulement l'espace nuisible est rempli de vapeur et de liquide sous la pression p_2 du condenseur. Quand le piston revient en arrière, cette masse de fluide se détend et la soupape d'aspiration ne peut s'ouvrir que lorsque la pression de ce fluide devient inférieure à la pression p_1 du réfrigérant. Pendant cette partie du retour du piston, il n'y a pas vaporisation au condenseur, d'où résulte une diminution de la puissance frigorifique de la machine. Si on veut que cette puissance reste constante, il faut accroître le volume du compresseur. Pour calculer cette augmentation de volume, on aurait des résultats tout à fait éloignés de la vérité en supposant, comme nous l'avons fait au chapitre précédent, que cette détente est adiabatique : en effet, le fluide est en contact avec une surface de parois qui est grande par rapport à sa masse et, de plus, la présence du liquide modifie d'une manière que nous ignorons la loi de détente de la vapeur.

Il convient d'opérer de la manière suivante : Sur un certain nombre de diagrammes pris sur des compresseurs en marche industrielle et donnant de bons résultats, on mesure le volume dans lequel se fait l'expansion du fluide de l'espace nuisible. On obtient ainsi des documents ; on choisit parmi ceux-là ceux qui se rapportent à des machines de type et de puissance frigorifique voisins de celle que l'on veut construire. On a de cette manière, pour l'établissement d'un projet, un renseignement sur lequel on peut compter.

Pour un avant-projet, on peut se contenter de l'indication suivante¹ :

L'augmentation de volume à donner au compresseur théorique pour tenir compte de l'espace nuisible est comprise entre 10 0/0 et 50 0/0 du volume théorique augmenté du volume correspondant à l'afflux de chaleur au réfrigérant ; la plus grande valeur (10 0/0) convient aux petites machines frigorifiques (jusqu'à 20.000 calories de puissance frigorifique horaire), et la plus petite valeur (50 0/0) convient aux grandes machines frigorifiques (depuis 100.000 calories de puissance frigorifique horaire).

Sur la figure 13, nous avons représenté en bc l'augmentation de volume du compresseur théorique qui est nécessaire pour compenser l'effet de l'espace nuisible.

8. Influence de la dépression à l'aspiration sur l'accroissement du volume théorique du compresseur. — Les résistances, que les vapeurs éprouvent dans leur

1. STETEFELD, *Compendium der gesamten Kälte-Industrie*, p. 257.

passage soit au travers des conduites qui relient le réfrigérant au compresseur, soit au travers de la soupape d'aspiration, ont pour effet d'abaisser la pression d'aspiration au compresseur. Cette pression, au lieu d'être égale à la tension de vapeur saturée correspondant à la température du réfrigérant, lui est inférieure. Cette diminution de pression est accompagnée d'une augmentation du volume spécifique de la vapeur qui remplit le compresseur. Or, pour produire l'effet frigorifique voulu, il faut que la masse de vapeur aspirée soit constante : il est donc nécessaire d'accroître le volume du compresseur pour tenir compte de cette diminution de volume spécifique.

Pour connaître l'augmentation de volume à donner au compresseur théorique, il faut savoir quelle est la grandeur de cette diminution de pression à l'aspiration. Elle est certainement fonction de la vitesse des vapeurs dans la conduite et, par suite, de la vitesse linéaire du piston ; mais cette fonction est en général inconnue. Quelques auteurs ont admis que cette diminution de pression était proportionnelle au carré de la vitesse moyenne linéaire du piston et ils ont posé la relation

$$(1) \quad \Delta p_1 = \varphi \gamma_1 v_m^2,$$

γ_1 étant la densité de la vapeur saturée et sèche du fluide frigorifique à la tension p_1 du réfrigérant ;

v_m , la vitesse linéaire du piston ;

φ , un coefficient convenable.

Si ce coefficient était constant pour un type de machines, on pourrait se servir de la formule (1). Mais il est une fonction inconnue de la vitesse linéaire du piston, comme l'a reconnu M. Döderlein dans des recherches faites sur des machines à ammoniaque¹. Toutefois, pour des machines utilisant ce fluide frigorifique et fonctionnant avec des vitesses linéaires de piston comprises entre 0^m,950 et 1^m,12 par seconde, on peut, pour un avant-projet, employer la formule

$$(2) \quad \Delta p_1 = 0,125 \times \gamma_1 \times v_m^2,$$

γ_1 étant exprimé en kilogrammes par mètre cube ;

v_m , en mètres par seconde ;

Δp_1 , en kilogrammes par mètre carré.

Pour l'établissement définitif d'un projet de compresseur, il est préférable d'opérer de la manière suivante.

On prend des diagrammes de compresseurs fonctionnant bien en marche industrielle et appartenant au type de machine que l'on veut construire. Sur chacun de ces diagrammes, on trace la droite parallèle à l'axe des abscisses qui a pour ordonnée la pression p_1 au réfrigérant².

On détermine la surface (couverte de hachures sur la figure 14) comprise entre cette horizontale et la courbe qui limite inférieurement le diagramme ; on prend pour valeur

1. G. DÖDERLEIN, *Prüfung und Berechnung ausgeführter Ammoniak-Compressions-Kältemaschinen an Hand des Indikator-Diagramms*, p. 69 et 79 (R. Oldenbourg, Berlin, 1903).

2. Cette pression est donnée par un manomètre : sa valeur doit être connue avec une approximation suffisante qui nécessite beaucoup de soin dans la lecture des manomètres. En effet l'aiguille du manomètre n'est pas au repos, mais oscille constamment entre certaines limites ; ce phénomène est dû à ce que les masses de vapeur aspirées par le compresseur dans le réfrigérant varient avec la vitesse du piston ; or celle-ci croît entre zéro et un maximum. Comme le volume des conduites n'est pas très grand, il se produit dans ces conduites des variations de pression qui déterminent des oscillations de l'aiguille du manomètre. Aussi convient-il, dans l'emploi du manomètre, de prendre les précautions suivantes : 1° ouvrir assez fortement les robinets du manomètre de telle façon que les oscillations de l'aiguille soient réduites à quelques millimètres ; 2° faire les lectures dans la position qu'occuperait l'aiguille si elle restait à l'état stable, c'est-à-dire pour le manomètre à aspiration dans la position qui correspond à l'indication la plus élevée de la pression.

de Δp_1 , l'ordonnée moyenne de cette surface; c'est-à-dire la hauteur d'un rectangle dont la base est égale à la course du piston et la surface à l'aire couverte de hachures.

Ceci posé, pour établir un projet de compresseur, on porte sur la figure 13 au-dessous de la ligne 14 (horizontale inférieure du diagramme théorique 1234) une longueur représenta-

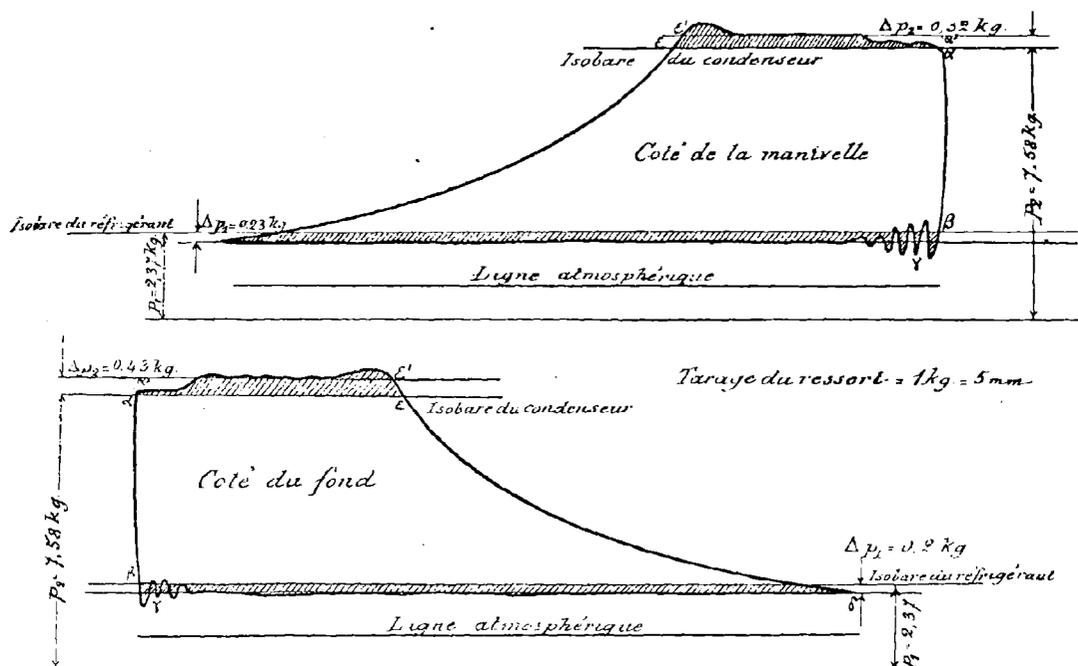


FIG. 14. — Diagrammes d'un compresseur à AzH_3 pris de chaque côté du piston.

tive de Δp_1 . On prolonge l'adiabatique 12 jusqu'au point de rencontre de cette ligne. On admet que l'augmentation de volume du compresseur théorique est donnée par cette construction; elle est représentée en *de* sur la figure 13.

9. Influence du manque d'étanchéité des organes du compresseur sur l'accroissement de son volume théorique. — Quelles que soient les considérations théoriques que l'on puisse développer sur les fuites intérieures des compresseurs, c'est-à-dire sur les fuites des pistons et des soupapes aussi bien que sur les pertes résultant de la non-étanchéité des presse-étoupes, on est conduit à des résultats qui approchent si peu de la réalité qu'il convient de renoncer à ce genre de considérations. La seule voie qui puisse conduire à des résultats utiles au point de vue du but que l'on se propose est l'étude des diagrammes relevés sur des compresseurs en marche industrielle.

Supposons que nous étudions une machine frigorifique, par exemple une machine avec refroidissement par saumure et munie d'un condenseur à immersion. Déterminons en même temps le travail indiqué au compresseur, la quantité de chaleur dégagée par la saumure qui se refroidit, la quantité de chaleur absorbée par l'eau qui circule autour du serpentín du condenseur; ajoutons à cela la détermination de la quantité de chaleur cédée au réfrigérant par les corps extérieurs, ce réfrigérant étant dans les mêmes conditions de température que pendant l'essai. Supposons enfin que, pendant cet essai, nous ayons observé les tensions au réfrigérant et au condenseur (en vue de la détermination des températures correspondantes), ainsi que la température du liquide frigorifique avant le robinet de détente.

Nous avons ainsi tous les éléments nécessaires pour établir le bilan calorifique de la machine, c'est-à-dire pour connaître, d'une part, la quantité de chaleur Q_1 réellement absorbée par la vaporisation de l'agent frigorifique (somme de la quantité de chaleur déterminée au moyen des observations faites sur la saumure et de la quantité de chaleur cédée au réfrigérant par les corps extérieurs); d'autre part, la puissance réfrigérante Q_2 du condenseur et enfin le travail indiqué correspondant. Si les nombres ainsi trouvés satisfont *sensiblement* à l'équation

$$Q_1 + \frac{1}{E} \epsilon_i = - Q_2,$$

on peut dire que l'essai présente un caractère d'exactitude suffisante.

Il est alors possible de se servir des nombres déterminés et des diagrammes relevés pendant l'essai pour déterminer graphiquement les fuites de la machine et calculer leur grandeur.

On procède de la manière suivante :

Soit un diagramme type relevé sur la machine : sur ce diagramme où se trouve tracée la ligne atmosphérique, menons la ligne de vide, puis les lignes qui correspondent aux tensions p_1 et p_2 relatives au réfrigérant et au condenseur. Au moyen de la température de vaporisation au réfrigérant, de la température à laquelle s'effectue la condensation ainsi que de la température du fluide frigorifique avant le robinet de détente, on peut calculer le volume théorique qu'il est nécessaire de donner au compresseur pour produire la puissance frigorifique à réaliser dans les appareils à froid. Au moyen de la quantité de chaleur cédée au réfrigérant par conductibilité et rayonnement, on peut calculer l'accroissement correspondant du volume du compresseur.

D'après les diagrammes, on connaît le volume réel V du compresseur (*fig. 13*) représenté par l'horizontale comprise entre les ordonnées limites αc et $f \delta$ tangentes au diagramme en α et δ . Sur le même diagramme, l'accroissement de volume du cylindre théorique, qui représente l'influence de l'espace nuisible, est représenté en $\beta \nu$ ou bc . Enfin les calculs précédents fournissent les valeurs du volume théorique V_0 et de l'augmentation de volume ab correspondant à l'afflux de chaleur au réfrigérant.

A partir de l'ordonnée $\alpha \nu c$, portons de gauche à droite sur une parallèle à l'axe des abscisses passant par le point correspondant à la pression p_1 au réfrigérant :

- 1° La longueur $\nu \beta$ (espace nuisible);
- 2° La longueur $\beta \delta$ (afflux de chaleur);
- 3° La longueur $\delta \nu$ (volume théorique V_0).

Nous obtenons ainsi le point 1. Par ce point 1 nous faisons passer la courbe adiabatique 12 de la vapeur initialement sèche. Cette ligne prolongée rencontre la courbe inférieure du diagramme (ligne d'aspiration) au point μ . La longueur $\mu \mu'$ ou ed représente l'influence sur le volume du compresseur de la dépression à l'aspiration.

On peut dire alors que la différence

$$\mu \delta = ef = V - [cb + ba + V_0 + de]$$

représente l'accroissement de volume du compresseur que rend nécessaire l'existence des fuites.

Une telle étude faite sur divers diagrammes pris sur des compresseurs en marche industrielle permet de recueillir des documents certains sur la valeur de l'accroissement de volume que les fuites obligent de donner au compresseur théorique.

Ces documents permettent d'opérer de la manière suivante quand il s'agit de construire un compresseur

Quand on a déterminé pour ce compresseur (par les méthodes indiquées plus haut) le volume théorique V_0 et les accroissements de volume cb (espace nuisible), ba (afflux de chaleur), de (dépression à l'aspiration), on ajoute à la somme

$$[cb + ba + V_0 + de]$$

le volume ef (fuites) donné par les documents puisés sur des compresseurs en marche industrielle.

Cette somme représentée finalement (*fig. 13*) par fc donne le volume réel à donner au compresseur.

On voit donc qu'en déterminant ainsi ce volume on tient compte de toutes les pertes qui se produisent dans la pratique.

10. Détermination dans un avant-projet du volume véritable d'un compresseur. — Nous venons de voir comment on peut déterminer le volume véritable d'un compresseur. Mais il est intéressant, pour un avant-projet, d'avoir d'une manière rapide une idée de l'ordre de grandeur de ce volume véritable. Voici quelques règles données, soit par Stetefeld, soit par Döderlein, soit par Lehnert.

D'après Stetefeld, on peut obtenir le volume véritable d'un compresseur à AzH^3 en multipliant par le facteur 1,35 le volume théorique augmenté du volume correspondant à l'afflux de chaleur au réfrigérant.

Ainsi, le volume réel, que devra balayer le piston d'un compresseur à ammoniac pour produire dans le réfrigérant une absorption de 80.000 calories par exemple, devra être

$$80 \times 1,59 \times 1,35 = 80 \times 2,15 = 172 \text{ mètres cubes environ.}$$

D'après Lehnert¹, si V désigne le volume réel d'un compresseur, et V_0 son volume théorique, on a la relation

$$V - V_0 = zV$$

ou

$$V = \frac{V_0}{1 - z},$$

dans laquelle z a les valeurs suivantes :

Puissances frigorifiques horaires		Valeurs de z
Machines de	10.000 frigories-heure.	0,45 à 0,50
—	40.000 —	0,35 à 0,40
—	80.000 —	0,30 à 0,35
—	120.000 —	0,25 à 0,30
—	150.000 —	0,25
—	200.000 —	0,23
—	250.000 —	0,21

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'une machine frigorifique à AzH^3 fonctionnant dans les conditions normales que nous avons énoncées au début de ce paragraphe et devant produire 80.000 frigories-heure.

1. LEHNERT, *Moderne Kältetechnik. Webers illustrierte Katechismen*, Bd. 252 (Leipzig, J.-J. Weber, 1905). Voir page 90 de cet ouvrage.

Le volume théorique que doit balayer en une heure le piston du compresseur a pour valeur

$$\frac{80000}{700}$$

Le volume réel qui doit être balayé dans le même temps par le piston du compresseur est

$$\frac{80000}{700(1 - 0,33)} = \frac{80000}{700 \times 0,67} = 176 \text{ mètres cubes environ.}$$

Il est facile de déduire de là, comme nous l'avons fait plus haut, le diamètre du piston du compresseur¹.

11. Détermination du travail indiqué qu'il faut réellement fournir à un compresseur. — Le volume réel d'un compresseur étant connu par les méthodes que nous venons de développer, il importe maintenant de déterminer la valeur réelle du travail indiqué qu'il faut fournir à ce compresseur.

Pour cela, il faut connaître la véritable courbe de compression.

Voici comment Stetefeld fait cette détermination.

Il fait passer par le point δ (fig. 13) une courbe adiabatique \mathcal{A} et une courbe isothermique \mathcal{J}^2 .

La courbe isothermique est la courbe définie par l'équation

$$(3) \quad pv = p'v' + C[p^n - p'^n].$$

Dans le cas de l'ammoniaque, si p est exprimé en kilogrammes par mètre carré, on a, d'après Zeuner,

$$C = 29,783, \quad n = 0,3655.$$

La courbe adiabatique est la courbe définie par l'équation

$$(4) \quad p^{1-m}v = p'^{1-m}v' + C[p'^{n-m} - p^{n-m}].$$

Dans le cas de l'ammoniaque, $m = 0,2442$.

Stetefeld a remarqué, en étudiant divers diagrammes relevés sur des compresseurs en

1. D'après Lehnert (*loc. cit.*, p. 91), le rapport du diamètre du compresseur à la course du piston prend, dans les différentes machines frigorifiques, les valeurs suivantes :

	Valeurs de $\frac{D}{l} = \frac{\text{diamètre du cylindre}}{\text{course du piston}}$
Compresseur à AzH ³	0,59 à 0,67
— SO ²	0,50 à 0,67
— CO ²	0,25 à 0,33

Dans les compresseurs à grande vitesse la course est sensiblement égale au diamètre. Les vitesses moyennes linéaires du piston v_m ont les valeurs suivantes :

	v_m
Compresseur à AzH ³	0,8 à 1 mètre par seconde
— SO ²	1,0 à 1,5 —
— CO ²	0,6 à 0,8 —

2. Il ne faut pas confondre la courbe adiabatique \mathcal{A} de la vapeur surchauffée d'ammoniaque avec la courbe adiabatique de la vapeur saturée primitivement sèche. Celle-ci a pour équation

$$pv^{1,32} = p'v'^{1,32}.$$

C'est la courbe 12 de la figure 13.

Pour l'anhydride sulfureux, les constantes des équations (3) et (4) sont :

$$C = 47,297, \quad n = m = 0,213 \text{ (} p \text{ étant exprimé en kilogrammes par mètre carré).}$$

Pour l'anhydride carbonique (p étant exprimé en atmosphères)

$$C = 0,01852, \quad m = 0,231, \quad n = 0,888.$$

marche industrielle, que la courbe de compression véritable était sensiblement équidistante des deux courbes \mathcal{A} et \mathcal{J} .

Pour tracer la courbe de compression véritable, il faut donc tracer une série d'horizontales et prendre les milieux des segments découpés par les courbes \mathcal{A} et \mathcal{J} sur ces horizontales.

Döderlein¹, dans l'étude que nous avons déjà citée des machines à ammoniacque, admet que la courbe de compression véritable d'une machine à ammoniacque fonctionnant dans de bonnes conditions se confond sensiblement avec la courbe

$$pv^{1,32} = p'v'^{1,32}.$$

Dans ce cas, la courbe que l'on devrait tracer par le point ε (*fig.* 13) serait parallèle à la ligne 12. Elle conduirait à une dépense de travail bien supérieure à celle qui est indiquée par Stetefeld.

12. Influence sur l'accroissement du travail indiqué théorique de la surpression au refoulement du fluide à l'extérieur du compresseur. — Nous venons de tracer jusqu'au point ε le diagramme du compresseur que nous voulons construire. Il faut maintenant fermer ce diagramme.

À partir de l'intersection de la courbe de compression avec l'horizontale, qui correspond à la tension p_2 relative au condenseur, jusqu'au début α de la courbe de détente dans l'espace nuisible, la plupart des diagrammes d'indicateur présentent une ligne sinueuse dont les sinuosités, très marquées au début, s'atténuent peu à peu de manière à disparaître à la fin. Cette ligne correspond à la *phase de refoulement* du fluide à l'extérieur du compresseur.

Cette ligne est *surélevée* au-dessus de la ligne horizontale qui correspond à la tension au condenseur à cause des résistances que le fluide frigorigène rencontre soit dans son passage au travers de la soupape du compresseur, soit dans sa circulation dans la conduite reliant le compresseur au condenseur. Les sinuosités que l'on observe à l'origine mettent en évidence la surpression due à la résistance qu'éprouve le fluide à s'écouler au moment de l'ouverture de la soupape; ces sinuosités dépendent du poids de la soupape et de la tension du ressort. Les sinuosités qui suivent proviennent des vibrations de la soupape ou de la colonne de vapeur se trouvant dans la conduite allant au condenseur.

Comme la dépression à l'aspiration, cette surpression est une fonction inconnue de la vitesse du courant fluide ou de la vitesse moyenne du piston. Döderlein² a essayé de représenter cette surpression par une formule de la forme

$$\Delta p_2 = \varphi \gamma_2 v_m^2,$$

dans laquelle γ_2 est la densité de la vapeur saturée et sèche à la température du condenseur. Mais là encore φ n'est pas une constante, mais une fonction inconnue de la vitesse v_m .

Cependant, pour un avant-projet, on peut dans les machines à ammoniacque et pour des vitesses linéaires de piston variant entre 0^m,950 et 1^m,12, employer la formule

$$(5) \quad \Delta p_2 = 0,055 \gamma_2 v_m^2,$$

dans laquelle γ_2 est exprimé en kilogrammes par mètre cube.

Lorsqu'on veut une exactitude plus grande, il vaut mieux, sur un diagramme d'un compresseur analogue en marche industrielle, tracer l'horizontale qui correspond à la pres-

1. DÖDERLEIN, *loc. cit.*, p. 47.

2. DÖDERLEIN, *loc. cit.*, p. 79.

sion p_2 du condenseur (donnée par un manomètre) et planimétrer la surface du diagramme (couverte de hachures dans la figure 14), qui se trouve entre cette horizontale et la ligne limite supérieure. Ce résultat obtenu, on en déduit facilement la valeur de l'ordonnée moyenne Δp_2 . On trace une horizontale à la distance Δp_2 de l'horizontale p_2 ; on prolonge (Voir fig. 14) la courbe de compression $\delta\varepsilon$ jusqu'à cette horizontale en ε' ; enfin, pour fermer le diagramme, on trace le raccord $\alpha\alpha'$. L'aire $\varepsilon\varepsilon'\alpha\alpha'$ est approximativement égale à l'aire couverte de hachures (fig. 14) qui a été planimétrée. Cette manière de fermer le diagramme du compresseur à construire est employée notamment par Döderlein¹.

Stetefeld préfère opérer de la manière suivante. Il prend parmi les diagrammes relevés sur des compresseurs en marche industrielle ceux qui se rapportent à des compresseurs voisins comme type et comme dimensions de celui qu'il doit construire. Il ferme le diagramme possible de ce dernier par une ligne de refoulement tracée à l'image de celles qui ont été observées sur les diagrammes relevés sur les compresseurs en usage dans la pratique.

La méthode que nous venons d'indiquer pour faire le projet du diagramme d'un compresseur présente de grandes garanties d'exactitude pour l'ingénieur qui veut établir un projet de machine frigorifique.

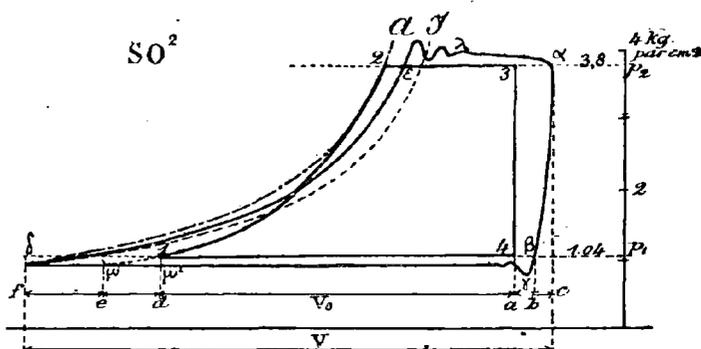


FIG. 15. — Diagramme réel d'un compresseur à SO_2 .

13. Rendements thermiques indiqués réels pour les machines à AzH_3 , SO_2 , CO_2 .

— Valeurs données par Stetefeld. — En planimétrant le diagramme-projet de la figure 13, on arrive, pour une machine à ammoniaque fonctionnant entre les limites de température choisies, au résultat suivant. Le travail à fournir au compresseur pour absorber 1.000 calories au réfrigérant est de 0,30 cheval-heure indiqué, ce qui correspond à un rendement de 3.330 calories par cheval-heure indiqué. Comme il fallait s'y attendre d'après le mode de tracé du diagramme, ce résultat est tout à fait d'accord avec ce que l'on observe dans la pratique².

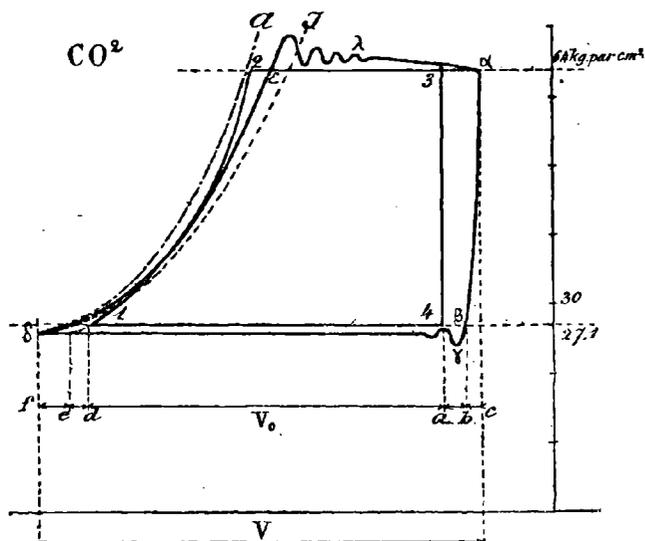


FIG. 16. — Diagramme réel d'un compresseur à CO_2 .

Si, pour l'anhydride sulfureux et l'anhydride carbonique, on emploie la même méthode de tracé d'un diagramme-projet d'un compresseur par comparaison avec les diagrammes de compresseurs voisins du premier quant au type et à la puissance, on trouve que, pour l'anhydride sulfureux, on a un rendement de

1. DÖDERLEIN, *Luftkühlung durch das verdampfende Kältemittel* (Constanz Schmitz, Berlin, 1904).
 2. STETEFELD, *Neuere Versuche an Kompressions-Kältemaschinen* (*Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie*, octobre 1904).

3.350 calories par cheval-heure indiqué, et pour l'anhydride carbonique un rendement de 3.000 calories par cheval-heure indiqué.

Ces diagrammes sont représentés sur les figures 15 et 16. On voit que dans les conditions de température indiquées (cas normal de la pratique), les trois diagrammes donnent, pour l'accroissement de volume du compresseur par rapport au volume théorique, les valeurs :

48 0/0, pour les machines à ammoniaque et à anhydride sulfureux;

25 0/0, pour les machines à anhydride carbonique.

Cette moindre augmentation de volume pour les machines à anhydride carbonique tient à ce que la dépression à l'aspiration ainsi que les fuites sont moindres dans ces machines que dans les machines à ammoniaque et à anhydride sulfureux. Les grandes pressions qui s'exercent dans les machines à anhydride carbonique forcent les constructeurs de ces machines à prendre des soins particuliers relativement à l'étanchéité des divers organes.

Enfin, si on fait le rapport de la puissance frigorifique réelle par cheval-heure indiqué à la puissance frigorifique théorique, on trouve, d'après les diagrammes précédents, les valeurs 74 0/0 pour les machines à ammoniaque, 75 0/0 pour les machines à anhydride sulfureux, 85 0/0 pour les machines à anhydride carbonique.

14. Rendements thermiques indiqués réels pour les machines à AzH^3 . — Valeurs données par d'autres ingénieurs. — Le nombre donné par M. Stetefeld pour le rendement thermique réel des machines à ammoniaque n'est pas accepté par tous les ingénieurs. M. Constanz Schmitz, ingénieur à Berlin, trouve trop petit le nombre de 3.330 calories par cheval-heure indiqué; il donne le nombre de 3.900 calories par cheval-heure indiqué comme celui qui est atteint maintenant avec les machines à ammoniaque marchant en régime sec (vapeur surchauffée)¹.

D'après M. Kaufmann², ce nombre de 3.900 calories par cheval-heure indiqué est garanti par la Société des machines Linde pour la marche en régime sec (vapeur surchauffée) et pour les conditions de fonctionnement normal (saumure refroidie de -2° à -5° C.; eau du condenseur réchauffée de $+10^\circ$ à $+20^\circ$ C.). Pour les petites installations, on atteint même 3.965 à 3.994 calories par cheval-heure indiqué³.

15. Équivalence des machines à AzH^3 , SO^2 , CO^2 au point de vue de la puissance frigorifique spécifique. — Aussi, parmi les machines frigorifiques fonctionnant dans les mêmes conditions, la machine à ammoniaque est-elle considérée par M. Constanz Schmitz comme celle qui a la *plus grande puissance frigorifique spécifique*, c'est-à-dire celle qui produit le plus de frigories par cheval-heure indiqué. Selon ce savant ingénieur, il convient de ranger les machines frigorifiques dans l'ordre suivant de puissances frigorifiques spécifiques décroissantes :

Machines à ammoniaque;

Machines à anhydride sulfureux;

Machines à anhydride carbonique.

Au contraire, MM. Stetefeld et Lorenz, dont les noms font autorité en Allemagne en matière d'industrie frigorifique, considèrent comme résultant de leurs multiples essais, que *les trois systèmes à AzH^3 , SO^2 et CO^2 sont parfaitement équivalents au point de vue de la puissance frigorifique spécifique*⁴.

1. *Eis und Kälte-Industrie*, Bd. VI, n° 13, 5 janvier 1905, p. 103.

2. KAUFMANN, *Spezifische Kälteleistung der drei Compressions-Kältemaschinen-Systeme (Eis und Kälte-Industrie)*, Bd. VI, n° 15, 5 février 1905).

3. Essais faits à la brasserie E. Butz à Schönebeck, décrits dans *Wochenschrift für Brauerei*, n° 12; 1904.

4. Les limites de cet ouvrage ne nous permettent pas d'exposer la discussion qui s'est élevée entre Stetefeld et Lorenz d'une part, Linde d'autre part. On la trouvera dans les publications suivantes : LINDE, *Ungleichwertigkeit von Ammoniak*,

16. Utilité de la marche à puissance frigorifique réduite. — Nous venons de montrer dans quelle mesure certaines circonstances du fonctionnement d'un compresseur obligent à augmenter soit le volume calculé par la théorie, soit la puissance indiquée théorique que l'on doit lui fournir. Il est par suite certain que, si l'on fait varier ces conditions de marche d'un compresseur réel, on modifiera la quantité de chaleur absorbée au réfrigérant pendant un temps déterminé ou la puissance frigorifique produite. Or, dans la plupart des cas, il est préférable de marcher pendant toute une journée à puissance frigorifique réduite (c'est-à-dire en cédant au réfrigérant un nombre de frigories moindre que dans le cas normal) que de marcher quelques heures par jour à pleine puissance. Dans le premier cas, les variations de température dans les chambres froides sont beaucoup atténuées; on sait que c'est là une des conditions les plus favorables à la conservation des produits alimentaires.

17. Réglage de la puissance frigorifique d'une machine à froid par modification du fonctionnement du compresseur. — On peut, en agissant sur le fonctionnement du compresseur, réduire de diverses manières la puissance frigorifique d'une machine :

- 1° En étranglant l'orifice d'aspiration de la vapeur venant du réfrigérant;
- 2° En ramenant vers l'aspiration les vapeurs comprimées;
- 3° En augmentant le volume de l'espace nuisible du compresseur;
- 4° En diminuant directement le volume de fluide réellement aspiré par l'établissement de une, deux ou plusieurs communications de l'intérieur du cylindre avec la conduite d'aspiration¹.

18. Étranglement de l'orifice d'aspiration. — On peut réduire la puissance frigorifique par étranglement de l'orifice d'aspiration, soit en fermant plus ou moins une vanne d'arrêt placée sur la conduite d'aspiration, soit en réduisant l'ouverture de la soupape d'aspiration par un dispositif analogue à celui qui est représenté sur la figure 17. L'ouverture de la soupape augmente ou diminue suivant qu'au moyen de la vis *b* qu'on peut manœuvrer de l'extérieur en *c* on abaisse ou on relève l'étrier *r*. La réduction de l'ouverture de la soupape d'aspiration a pour effet d'augmenter le laminage de la vapeur aspirée dans le compresseur et, par suite, d'abaisser la pression de cette vapeur. Si on admet que cet abaissement de pression se fait à température constante, la figure 8 montre que la vapeur qui entre dans le cylindre est surchauffée et que son volume spécifique est plus grand que celui de la vapeur saturée et sèche qui arriverait dans le cylindre, si la soupape d'aspiration était ouverte normalement. Par suite, la masse de vapeur aspirée à chaque coup de piston est plus petite que la masse de vapeur aspirée lorsque l'ouverture de la soupape est

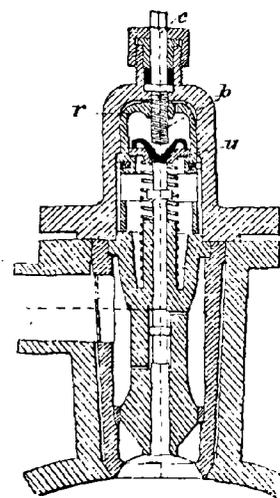


FIG. 17. — Dispositif permettant l'étranglement de l'orifice d'aspiration.

Kohlensäure und schwefliger Säure in Kompressions-Kaltdampfmaschinen (Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie, 9^e année, fasc. 6, juin 1902, p. 101); — LORENZ, *Die praktische Gleichwertigkeit der drei Hauptsysteme von Kompressions-Kühlmaschinen* (Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie, 9^e année, fasc. 7, juillet 1902 p. 121); — STETEFELD *Die drei Kältemaschinen-Systeme Ammoniak, schweflige Säure und Kohlensäure* (Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie, 9^e année, fasc. 8, août 1902, p. 144); — Le MANCEL, *Valeur relative des différents systèmes de machines frigorifiques* (La glace et les Industries du Froid, 2^e année, n^{os} 3, 4, 5, 7, 9, 10, 1905).

1. RICH. STETEFELD, *Vorrichtungen zur Regelung der Kompressorleistung und deren Wirkung* (Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie, 11^e année, fasc. 8, août 1904, p. 143).

normale : or la quantité de chaleur absorbée au réfrigérant dépend de la masse de vapeur aspirée à chaque coup de piston. La diminution de la levée de la soupape d'aspiration a donc pour conséquence un abaissement de la puissance frigorifique.

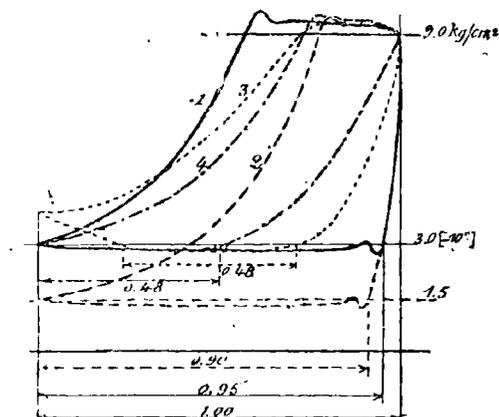


FIG. 18. — Diagrammes des divers modes de réglage de la puissance frigorifique d'une machine.

Sur la figure 18, on voit en 1 le diagramme normal de la machine et en 2 le diagramme après la diminution de la levée de la soupape d'aspiration¹.

19. Retour vers l'aspiration des vapeurs comprimées. — On peut de deux manières différentes produire le retour vers l'aspiration des vapeurs comprimées dans le compresseur :

1° En faisant communiquer par un tube muni d'un robinet détendeur la conduite de refoulement avec la conduite d'aspiration. C'est le procédé dit du *courant de retour extérieur* ;

2° En reliant par un canal muni d'un robinet détendeur les deux espaces nuisibles des extrémités du compresseur. On peut donner à ce dispositif le nom de dispositif du *courant de retour intérieur*.

Dans le premier cas, le compresseur fonctionne à l'aspiration, à la compression et au refoulement comme dans le cas normal. Mais les vapeurs refoulées hors du compresseur, au lieu d'aller se liquéfier au condenseur, reviennent en partie à la conduite d'aspiration, puis au compresseur, ce qui diminue la masse des vapeurs aspirées au réfrigérant, et par suite abaisse la puissance frigorifique.

Le diagramme du fonctionnement est identique au diagramme 1 (fig. 18).

Dans le second cas, par suite de la communication des deux espaces nuisibles (c'est-à-dire de la partie du compresseur où se fait l'aspiration avec la partie où se produit en même

1. Le diagramme 2 est tracé en supposant que la puissance frigorifique est réduite de moitié ; il faut pour cela que la masse de vapeur aspirée par coup de piston soit moitié moindre ou que le volume spécifique de la vapeur surchauffée qui remplit le cylindre du compresseur soit double de celui de la vapeur saturée sèche qui le remplirait avec une ouverture normale de la soupape. Si on admet que la vapeur suit la loi de Mariotte, il faut que la pression à l'aspiration soit, comme dans la figure 18 (diagramme 2), la moitié de la pression d'aspiration correspondant à l'ouverture normale de la soupape. La courbe de compression de ce même diagramme 2 est parallèle à la courbe de compression du diagramme 1. Si on planimètre les diagrammes 1 et 2, on trouve la relation

$$\frac{\text{Surface du diagramme 2}}{\text{Surface du diagramme 1}} = 0,85.$$

Si N_i représente le nombre de chevaux-heures indiqués fournis au compresseur quand la soupape a son ouverture normale, et N'_i le nombre de chevaux-heures indiqués fournis au compresseur quand l'ouverture de la soupape est étranglée, on a

$$\frac{N'_i}{N_i} = 0,85.$$

Soient, d'autre part, Q_1 et Q'_1 les quantités de chaleurs absorbées au réfrigérant et correspondant aux travaux N_i et N'_i . D'après ce que nous avons dit plus haut, on a sensiblement

$$\frac{Q'_1}{Q_1} = \frac{1}{2}.$$

Par suite, en divisant membre à membre les deux équations précédentes, on obtient la relation

$$\frac{Q'_1}{N'_i} \cdot \frac{Q_1}{N_i} = \frac{1}{1,70}.$$

Si la puissance frigorifique produite en étranglant l'orifice d'admission est la moitié de la puissance frigorifique correspondant à l'orifice normalement ouvert, le rendement en frigories par cheval-heure indiqué correspondant à l'orifice étranglé est égal au rendement en frigories par cheval-heure correspondant à l'orifice normal divisé par 1,70. La diminution de la puissance frigorifique (ou de la quantité de chaleur absorbée au réfrigérant) n'est pas accompagnée d'une diminution comparable de la puissance indiquée à fournir au compresseur : la diminution de cette dernière est beaucoup moindre que celle de la première. Ce mode de réduction de la puissance frigorifique n'est donc pas économique.

temps une compression), la pression du côté où se fait l'aspiration n'est inférieure à la pression du réfrigérant que pendant une partie de la course du piston, et par suite l'aspiration ne se fait que pendant ce temps; la pression du côté de l'aspiration devient même, à la fin de la course du piston, supérieure à la pression du réfrigérant. Pendant la compression, la pression croît moins vite que dans le cas normal parce que l'espace où se fait la compression est en relation avec l'autre partie du compresseur où se produit une aspiration. Dans le régime permanent, le compresseur ne refoule au condenseur que la masse réduite de vapeur aspirée.

Le diagramme d'un tel fonctionnement est le diagramme 3 de la figure 18.

Les courbes qui composent le diagramme 3 indiquent seulement d'une manière qualitative l'allure des diverses phases du fonctionnement du compresseur; les expériences directes permettant de déterminer les formes exactes manquent encore. Toutefois le rapport de la surface du diagramme 3 à celle du diagramme 1 doit être beaucoup plus petit que dans le cas précédent. Ce mode de réduction de la puissance frigorifique semble être plus économique que celui qui précède.

20. Accroissement du volume de l'espace nuisible. — *L'agrandissement de l'espace nuisible* peut se faire par un dispositif analogue à celui qui est représenté sur la figure 19.

La masse de vapeur aspirée est d'autant moindre que l'espace nuisible est plus considérable. Le diagramme 4 de la figure 18 correspond à ce mode de fonctionnement.

A cause de la grandeur de l'espace nuisible, la courbe de compression du diagramme 4 est notablement au-dessous de la courbe de compression du diagramme 1 correspondant à la première valeur de l'espace nuisible. Il est bien évident que la surface du diagramme 4 est beaucoup plus petite que celle du diagramme 1; dans le cas de la figure 18, elle en est sensiblement la moitié. Si ce diagramme 4 correspond à une puissance frigorifique moitié moindre, la puissance frigorifique par cheval-heure indiqué est sensiblement la même à puissance frigorifique normale (diagramme 1) et à puissance frigorifique moitié moindre (diagramme 4). Ce mode de réduction de la puissance frigorifique est donc économique.

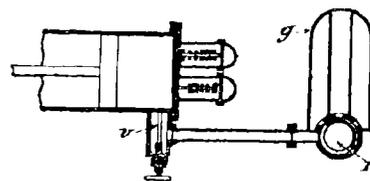


FIG. 19.
Accroissement de l'espace nuisible.

21. Diminution directe du volume aspiré ou de la période d'aspiration. — Supposons que la paroi latérale du cylindre communique par des ouvertures convenables avec la conduite d'aspiration (*fig. 20*). Suivant la disposition de ces ouvertures, la compression ne pourra se produire que lorsque le piston sera venu recouvrir les orifices en communication avec l'aspiration. Ainsi, du côté gauche du piston (allant de gauche à droite), l'aspiration se fait de $\beta\gamma$ en δ ; puis, le piston revenant de droite à gauche, la communication avec le réfrigérant établie de δ en ϵ n'est interrompue qu'en ϵ ; la compression commence et se fait suivant $\epsilon\lambda$. Du côté droit du piston (allant de droite à gauche), l'aspiration se fait de $\beta'\gamma'$ en δ' ; puis, le piston revenant de gauche à droite, la communication avec le réfrigérant n'est interrompue qu'en ϵ' où la compression commence et se fait suivant $\epsilon'\lambda'$. Tel est le procédé de *réduction de la puissance frigorifique par diminution directe du volume de vapeur aspirée*.

22. Comparaison des dispositifs précédents au point de vue économique. — Si on considère, au point de vue économique, les dispositifs que nous venons de passer

en revue et qui ont pour but de diminuer la puissance frigorifique d'un compresseur, il est évident que l'on doit accorder la préférence à ceux qui produisent à la fois une diminution de la puissance frigorifique et une diminution de la puissance à fournir au compresseur.

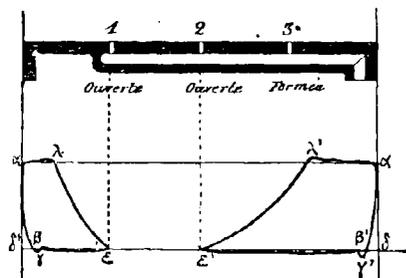


FIG. 20.
Diminution de la période d'aspiration.

Les deux dispositifs qui réalisent cette double condition sont, d'une part, celui qui permet l'accroissement du volume de l'espace nuisible; et, d'autre part, celui que nous venons d'étudier et qui réalise la diminution directe du volume d'aspiration. De ces deux d'ailleurs, le premier est préférable en ce qu'il donne le moyen de réduire *progressivement* la puissance frigorifique, tandis que le second fait d'abord baisser brusquement la puissance frigorifique jusqu'à une valeur assez différente de la première, puis produit sa diminution d'une manière *discontinue*.

Des autres procédés celui du courant de retour intérieur est le seul dans lequel il y ait une diminution partielle de la puissance à fournir concomitante d'une réduction de la puissance frigorifique.

Au contraire, le dispositif du courant de retour extérieur et de l'étranglement de l'orifice d'aspiration ne sont pas économiques, parce que la réduction de la puissance frigorifique n'est pas accompagnée d'une diminution appréciable de la puissance indiquée à fournir au compresseur.

II

CONSTRUCTION DES COMPRESSEURS¹

1. Définition d'un compresseur. — Types de compresseurs. — Le compresseur d'une machine frigorifique est à simple ou à double effet (le plus souvent à double effet). Il peut être horizontal ou vertical. Il présente un piston, des soupapes, un presse-étoupe ou *stuffing-box* s'opposant aux fuites du gaz autour de la tige du piston. Une circulation d'eau peut être produite autour des parois du cylindre.

En Europe, les compresseurs d'une certaine puissance sont généralement horizontaux et à double effet, avec manivelle à 120° en avance sur celle du moteur ou en tandem sur le prolongement du cylindre moteur. Ce dernier dispositif a pour lui d'être *le plus compact*, puisqu'il peut s'ajouter directement à l'arrière du cylindre de la machine à vapeur qui le commande, et *le moins cher*. Aux États-Unis, on préfère souvent la disposition verticale; à double ou à simple effet; elle est plus encombrante, plus coûteuse, mais plus durable, sans ovalisation des cylindres.

1. Pour la rédaction de ce paragraphe, nous avons puisé des renseignements dans les ouvrages suivants :

H. LORENZ, *Machines frigorifiques*, trad. P. Petit et J. Jacquet (Paris, Gauthier-Villars, 1898, *Encyclopédie industrielle Lechalas*); — H. LORENZ, *Neuere Kühlmaschinen, ihre Konstruktion, Wirkungsweise und industrielle Verwendung* (Berlin, R. Oldenbourg, 1901); — Georg. GÖTTSCHE, *Die Kältemaschinen*, 2^e éd. (Hambourg, Joannes Kriebel, 1904); — LEHNERT, *Moderne Kältetechnik* (Leipzig, J.-J. Weber, 1905); — G. RICHARD, *Les Machines frigorifiques* (*Revue de mécanique*, t. I, 1897, p. 64); — DE LOVERDO, *Le Froid artificiel et ses applications* (Paris, Dunod, 1903); — A. PRIBET, *Les Machines à glace* (Paris, Bernard, 1904); — SIETEFELD, *Compendium der gesamten Kälte-Industrie*; — Hal WILLIAMS, *Mechanical Refrigeration* (London, Whittaker, 1903); — A.-J. WALLIS-TAYLER, *Refrigerating and Ice-Making Machinery* (London, Crosby Lockwood, 1902); — De MARCHENA, *Machines frigorifiques à gaz liquéfiable* (*Encyclopédie Léauté*); — NORMAN SELFE, *Machinery for Refrigeration* (New-York, H. S. Rich).

2. Cylindres des compresseurs des machines à ammoniac. — La figure 21 représente la section longitudinale et le plan d'un compresseur de machine à ammoniac. Le cylindre porte à chaque extrémité un fond en forme de calotte sphérique, coulé d'une seule pièce avec les enveloppes des soupapes c_1, c_2, c_3, c_4 . Le fond antérieur porte, en outre, le presse-étoupe. Les enveloppes des soupapes sont coniques et leurs axes horizontaux

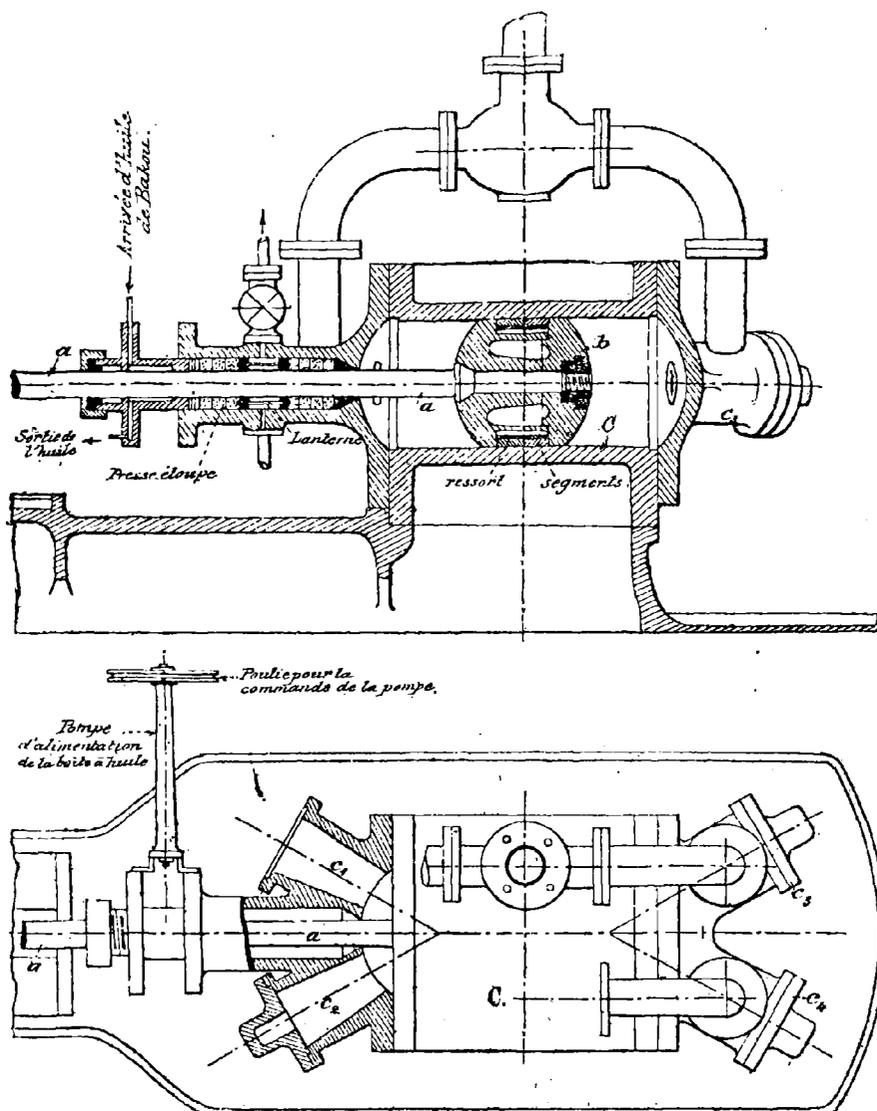


FIG. 21. — Compresseur de machine à ammoniac. Type Linde.

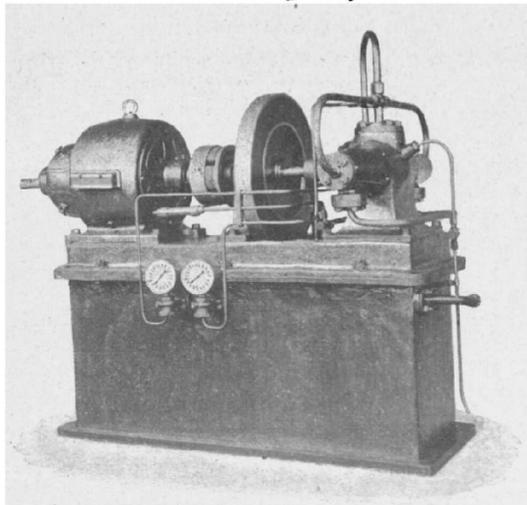
La figure supérieure représente la section longitudinale du compresseur; la figure inférieure en représente le plan.)

forment un angle de 30° à 50° avec l'axe du cylindre. C'est là un bon moyen pour appliquer les soupapes au fond du cylindre, tout en leur conservant une section d'échappement suffisante sans augmenter l'espace nuisible, et en réservant encore assez de place pour le presse-étoupe.

Beaucoup de compresseurs affectent cette forme qui est due à *Linde* et que l'on voit sur les figures 22 et 23 qui représentent le plus petit et le plus grand des compresseurs construits actuellement¹ par la *Société Linde* de Wiesbaden. Mais nous rencontrerons des types

1. La figure 22 est le plus petit modèle de machine frigorifique construit par la *Société Linde*; il comprend un compresseur à deux cylindres à simple effet de 40 millimètres de diamètre et de 70 millimètres de course; sa vitesse est de

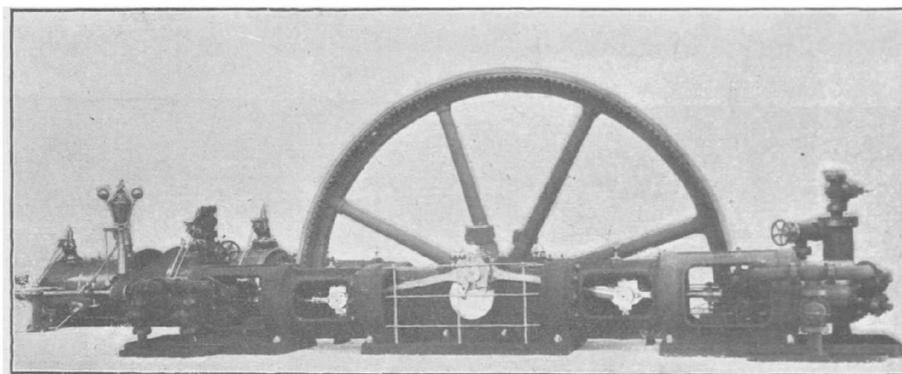
différents à fond plat et dans lesquels les soupapes sont soit logées dans le fond du cylindre [compresseur *Hercule* (fig. 26), compresseur *Frick* (fig. 25)], soit disposées latéralement sur les côtés [compresseur horizontal de *La Vergne* (fig. 32)], soit enfin logées à la



Cliché de la Société Linde.

FIG. 22. — Compresseur Linde (modèle le plus petit).
(Le compresseur est entraîné par un électromoteur.)

fois dans le fond et sur les côtés du cylindre [compresseur vertical de *La Vergne* (fig. 33), compresseur de *La Buffalo Refrigerating Machine Co* (fig. 27 et 28)]. Certains de ces compresseurs, comme le compresseur *Frick* (fig. 25), le compresseur *Sterne* (fig. 48), ont un fond mobile maintenu par un fort ressort qui résiste aux compressions habituelles; dans ces compresseurs, le piston peut, à chaque fond de course, venir toucher légèrement le fond du cylindre, ce qui permet de réduire l'espace nuisible au minimum. Enfin, dans le compresseur *Kitton* (fig. 24), la soupape d'aspiration est logée dans la soupape de refoulement qui forme le fond du cylindre. La soupape de refoulement est notée 9 avec ressort 15; la soupape d'aspiration est notée 17 avec ressort 18; l'aspiration se fait en 11, et le refoulement en 3. Une garniture flexible 19, en canevas et graphite, empêche les fuites entre l'aspiration et le refoulement par le guidage 8 de la soupape de refoulement 9.



Cliché de la Société Linde.

FIG. 23. — Machine frigorifique Linde. (Type le plus puissant construit en Europe.)
(Les deux compresseurs actionnés par une machine à vapeur sont visibles en avant de la figure).

Les compresseurs des machines à ammoniacque sont généralement en fonte, qui doit être choisie très dense, bien homogène et à grain fin; un bon fondeur est absolument nécessaire pour ces compresseurs.

D'après Stetefeld, pour les puissances frigorifiques les plus usuelles, allant jusqu'à

400 à 500 tours par minute, ce qui permet de l'entraîner directement au moyen d'un électromoteur; cette machine peut produire 1.000 frigories-heure ou 5 à 6 kilogrammes de glace à l'heure; elle demande un cheval effectif.

La figure 23 est le modèle le plus puissant construit en Europe par la *Société Linde*. Elle comprend deux compresseurs de 450 millimètres de diamètre et de 700 millimètres de course, marchant à 35 tours par minute. Chacun de ces compresseurs peut produire 330.000 frigories-heure et la puissance du moteur qui actionne ces deux compresseurs est d'environ 250 chevaux effectifs.

3. Dans le compresseur vertical de *La Vergne* (fig. 33) on a disposé des soupapes d'échappement dans le piston afin de permettre au fluide refoulé de s'échapper par les soupapes latérales inférieures lorsque la base inférieure du piston vient presque au contact de la base inférieure du cylindre.

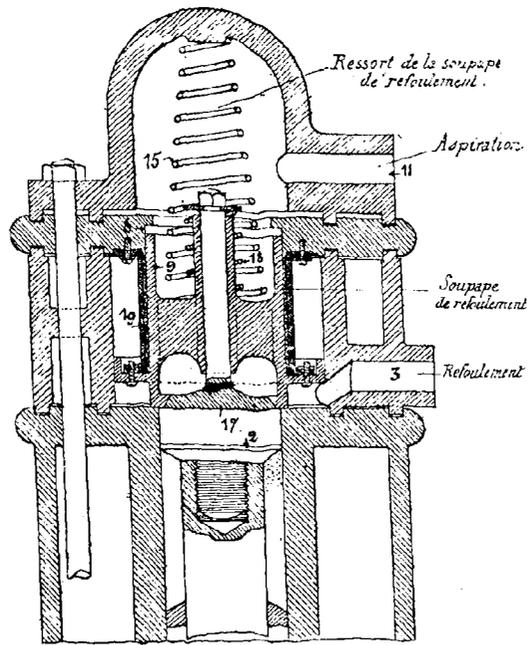


FIG. 24. — Compresseur Kitton. (La soupape d'aspiration 17 est logée dans la soupape de refoulement.)

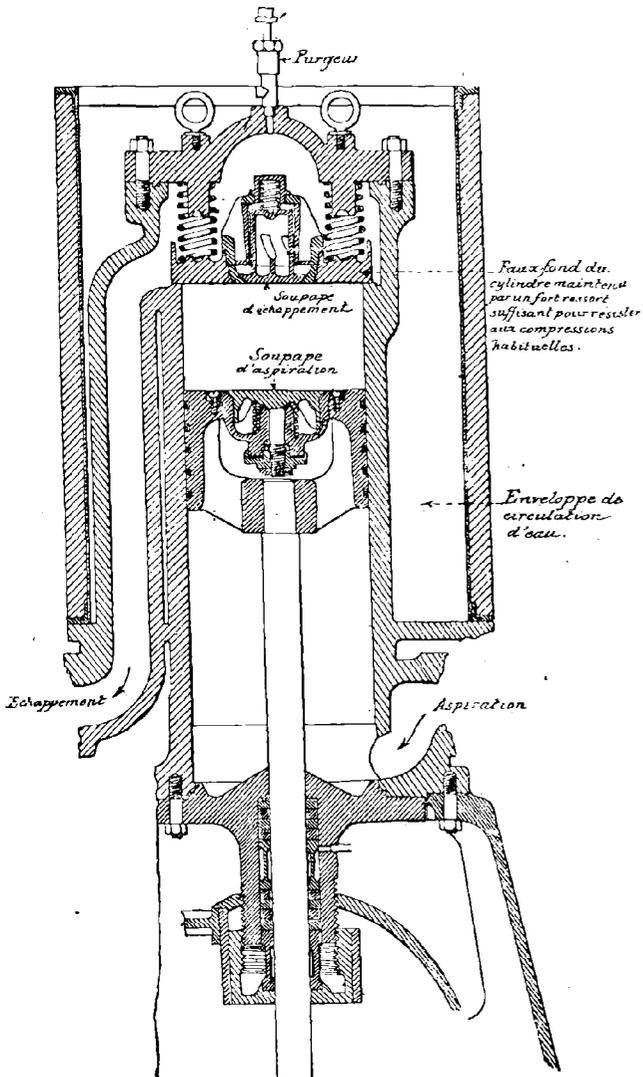


FIG. 25. — Compresseur à simple effet Frick (Waynesboro, Franklin C^e, Pennsylvanie, États-Unis). (Le fond du cylindre est mobile, et la soupape d'aspiration est dans le piston.)

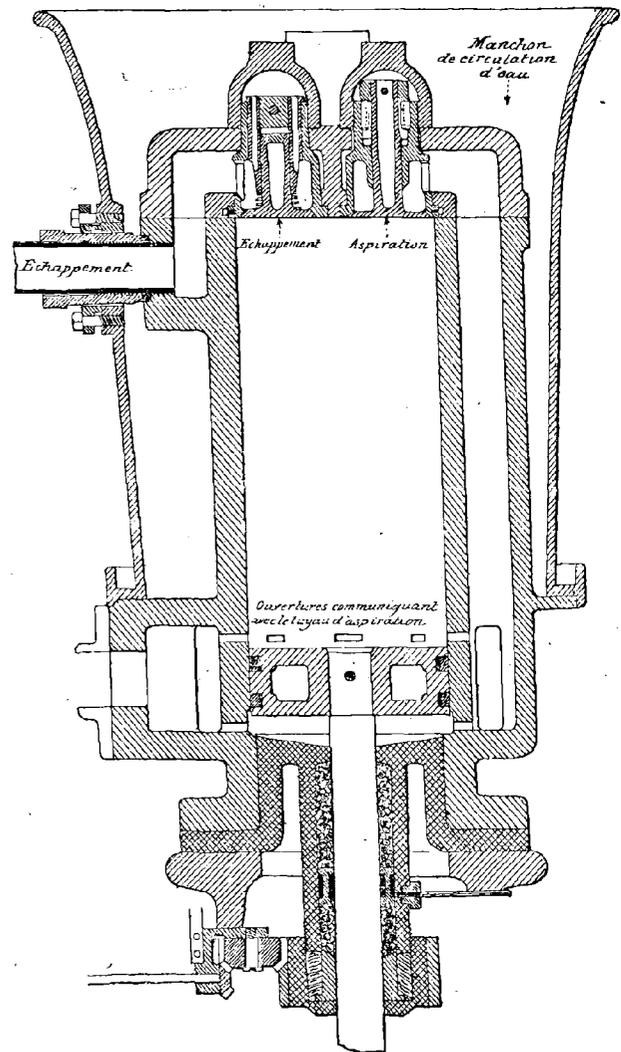


FIG. 26. — Compresseur à simple effet Hercules.

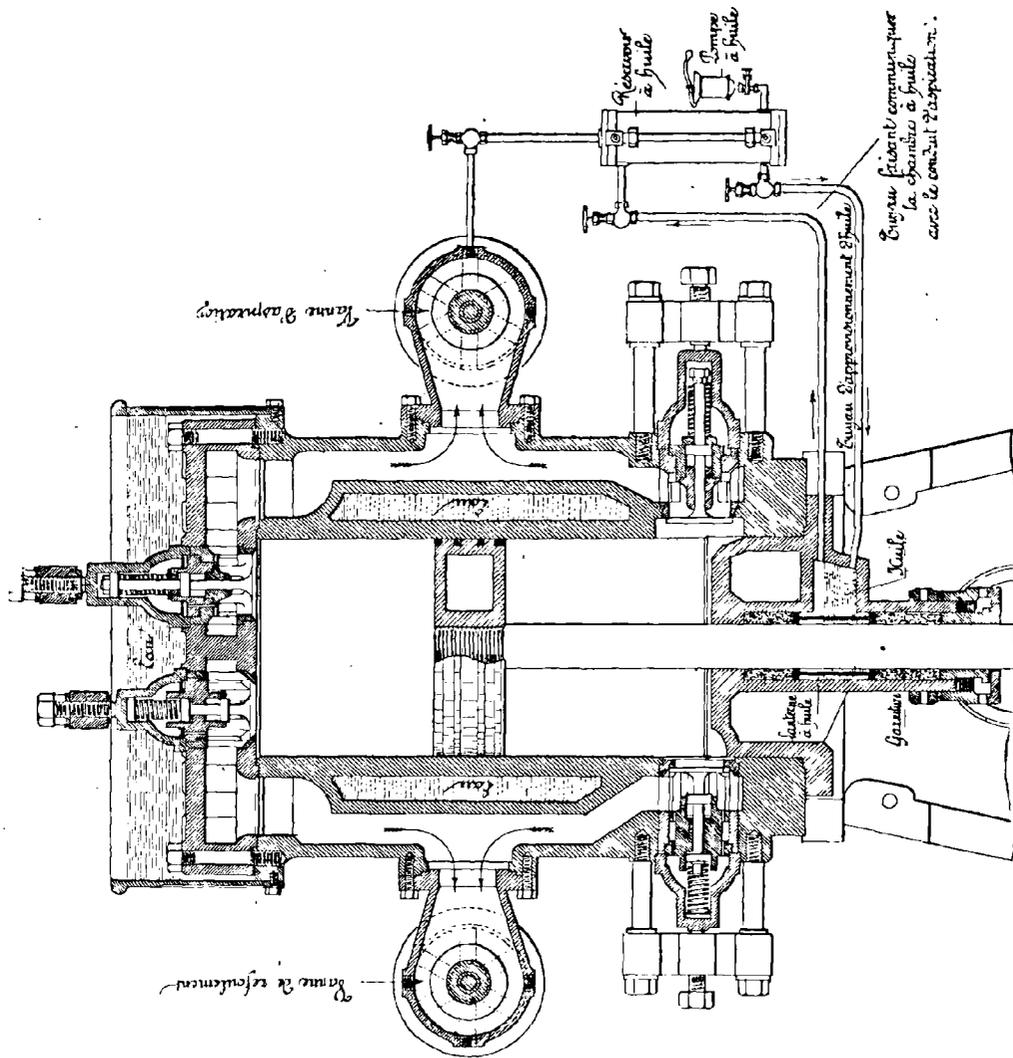


FIG. 28. — Compresseur de la Buffalo Refrigerating Machine C.
(Type de 150.000 frigories-heure et au-dessus.)

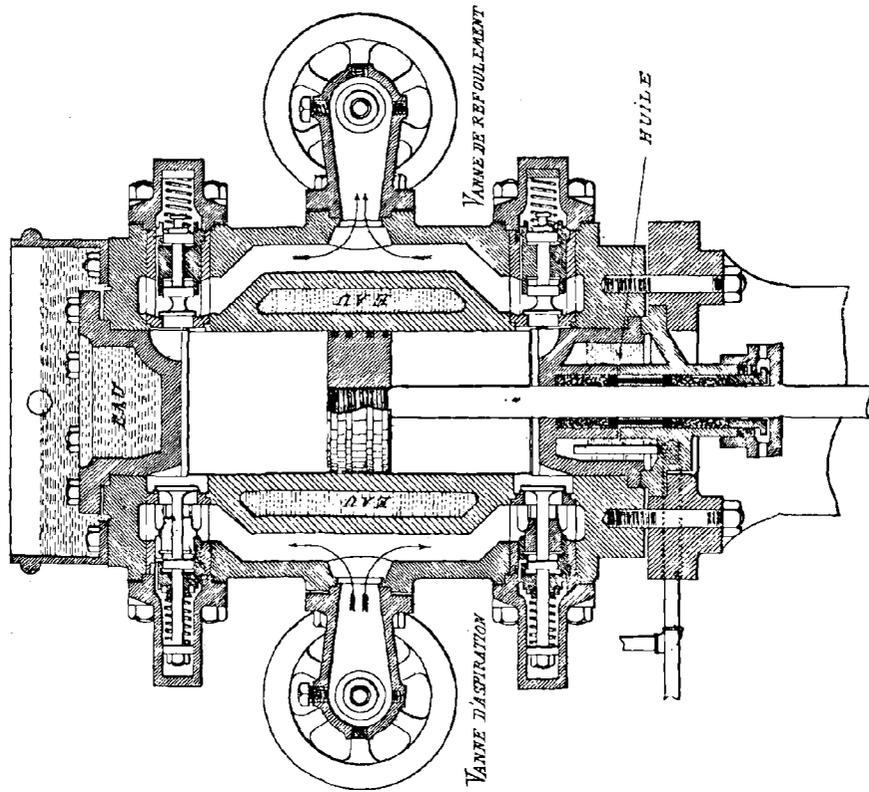


FIG. 27. — Compresseur de la Buffalo Refrigerating Machine C.
(Type depuis 18.000 jusqu'à 150.000 frigories-heure.)

150.000 frigories-heure, l'épaisseur des parois latérales du compresseur est donnée en général par la formule

$$\delta = \frac{D}{10} + 4 \text{ en millimètres,}$$

D étant le diamètre du cylindre en millimètres.

On peut prendre pour épaisseur des parois des fonds

$$\delta_1 = 1,25\delta \text{ en millimètres,}$$

et pour épaisseur des brides

$$\delta_2 = 1,5\delta \text{ en millimètres.}$$

Enfin les compresseurs doivent être essayés à des pressions de 14 à 18 kilogrammes par centimètre carré.

Dans certains compresseurs à ammoniac, on empêche la trop grande élévation de température des parois du cylindre et le grippage du piston en rafraîchissant ces parois soit au moyen d'un courant d'eau [compresseur Frick (fig. 25), compresseur Hercule (fig. 26), compresseur de La Buffalo Refrigerating Machine Co (fig. 27 et 28)], soit au moyen des vapeurs froides d'ammoniaque aspirées au réfrigérant [compresseur Pontifex (fig. 29)].

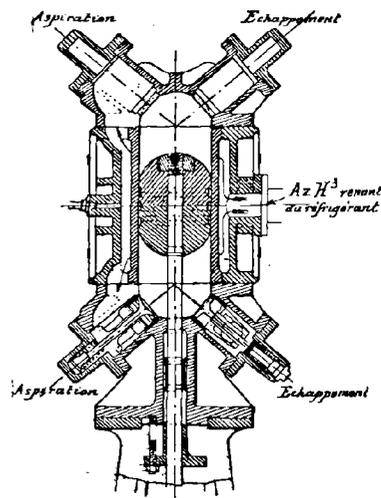


FIG. 29. — Compresseur Pontifex. (Le refroidissement du cylindre est effectué au moyen de vapeurs AzH³.)

3. Cylindres des compresseurs des machines à anhydride sulfureux. — Les cylindres des compresseurs de machines à anhydride sulfureux sont, à peu d'exceptions près, munis d'une enveloppe dans laquelle circule de l'eau de refroidissement. Cette eau absorbe une petite partie de la quantité de chaleur dégagée par la surchauffe; mais son principal but est de provoquer sur les parois refroidies du cylindre le dépôt d'une mince couche d'anhydride sulfureux liquide qui sert à la lubrification par ce corps lui-même. Les vapeurs surchauffées d'anhydride sulfureux ne possèdent plus aucun pouvoir lubrifiant. Les compresseurs sans circulation d'eau froide ont besoin d'être lubrifiés avec de l'huile.

La construction du cylindre de tout compresseur à circulation d'eau, qu'il soit à AzH³ ou à SO², se fait par deux méthodes : ou bien le cylindre et son enveloppe sont venus de fonte ensemble; ou bien, l'enveloppe étant venue de fonte avec le pied de cylindre, le cylindre lui-même est introduit à l'intérieur, et le joint étanche est obtenu comme dans les cylindres à vapeur au moyen d'une âme formée d'un anneau de cuivre. Le premier dispositif est certainement le meilleur, bien qu'il ne faille pas se dissimuler qu'il demande au fondeur plus de travail et plus de soin.

D'après Stetefeld, on peut, dans le cas d'un compresseur à SO², prendre comme épaisseur des parois du cylindre

$$\delta = \frac{D}{12} + 3 \text{ en millimètres}$$

(D, diamètre du cylindre en millimètres), et pour épaisseur des parois de l'enveloppe

$$\delta' = \frac{3}{4} \delta \text{ millimètres.}$$

On peut prendre pour épaisseur des couvercles et des brides

$$\delta_1 = 1,25\delta \text{ millimètres,} \quad \delta_2 = 1,50\delta \text{ millimètres}$$

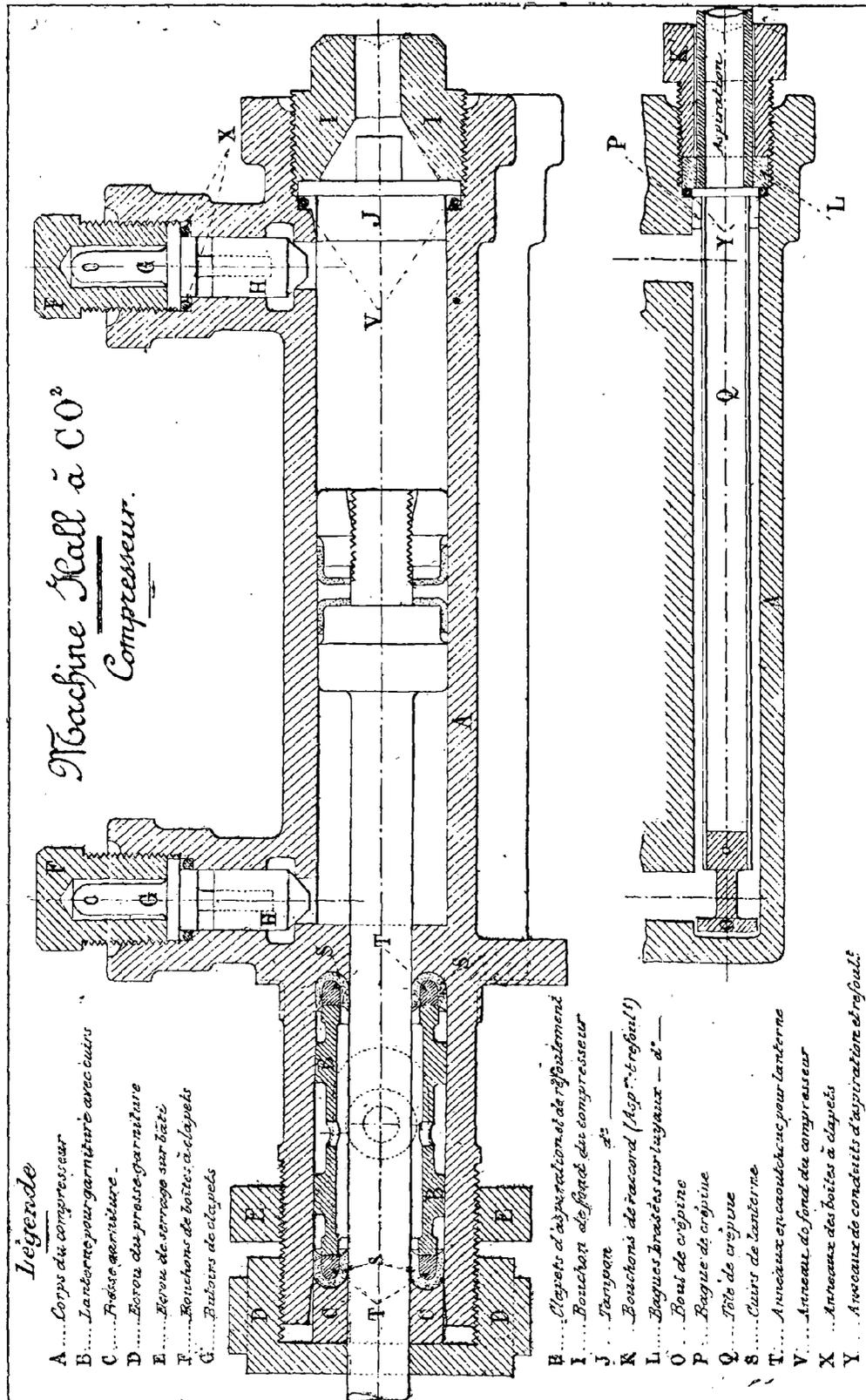


FIG. 30.

Toutefois, lorsque (ce qui est souvent le cas) les couvercles sont à double paroi avec circulation d'eau, on peut se contenter de prendre comme épaisseur des parois

$$\delta_1 = 1,2\delta \text{ à } \delta \text{ millimètres.}$$

Les brides portent des rainures circulaires pour l'étanchéité qui est obtenue par l'interposition d'anneaux de plomb.

La pression d'épreuve, pour le cylindre intérieur, est de 8 à 10 kilogrammes; elle est généralement faite avec de l'anhydride sulfureux; l'enveloppe de circulation est essayée avec de l'eau.

4. Cylindres des compresseurs des machines à anhydride carbonique. —

Le cylindre du compresseur des machines à anhydride carbonique exige les plus grands soins soit dans le choix des matériaux de construction, soit dans la construction elle-même. Il importe d'avoir du métal très résistant et sans soufflures. Pour les machines puissantes, le compresseur est foré dans un solide bloc d'acier forgé; pour les petites machines, on se sert de bronze. La pression d'épreuve doit être de 200 à 250 kilogrammes par centimètre carré; pendant cette opération, le cylindre du compresseur est plongé dans l'eau chaude; tout bloc qui donne naissance à des bulles doit être rejeté.

La figure 30 représente un tel cylindre de compresseur d'une machine *Hall* construit par les ateliers *Dyle et Bacalan* à Bordeaux¹.

Selon Stetefeld, l'épaisseur des parois est, suivant le diamètre du cylindre et la matière employée, comprise entre D et $0,5D$ (D , diamètre du cylindre),

$$\delta = D \text{ à } 0,5D.$$

D'après J.-C. Goosman², le diamètre intérieur D d'un cylindre de machine à CO_2 doit être environ le quart de la course du piston.

5. Pistons des compresseurs à AzH_3 et à SO_2 . — Diminution de l'espace nuisible. —

Le piston du compresseur d'une machine frigorifique doit s'appliquer aussi exactement que possible sur le fond du cylindre afin de réduire l'espace nuisible. Pour les machines à ammoniac et à anhydride sulfureux, il présente généralement la forme indiquée par la figure 31. Il se compose de deux pièces creuses en fonte, serrées l'une contre l'autre par un écrou noyé se vissant à l'extrémité de la tige. Ces deux pièces maintiennent les segments en fonte du cylindre et le ressort en acier sous-jacent : sur la figure 31, on voit les segments et le ressort. Chaque segment a généralement une épaisseur de 8 à 12 millimètres et une largeur de 30 à 50 millimètres; ces segments sont au nombre de deux. Le ressort en acier a une hauteur égale à la somme des hauteurs des deux segments : dans sa partie la plus forte, il a une épaisseur de 2 à 3 millimètres plus grande que celle des segments.

Dans certains compresseurs américains à fond plat, le piston présente ou bien la forme ordi-

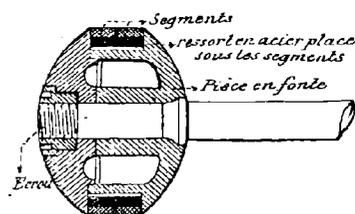
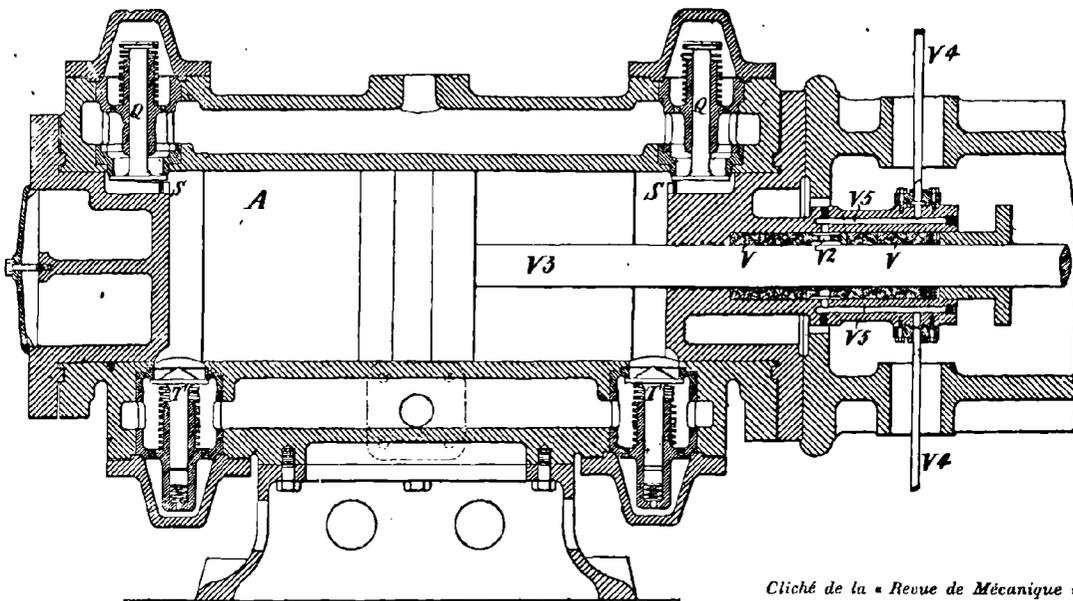


FIG. 31. — Piston de compresseurs à AzH_3 ou à SO_2 .

1. La figure 30 a été faite d'après les plans détaillés qui m'ont été communiqués par M. Lespès, directeur de l'Usine Dyle et Bacalan à Bordeaux : je suis heureux de l'occasion qui m'est offerte de remercier M. Lespès de l'amabilité avec laquelle il s'est mis à ma disposition pour me faire étudier en détail dans ses ateliers le montage et le fonctionnement d'une machine Hall.

2. J.-C. GOOSMAN, *The carbonic acid industry (Ice and Refrigeration)*, mars 1906, p. 93).

naire des pistons des machines à vapeur [compresseur *Hercule* (fig. 26), — compresseurs de la *Buffalo Refrigerating Machine Co* (fig. 27 et 28), — compresseur horizontal de *La Vergne* (type 1896) (fig. 32) et type actuel (fig. 69)], ou bien une seule face plane qui regarde le fond du cylindre [compresseur *Frick* (fig. 25)]. Dans le compresseur vertical de *La Vergne* (fig. 33), on se propose d'annuler l'espace nuisible en mettant une couche d'huile, d'une part, sur la face supérieure du piston (suppression de l'espace nuisible supérieur) et, d'autre part, sur le fond inférieur du cylindre (suppression de l'espace nuisible inférieur). Toutefois il convient de remarquer qu'on n'annule ainsi les espaces nuisibles que d'une manière en quelque sorte géométrique. En effet, cette huile absorbe de grandes quantités de gaz ammoniac pendant la compression; lorsque, au moment de l'aspiration suivante, il se produit



Cliché de la « Revue de Mécanique ».

FIG. 32. — Compresseur horizontal de *La Vergne* à double effet (type 1896).
A, cylindre du compresseur; — V₃, tige du piston; — TT, soupapes de refoulement; — QQ, soupapes d'aspiration à retenue S; — VV, stuffing-box à garniture d'amianté avec circulation d'huile V₁V₂V₃V₄.

une diminution de pression, l'huile qui avait absorbé du gaz sous pression le laisse dégager, ce qui retarde l'ouverture de la soupape d'aspiration, et par suite produit un effet comparable à celui du gaz restant dans l'espace nuisible d'un compresseur ordinaire. On essaie de remédier à cet inconvénient en produisant une circulation d'huile surabondante sans cesse renouvelée, de manière que cette huile n'absorbe pas une quantité de gaz ammoniac suffisante pour mousser pendant l'aspiration, et constituer par le dégagement ultérieur du gaz, d'une part un espace nuisible diminuant notablement le rendement du compresseur, et d'autre part une émulsion difficile à réduire. Mais les diagrammes pris sur des compresseurs de *La Vergne* montrent que, malgré cette circulation d'huile, on n'arrive pas à rendre égal à l'unité le rendement en volume de construction du compresseur.

6. Tiges de piston des compresseurs à SO². — Les tiges de piston des compresseurs à ammoniac ne diffèrent pas de celles des machines à vapeur. Dans les machines à anhydride sulfureux, il y a souvent une circulation d'eau dans le piston et la tige est creuse comme le montre la figure 34. La tête de piston étant mobile, les tuyaux d'arrivée et d'écoulement doivent participer à son mouvement : aussi se sert-on, en général, de tuyaux en

caoutchouc pour raccorder celle-ci avec les robinets de la tuyauterie, placés au-dessus de la glissière (fig. 34). Les compresseurs à SO_2 de la Société Gènevoise et de la Compagnie industrielle des procédés Raoul Pictet comportent cette circulation d'eau dans la tige du piston. Certains constructeurs reprochent à ce dispositif de rendre la tige fragile; aussi le suppriment-ils et

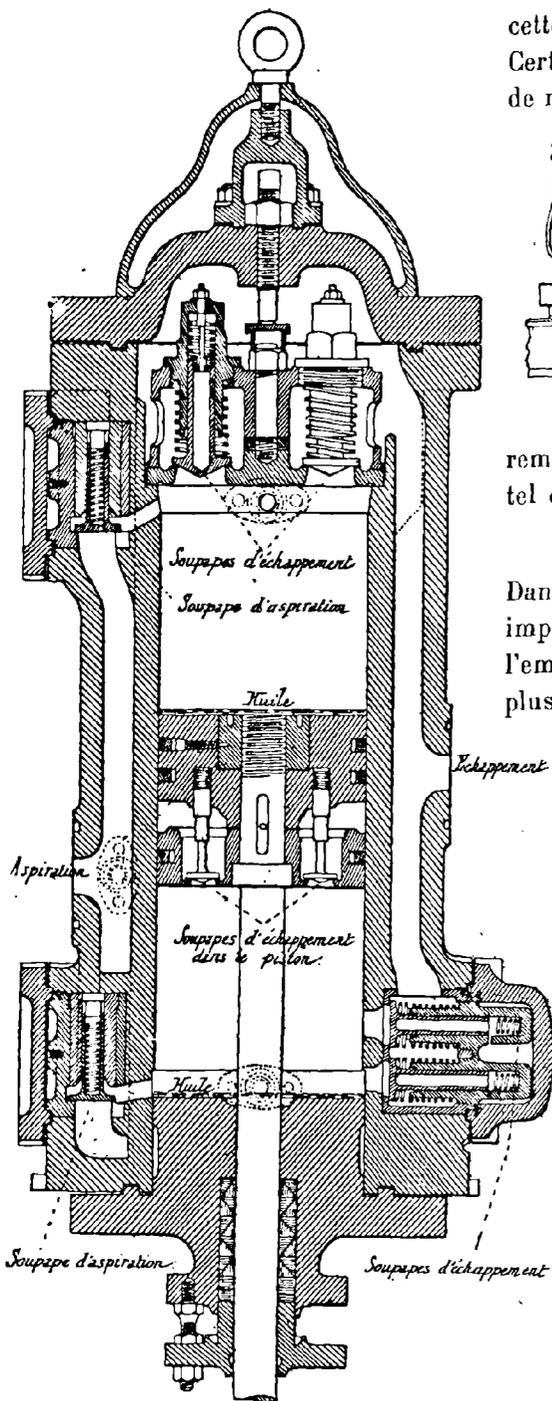


FIG. 33. — Compresseur vertical de La Vergne.

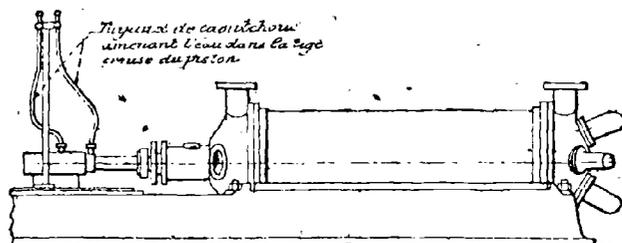


FIG. 34. — Schéma du cylindre d'un compresseur à SO_2 .

remplacent-ils la tige creuse par une tige pleine; tel est le cas des compresseurs *Delion et Lepeu*.

7. Pistons des compresseurs à CO_2 . —

Dans les machines à *anhydride carbonique*, il est impossible de réaliser l'étanchéité du piston par l'emploi de segments métalliques. Aussi a-t-on le plus souvent recours, ainsi que l'indique la figure 35,

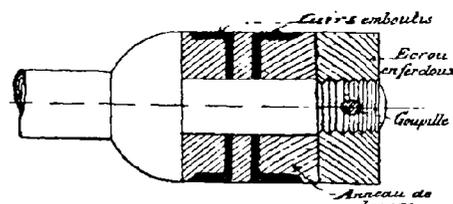


FIG. 35. — Piston d'une machine à CO_2 .

à une garniture formée de deux manchettes en cuir, agissant chacune dans une direction opposée. Ces deux manchettes sont prises entre des anneaux de bronze serrés eux-mêmes par un écrou en fer doux, assuré au moyen d'une goupille. Ces manchettes s'adaptent d'autant mieux aux parois du cylindre que les pressions des deux côtés du piston diffèrent davantage; en effet, dans ce cas, l'anhydride carbonique pénètre sous les manchettes et les applique fortement sur les parois du cylindre. Il est bon de construire le piston de telle manière que les parties en bronze s'adaptent exactement aux parois du cylindre, tandis qu'on laisse aux pièces en fer un jeu d'un demi-millimètre environ, de manière à ce qu'elles n'entrent pas en contact avec les parois.

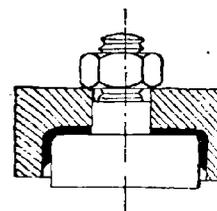


FIG. 36. — Appareil pour fabriquer les cuirs emboutis des pistons.

Il est bon de construire le piston de telle manière que les parties en bronze s'adaptent exactement aux parois du cylindre, tandis qu'on laisse aux pièces en fer un jeu d'un demi-millimètre environ, de manière à ce qu'elles n'entrent pas en contact avec les parois.

Les manchettes de piston, en cuir de bœuf, ont une épaisseur de 4 à 5 millimètres. On les fabrique à la main au moyen d'une presse à vis représentée sur la figure 36.

Enfin les pistons doivent être suffisamment longs; il est bon de donner au piston une longueur égale à deux fois ou deux fois et demie son diamètre.

Les manchettes en cuir ont naturellement une durée moindre que les segments métalliques; une garniture complète peut durer de trois à six mois. Il est très important d'éviter tout échauffement un peu considérable du compresseur, le cuir devenant collant entre 70 et 80° C.

8. Presse-étoupes des compresseurs à AzH³. — Presse-étoupes du type Linde : presse-étoupes Linde, Lebrun, Dubern, de la Buffalo Refrigerating Machine C^o. — Le *presse-étoupes* est la partie essentielle et en même temps la plus délicate du

compresseur. Non seulement il doit empêcher toute fuite du fluide frigorigène, mais encore il doit s'opposer à toute rentrée d'air dans le compresseur.

Linde, le premier, trouva une solution satisfaisante en intercalant entre les tresses d'étoupe une pièce métallique ayant la forme d'une lanterne (*fig. 37*); celle-ci laisse autour de la tige un évidement qui est mis en communication avec la conduite d'aspiration par deux orifices pratiqués dans le col du presse-étoupes. De cette façon, les vapeurs ammonia-

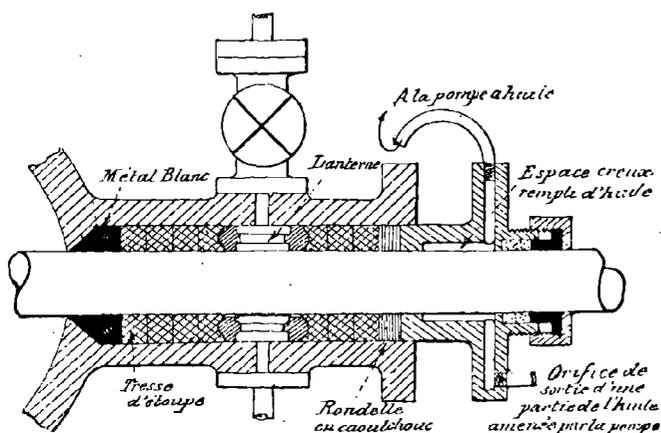


FIG. 37. — Presse-étoupes Linde.

cales qui traversent la partie postérieure du presse-étoupes reviennent au compresseur, et la partie antérieure de la garniture n'est plus soumise qu'à la pression du réfrigérant qui dépasse rarement 2 kilogrammes par centimètre carré.

L'anneau du fond est en métal blanc (*fig. 37*); la lunette, qui comprime légèrement les tresses par l'intermédiaire d'une rondelle en caoutchouc, possède un espace creux dans lequel circule constamment de l'huile minérale (huile de Bakou): l'alimentation de cet espace est faite par une petite pompe à huile (*fig. 38*) actionnée par la machine au moyen d'une poulie. Lorsque la tige du piston pénètre dans le compresseur, elle se recouvre d'une couche d'huile très mince en passant dans la chambre à huile précédente. A ce moment, le piston aspire du côté où se trouve la tige, qui est par conséquent entourée de vapeurs ammoniacales à une tension relativement faible. Quand le piston revient sur lui-même, il comprime ces vapeurs pour les amener à la pression du condenseur. Or, le pouvoir absorbant des liquides pour les

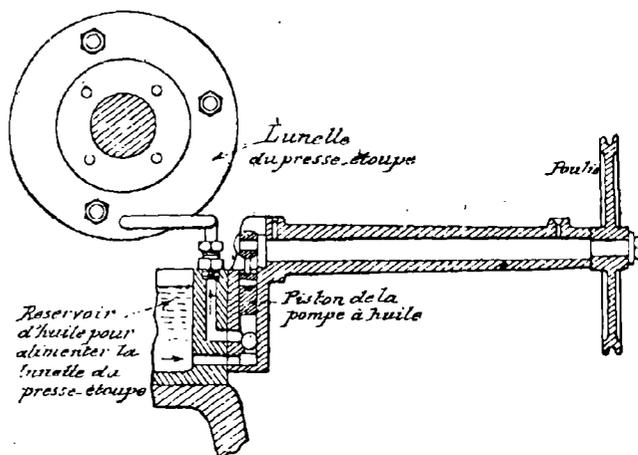


FIG. 38. — Pompe d'alimentation d'huile du presse-étoupes Linde.

gaz augmente avec la tension de ces derniers; il en résulte que la mince couche d'huile, qui adhère à la tige, absorbe pendant cette période de la compression une quantité de gaz ammoniac suffisante pour augmenter son volume dans des proportions telles qu'il reste un

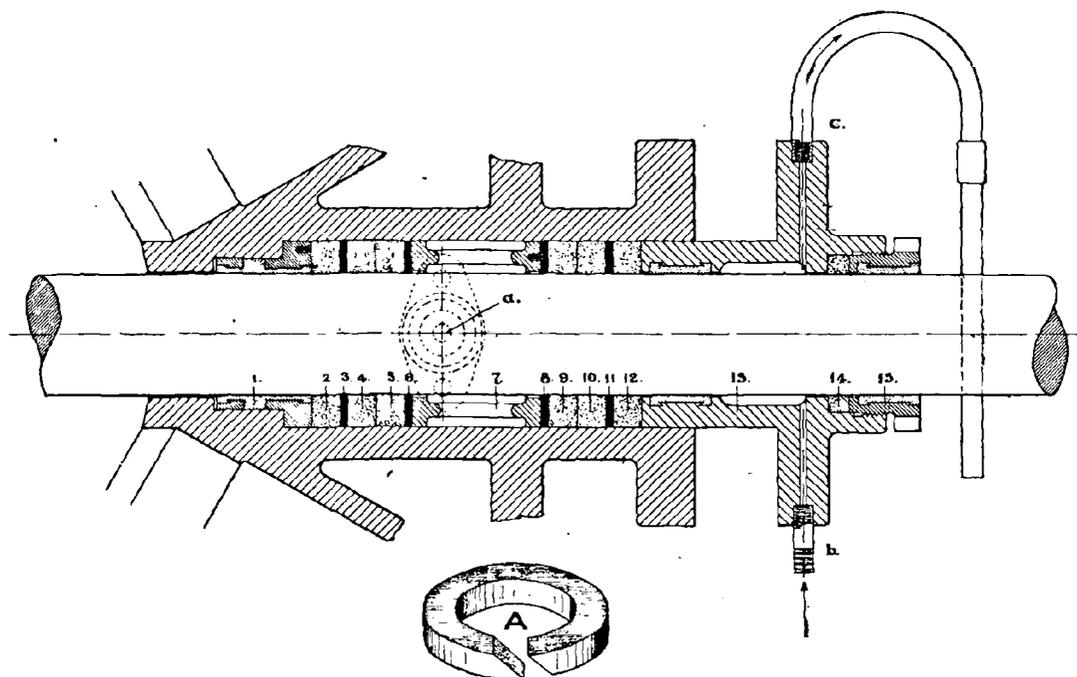


FIG. 39. — Presse-étoupes de The Linde Ice Machine, Fred. W. Wolf C°, Chicago.

peu de cette huile dans le cylindre. Grâce à ce phénomène qui se renouvelle à chaque tour de la machine, le graissage intérieur du compresseur est assuré d'une façon automatique. L'huile entraînée par les vapeurs qui se rendent au compresseur est retenue dans des appa-

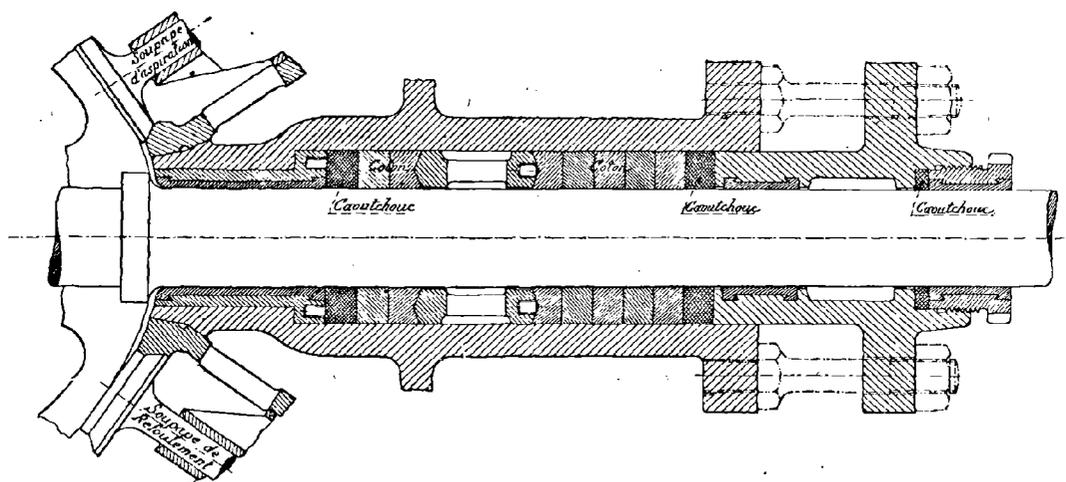


FIG. 40. — Presse-étoupes installé par la maison Lebrun sur quelques compresseurs à AzH³.

reils que nous étudierons plus loin, car sa présence dans les tubes du condenseur et du réfrigérant serait un obstacle à la transmission de la chaleur au travers de leurs parois.

La figure 39 représente les détails du stuffing-box d'une machine *Linde*, d'après le mode de construction usité aux États-Unis [The Linde Ice Machine, fred. W. Wolf C°, Chicago]. Les nombres 2, 4, 5, 9, 10, 12 et 14 marqués sur cette figure indiquent les anneaux de la

garniture du presse-étoupes. Ces anneaux sont en caoutchouc spécialement préparé; ils sont sectionnés comme l'indique le dessin A, qui représente l'un de ces anneaux. Les nombres 3, 6, 8, 11 indiquent des anneaux de métal faits en étain pur; ils ont pour but de maintenir la garniture des anneaux de caoutchouc; leur diamètre est supérieur d'environ 1,5 millimètre à celui de la tige, afin d'éviter les frottements susceptibles de rayer celle-ci.

La lanterne est représentée en 7; elle est alimentée d'huile par *a*; cette huile sous pression remplit toujours la lanterne et la petite quantité qui passe dans le cylindre par l'intermédiaire de la tige est immédiatement remplacée. La lunette du stuffing-box est figurée en 13 avec alimentation d'huile en *b* au moyen d'une pompe et sortie de l'excès d'huile en *c*.

L'écrou 15 qui termine le presse-étoupes doit être étanche pour empêcher les fuites de l'huile circulant dans la partie creuse de la lunette.

La figure 40 représente un presse-étoupes du type Linde installé parfois, par la maison *Lebrun de Nimy* (Belgique), sur quelques compresseurs à ammoniac.

A ce genre de presse-étoupes Linde se rattache immédiatement le presse-étoupes du compresseur *Dubern*¹. Ce stuffing-box (*fig. 41*) est à trois garnitures A, C, B; la garniture C est de section annulaire deux fois moindre que celle de A, de manière à être comprimée deux fois plus par le serrage même de A et sa pression sur la lanterne E. Celle-ci est en relation avec le réfrigérant 6 par l'intermédiaire d'une valve automatique 2 dont la pression est réglée par le ressort 3; un manomètre 4 indique

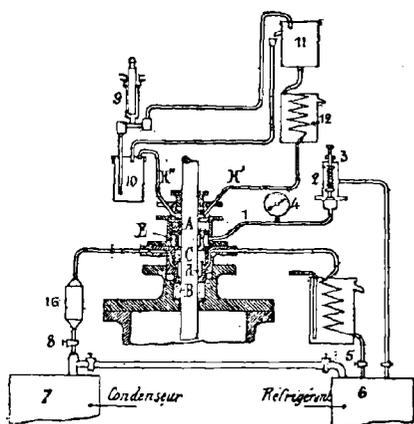


FIG. 41.
Presse-étoupes du compresseur Dubern.

la pression. On règle le ressort 3 de telle sorte que le serrage réduit de la garniture A suffit pour empêcher les fuites provenant de la lanterne. Entre B et C se trouve en *d* une circulation du fluide réfrigérant passant du condenseur 7 au réfrigérant 6 par les réglages 8 et 5 et le filtre 16, de manière à refroidir la tige du piston, comme dans les anciennes machines *Fixary*². La garniture A est graissée par une circulation d'huile H'H" alimentée par une pompe 9 qui fait passer l'huile du réservoir 10 à celui 11, avec réfrigération en 12.

Enfin, dans le presse-étoupes du compresseur de la *Buffalo Refrigerating Machine C*^o (*fig. 28*), on fait, comme dans la machine Linde, affluer de l'huile dans la lanterne mise en communication avec le conduit d'aspiration.

9. Presse-étoupes des compresseurs à AzH³. — Presse-étoupes Fixary. — Presse-étoupes de la Société française de constructions mécaniques. — *Fixary* a modifié le presse-étoupes Linde comme l'indique la figure 42. Le presse-étoupes en coton est remplacé par un presse-étoupes métallique. Le presse-étoupes en coton doit en effet être assez serré pour être étanche: il en résulte un frottement plus intense sur la tige du piston et un danger plus grand d'échauffement. En outre, le coton se durcit et fait des rayures sur la tige; il faut changer les garnitures tous les mois; enfin, si la tige chauffe, le coton se calcine et les rayures de cette tige ne font qu'augmenter.

Le presse-étoupes métallique de *Fixary* se compose d'une série de bagues en fonte et de bagues en métal antifriction ayant une section triangulaire et s'emboîtant les unes dans les

1. *Revue de Mécanique*, t. XVI, n° 3, 31 mars 1905, p. 277.

2. Cette circulation de fluide réfrigérant a été supprimée dans les nouvelles machines *Fixary*; elle est cependant conservée dans certains compresseurs tels que le compresseur *Humboldt*.

autres, comme le montre la figure 42. La bague du fond est en métal blanc. Dans la lanterne mise en communication par le tube *e* (fig. 43) avec la conduite d'aspiration, on fait affluer en *c* et *d* de l'huile. Enfin, la lunette comprime les bagues métalliques par l'intermédiaire d'une rondelle en caoutchouc.

Les machines Linde construites par la *Société française de constructions mécaniques* (anciens établissements *Cail*) sont munies d'un presse-étoupes de ce type. La lanterne est

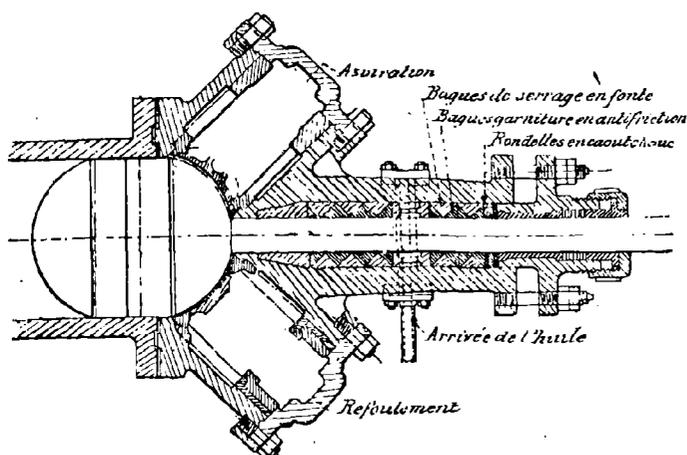


FIG. 42. — Presse-étoupes Fixary.

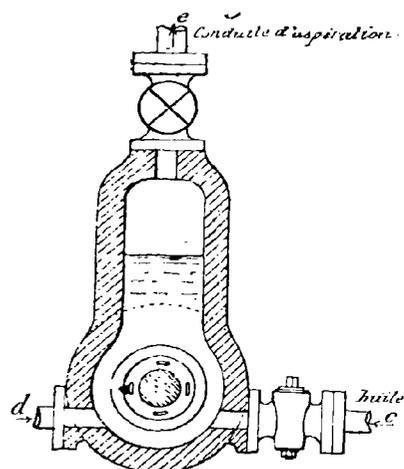


FIG. 43. — Circulation d'huile dans la lanterne du presse-étoupes Fixary.

remplacée par un fort ressort placé dans un espace libre en relation avec la conduite d'aspiration. La circulation d'huile au moyen d'une pompe est supprimée; en sortant du presse-étoupes, la tige du piston passe dans une boîte à huile servant de graisseur.

10. Presse-étoupes des compresseurs à AzH³. — Presse-étoupes Friese. —

Un autre système de presse-étoupes métallique est dû à un constructeur de Dortmund, *Friese* (fig. 44). Deux spirales de section triangulaire à arêtes émoussées se vissent l'une dans l'autre; celle qui est appliquée sur la tige est en métal blanc, l'autre est en acier. On la serre contre le col du presse-étoupes au moyen de la lunette. Cette dernière est creuse et reçoit l'huile d'un graisseur ordinaire; elle serre la garniture par l'intermédiaire d'une rondelle en caoutchouc.

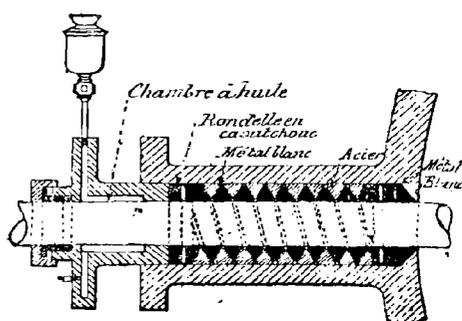


FIG. 44. — Presse-étoupes Friese.

Le compresseur des machines frigorifiques *Humboldt* est du type *Friese*; il est formé de deux garnitures métalliques *Friese* séparées par un ressort (au lieu de lanterne); une circulation de fluide réfrigérant refroidit la tige du piston.

11. Compresseur à AzH³ tandem compound de la Société Linde. — Le presse-étoupes est sur le compresseur à basse pression. — L'étanchéité de tous les presse-étoupes ne peut être durable que si la température ne s'élève pas trop pendant la compression. Sous les tropiques cette condition ne peut être réalisée par suite de la température élevée de l'eau de réfrigération du condenseur. On peut alors employer le système compound suivant breveté par la Société Linde et représenté sur la figure 45. A et B sont deux compresseurs à simple effet : A est un compresseur à basse pression; B, un compres-

seur à haute pression. L'intervalle D entre les deux pistons de A et de B est à la pression constante du réfrigérant. Le compresseur à basse pression A sur lequel se trouve le presse-étoupes aspire dans le réfrigérant et, par la chambre intermédiaire C, refoule les vapeurs aspirées dans le compresseur à haute pression B qui n'a pas de presse-étoupes. Ce compresseur aspire les vapeurs venant de A et les refoule au condenseur.

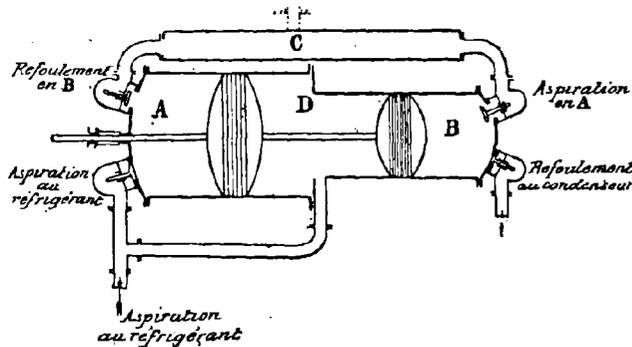


FIG. 45. — Compresseur compound à AzH³ Linde.

Cette idée de ne soumettre le presse-étoupes qu'à une pression réduite a été appliquée dans quelques compresseurs.

12. Suppression du presse-étoupes sur la tige du compresseur.

Compresseur à AzH³ Lebrun. — L'une des solutions les plus ingénieuses et qui a donné les meilleurs résultats est celle de M. Lebrun de Nimy (Belgique). Celui-ci a construit un compresseur dans lequel les tiges de piston ne sont pas en contact direct avec l'ammoniaque et où il n'y a qu'un seul presse-étoupes placé sur un arbre animé d'un mouvement rotatif; ce presse-étoupes n'a plus à s'opposer qu'à l'échappement de l'huile dans laquelle tourne cet arbre, huile qui n'est elle-même soumise qu'à la pression d'aspiration de la machine, soit 1 à 2 kilogrammes.

Dans ce compresseur, le piston est attaqué par son milieu. Pour cela, le compresseur à double effet a été transformé en deux corps de pompe A' et A'' (fig. 46) à simple effet dont les deux pistons opposés sont montés dans le prolongement l'un de l'autre et séparés par un récipient A formant bâti. Ce récipient est surmonté d'une cloche O. Les deux pistons sont réunis par leurs tiges à un cadre C dans lequel glissent dans le sens vertical les coussinets d'un arbre coudé. Cet arbre coudé, entraîné extérieurement au bâti A par des poulies ou par le moteur, traverse une boîte-garniture et commande le cadre et les pistons auxquels il donne un mouvement alternatif. Le récipient A et la cloche O qui le surmonte sont remplis d'huile jusqu'à la moitié de la hauteur de celle-ci; toutes les pièces frottantes sont donc constamment lubrifiées. L'huile qui peut passer par les fuites aux segments des pistons lors de

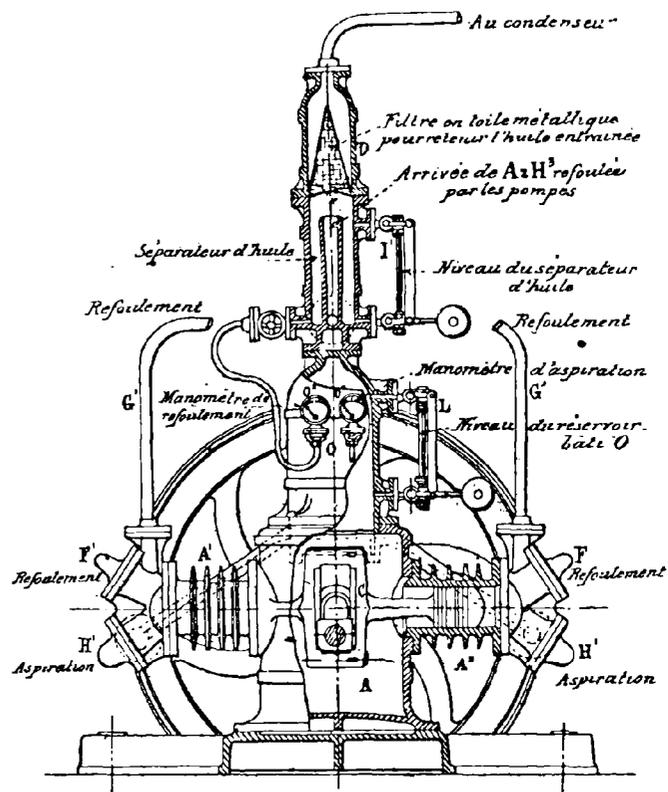


FIG. 46. — Compresseur Lebrun.

l'aspiration, remplit les espaces nuisibles. La cloche O communique par sa partie supérieure avec la tuyauterie d'aspiration des pompes, de telle sorte que l'ammoniaque qui a pu fuir aux pistons lors de la compression se trouve aspirée de suite et que la pression qui règne sur l'huile de la cloche, et par suite sur le presse-étoupes de l'arbre coudé, n'est jamais que celle de l'aspiration de la machine.

Le niveau de l'huile dans le réservoir-bâti O est donné par un indicateur d'une disposition particulière assurant la fermeture des robinets; cette disposition consiste en un contre-poids fixé à un des leviers des robinets du niveau, lequel est invariablement lié à l'autre par une petite bielle, ce qui donne la fermeture automatique, dès que le contre-poids est abandonné à lui-même.

Sur la partie supérieure du bâti-cloche du compresseur est fixé un récipient, ou *séparateur d'huile*, dans lequel arrive l'ammoniaque refoulée par les pompes. Son but est de permettre à la légère quantité d'huile entraînée par l'ammoniaque de se déposer. Un indicateur de niveau donne la quantité d'huile restée dans le séparateur; cette huile peut être renvoyée directement dans la cloche inférieure par un robinet-soupape spécial.

Avant de se rendre dans le condenseur, l'ammoniaque traverse un filtre en toile métal-

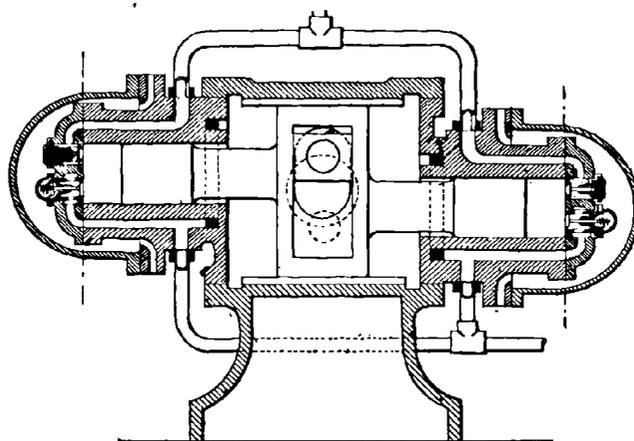


FIG. 47. — Section d'un compresseur Westinghouse.

lique placé dans la partie supérieure du séparateur, filtre qui sert à retenir les dernières parcelles d'huile entraînée.

Enfin, les corps de pompe portent extérieurement des ailettes qui, tout en leur donnant plus de solidité, ont pour but de les refroidir.

Il nous a été permis d'étudier de près le fonctionnement des compresseurs Lebrun. Nous avons constaté qu'ils ne laissent échapper aucune trace de gaz ammoniac. En particulier, nous avons vu des compresseurs Lebrun fonctionner soit dans des caves à renouvellement d'air difficile (machines du Frigorifère Sainte-Marie à Schaerbeck-Bruxelles), soit au milieu même d'un magasin (magasin d'épicerie fines, rue Neuve, à Bruxelles); nous n'avons pas constaté, dans ces deux cas, la moindre odeur ammoniacale provenant des fuites du compresseur.

Nous retrouvons ce dispositif, qui consiste à enfermer dans un carter plein d'huile en relation avec l'aspiration les pistons, bielles et manivelles du compresseur, dans les machines américaines de *Wood* et de *Grimm*¹, et dans le compresseur *Westinghouse* dont la section est représentée sur la figure 47.

1. G. RICHARD, *les Machines frigorifiques* (Revue de Mécanique, t. 1, 1897, p. 74 et 77).

13. Le presse-étoupes de la tige du piston du compresseur n'est soumis qu'à la pression du réfrigérant. — **Compresseur Sterne.** — Un autre dispositif

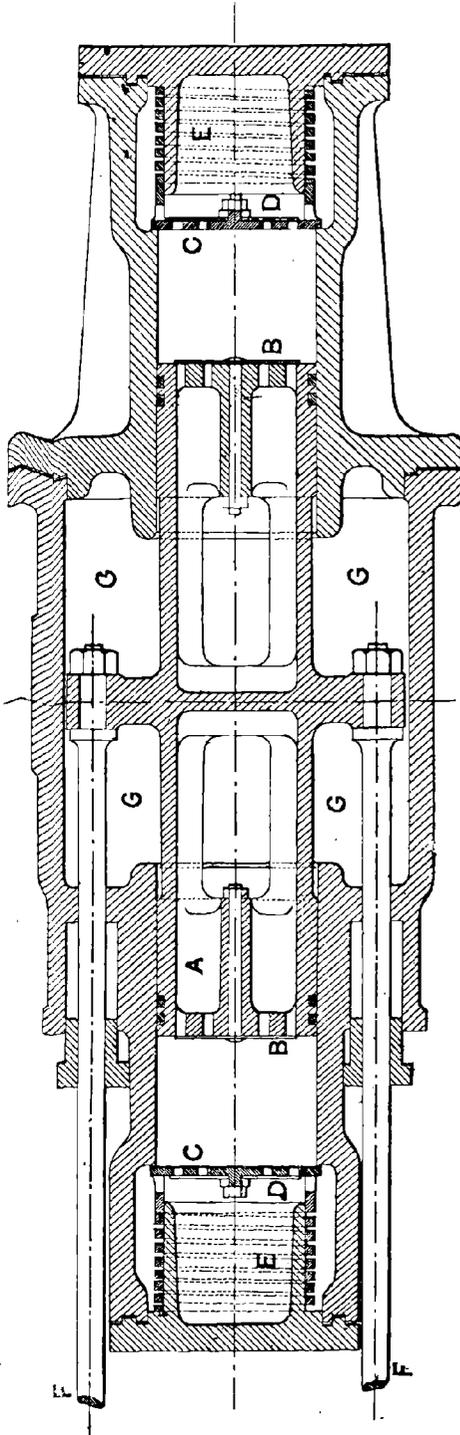


Fig. 48. — Compresseur Sterne.
A, Piston; — BB, Soupapes d'aspiration en forme de plaques; — CC, Fonds de cylindre mobiles; — DD, Soupapes de refoulement en forme de plaques;
EE, Ressorts en spirale pressant les fonds mobiles sur leurs sièges; — FF, Tiges de piston; — GG, Chambre d'aspiration dans laquelle arrive le fluide froid vaporisé.

dans lequel le presse-étoupes de la tige du piston du compresseur ne supporte que la pression du fluide au réfrigérant vient d'être breveté par la fabrique *Sterne* de Glasgow. La figure 48 représente une section d'un tel compresseur¹.

Deux cylindres à simple effet sont placés sur un même bâti en face l'un de l'autre et de manière que leurs axes soient dans le prolongement l'un de l'autre : dans ces deux cylindres se meut un piston A aux extrémités duquel se trouvent en BB les soupapes d'aspiration. Le piston A est creux et les vapeurs d'ammoniaque venant du réfrigérant arrivent d'abord dans la chambre GG disposée entre les deux cylindres, puis passent à l'intérieur du cylindre par les deux extrémités du piston. Le mouvement du piston est produit par deux tiges latérales FF dont, comme le montre la figure 48, les stuffing-box ne supportent que la pression des vapeurs contenues dans la chambre GG, c'est-à-dire la pression d'aspiration. Les soupapes de refoulement sont en DD, dans les fonds des cylindres CC; ces fonds sont, comme dans beaucoup de machines américaines, amovibles et sont maintenus en place au moyen des ressorts EE qui cèdent, lorsque la pression au refoulement devient trop considérable.

Nous retrouvons une commande du piston du compresseur analogue à celle du compresseur Sterne dans le compresseur de l'*Antarctic Compound Ammonia Machine*, dont la section est représentée sur la figure 49².

Le fluide vaporisé venant du réfrigérant arrive par le tuyau L dans la chambre A. Par suite du mouvement de bas en haut du piston représenté en CF, ce fluide aspiré par la soupape F pénètre à l'intérieur du cylindre B, dit cylindre à basse pression; des trous Q découverts par le piston C à la fin de sa course permettent de compenser la dépression due à

la résistance éprouvée par le fluide traversant la soupape F. Lorsque le piston redescend,

1. Schnelllaufender Ammoniak-Compressor (*Eis und Kälte-Industrie*, Bd. VII, n° 8, 20 octobre 1905); *Revue de Mécanique*, t. XVIII, n° 3, 31 mars 1906, p. 269.

2. NORMAN SELFE, *Machinery for Refrigeration*, p. 161, H. S. Rich, Chicago, 1900.

les vapeurs comprimées traversent la soupape G, passent dans le conduit H ménagé dans le piston, soulèvent la soupape J et sortent dans le corps de pompe supérieur D dit cylindre à haute pression. Enfin, lorsque le piston remonte à nouveau, ces vapeurs comprimées dans le cylindre D soulèvent la soupape K et vont au condenseur par le conduit M.

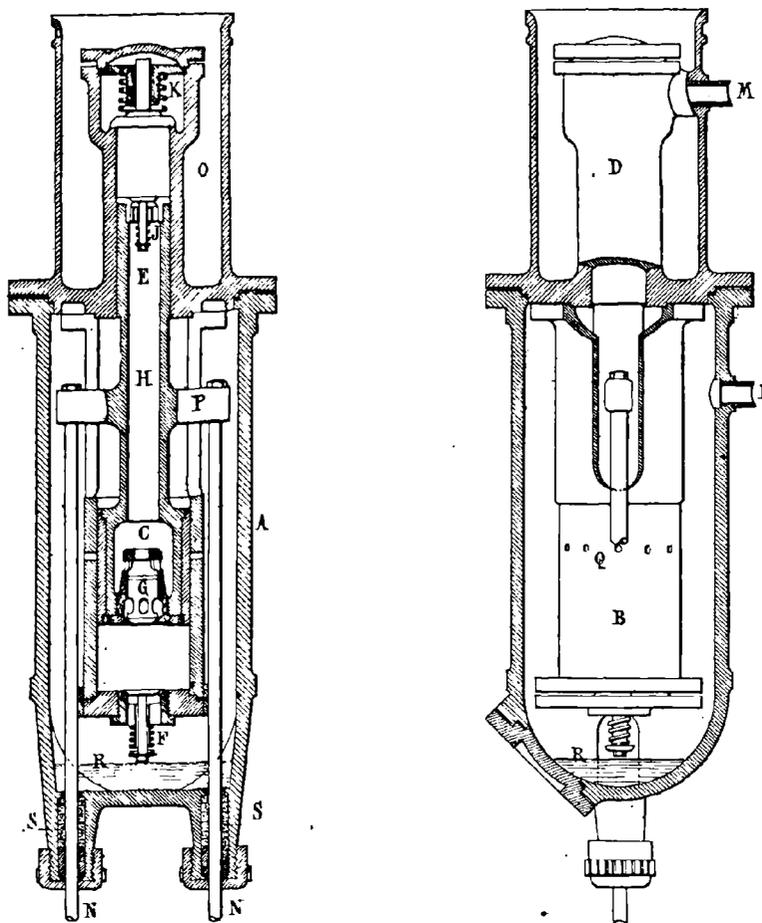


FIG. 49. — Section d'un compresseur compound à ammoniaque Antartic.

A, Chambre d'arrivée par L du fluide froid vaporisé; — B, Cylindre à basse pression; — C, Piston du cylindre à basse pression; — D, Cylindre à haute pression; — E, Piston du cylindre à haute pression; — F, Soupape d'entrée du fluide à basse pression; — G, Soupape d'évacuation du fluide à basse pression; — H, Conduit faisant communiquer le cylindre HP avec le cylindre BP; — J, Soupape d'entrée du fluide à haute pression; — K, Soupape d'évacuation du fluide à haute pression; — L, Arrivée du fluide venant du réfrigérant; — M, Évacuation du fluide au condenseur; — NN, Tiges de piston; — O, Manchon d'eau froide pour le cylindre à haute pression; — Q, Ouvertures faisant communiquer le cylindre à basse pression avec le réfrigérant; — R, Huile injectée au moyen d'une petite pompe; — S, Stuffing-box.

Comme on le voit, ce compresseur compound tient à la fois du compresseur compound Linde (fig. 45) et du compresseur Sterne.

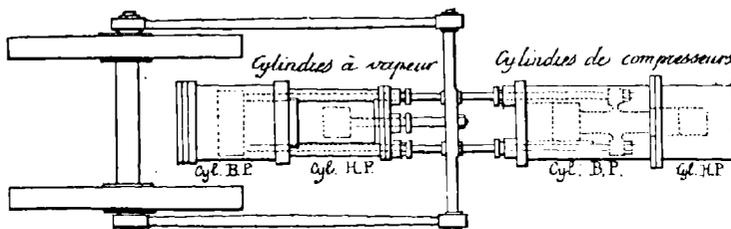


FIG. 50. — Commande d'un compresseur compound Antartic.

La figure 50 représente la commande de ce compresseur au moyen d'une machine à vapeur.

14. Presse-étoupes des compresseurs à SO_2 . — Presse-étoupes Pictet. —

Le presse-étoupes de certaines machines à anhydride sulfureux est du type général des presse-étoupes des machines à ammoniac. La figure 51 représente un de ces dispositifs.

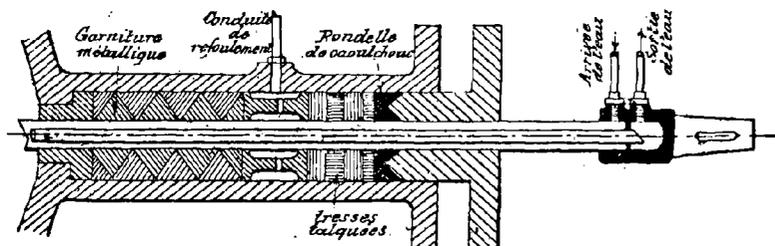


FIG. 51. — Schéma d'un presse-étoupes de compresseur à SO_2 .

On y voit le mode d'assemblage de la tête du piston et de la tige creuse, ainsi que la disposition pour la circulation d'eau. Le presse-étoupes possède une lanterne à gaine d'huile reliée à la conduite de refoulement; en effet, dès que la température tombe un peu bas, la pression à l'aspiration est inférieure à la pression atmosphérique, et l'air peut pénétrer dans la machine, si on ne prend pas la précaution que nous venons d'indiquer. La garniture intérieure du presse-étoupes est élastique, formée de rondelles métalliques; la garniture extérieure se compose de tresses talquées comprimées par la lunette au moyen d'une rondelle de caoutchouc.

Le presse-étoupes Pictet (fig. 52) diffère totalement du précédent; il est particulièrement simple, tout en étant parfaitement étanche. Il ne présente pas de lanterne à huile et se compose uniquement de bagues f de 10 à 12 millimètres d'épaisseur en matière plastique spéciale trempée dans de la paraffine pas trop chaude. Ces bagues sont coupées obliquement de façon à pouvoir embrasser la tige du piston. Elles doivent entrer juste dans le presse-étoupes et être bien serrées contre la boîte e et la tige d . Toutefois ce serrage effectué, comme le montre la figure 52, au moyen de la lunette a , de l'écrou b et du contre-écrou c , ne doit pas faire frein sur la tige du piston. La grande compressibilité de cette matière plastique permet d'en introduire dans la boîte du presse-étoupes une quantité représentant jusqu'à une fois et demie son volume. Au fur et à mesure de l'usure produite par le frottement de la tige du piston, la masse comprimée se détend d'elle-même. Le contact avec la surface métallique est conservé et maintient l'étanchéité jusqu'à ce que, à force d'usure, le degré de compression ne soit plus suffisant (ce qui ne se produit qu'après un temps très long de fonctionnement). Il suffit alors de serrer le presse-étoupes ou d'ajouter de nouvelles bagues de matière plastique. En général, chaque semaine, on change les premiers anneaux extérieurs contre des neufs.

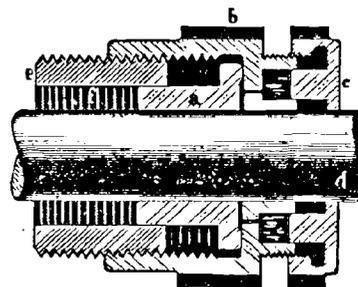


FIG. 52. — Presse étoupes Pictet.

15. Presse-étoupes des compresseurs à CO_2 . — Presse-étoupes Riedinger.

— En raison des pressions considérables qui se produisent à l'intérieur du compresseur, la construction du presse-étoupes des machines à anhydride carbonique présente de grosses difficultés; celles-ci sont d'ailleurs accrues par ce fait que la tige du piston a , par rapport au diamètre du cylindre, une section considérable. On n'a pu réaliser l'étanchéité parfaite qu'en adoptant une gaine de lubrifiant (en général de la glycérine), qu'on fait communiquer soit avec la conduite d'aspiration, comme dans le compresseur Riedinger, soit avec la conduite de refoulement, comme dans la machine Hall.

Nous allons décrire en détail quelques-uns de ces presse-étoupes : celui de la fabrique L.-A. Riedinger d'Augsbourg; celui de la machine Hall; celui de la machine américaine Braugnard.

La figure 53 représente le presse-étoupes de la fabrique *Riedinger*.

Les lettres B désignent des manchettes en cuir qui sont maintenues par des rondelles en caoutchouc A. Les manchettes en cuir B n'ont aucune élasticité propre, mais la glycérine du réservoir G, entraînée par la tige K, leur conserve leur souplesse, et les bagues en caoutchouc A les appliquent fortement sur la tige du piston. Cette dernière est en acier, tandis que les différentes parties du presse-étoupes, l'anneau de fond G, la lanterne L, l'anneau D sont en bronze. Pour empêcher la glycérine de s'écouler à l'extérieur, on place devant le réservoir G un presse-étoupes ordinaire, qu'on peut serrer au moyen d'un pas de vis et dont la garniture (en général en feutre) n'est soumise qu'à une pression insignifiante.

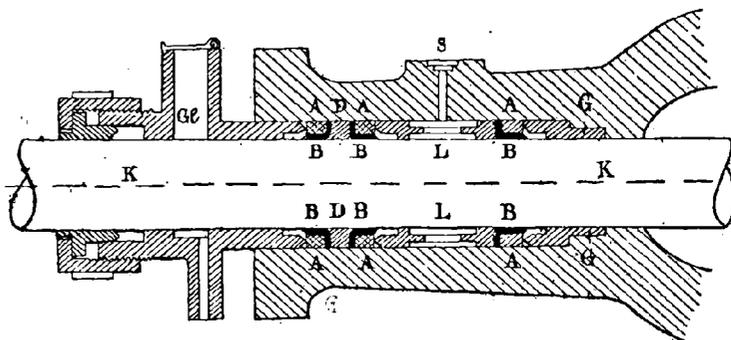


Fig. 53. — Presse-étoupes Riedinger (Compresseur à CO²).

Les différentes pièces du presse-étoupes doivent être travaillées de telle manière qu'elles glissent à frottement doux sur la tige du piston. *Le canal S réunit la gaine d'huile et l'aspiration.*

Il faut surtout s'assurer, au moment de la mise en marche, que la pièce qui porte le réservoir à glycérine n'est pas serrée trop à fond; on veillera particulièrement à ce que les trois écrous qui la maintiennent soient serrés exactement de même, pour éviter que la pièce ne se fausse pendant la marche.

Il est inutile de serrer fortement le presse-étoupes, parce que le caoutchouc imprégné d'anhydride carbonique se gonfle et exerce une pression considérable sur les cuirs emboutis. On peut toujours vérifier l'état du presse-étoupes en observant le réservoir à glycérine; il ne doit s'y dégager qu'une bulle de gaz de temps à autre; jamais le dégagement ne doit être assez violent pour faire mousser la glycérine.

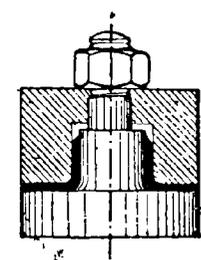


Fig. 54. Appareil à fabriquer les manchettes en cuir d'un presse-étoupes de compresseur à CO².

Les manchettes du presse-étoupes sont en cuir de bœuf et ont une épaisseur de 3 millimètres environ; on les fabrique à la main au moyen de la presse représentée sur la figure 54.

16. Presse-étoupes des compresseurs à CO². — Presse-étoupes Hall. —

La fabrique *J. et E. Hall* de Dartford (Angleterre), dont les machines à anhydride carbonique sont employées d'une manière prédominante sur les navires, arrête par une construction très originale les pertes d'anhydride carbonique au travers de la boîte à étoupes. Dans ce but, la machine présente sur le côté du presse-étoupes un petit cylindre muni d'un piston dont l'axe est parallèle à celui du cylindre du compresseur. Ce cylindre est représenté sur la figure 55. A gauche du piston, la tige débouche à travers le couvercle dans l'air; dans le cylindre sur la face gauche du piston se trouve de la glycérine qui, au moyen d'un tube C muni d'une soupape d'admission, est en relation avec la lanterne de la boîte à étoupes du compresseur. La face droite B du piston (*fig. 55*) est, au contraire, par le tube D, en relation avec le condenseur et supporte la pression qui s'exerce dans celui-ci. Soit S la section du

piston, et s la section de la tige : désignons par P la pression au condenseur, et par p la pression atmosphérique. L'ensemble formé par le piston et par sa tige est poussé de droite à gauche par une force égale à PS et de gauche à droite par une force ps ; le système est donc sollicité à se mouvoir de droite à gauche par une force $(PS - ps)$. Il en résulte que la glycérine qui baigne la face gauche A du piston est soumise le long d'une surface $(S - s)$ à la force $(PS - ps)$; la pression qu'elle supporte est donc égale à

$$\frac{PS - ps}{S - s} = \frac{P - p \frac{s}{S}}{1 - \frac{s}{S}}$$

Or cette pression est supérieure à la pression P d'une quantité

$$\frac{(P - p) \frac{s}{S}}{1 - \frac{s}{S}}$$

On voit qu'en choisissant convenablement le rapport $\frac{s}{S}$ la glycérine qui arrive dans la lanterne du presse-étoupes du compresseur peut être à une pression légèrement supérieure

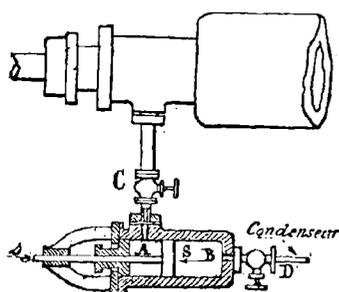


FIG. 55.
Schéma du presse-étoupes Hall
(Compresseur à CO_2).

à la pression P ou légèrement supérieure à la plus grande pression du fluide comprimé dans le compresseur. Il résulte immédiatement de là que de la glycérine peut bien passer dans le compresseur, mais que du gaz anhydride carbonique ne peut sortir de ce compresseur.

Pour bien fixer les idées, prenons des nombres.

Supposons que le cylindre auxiliaire ait un diamètre de 4 centimètres ou une section de $12,57$. Si la pression au condenseur est de 70 atmosphères, la face postérieure (côté B) du piston est poussée de droite à gauche par une force de $12,57 \times 70 = 879^{\text{kg}},9$.

L'arbre qui sort a un diamètre de 1,2 centimètre ou une section de $1,13$; sur sa surface s'exerce la pression de l'atmosphère; par suite, le piston est repoussé de gauche à droite par une force de $1^{\text{kg}},13$. La glycérine qui se trouve en A supporte l'excédent de force

$$879,9 - 1,1 = 878^{\text{kg}},8.$$

Cette force s'exerce sur une surface de glycérine égale à la surface du piston diminuée de la surface de la tige, c'est-à-dire sur une surface égale à

$$12,57 - 1,13 = 11,44.$$

La glycérine de l'espace A est donc à une pression de

$$\frac{878,8}{11,44} = 77 \text{ atmosphères.}$$

La glycérine contenue dans l'espace A est donc à une pression supérieure à celle qui existe dans le condenseur et, par suite, à la pression maximum qui se produit dans le compresseur. On voit dès lors que de la glycérine peut bien passer dans le compresseur où elle

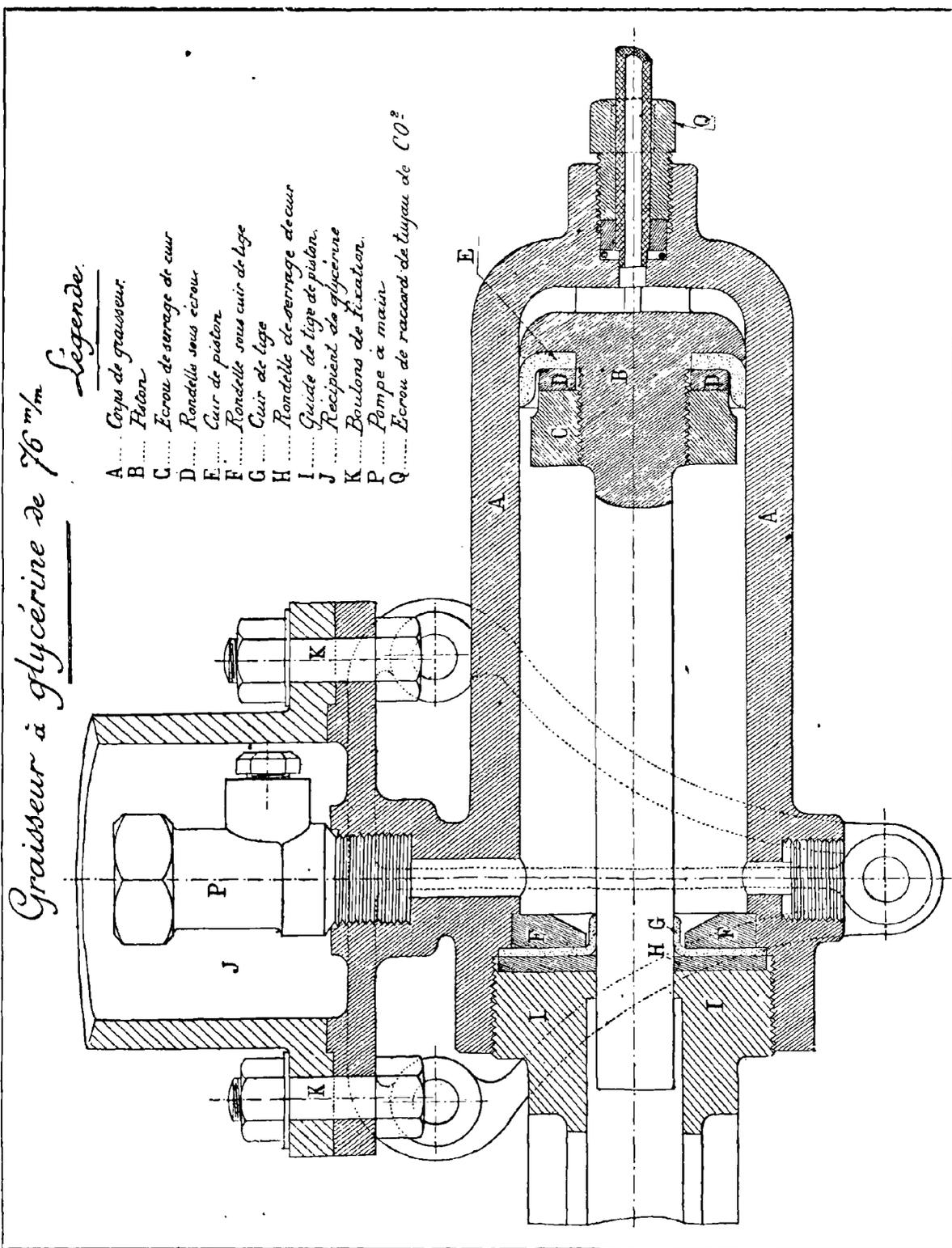


FIG. 56.

lubrifie le piston et diminue les espaces nuisibles; mais l'anhydride carbonique ne peut s'échapper du compresseur.

A mesure que la glycérine passe du cylindre auxiliaire dans le presse-étoupes (ou à

à mesure que la glycérine passe dans le compresseur au travers du presse-étoupes), le piston de la pompe auxiliaire se déplace vers la gauche. On le ramène à sa position primitive en injectant de la glycérine en A au moyen d'une pompe dont l'amorce est visible sur la figure 56 montrant les détails de l'appareil dont nous venons de parler. Quant au presse-étoupes du compresseur Hall, ses détails en sont très visibles sur la figure 30 dont la légende détaillée dispense de toute explication.

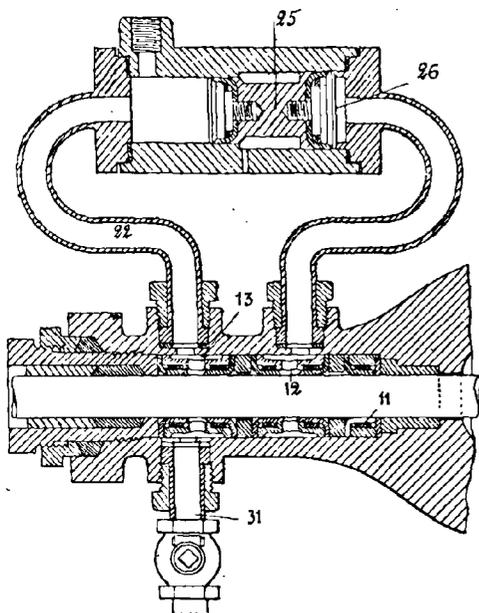


FIG. 57. — Presse-étoupes Braugnard (Compresseur à CO²).

17. Presse-étoupes des compresseurs à CO². — Presse-étoupes Braugnard.

Le compresseur à CO² Braugnard (Chicago) a une garniture à stuffing-box multiple, par cuirs emboutis avec (fig. 57) cercles de caoutchouc 11 et graissage en 31 par de la glycérine sous une pression supérieure à celle des fuites en 12. Pendant que le piston du compresseur se meut de droite à gauche, la pression augmente au compresseur ainsi qu'en 12

et 26, de sorte que le piston 25 recule vers la gauche, en refoulant par 22 de la glycérine en 13, jusqu'à ce que la pression de la glycérine en 13 et 22 ait augmenté assez pour équilibrer la pression du gaz en 26. La pression de la glycérine se règle donc automatiquement sur celle des fuites en 12 et les empêche de franchir le reste de la garniture.

18. Conditions que doivent remplir les soupapes des compresseurs. — Nous allons maintenant nous occuper des organes les plus importants d'une machine frigorifique, les *soupapes du compresseur*. On a employé, pour les soupapes, des types variés; on a fait un très grand nombre d'essais qui ont conduit à cette conclusion que la soupape la plus simple est celle qui fonctionne le mieux.

Les conditions d'établissement d'une bonne soupape sont les suivantes :

1° Il faut que la soupape offre au passage des vapeurs un orifice d'une section assez grande pour que sa levée soit aussi petite que possible; on réduit ainsi le laminage des vapeurs et on diminue, pour les soupapes de refoulement, la grandeur de l'espace nuisible;

2° Il faut que l'ouverture de la soupape arrive rapidement à sa valeur maximum et que la fermeture se produise également d'une manière rapide, aussitôt après le changement de course du piston;

3° Il faut que la soupape en reposant sur son siège produise une fermeture bien hermétique; la tige de la soupape doit donc passer dans un guide bien centré disposé dans l'enveloppe où se trouve le siège de la soupape.

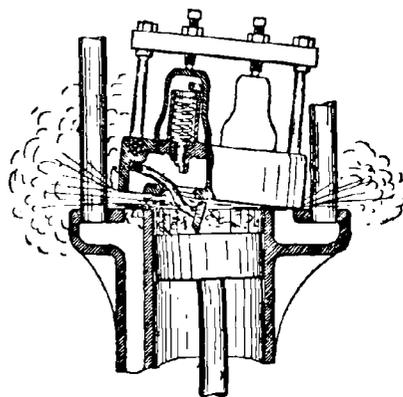


FIG. 58. Accident causé par la rupture d'une tige de soupape sans retenue.

4° Les soupapes doivent être facilement accessibles; on doit pouvoir les visiter pendant la marche du compresseur en démontant le plus petit nombre de pièces possible;

5° Les soupapes doivent être disposées de manière à ne pas, en cas de rupture de leur tige, tomber dans le cylindre, et y occasionner des accidents analogues à celui que représente la figure 58.

On n'éprouve pas de difficulté à satisfaire dans de larges limites à la première condition en employant des soupapes aussi grandes que possible. Mais, plus les soupapes sont grandes, plus leur poids est considérable, et plus il est difficile de satisfaire à la condition de leur ouverture et de leur fermeture rapides¹. Il convient donc, pour satisfaire aux deux premières conditions indiquées plus haut, d'employer pour les soupapes un métal aussi dur et aussi tenace que possible afin de réduire au minimum le poids du plateau et de la tige de la soupape.

Il convient, en outre, de munir la soupape d'un ressort convenablement choisi.

19. Formules empiriques pour le calcul des ressorts des soupapes d'un compresseur. — Le calcul direct des ressorts qu'il est nécessaire d'adjoindre à une soupape est fondé sur des hypothèses qui le rendent tout au plus bon pour un avant-projet. Nous n'exposerons pas ici ce calcul, mais nous indiquerons les formules empiriques qui, d'après Stetefeld², permettent de se rendre compte, comme première approximation, de la force des ressorts à employer dans chaque cas.

Lorsque la soupape d'aspiration est ouverte, la force qu'exerce sur elle le ressort (ou la charge du ressort égale à la force qu'exerce le courant de fluide sur la soupape) a pour expression

$$(6) \quad \text{Soupape d'aspiration} \quad P_1 = \frac{\pi}{4} d_a^2 \times \frac{9}{d_a + 0,03} \times \frac{u_a^2}{2g} \times \frac{1}{s(T_1)},$$

dans laquelle on exprime :

P_1 (charge du ressort) en kilogrammes;

d_a (diamètre de la soupape) en mètres;

u_a (vitesse réelle du courant de fluide au moment où la soupape est ouverte à son maximum) en mètres par seconde;

$$g \text{ (intensité de la pesanteur) } = 9,81 \frac{\text{mèt.}}{\text{sec.}^2};$$

$s(T_1)$ (volume spécifique de la vapeur saturée du fluide frigorigène à la température du réfrigérant) en $\frac{\text{mètre cube}}{\text{kilogramme}}$.

La vitesse u_a est certainement une fonction de la vitesse que possède le piston au moment où la soupape est ouverte à son maximum. On donne, par hypothèse, à cette fonction la forme suivante.

Soit v_a la vitesse moyenne d'écoulement du fluide au travers de la soupape d'aspiration; V_1 , la vitesse du piston au moment où la soupape d'admission est ouverte à son maximum; V_m , la vitesse moyenne du piston. La vitesse u_a est liée à la vitesse V_1 par une relation de la forme

$$(7) \quad u_a = V_1 \frac{v_a}{V_m}$$

1. D'après LEHNERT (*Moderne Kältetechnik*, p. 98), de grandes soupapes avec une levée égale au 1/4 de leur diamètre conviennent pour les compresseurs qui tournent lentement; mais pour les compresseurs à grande vitesse, il vaut mieux employer un grand nombre de soupapes petites et légères dont la levée ne dépasse pas quelques millimètres. Les compresseurs à CO₂ Börsig présentent ainsi d'un même côté du cylindre deux et même trois soupapes d'admission, deux et même trois soupapes d'évacuation; cette firme construit ainsi des compresseurs qui ont jusqu'à six soupapes d'admission et six soupapes d'échappement; tel est le compresseur de 200.000 frigories-heure installé à la *Hirschbrauerei Köln, A. G., Köln-Bayenthal*.

2. STETFELD, *Compendium der gesamten Kälte-Industrie*, p. 283 à 289.

Les courbes de la figure 59 donnent, d'après Stetefeld¹, les vitesses moyennes d'écoulement v_a du fluide à travers la soupape d'aspiration entièrement ouverte, vitesses observées avec les diverses machines frigorifiques. On voit que, pour les machines à ammoniacque,

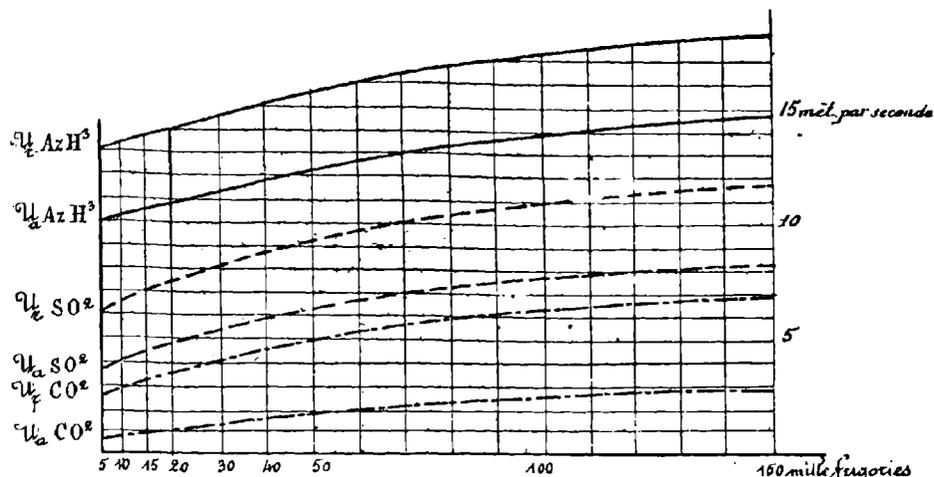


FIG. 59. — Vitesses moyennes d'écoulement du fluide frigorifique au travers des soupapes d'aspiration (v_a) et de refoulement (v_r) entièrement ouvertes (d'après Stetefeld, *Compendium der gesamten Kälte-Industrie*).

cette vitesse est comprise entre 10 et 15 mètres par seconde; entre 4 et 8 mètres pour les machines à anhydride sulfureux; entre 1 et 3 mètres pour les machines à anhydride carbonique².

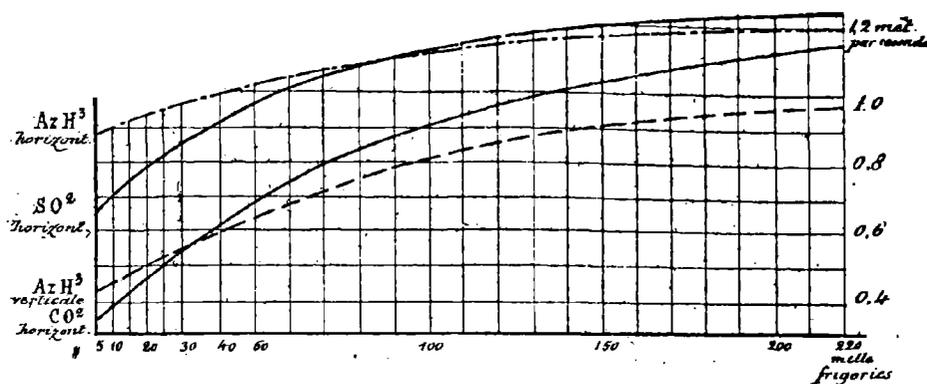


FIG. 60. — Vitesses moyennes V_m du piston (d'après Stetefeld, *Compendium der gesamten Kälte-Industrie*).

D'autre part, les courbes de la figure 60 donnent, d'après Stetefeld, les valeurs de la vitesse moyenne V_m .

Si, enfin, nous négligeons l'obliquité de la bielle, nous savons que la vitesse du piston est à chaque instant proportionnelle (coefficient de proportionnalité = ω , vitesse angulaire de

1. STETEFELD, *Compendium der gesamten Kälte-Industrie*, p. 247.

2. Pour une machine en marche industrielle on peut connaître les valeurs de v_a par la formule

$$\frac{\pi}{4} d_a^2 \times v_a = S \times V_m, \quad S, \text{ section du piston,}$$

qui exprime que le volume moyen balayé par le piston pendant un temps déterminé est égal au volume moyen de fluide qui traverse la soupape pendant le même temps.

Lehnert (*Moderne Kältetechnik*, p. 98) considère que les valeurs les plus convenables à donner à v_a et à v_r sont les suivantes :

	v_a	v_r
Compresseurs à AzH^3	10 $\frac{\text{mét.}}{\text{sec.}}$	15 $\frac{\text{mét.}}{\text{sec.}}$
— SO^2	5 —	22 —
— CO^2	1 —	8 —

la manivelle) aux ordonnées de la circonférence décrite sur la course du piston comme diamètre.

Sur la figure 61, qui représente un diagramme pris sur un compresseur du type de celui que l'on veut construire, une telle circonférence a été tracée; le diamètre de celle-ci est dans un rapport connu avec la longueur de la course du piston.

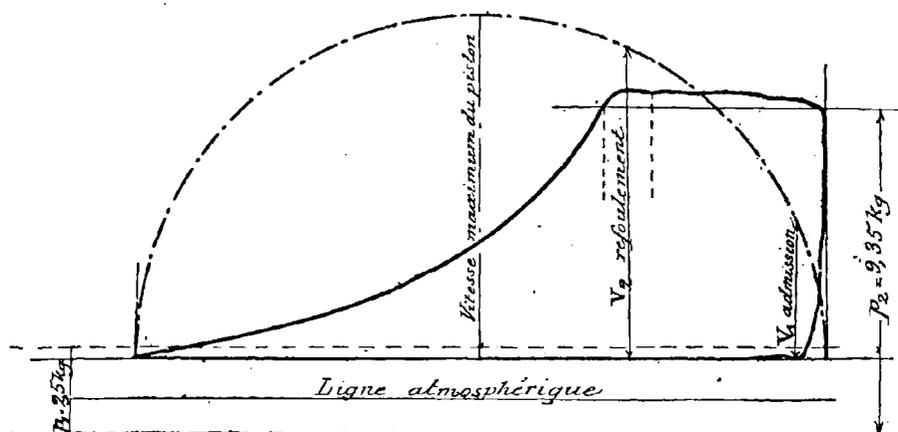


FIG. 61. — Détermination des vitesses V_1 et V_2 du piston au moment où les soupapes d'admission et de refoulement sont ouvertes à leur maximum.

Il est alors possible de tracer l'ordonnée, qui correspond sensiblement¹ au moment de l'ouverture complète de la soupape d'admission; le produit de cette ordonnée² par la vitesse angulaire $\omega = \frac{2\pi n}{60}$ (n , nombre de tours de l'axe par minute), donne la vitesse V_1 .

La formule (7) permet alors de connaître la vitesse u_a .

Lorsque la soupape de *refoulement* est ouverte, la force que le ressort exerce sur elle a pour expression :

$$(8) \quad \text{Soupape de refoulement} \quad P_2 = \frac{\pi}{4} d_r^2 \times \frac{0,8}{d_r + 0,03} \times \frac{u_r^2}{2g} \times \frac{1}{s(T_2)}$$

dans laquelle on exprime :

P_2 (charge du ressort) en kilogrammes;

u_r (vitesse réelle du courant de fluide au moment où la soupape est ouverte à son maximum) en mètres par seconde;

g (intensité de la pesanteur) = $9,81 \frac{\text{mèt.}}{\text{sec}^2}$;

$s(T_2)$ (volume spécifique de la vapeur saturée sèche du fluide frigorifique à la température de liquéfaction au condenseur) en $\frac{\text{mètre cube}}{\text{kilogr.}}$;

d_r (diamètre de la soupape) en mètres.

Si on appelle v_r la vitesse moyenne du courant fluide refoulé à travers l'orifice complètement ouvert de la soupape de refoulement; V_2 , la vitesse correspondante du piston; la vitesse u_r est donnée par la formule

$$(9) \quad u_r = V_2 \frac{v_r}{V_m}$$

1. Il est assez difficile de tracer l'ordonnée qui correspond juste à l'ouverture maximum de la soupape; mais dans les limites où l'on doit tracer une telle ligne les erreurs commises ne sont pas très considérables.

2. La longueur de cette ordonnée mesurée sur la figure doit être multipliée par le rapport de la longueur de la course du piston au diamètre de la circonférence tracée sur la figure.

dans laquelle les vitesses v_r et V_m sont données par les courbes des figures 59 et 60; V_2 est connu au moyen de l'ordonnée de la circonférence tracée sur la figure 61 qui correspond à l'ouverture maximum de la soupape de refoulement.

La charge moyenne du ressort pendant la durée du mouvement de la soupape est, d'après Stetefeld, donnée par la formule

$$(10) \quad P_m = 0,204 \frac{Gh}{t^2},$$

dans laquelle :

P_m est la charge cherchée en kilogrammes;

G , le poids de la soupape en kilogrammes;

h , la levée de la soupape en mètres;

t , le temps en secondes que met la soupape à s'ouvrir complètement ou à se fermer.

Le poids G en kilogrammes de la soupape est donné par la formule

$$(11) \quad G = 0,15 + 0,002d^3,$$

dans laquelle le diamètre de la soupape est exprimé en centimètres.

La hauteur h en centimètres de la levée de la soupape est donnée par les formules

$$(12) \quad \text{Soupape d'aspiration} \quad h_a = 0,33d_a \quad \left. \begin{array}{l} d_a \text{ et } d_r \text{ étant exprimés} \\ \text{en centimètres.} \end{array} \right\}$$

$$(13) \quad \text{Soupape de refoulement} \quad h_r = 0,28d_r \quad \left. \begin{array}{l} d_a \text{ et } d_r \text{ étant exprimés} \\ \text{en centimètres.} \end{array} \right\}$$

Le temps que met la soupape à s'ouvrir ou à se fermer est fourni par les relations

$$(14) \quad \text{Soupape d'aspiration} \quad t_a = \frac{2,80}{n} \text{ secondes} \quad \left. \begin{array}{l} n, \text{ nombre de tours} \\ \text{par minute.} \end{array} \right\}$$

$$(15) \quad \text{Soupape de refoulement} \quad t_r = \frac{1,65}{n} \text{ secondes} \quad \left. \begin{array}{l} n, \text{ nombre de tours} \\ \text{par minute.} \end{array} \right\}$$

Enfin la charge du ressort à *soupape fermée* ou la force exercée par ce ressort sur la soupape *fermée* est donnée par la relation

$$(16) \quad \left\{ \begin{array}{l} P'_1 = 2P_{m_1} - P_1 \quad \text{soupape d'aspiration,} \\ P'_2 = 2P_{m_2} - P_2 \quad \text{soupape de refoulement,} \end{array} \right.$$

P_{m_1} et P_{m_2} étant les charges moyennes des ressorts de la soupape d'aspiration et de la soupape de refoulement.

20. Exemple numérique de calcul des soupapes d'un compresseur. — Pour fixer les idées, donnons un exemple numérique des formules que nous venons d'indiquer.

Supposons qu'il s'agisse d'un compresseur à AzH³ horizontal devant produire 80.000 frigories-heure de puissance frigorifique utile en faisant 75 tours par minute.

Si on tient compte de la chaleur cédée par le milieu extérieur au réfrigérant, cette machine doit produire une puissance frigorifique donnée par la relation

$$x = 80000 + 0,125x,$$

$$x = \frac{80000}{1 - 0,125} = 91.500 \text{ frigories-heure.}$$

Puisqu'il s'agit d'une machine à AzH³, le piston doit pendant une heure balayer dans le compresseur un volume égal à

$$\frac{91500}{700} = 131 \text{ mètres cubes.}$$

Si on tient compte de toutes les circonstances de l'accroissement du volume du compresseur que nous avons développées plus haut, le volume véritablement balayé en une heure par le piston dans le compresseur sera égal à

$$131 \times 1,35 = 177 \text{ mètres cubes.}$$

Si on se reporte à la figure 60, on voit qu'une machine horizontale à AzH³ capable produire 90.000 frigories-heure a une vitesse moyenne linéaire de piston V_m égale à 1,1 mètre.

Si on prend 0,2 pour le rapport du diamètre de la tige du piston au diamètre de celui-ci, la section du cylindre du compresseur est, en mètres carrés,

$$S = \frac{177}{1800 \times 1,1 \times 1,96} = 0,046 \text{ mètre carré.}$$

Le compresseur faisant 75 tours par minute, la course du piston est

$$l = \frac{1,1 \times 30}{75} = 0,44 \text{ mètre.}$$

Les diamètres d_a et d_r des soupapes d'aspiration et de refoulement sont donnés par les formules

$$\frac{\pi}{4} d_a^2 \times v_a = S \times V_m,$$

$$\frac{\pi}{4} d_r^2 \times v_r = S \times V_m.$$

Sur la figure 59, on voit que $v_a = 13^m,7$ et $v_r = 17$ mètres.

Les équations précédentes donnent alors

$$d_a = 6^{\text{cm}},85 \text{ environ,} \quad d_r = 6^{\text{cm}},16 \text{ environ.}$$

Calculons maintenant les vitesses u_a et u_r du fluide au travers des soupapes d'aspiration et de refoulement au moment où celles-ci sont ouvertes à leur maximum.

Sur la figure 61 qui représente un diagramme pris sur le compresseur étudié, la course du piston 440 millimètres est représentée par une longueur de 98 millimètres. Les ordonnées qui correspondent, d'une part, à l'ouverture maximum de la soupape d'aspiration et, d'autre part, à l'ouverture maximum de la soupape de refoulement ont pour longueurs 19 millimètres et 45 millimètres. Les vitesses V_1 et V_2 du piston au moment de l'ouverture maximum des soupapes d'aspiration et de refoulement sont données par les relations

$$V_1 = \frac{2\pi n}{60} \times 0,44 \frac{21}{98} = \frac{2 \times 3,1416 \times 75}{60} \times 0,095 = 0^m,745,$$

$$V_2 = \frac{2\pi n}{60} \times 0,44 \frac{45}{98} = 1^m,57.$$

Les formules (7) et (9) donnent alors

$$u_a = 0,745 \frac{13,7}{1,1} = 9^m,30,$$

$$u_r = 1,57 \frac{17}{1,1} = 24^m,30.$$

Les formules (6) et (8) peuvent alors être calculées. On trouve

$$\text{(Soupape d'aspiration) } P_1 = \frac{3,1416}{4} \times 0,0685^2 \times \frac{9}{0,0685 + 0,03} \times \frac{9,30^2}{2 \times 9,81} \times \frac{1}{0,432} = 3^{\text{kg}},5,$$

$$\text{(Soupape de refoulement) } P_2 = \frac{3,1416}{4} \times 0,0616^2 \times \frac{0,8}{0,0616 + 0,03} \times \frac{24,3^2}{2 \times 9,81} \times \frac{1}{0,135} = 5^{\text{kg}},9.$$

Les poids des soupapes sont, d'après la formule (11),

$$\begin{aligned} \text{(Soupape d'aspiration)} \quad G_a &= 0,15 + 0,002 \times \overline{6,85^3} = 0^{\text{kg}},79, \\ \text{(Soupape de refoulement)} \quad G_r &= 0,15 + 0,002 \times \overline{6,16^3} = 0^{\text{kg}},62. \end{aligned}$$

Les levées des soupapes sont, d'après les formules (12) et (13),

$$\begin{aligned} \text{(Soupape d'aspiration)} \quad h_a &= 0,33 \times 6,85 = 2^{\text{cm}},26 \text{ environ,} \\ \text{(Soupape de refoulement)} \quad h_r &= 0,28 \times 6,16 = 1^{\text{cm}},73 \text{ environ.} \end{aligned}$$

Les temps que mettent les soupapes à s'ouvrir ou à se fermer sont, d'après les formules (14) et (15),

$$\begin{aligned} \text{(Soupape d'aspiration)} \quad t_a &= \frac{2,80}{75} = 0,0374 \text{ seconde environ,} \\ \text{(Soupape de refoulement)} \quad t_r &= \frac{1,65}{75} = 0,022 \text{ seconde environ.} \end{aligned}$$

Les charges moyennes des ressorts pendant la durée du mouvement de la soupape sont, d'après la formule (10),

$$\begin{aligned} \text{(Soupape d'aspiration)} \quad P_{m_1} &= 0,204 \frac{0,79 \times 0,0226}{0,0374^2} = 2^{\text{kg}},65, \\ \text{(Soupape de refoulement)} \quad P_{m_2} &= 0,204 \frac{0,62 \times 0,0173}{0,022^2} = 4^{\text{kg}},5. \end{aligned}$$

La force exercée par ce ressort sur la soupape fermée est, d'après les équations (16),

$$\begin{aligned} \text{(Soupape d'aspiration)} \quad P'_1 &= 2 \times 2,65 - 3,5 = 1^{\text{kg}},80, \\ \text{(Soupape de refoulement)} \quad P'_2 &= 2 \times 4,5 - 5,9 = 3^{\text{kg}},10. \end{aligned}$$

Les pressions exercées par les ressorts au repos sur les soupapes fermées sont

$$\begin{aligned} \text{(Soupape d'aspiration)} \quad \frac{P'_1}{\frac{\pi}{4} d_a^2} &= \frac{1,80}{\frac{3,1416}{4} \times 6,85^2} = 0^{\text{kg}},05 \text{ ou, à peu près, } \frac{1}{20} \text{ d'atmosphère,} \\ \text{(Soupape de refoulement)} \quad \frac{P'_2}{\frac{\pi}{4} d_r^2} &= \frac{3,10}{\frac{3,1416}{4} \times 6,16^2} = 0^{\text{kg}},1 \text{ ou, à peu près, } \frac{1}{10} \text{ d'atmosphère.} \end{aligned}$$

21. Autres formules empiriques relatives à la construction des ressorts cylindriques en fil rond. — Voici quelques autres formules empiriques qui sont importantes au point de vue de la construction des *ressorts cylindriques en fil rond*.

	Diamètre d'une spire	= 0,55
Soupape d'aspiration :	Plus petit diamètre de la soupape	= 0,075
	Diamètre du fil	= 1,5
	Diamètre d'une spire	= 0,50
	Longueur du ressort (la soupape étant fermée)	= 2
Soupape de refoulement :	Plus petit diamètre de la soupape	= 0,10
	Diamètre du fil	= 0,40
	Diamètre d'une spire	= 2
	Longueur du ressort (la soupape étant fermée)	= 0,4 × diamètre d'une spire (en millimètres).

Les formules empiriques que nous venons de donner peuvent servir à calculer les ressorts dans un avant-projet de machine frigorifique.

Dans la pratique, il convient de commander les ressorts de soupapes à des fabriques spéciales qui doivent donner des garanties sur les points suivants :

- 1° Longueur et tension du ressort, la soupape étant ouverte;
- 2° Longueur et tension du ressort, la soupape étant fermée;
- 3° Diamètre d'une spire;
- 4° Ressort fait en fil d'acier dur.

Les plateaux et les tiges des soupapes doivent être en acier au creuset de première qualité. Pour les sièges, on peut employer divers matériaux : de l'acier Martin pour les machines à ammoniaque, une fonte dure et à grain fin pour les machines à anhydride sulfureux, du bronze phosphoreux pour les machines à anhydride carbonique.

Voyons maintenant comment les conditions indiquées plus haut ont été réalisées dans divers types de machines frigorifiques.

22. Types de soupapes : soupapes Linde, Vilter, Pictet. — La figure 62 représente des soupapes de machines à ammoniaque du type *Linde*. Les soupapes à plateau sont

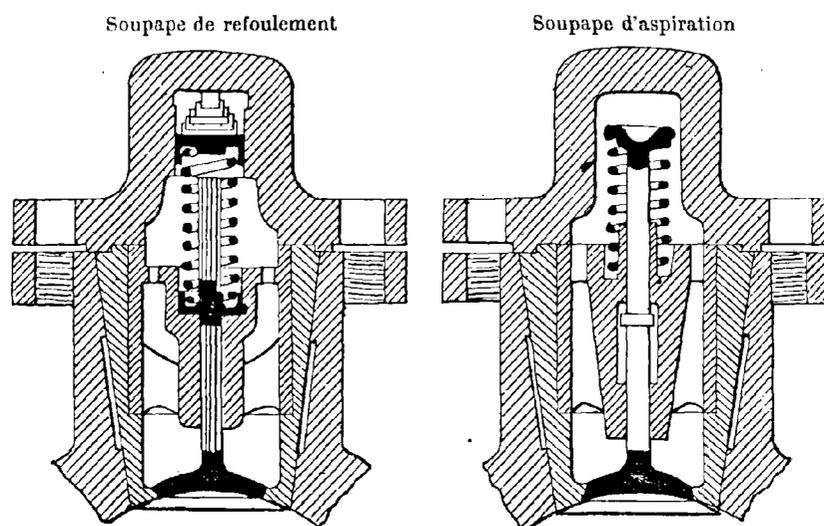


FIG. 62. — Soupapes Linde.

en acier et leur tige porte une butée pour le ressort. Les plateaux des soupapes ont, du côté de l'intérieur du cylindre, la forme sphérique de manière à diminuer l'espace nuisible.

Sur la figure 63 sont représentées d'autres soupapes de machines à AzH_3 ; ce sont des soupapes de machines américaines *Vilter*.

La figure 64 montre les soupapes d'aspiration et de refoulement des machines *Pictet* à anhydride sulfureux. Le corps du clapet est en acier; la tige est assez épaisse et le disque résistant. Le guidage est aussi long que le comporte la boîte à clapets qui protège tout leur mécanisme. Le ressort de l'aspiration est *faible*; la pression qu'il exerce au repos est au plus de $1/20$ d'atmosphère sur la surface du disque obturateur. 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. Le ressort du clapet de refoulement exerce, au minimum, une pression de $1/10$ d'atmosphère sur la section de sortie des gaz. La puissance de ce ressort atténuée les

mouvements brusques produits par le jeu de la pompe. Les boîtes à clapets d'aspiration, ainsi que celles de refoulement, sont reliées deux à deux par des tuyaux ou culottes qui portent des brides d'attente pour le tuyau qui relie le compresseur au réfrigérant du côté de l'aspi-

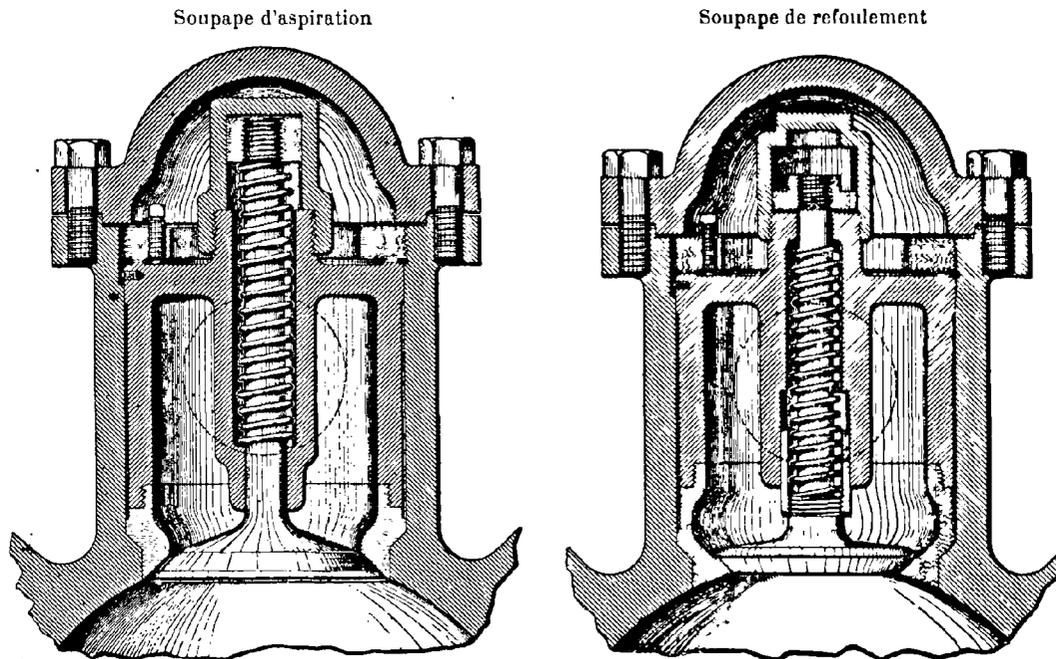


FIG. 63. — Soupapes Vilter.

ration et pour le tuyau qui relie le compresseur au condenseur du côté du refoulement. Sur ces deux culottes sont placés deux petits robinets qui servent au raccordement des manomètres indicateurs de la pression. En-dessous de

Soupape de refoulement Soupape d'aspiration

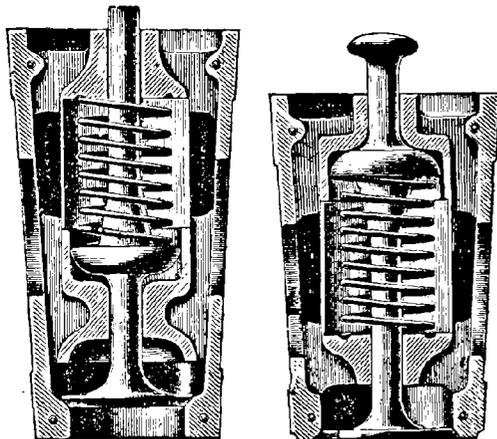


FIG. 64. — Soupapes Pictet.

ces culottes se trouvent deux petits robinets semblables. Celui qui est placé sous la culotte d'aspiration sert à faire rentrer l'air pendant les essais à l'air comprimé; celui qui est 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.

23. Comment on évite les ruptures de tige. — Freinage progressif.

— Pour éviter la chute de la soupape d'aspiration dans le cylindre, on munit le milieu de celle-ci d'un taquet qui se meut dans une partie élargie du guide (Voir fig. 62). Dans les compresseurs *Pictet*, le croisillon qui arrête le clapet sert aussi à l'empêcher

de tomber dans l'intérieur du cylindre; de plus, le ressort à boudin est logé dans l'intérieur d'une gaine qui en relie les fragments en cas de rupture (Voir fig. 64).

Mais le mode d'arrêt brusque de la soupape en mouvement a parfois le grave inconvénient de provoquer des ruptures de tiges. Il convient d'employer de préférence un freinage progressif de la soupape.

Dans le compresseur *Hercule* (fig. 26), la soupape d'aspiration est munie d'un dash-pot constitué par l'Azl³ aspiré au travers de petits orifices latéraux, puis emprisonné dès que le piston du dash-pot recouvre ces orifices; c'est à partir de ce moment que se produit le freinage progressif de la soupape (fig. 65).

La soupape d'aspiration *g* de *Seyboth* (fig. 66) porte un piston *d*, mobile dans un cylindre *f*, percé de paires de trous *ii*₁, *ll*₁, *kk*₁ ouvertes l'une ou l'autre à la chambre *m* par le régulateur *hb* à tige creuse percée d'orifices correspondants. Supposons que *ii*₁ soit ouvert.

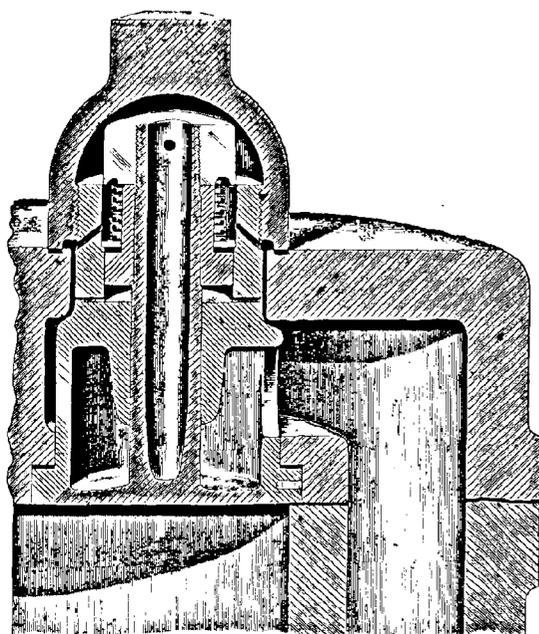


Fig. 65. — Soupape à dash-pot du compresseur *Hercule*.

Cliché de la « *Revue de Mécanique* ».

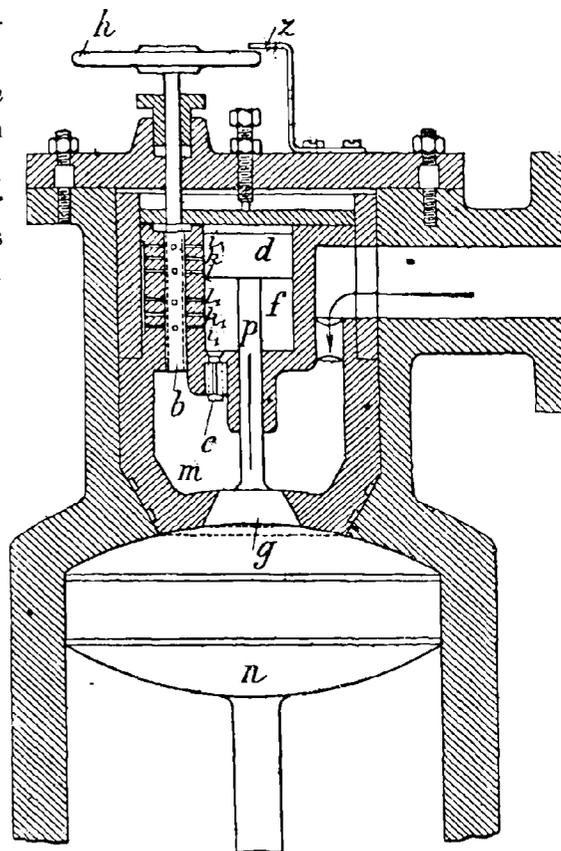


Fig. 66. — Soupape à levée réglable de *Seyboth*.
n, Piston du compresseur; — *g*, Soupape d'aspiration, à piston *dp* mobile, dans un cylindre *f*, percé de couple de trous *ii*₁, *ll*₁, *kk*₁, que l'on peut ouvrir à la chambre *m*, par la manette *h* à vernier *z*, et le robinet *b*; — *c*, petite soupape laissant, au retour de *n*, le gaz de *m* pénétrer sous *d*.

A l'aspiration du piston *n* du compresseur, *g* s'ouvrira jusqu'au passage de *d* sur *i*₁. La fermeture de ce trou enfermera sous le piston *d*, en *f*, un matelas de gaz et arrêtera l'ouverture de *g* à une levée fonction de la position de *i*₁, c'est-à-dire réglée par la manette *h*, suivant qu'elle ouvre l'une ou l'autre des paires de trous qu'elle commande. Au retour du piston *n*, la petite soupape *c* laisse le gaz de *m* pénétrer sous le piston *d*; celui-ci, au haut de sa course, se trouve équilibré ou arrêté par la fermeture de l'orifice *i*, comme auparavant il l'avait été par la fermeture de l'orifice *i*. Ce mode de réglage présente quelque intérêt, principalement pour les machines à débits variables, ou dont la température de l'eau de condensation est sujette à de grandes variations.

24. Comment on évite la chute des soupapes dans le cylindre. — Nous avons indiqué un moyen d'éviter les chutes de soupape d'aspiration dans le cylindre. D'autres dispositifs tendant au même but ont été proposés.

Dans le compresseur de la *York Manufacturing Co*, la soupape d'aspiration est, dans le cas de rupture de sa tige, retenue comme le montre la figure 67.

Soupapes d'aspiration (droite) et de refoulement (gauche) dans les conditions normales du fonctionnement.

La soupape d'aspiration est retenue après la rupture de sa lige.

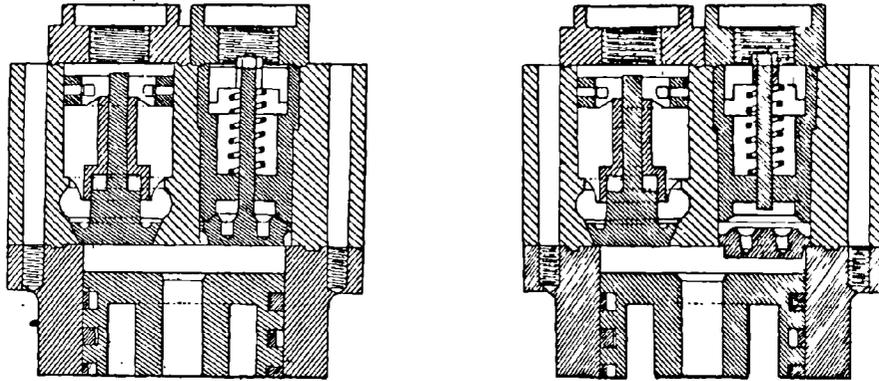
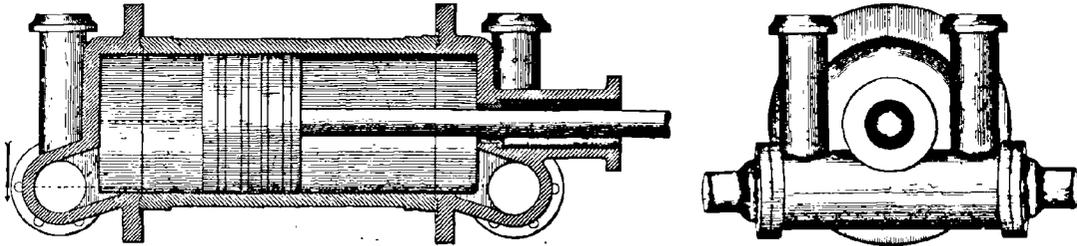
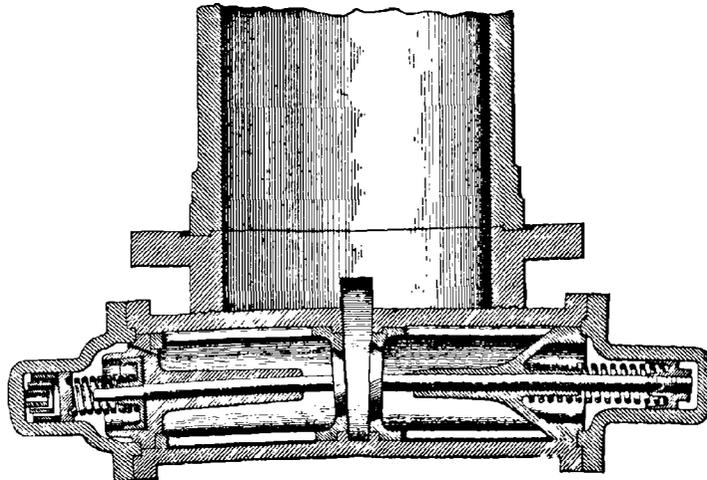


FIG. 67. — Soupapes de la York Manufacturing Co.

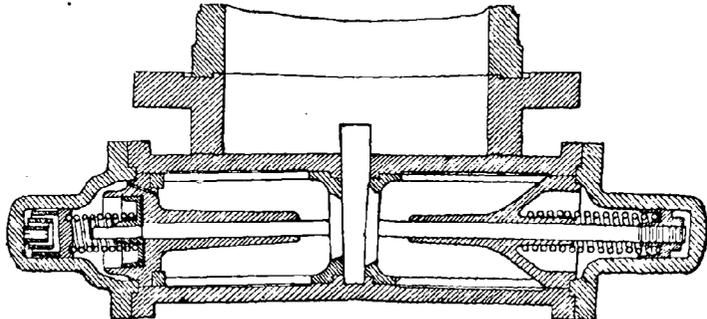
Coupe parallèle à l'axe du cylindre et vue de l'arrière du cylindre.



Vue des soupapes.



Vue des soupapes.



Clichés de la « Revue de Mécanique ».

FIG. 68. — Compresseur Diedrich et Cramer.

Dans le compresseur *Diedrich et Cramer* (Détroit, Michigan), les soupapes sont disposées au bas du compresseur comme le montre la figure 68. Ainsi placées, ces soupapes sont

Coupe perpendiculaire à l'axe du cylindre.

Coupe parallèle à l'axe du cylindre.

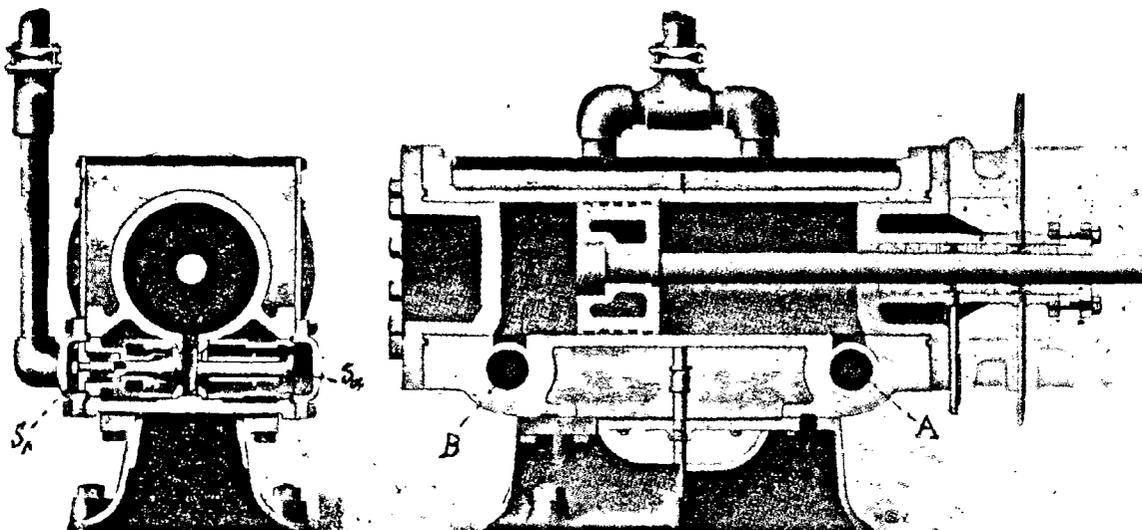


FIG. 69. — Compresseur horizontal de La Vergne (type 1905).

A, B, Logements des soupapes d'admission et de refoulement à l'avant et à l'arrière du cylindre; — Sa, Soupape d'admission; Sr, Soupape de refoulement.

en outre, facilement accessibles. Cette disposition est aussi adoptée dans le type actuel du compresseur horizontal de *La Vergne* (fig. 69).

Dans le compresseur *Herrick* (Vulcan Iron Works, San Francisco), les soupapes d'aspiration ont deux retenues C et D (fig. 70); si C se brise, D arrête encore la soupape qui cesse de fonctionner en raison du creux E de la tige, ce qui avertit le mécanicien et lui permet d'enlever la soupape avant la rupture de D.

Dans le compresseur *Frick à simple effet* (fig. 25), la soupape d'aspiration se trouve dans le piston lui-même. La soupape de refoulement est disposée dans le fond mobile du cylindre.

25. Soupapes très légères en forme de plaques. — Soupapes du type Clapet Gutermuth. — Pour diminuer le poids des soupapes dans les compresseurs à grande vitesse de rotation, on réduit celles-ci à être de simples disques de tôle mince. On rencontre de telles soupapes dans le compresseur *Sterne* (fig. 48); les soupapes d'aspiration BB se trouvent placées aux deux extrémités du piston; les soupapes CC de refoulement sont dans les fonds mobiles. La figure 71 donne les détails de ces soupapes; les ouvertures au travers desquelles circule soit le fluide aspiré, soit le fluide refoulé sont percées dans les sièges de ces soupapes. Il n'y a pas besoin de ressorts, chacune des plaques jouant elle-même ce rôle.

Ces soupapes sont tout à fait analogues aux *clapets Gutermuth*, formés d'une plaque de tôle mince enroulée autour d'un guide, comme le montrent les figures 72, 73, 74¹. La par-

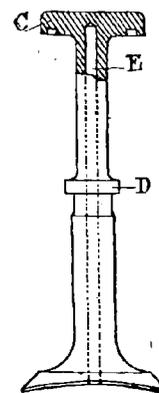
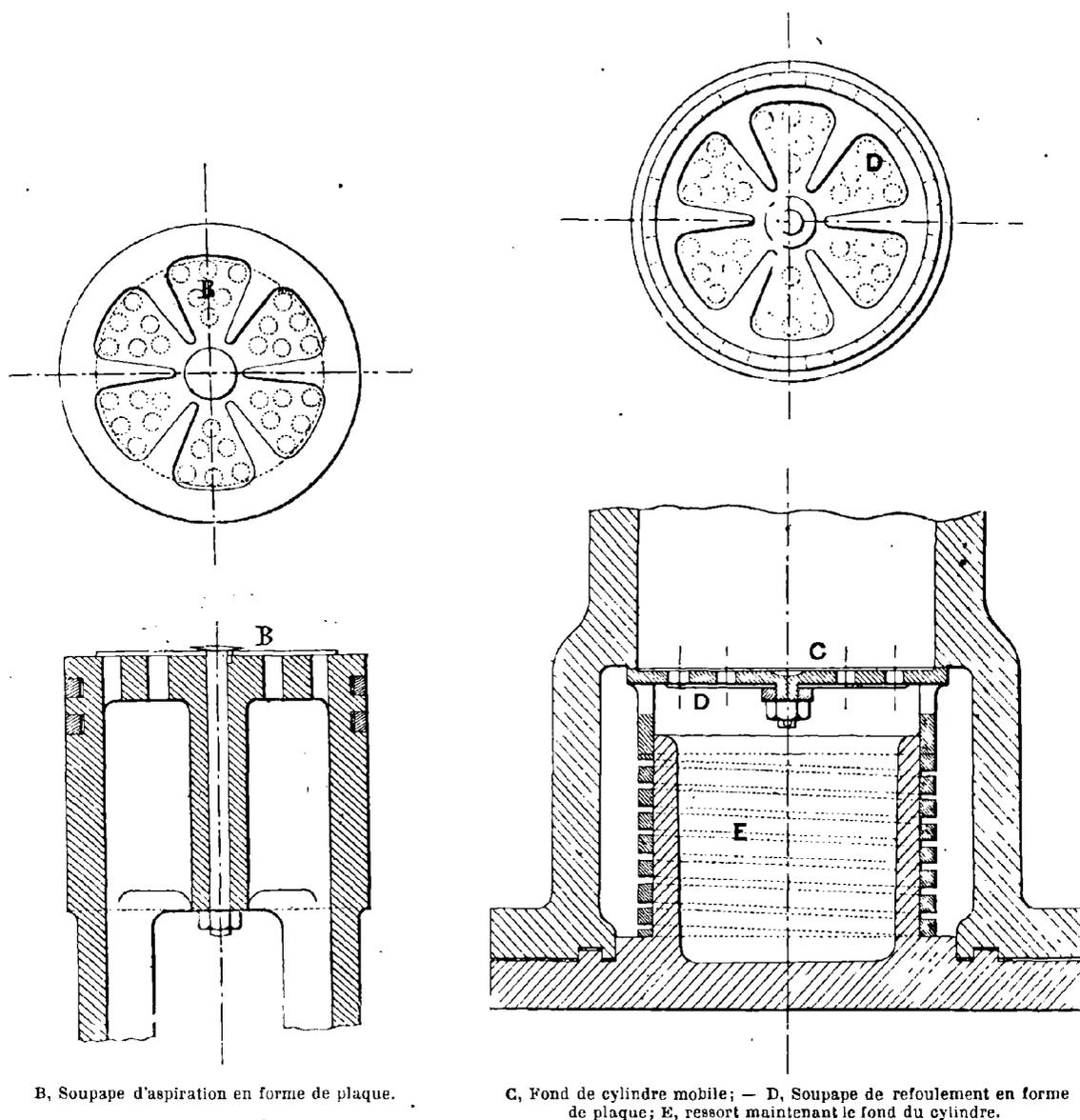


FIG. 70.
Soupape d'admission à deux retenues du compresseur Herrick.

1. LEHNERT, *Die Gutermuth-Klappe* (*Eis und Kälte-Industrie*, Bd. VI, n° 12, 20 décembre 1904); — LEHNERT, *Moderne Kältetechnik*, p. 101; — DE LOVERDO, *Construction et agencement des abattoirs*, t. 1, p. 395 (Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906).

tie enroulée subit les déformations que l'on voit sur la figure 75, lorsque le clapet s'ouvre de plus en plus; cette partie joue le rôle de ressort pour refermer le clapet. Les figures 76 et 77 représentent : la première, un clapet Gutermuth fermant un orifice; la seconde, un tel clapet ouvert en grand. Nous croyons savoir que, d'après des expériences qui ont été



B, Soupape d'aspiration en forme de plaque.

C, Fond de cylindre mobile; — D, Soupape de refoulement en forme de plaque; E, ressort maintenant le fond du cylindre.

FIG. 71. — Soupapes du compresseur Sterne.

faites, le clapet Gutermuth présente suivant MN (*fig. 74*) une partie faible; dans cette région de la soupape, il se produit parfois des fissures dans la plaque constitutive du clapet. Toutefois il est probable que l'emploi d'un métal convenable permet d'éviter cet accident, puisque la firme *Borsig* de Berlin-Tegel munit actuellement ses compresseurs à SO^2 de soupapes à clapet Gutermuth; les figures 78 et 79 représentent de telles soupapes.

26. Dispositif employé pour réduire la dépression à l'aspiration. — Malgré les tentatives faites pour réduire les résistances éprouvées par le fluide dans son passage au travers des soupapes d'aspiration, ces résistances sont toutefois encore assez grandes pour

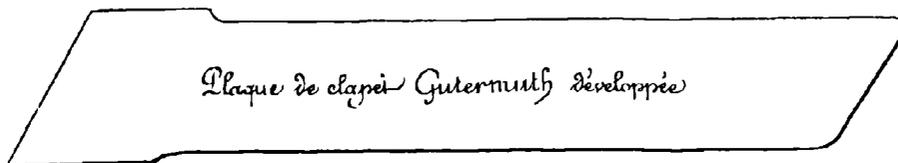


FIG. 72.

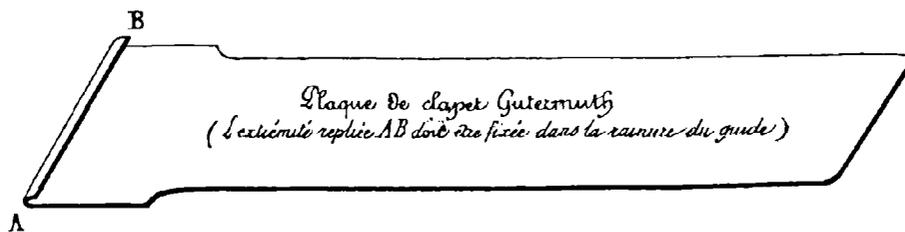
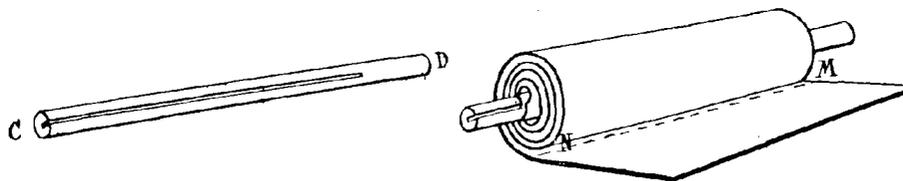


FIG. 73.



CD. Guide de clapet Guter-muth

FIG. 74. — Clapet Guter-muth.

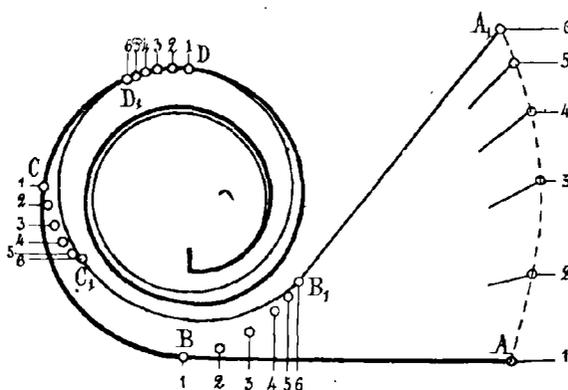


FIG. 75. — Déformations d'un clapet Guter-muth pour diverses ouvertures d'un orifice.

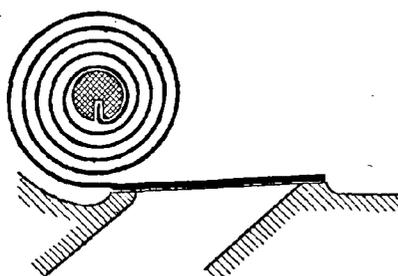


FIG. 76. — Clapet Guter-muth fermé.

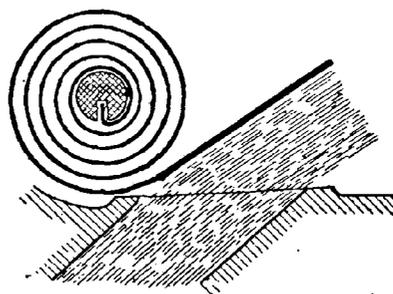


FIG. 77. — Clapet Guter-muth ouvert en grand.

produire à l'aspiration une dépression qui, nous l'avons vu, diminue la masse de fluide aspirée par coup de piston, et par suite diminue la puissance frigorifique du compresseur. Pour compenser cette dépression à l'aspiration et aspirer, par coup de piston, une masse de fluide aussi voisine que possible de la masse qui serait aspirée, si la résistance éprouvée par le

Soupape d'aspiration fermée.

Soupape de refoulement fermée.

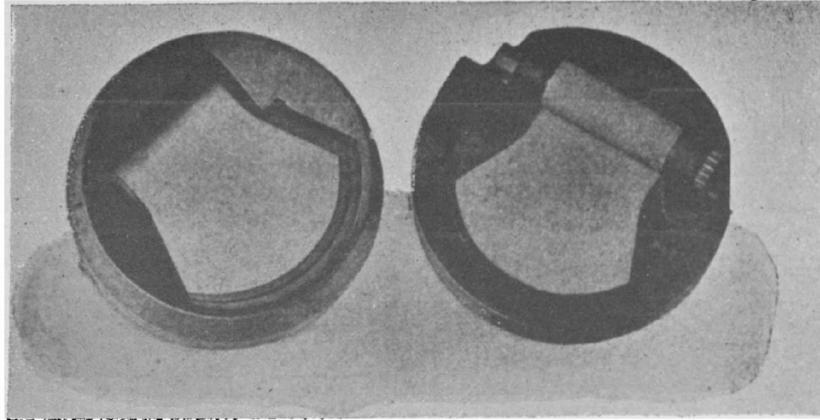


Fig. 78. — Clapets Gutermuth placés dans la boîte à soupapes (Type des compresseurs à SO² Borsig de Berlin-Tegel).

fluide au passage des soupapes était nulle ; on a, dans quelques compresseurs, recours aux artifices suivants.

Dans le compresseur Hercule (*fig. 26*), le piston découvre, vers la fin de l'aspiration, un

Soupape d'aspiration ouverte.

Soupape de refoulement ouverte.

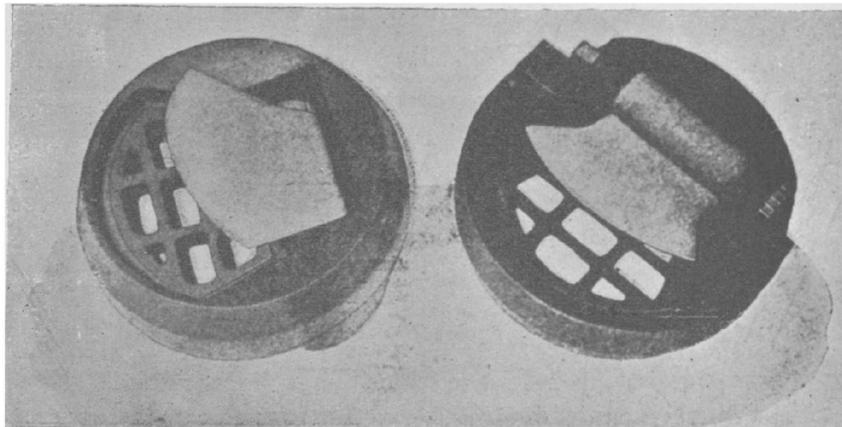


Fig. 79. — Clapets Gutermuth placés dans la boîte à soupapes (Type des compresseurs à SO² Borsig de Berlin-Tegel).

certain nombre de trous percés dans le cylindre et communiquant avec l'aspiration. On retrouve le même dispositif dans le compresseur Antarctic (*fig. 49*) et dans le compresseur australien Auldjo¹.

1. Voir NORMAN SELFE, *Machinery for Refrigeration*, p. 104.

Dans le compresseur à AzH³ Triumph (fig. 80), c'est par le jeu d'une soupape latérale que l'on compense le vide dû à la résistance de la soupape d'admission. Cette soupape laté-

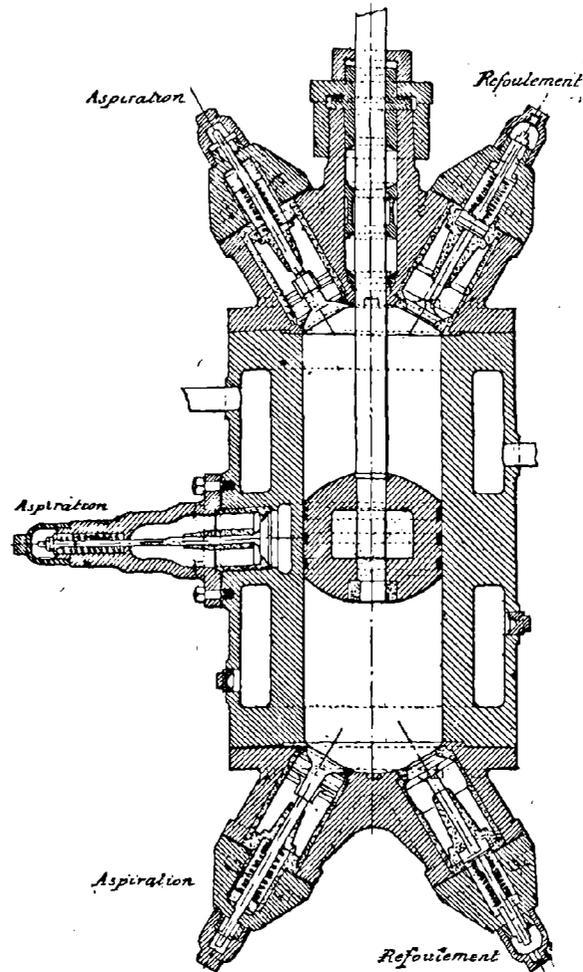


FIG. 80. — Compresseur à AzH³ Triumph.

rale qui communique avec le conduit d'aspiration s'ouvre sous l'influence de la moindre dépression quand, pendant l'aspiration, le piston vient à découvrir son ouverture.

27. Étude de la marche d'un compresseur au moyen des diagrammes d'indicateur. — Il est nécessaire, pour juger du fonctionnement d'un compresseur, de faire un essai avec l'indicateur. Nous ne décrivons ici ni la construction ni le mode d'emploi des indicateurs¹. Leur forme est en général la même que pour les autres moteurs thermiques. Pour les machines à SO², on peut employer les mêmes indicateurs que pour les moteurs à gaz ou à vapeur. Pour les compresseurs à AzH³, il est nécessaire d'avoir des instruments tout en fer et en acier, d'ailleurs identiques aux premiers dans leur construction. Pour les compresseurs à CO², il convient d'avoir des indicateurs à pistons plus petits.

Les diagrammes obtenus permettent de révéler les défauts inhérents à la marche du compresseur².

1. Voir P. H. ROSENKRANZ, *Der Indicator und seine Anwendung*, Berlin, R. Oldenbourg; — GARDNER VOORHEES, *Indicating the refrigerating Machine*. Chicago, H. S. Rich.

2. LEHNERT, *Moderne Kältetechnik*, p. 97; — LORENZ, *Neuere Kühlmaschinen*, p. 144.

FIG. 81. — Diagramme de fonctionnement normal d'un compresseur. (Dans les figures 82 à 92 ce diagramme normal est indiqué en pointillé).

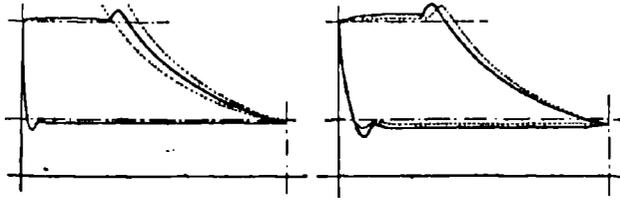


FIG. 88. — Ressorts des soupapes trop raides; ou résistances anormales par suite d'engorgements dans les conduites d'aspiration ou de refoulement.

FIG. 82. — Le robinet de l'indicateur n'est pas ouvert en grand; étranglement de la communication de l'indicateur avec le cylindre du compresseur.

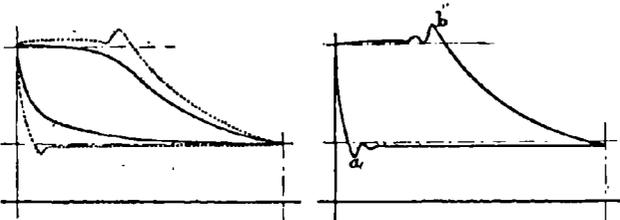


FIG. 89. — En *a*, grande résistance à l'ouverture de la soupape d'admission; en *b*, grande résistance à l'ouverture de la soupape de refoulement.

FIG. 83. — Espace nuisible trop considérable. Défaut qui peut encore se produire quand il y a beaucoup d'humidité dans la vapeur qui reste enfermée dans l'espace nuisible après la fermeture de la soupape de refoulement.

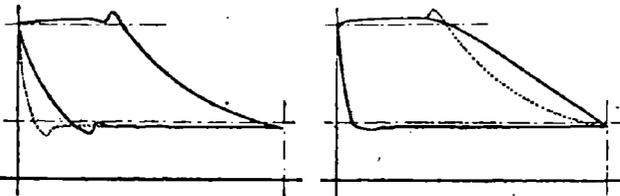


FIG. 90 et 91. — Fuites importantes aux soupapes; disparition des proéminences qui correspondent à l'ouverture des soupapes, transition progressive de la ligne de compression à la courbe de condensation et de la courbe d'expansion dans l'espace nuisible à la ligne d'aspiration. La courbe de compression est presque rectiligne, fortement inclinée lorsque les fuites se produisent principalement à la soupape de refoulement (fig. 90), faiblement inclinée lorsque c'est la soupape d'aspiration qui n'est pas hermétique (fig. 91).

FIG. 84. — La soupape de refoulement a une levée trop grande; elle tarde à se fermer.

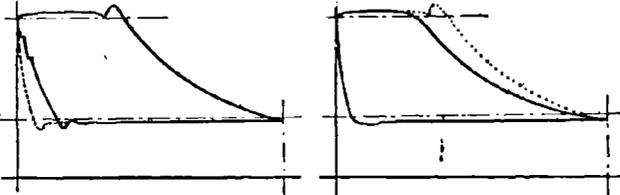


FIG. 85. — En *a*, retard à la fermeture de la soupape de refoulement; en *b*, retard à l'ouverture de cette soupape: la tige de la soupape, prenant une position oblique, est forcée dans le guide.

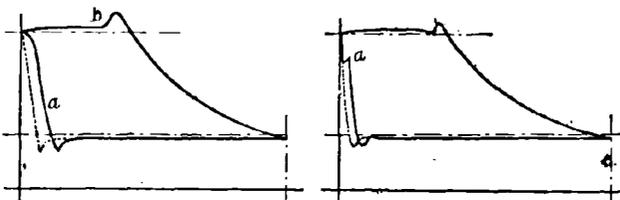


FIG. 92. — Le piston de l'indicateur coince légèrement, d'où le crochet marqué en *a* sur la courbe d'expansion dans l'espace nuisible.

FIG. 86. — La soupape d'aspiration reste ouverte pendant une partie de la course de compression.

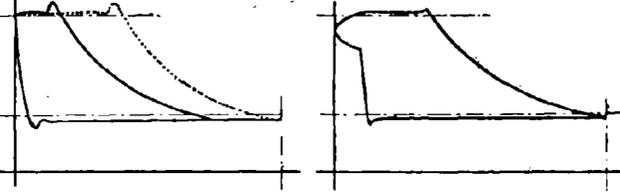


FIG. 93. — En venant à fond de course, le piston du compresseur vient boucher presque complètement l'orifice de communication du cylindre avec l'indicateur.

FIG. 87. — Le piston n'est pas étanche; une partie du fluide pouvant passer d'une partie du cylindre dans l'autre, la pression monte moins rapidement à la compression et la courbe correspondante est plus inclinée sur l'horizontale que dans le diagramme normal tracé en pointillé. En outre, la pression est souvent, au moment du changement de course, supérieure à la pression dans le réfrigérant et empêche l'ouverture de la soupape d'aspiration. Cela dure jusqu'au moment où la vitesse du piston est trop grande pour que les fuites puissent remplir le vide qui se produit derrière le piston; il en résulte une dépression qui va en croissant jusqu'à ce que la soupape finisse par jouer.

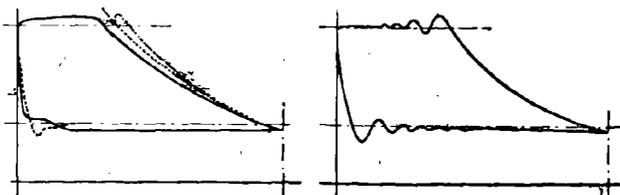
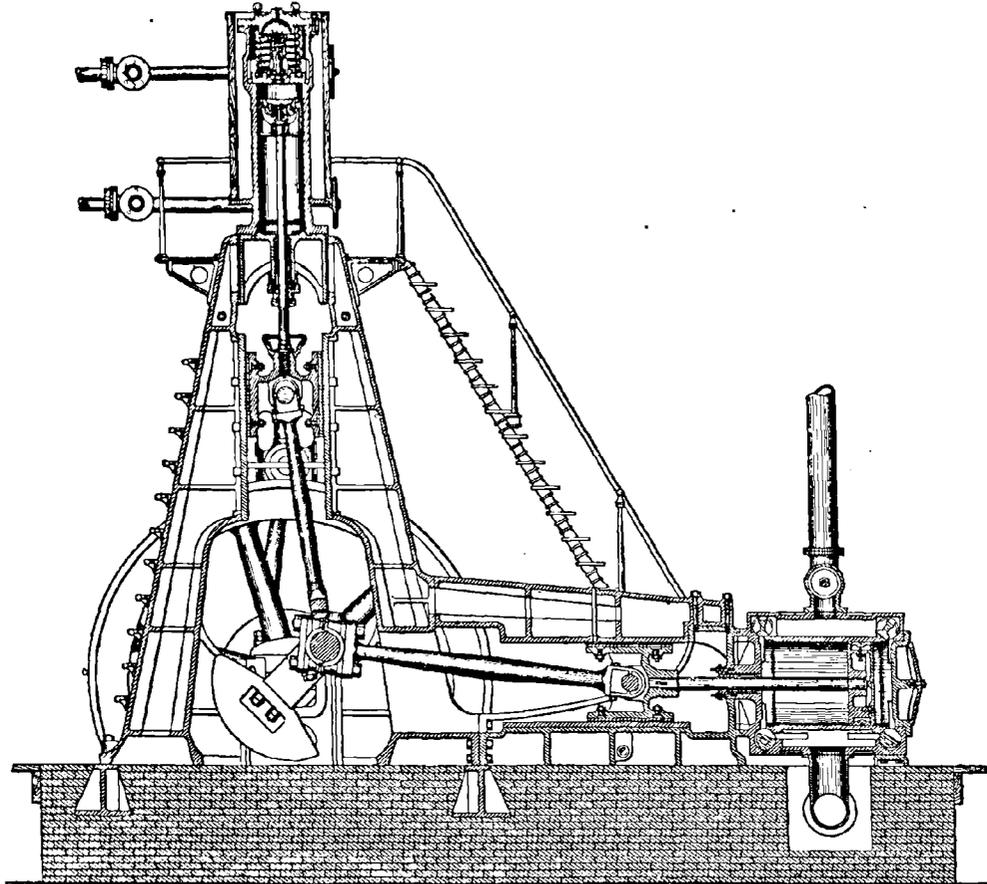


FIG. 94. — Mauvais ressorts de soupapes.

28. Couplage des compresseurs avec les machines motrices. — I. Compresseurs verticaux. — La figure 95 représente le couplage avec un moteur horizontal d'un



Cliché de la « Revue de Mécanique. »

FIG. 95. — Machine Frick à simple effet et à deux cylindres de 0,50 × 1 m., avec manivelles à 180°; puissance, 230 chevaux; 90 tonnes de glace par vingt-quatre heures en partant d'eau à zéro et à 50 tours par minute. Dépense d'eau au condenseur, 700 litres par seconde; hauteur, 7^m,90; longueur, 8^m,15; largeur, 5^m,10; poids, 87 tonnes.

compresseur vertical Frick à simple effet et à deux cylindres jumelés sur manivelles à 180°.

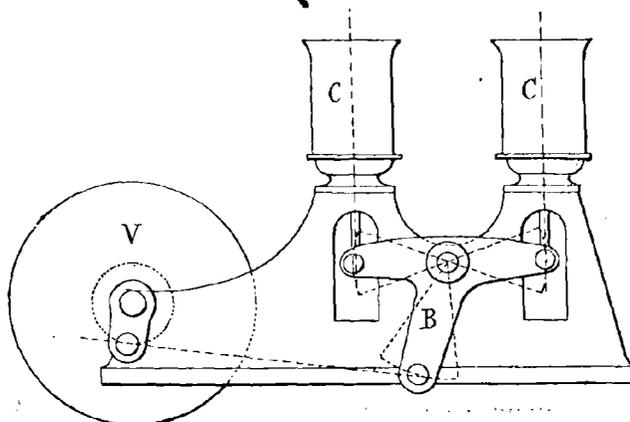


FIG. 96. — Schéma de la commande par balancier d'un compresseur Hercule à deux cylindres à simple effet.
B, balancier; — CC, cylindres du compresseur; — V, volant.

Parfois, au lieu d'être reliées à deux manivelles, les deux tiges des pistons des compresseurs sont en relation avec un balancier (fig. 96).

II. *Compresseurs horizontaux.* — L'axe du cylindre du compresseur peut être soit dans le prolongement de l'axe du cylindre moteur (disposition en tandem), soit parallèle à l'axe du cylindre moteur.

La disposition en tandem (fig. 97) a l'avantage d'économiser de la place : elle est, appliquée en particulier dans les machines à SO_2 de la *Société Pictet* et de la *Société genevoise*.

Le couplage généralement adopté est le *couplage en parallèle*. Cet accouplement peut

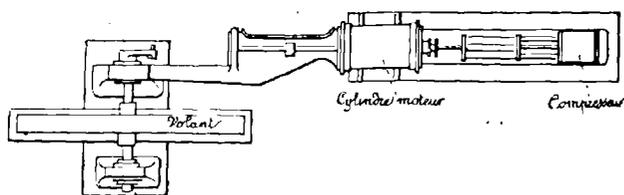


FIG. 97. — Couplage en tandem d'un compresseur avec un moteur.

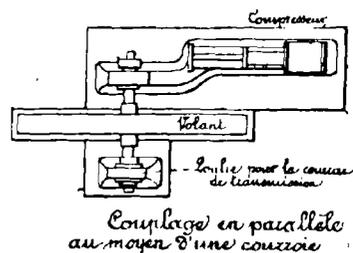
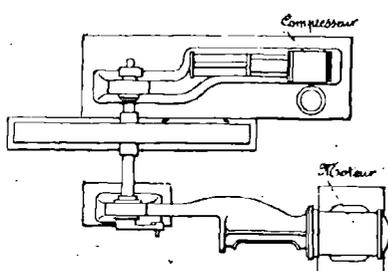


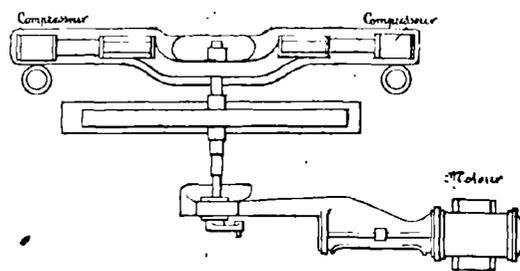
FIG. 98.

être effectué soit par transmission (fig. 98), soit directement (fig. 99 et 100). En cas d'accouplement direct, l'excédent de puissance du moteur est transmis au moyen de câbles ou d'une courroie par le volant transformé en poulie ou par une poulie spéciale montée sur l'arbre moteur. Une partie de cet excédent sert à actionner les agitateurs du condenseur et du réfrigérant, etc.

D'après Lorenz¹, le couplage direct doit être employé avec avantage toutes les fois que le



Couplage direct en parallèle
FIG. 99.



Couplage direct en parallèle (Compresseur double)
FIG. 100.

travail à fournir au compresseur est supérieur à la somme des autres travaux, ou lorsque cette dernière est très variable par rapport au travail à fournir au compresseur. Il est généralement nécessaire, avec ce mode d'accouplement, de munir le volant d'un contrepoids, parce que la résistance à la fin de la compression est plus forte pour la face postérieure que pour la face antérieure du piston; cette dernière surface est en effet diminuée de la section de la tige. Ce contrepoids est d'autant plus nécessaire que le diamètre du cylindre est plus petit et la section de la tige plus grande; on le rencontre surtout dans les machines à CO_2 . Pour les compresseurs horizontaux dans lesquels la pression maxima sur le piston se produit environ au milieu de la course, ce contrepoids doit devancer la manivelle de 90° .

C'est dans ce but que les constructeurs ont été amenés à caler, sous un certain angle, les manivelles du moteur et des compresseurs appliquées à un même arbre moteur. L'expé-

1. LORENZ, *Neuere Kühlmaschinen*, p. 68.

rience a montré qu'il est avantageux de caler la manivelle du moteur de 120° à 140° en avant de celle du compresseur, lorsqu'on fait tourner le compresseur et, par suite, la machine de droite à gauche, en sens inverse du mouvement des aiguilles d'une montre¹. Dans les compresseurs doubles, à manivelle unique, la manivelle du moteur est calée de 45° à 60° en arrière de celle des compresseurs, quel que soit le sens de rotation.

Dans l'accouplement direct, la vitesse du moteur doit être réglée sur la vitesse qui convient le mieux au compresseur, c'est-à-dire celle pour laquelle le jeu des soupapes reste encore parfaitement régulier, tandis que les fuites à l'intérieur de la machine ne dépassent pas une certaine limite. En général, ces conditions exigent que le compresseur tourne à un petit nombre de tours². Aussi, lorsqu'on actionne le compresseur d'une machine frigorifique avec un moteur à gaz ou un moteur électrique, doit-on installer une transmission convenable.

29. Dimensions de l'installation d'un compresseur. — Stetefeld³ indique les dimensions suivantes que l'on doit adopter dans l'installation d'un compresseur.

On doit considérer :

1° La distance L entre la partie médiane du cylindre du compresseur et l'axe de l'arbre de couche;

2° La hauteur H de l'axe de l'arbre de couche au-dessus de la plaque de fondation du compresseur;

3° La longueur Λ de la bielle.

Pour les trois systèmes [AzH³, SO², CO²], on peut, pour la longueur de la bielle, prendre

$$(17) \quad \Lambda = 2,5l,$$

l étant la longueur de la course du piston.

Les longueurs L et H sont, pour les divers systèmes :

$$(18) \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Machines à AzH}^3 \dots\dots \left\{ \begin{array}{l} L = 5l + 350 \text{ en millimètres} \\ H = 0,2L \end{array} \right. \\ \text{Machines à SO}^2 \dots\dots \left\{ \begin{array}{l} L = 4,8l + 470 \text{ en millimètres} \\ H = 0,23L \end{array} \right. \\ \text{Machines à CO}^2 \dots\dots \left\{ \begin{array}{l} L = 4,5l + 700 \text{ en millimètres} \\ H = 0,24L \end{array} \right. \end{array} \right.$$

Désignons par d_w le diamètre de l'un des paliers de l'arbre de couche, et par l_w sa longueur; on peut prendre :

$$(19) \quad \left\{ \begin{array}{l} D \text{ étant le diamètre du} \\ \text{cylindre du compres-} \\ \text{seur.} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} d_w = 0,65D, \quad l_w = 1,67d_w \text{ machines à AzH}^3 \\ d_w = 0,53D, \quad l_w = 1,67d_w \text{ machines à SO}^2 \\ d_w = 1,30D, \quad l_w = 1,67d_w \text{ machines à CO}^2 \end{array} \right.$$

1. Lorsque la glissière du compresseur (calculée pour les forces verticales dirigées vers le bas) n'existe que comme moitié inférieure, il faut faire tourner le compresseur de droite à gauche afin qu'au début de la compression la bielle oblique par rapport à la tige du piston soit dirigée de haut en bas (direction prise en partant de la manivelle). Si on faisait tourner le compresseur de gauche à droite, la bielle serait au début de la compression dirigée de bas en haut; la moitié supérieure de la glissière n'existant pas, la tige du piston tendrait à être soulevée et par suite faussée. Lorsque la glissière a une partie inférieure et une partie supérieure, on peut faire tourner le compresseur dans un sens quelconque.

2. L'emploi des clapets Gutermuth ou des soupapes analogues (type Sterne) permet d'accroître ce nombre de tours.

3. STETEFELD, *Compendium der gesamten Kälte-Industrie*, p. 280.

On peut prendre pour *diamètre et longueur du bouton de manivelle* les dimensions suivantes :

$$(20) \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Diamètre du bouton} \\ \text{de manivelle} \end{array} \right\} \begin{cases} d_k = 0,38D, & \text{machines à AzH}^3 \\ d_k = 0,25D, & \text{machines à SO}^2 \\ d_k = 0,90D, & \text{machines à CO}^2 \end{cases}$$

$$(21) \quad \text{Longueur du bouton de manivelle} = l_k = d_k \text{ à } 1,25d_k.$$

La *bielle* doit avoir une épaisseur égale à d_k à l'extrémité voisine de la manivelle et une épaisseur allant de $0,7d_k$ à $0,8d_k$ à l'extrémité voisine de la tête de crosse. Cette dernière dimension représente aussi le diamètre de la cheville de tête de crosse.

Volant. — Si le compresseur est couplé directement avec un moteur, le volant doit être calculé pour la machine à vapeur en tenant compte du coefficient d'irrégularité convenable dans le fonctionnement du compresseur. Si la machine à vapeur n'est employée qu'à actionner le compresseur, si elle ne sert pas à actionner une dynamo pour l'éclairage, un coefficient d'irrégularité de 2 0/0, soit $\frac{1}{2} = \frac{1}{50}$ ou $i = 50$, est suffisant.

Si le compresseur est actionné par une transmission, le volant peut être calculé à part d'après la formule

$$(22) \quad G = \text{const} \times \frac{iN_i}{v^2n}$$

G = poids du volant en kilogrammes ;

i = inverse du coefficient d'irrégularité ; on peut prendre $i = 50$;

N_i = travail indiqué à fournir au compresseur en chevaux-heures indiqués ;

n = nombre de tours par minute ;

v = vitesse circonférentielle à la jante du volant en mètres.

On peut donner à la constante de la formule (22) les valeurs suivantes :

Pour les compresseurs à SO ²	18.000
— à AzH ³	25.000
— à CO ²	33.000

Le *diamètre Δ du volant* peut alors être pris égal à :

$$(23) \quad \left\{ \begin{array}{ll} \Delta = 6,3l & \text{pour les compresseurs à SO}^2 \\ \Delta = 7,3l & \text{— à AzH}^3 \\ \Delta = 7,5l & \text{— à CO}^2 \end{array} \right.$$

30. De la puissance réelle nécessaire pour actionner un compresseur. —

Par suite des frottements du piston dans le cylindre, de la tige du piston dans le presse-étoupes, etc..., la puissance réelle qu'il faut dépenser sur l'arbre pour actionner un compresseur est plus grande que la puissance indiquée. On appelle *rendement mécanique de la machine* le rapport entre la puissance ou le travail indiqué et la puissance ou le travail à développer sur l'arbre.

D'après certaines expériences, ce rendement mécanique peut avoir les valeurs suivantes :

Compresseurs à AzH ³	0,90 à 0,95
— à SO ²	0,89 à 0,93
— à CO ²	0,88 à 0,94

D'un autre côté, Siebel¹ donne les indications suivantes, qui s'appliquent seulement aux compresseurs à AzH^3 et dont on peut se servir dans un avant-projet.

La puissance réellement nécessaire pour actionner un compresseur capable de produire 3.000 frigories-heure (ou en vingt-quatre heures une puissance frigorifique de 1 tonne frigorifique des États-Unis) varie de 1 à 2 H.P. (1 à 2 chevaux), suivant les dimensions du compresseur, toutes les circonstances du fonctionnement étant les mêmes. De très grands compresseurs peuvent nécessiter une puissance mécanique de 1 H.P. par puissance frigorifique de 1 tonne frigorifique des États-Unis produite en vingt-quatre heures (3.000 frigories-heure). Mais généralement il faut de 1,35 H.P. à 1,50 H.P. (par puissance frigorifique d'une tonne frigorifique des États-Unis produite en vingt-quatre heures) pour des compresseurs dont la puissance frigorifique est supérieure à 40 tonnes frigorifiques des États-Unis produites en vingt-quatre heures ou pour des puissances frigorifiques supérieures à 120.000 frigories-heure. Pour les compresseurs dont la puissance frigorifique est de 10 à 40 tonnes frigorifiques des États-Unis produites en vingt-quatre heures, la puissance mécanique nécessaire est 1,5 à 2 H.P. par tonne frigorifique des États-Unis produite en vingt-quatre heures (3.000 frigories-heure). Les petits compresseurs exigent souvent jusqu'à 2,5 H.P. et souvent plus pour produire en vingt-quatre heures une puissance frigorifique de 1 tonne des États-Unis ou pour produire 3.000 frigories-heure.

111

ROBINET RÉGULATEUR. — SÉPARATEUR D'HUILE

1. **Robinet détendeur simple.** — **Compresseur à AzH^3 .** — Le détendeur qui sert à régler le passage du gaz liquéfié du condenseur au réfrigérant se compose dans les ma-

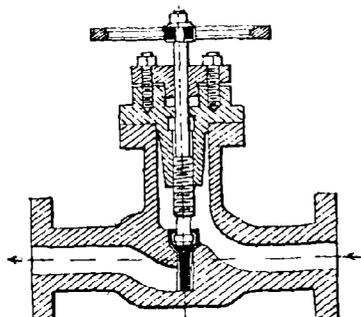


FIG. 101. — Robinet de réglage des machines à AzH^3 .

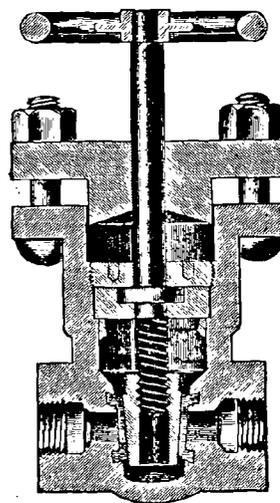


FIG. 102. — Valve de la York Manufacturing Co.

chines à AzH^3 d'une noix de robinet (fig. 101) mobile autour de la tige et terminée par une

1. SIEBEL, *Compend of Mechanical Refrigeration*, p. 133 (Power to operate compressor).

seconde noix en tronc de cône allongé. C'est cette dernière qui opère le réglage en modifiant la section d'écoulement. On agit sur le robinet au moyen d'une manivelle.

On préfère souvent, même pour les machines à AzH^3 , les robinets à valve ou à pointe, moins sujets aux fuites, d'un maniement plus doux, plus précis et plus sûr.

La figure 102 représente une valve de la *York Manufacturing Co*; la figure 103, une valve *Frick*; la figure 104, un robinet à pointe de la *Buffalo Refrigerating Machine Co*.

2. Robinet détendeur automatique de Linde.

— Afin de proportionner automatiquement le débit du détendeur à celui du compresseur, *Linde* anime le robinet de détente d'un mouvement de rotation continu. La noix de ce robinet est percée d'un canal à angle droit (fig. 105), qui est constamment en communication

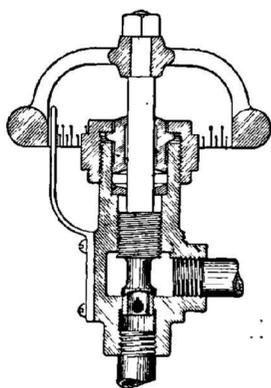


FIG. 103. — Valve Frick.

avec une cavité R dont on modifie le volume au moyen du piston B actionné par la manivelle H. Le mouvement de rotation imprimé au robinet par le compresseur lui est transmis par la poulie S. Au cours d'une rotation entière, l'espace R, d'abord en communication avec la conduite K venant du condenseur, se remplit de liquide condensé et le transporte au réfrigérant par le canal V après

une demi-rotation du robinet. Il suffit pour le réglage de mettre une fois pour toutes le piston B au point.

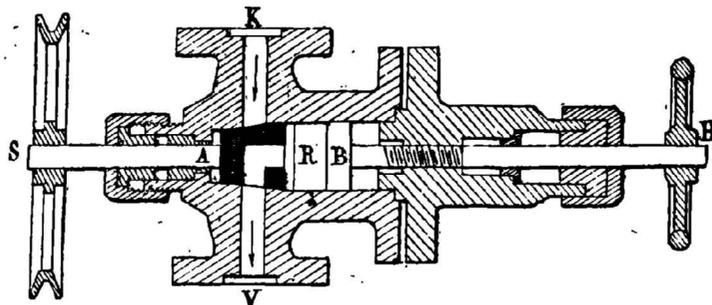


FIG. 105. — Robinet détendeur automatique Linde.

3. Robinet rotatif Linde. — Lorsque le réfrigérant de la machine comprend plusieurs serpentins, on répartit également le fluide liquéfié entre tous ces serpentins au moyen du robinet rotatif suivant dû également à *Linde* (fig. 106).

L'ammoniaque liquide pénètre dans le socle creux comme dans un réservoir où l'huile entraînée peut se déposer; on purge ce réservoir de temps en temps. La noix creuse du

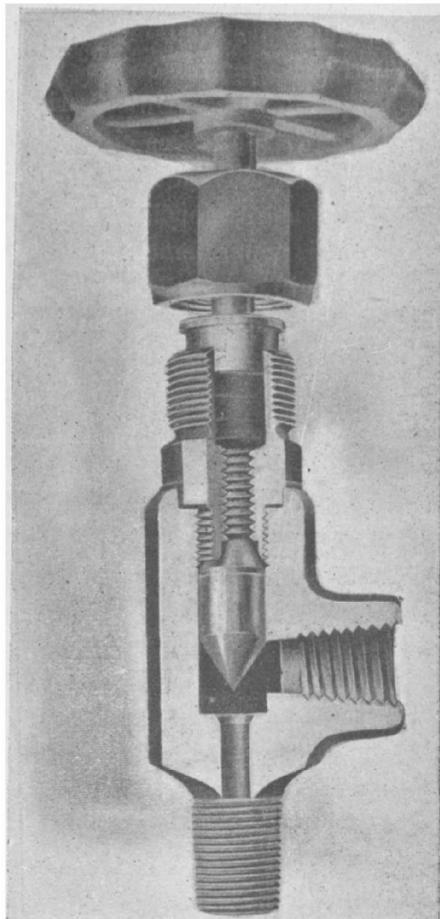


FIG. 104. — Robinet de réglage à pointe de la Buffalo Refrigerating Machine Co.

robinet tourne autour d'un axe vertical et, grâce à une ouverture unique pratiquée dans sa paroi, relie successivement dans une rotation complète tous les tubes du réfrigérant qui aboutissent à l'appareil exactement à la hauteur du robinet, avec le réservoir à ammoniac contenu dans le socle. Par cette répartition égale du fluide, on utilise plus parfaitement la surface d'échange de tous les serpentins. Tant que le détendeur fonctionne dans de bonnes conditions, c'est-à-dire tant qu'il ne se produit pas de fuites autour de la noix, on peut arriver à un rendement de 20 0/0 supérieur au rendement ordinaire.

4. Séparateur d'huile (compresseur à AzH^3). — **Séparateur d'huile Linde.** — **Séparateur d'huile Halmagis.** — Il est très important d'empêcher autant que possible les entraînements d'huile dans les tuyaux du condenseur et du réfrigérant. La séparation de l'huile est plus facile lorsque le compresseur fonctionne en régime sec (vapeurs surchauffées) parce que ces dernières ne sont, à haute température, que faiblement absorbées par l'huile. La purification se fait par un *séparateur d'huile* que les constructeurs placent généralement à côté du compresseur et dans lequel débouche la conduite de refoulement. Nous avons vu que dans a machine *Lebrun* le séparateur d'huile est placé au-dessus du bâti du compresseur.

La figure 107 représente le séparateur d'huile de la machine *Linde*. Il se compose d'un vase cylindrique vertical en fonte *a* dans lequel

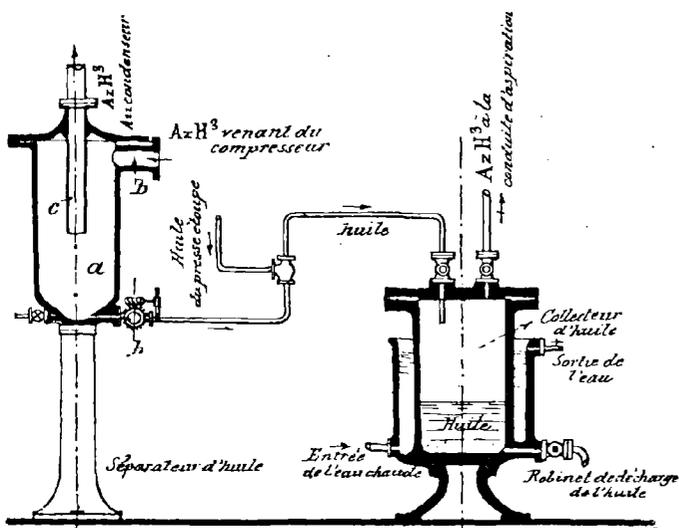


FIG. 107. — Séparateur d'huile Linde.

va se rassembler dans un collecteur. Comme cette huile a absorbé une grande quantité de

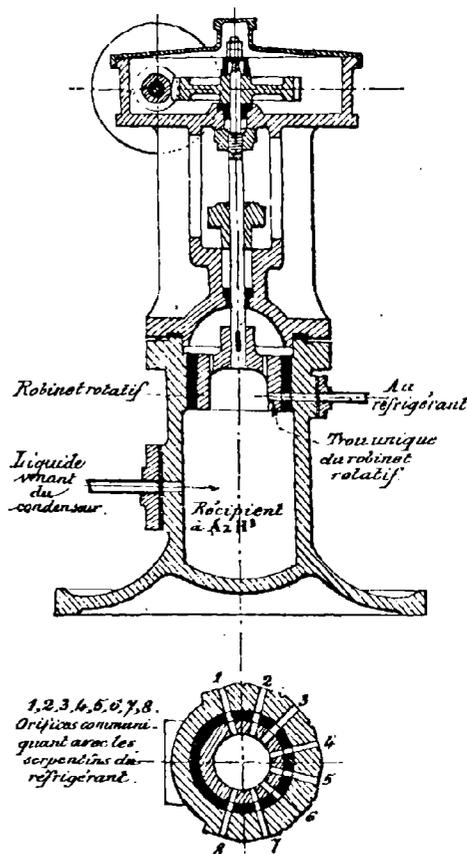


FIG. 106. — Robinet rotatif Linde.

pénètre un tuyau *b* venant du compresseur; sur ce tuyau, entre le compresseur et le cylindre *a* se trouve un clapet de retenue empêchant tout retour du fluide au compresseur. L'ammoniac venant du compresseur éprouve un changement de direction, puisque le fluide ne peut aller au condenseur qu'en passant par le tube *c*. Par suite de ce changement dans la direction et la vitesse du fluide, les particules d'huile s'en séparent et se rassemblent au fond du cylindre *a*. Un robinet *h* mis constamment en rotation par la machine livre, à chaque tour, passage à une certaine quantité d'huile qui

gaz ammoniac, on peut régénérer celui-ci en chauffant l'huile au moyen d'eau chaude. Le gaz ainsi obtenu est envoyé dans la conduite d'aspiration.

Il y a bien d'autres types de séparateurs d'huile; le système *Halmagis* (fig. 108) est

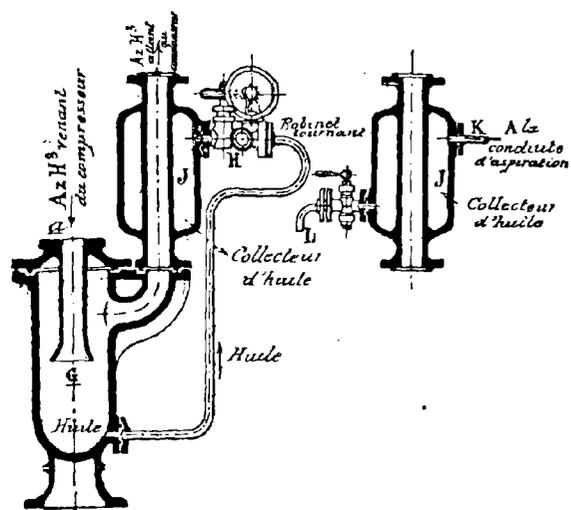


Fig. 108. — Séparateur d'huile Halmagis.

simple. Il est placé tout contre le compresseur. L'ammoniaque arrive par la partie supérieure en *a* dans le séparateur d'huile *G*. L'huile se rassemble au fond de ce récipient et, par suite de la grande pression qui s'exerce sur elle, vient à un robinet tournant *H* qui la fait passer dans le collecteur *J*. Ce collecteur *J* est chauffé par les vapeurs surchauffées d'ammoniaque qui le traversent en allant au condenseur. La quantité de chaleur dégagée régénère le gaz ammoniac qui, par le conduit *K*, est envoyé à la conduite d'aspiration. Le robinet *L* sert à enlever l'huile du collecteur.

5. Dimensions à donner aux séparateurs d'huile (compresseurs à AzH^3).

— Souvent, au lieu d'un seul séparateur d'huile, on en emploie deux : l'un, généralement le plus grand des deux, est placé auprès de la machine; l'autre, le plus petit, auprès du condenseur. Quand l'installation comporte un *condenseur antérieur*¹ précédant le condenseur principal, le plus petit séparateur d'huile est placé entre les deux condenseurs avant le condenseur principal.

Voici, d'après Siebel², quelles sont les dimensions des séparateurs d'huile que l'on peut employer dans les installations à AzH^3 .

TABEAU XV

DIMENSIONS DES SÉPARATEURS D'HUILES DES MACHINES A AzH^3

PUISSANCE FRIGORIFIQUE en FRIGORIES-HEURE	DIMENSIONS EN CENTIMÈTRES	
	DU PETIT SÉPARATEUR D'HUILE	DU GRAND SÉPARATEUR D'HUILE
6.000 à 50.000	centimètres 20 × 92	centimètres 20 × 153
50.000 à 150.000	25 × 92	25 × 184
150.000 à 200.000	30 × 92	30 × 184
200.000 à 300.000	30 × 122	30 × 244

6. Appareil à retenir les battitures qui peuvent se trouver dans les serpentins. — On intercale généralement, dans la conduite d'aspiration, à peu de distance du compresseur, un pot en fonte pourvu d'un tamis pour retenir les particules solides et

1. Les Anglais désignent ce condenseur sous le nom de The Forecooler.

2. SIEBEL, *Compend of Mechanical Refrigeration*, p. 133 [Duplex oil trap].

en particulier la battiture qui peut se trouver dans les serpentins (*fig. 109*). Il faut inspecter et nettoyer de temps en temps ce tamis, car un engorgement, même partiel, augmente la résistance à l'aspiration ou peut provoquer un déchirement du tamis.

7. Séparateur d'huile et robinet détenteur des machines à CO². — La glycérine que l'on emploie comme lubrifiant dans les machines à anhydride carbonique n'absorbe que fort peu de ce gaz. De plus, la glycérine entraînée en faible quantité n'empêche pas la transmission de la chaleur dans les appareils. Il en résulte que le séparateur d'huile est parfois supprimé dans les machines à anhydride carbonique. Dans la machine *Hall*, ce séparateur est cependant, avec raison, maintenu.

Le détenteur se compose (*fig. 110*) d'une boîte G souvent en fonte livrant passage, à sa partie supérieure, à la tige du robinet; l'herméticité est assurée par un presse-étoupes ordinaire. Cette tige, qui s'élève ou s'abaisse au moyen d'un fin pas de vis, porte à son extrémité inférieure une douille K (*fig. 110*) mobile autour de la tige et maintenue simplement par une goupille; cette douille porte la noix qui vient appuyer sur le siège en bronze I; ce dernier est vissé à la partie inférieure de la boîte et maintenu par une bride F. La douille K est indispensable, parce que les pas de vis différents de la tige et du siège ne permettent pas un centrage exact. L'étanchéité de ce robinet est parfaite, tant que les surfaces de contact sont intactes, mais il suffit de traces d'acide chlorhydrique (fréquent lorsque l'acide carbonique est préparé chimiquement et ne provient pas de sources naturelles) pour les attaquer. Il faut alors tourner la noix à nouveau ou mieux la remplacer.

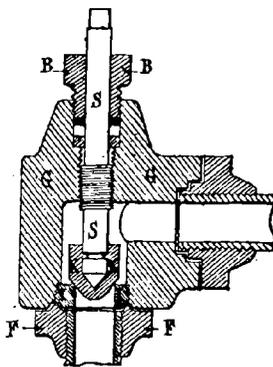


FIG. 110. — Robinet régulateur des machines à CO².

pour l'industrie renferme de l'eau qui se congèle contre les trous de la crépine et les obstrue. Il faut, comme nous l'avons déjà fait remarquer, avoir soin d'employer de l'anhydride carbonique aussi exempt d'eau que possible.

8. Organe de sûreté et joints des machines à CO². — Afin de permettre l'ouverture du compresseur et l'examen des soupapes et du piston, sans qu'il y ait perte d'anhydride 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 le robinet de la conduite de refoulement; il se développerait, dans ce cas, une pression énorme dans le compresseur et le tuyau de refoulement qui ne présenterait aucune issue. Pour éviter ce danger, on a adapté sur la machine *Hall* une soupape de sûreté à ressort (*fig. 111*), à la partie inférieure de laquelle est placé un disque en cuivre mince

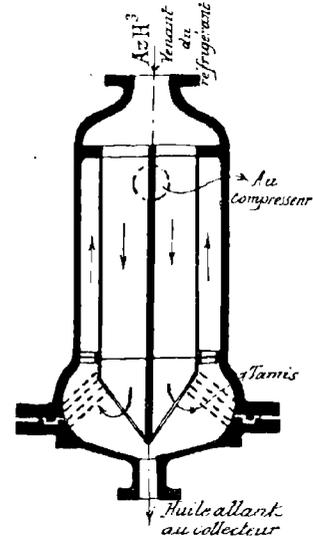


FIG. 109. Appareil à retenir les battitures.

réglé pour être rompu sous une pression de 120 kilogrammes, chiffre qui correspond à environ la moitié de la pression hydraulique à laquelle toutes les pièces ont été soumises. Ce disque est absolument imperméable, ce que l'on n'obtiendrait pas au moyen de la soupape de sûreté fonctionnant seule; celle-ci doit agir seulement lorsque le disque est rompu.

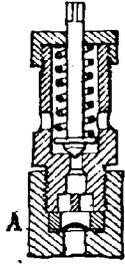


FIG. 111.
Soupape à disque
de sûreté Hall.

Les joints doivent résister à des pressions élevées non seulement à froid, mais à chaud. Les joints qui ne sont pas soumis à une haute température peuvent être confectionnés avec du cuir. Pour les autres, le mieux est d'employer, comme dans les machines Hall, des anneaux d'un alliage de cuivre particulier que l'on recuit et dont l'écrasement constitue un joint hermétique. On vérifie l'étanchéité absolue de tous les joints en les brossant avec de l'eau de savon qui révèle la plus légère fuite par les bulles qui prennent naissance.

CHAPITRE III

CONDENSEURS OU LIQUÉFACTEURS. — RÉFRIGÉRANTS OU ÉVAPORATEURS¹

1. Condenseur à immersion. — Condenseur à ruissellement. — C'est dans le *condenseur* ou *liquéfacteur* que le fluide comprimé et surchauffé dans le compresseur passe à l'état liquide en dégageant de la chaleur : *chaleur de surchauffe* (chaleur dégagée dans le passage de l'état de vapeur surchauffée à l'état de vapeur saturée); *chaleur de liquéfaction* (chaleur dégagée dans le passage de l'état de vapeur saturée à l'état de liquide saturé); *chaleur de refroidissement de la température de liquéfaction à la température du liquide avant le robinet de détente* (Unterkühlungswärme). Ces divers changements d'état s'effectuent dans un serpentin qui est refroidi par une circulation d'eau.

Deux cas peuvent se présenter :

Ou bien le serpentin est plongé dans l'eau, et la chaleur dégagée a pour effet d'élever la température de l'eau de circulation. On dit alors que le condenseur est un *condenseur à immersion* (*Tauchkondensator* en allemand; *Condenser submerged*, en anglais).

Ou bien on fait couler de l'eau sur le serpentin et la chaleur dégagée par le fluide frigorigène a pour effet de produire la vaporisation partielle de cette eau. On dit alors que le condenseur est un *condenseur à ruissellement* (*Berieselungskondensator*, en allemand; *condenser atmospheric* ou *condenser evaporative*, en anglais).

2. Transmission de la chaleur d'un fluide à un autre séparés par une paroi métallique. — Pour calculer un condenseur à immersion, il faut connaître les lois de la transmission de la chaleur entre deux fluides en mouvement séparés par une paroi et tels que l'un d'eux subit un changement d'état. Or, cette transmission de chaleur dépend d'un très grand nombre de facteurs :

De la *nature des deux milieux*;

De leurs *températures*;

Des *changements d'état qu'ils éprouvent*;

De la *nature de la matière formant la paroi séparatrice des deux fluides*;

De l'*épaisseur de cette paroi*;

1. Pour la rédaction de ce chapitre, nous avons fait des emprunts aux ouvrages suivants : STETZFELD, *Compendium der gesamten Kälte-Industrie*; — H. LORENZ, *Machines frigorifiques*, traduction P. Petit; — *Neuere Kühlmaschinen*; — LEHNERT, *Moderne Kältetechnik* (Leipzig, J.-J. Weber, 1905); — CONSTANZ SCHMITZ, *Die Conservierung von Nahrungsmitteln durch Kälte* (Vortrag gehalten auf der Versammlung Deutscher Naturforscher und Aerzte in Carlsbad, 23 septembre 1902); — SIEBEL, *Compend of Mechanical Refrigeration*, chap. IV; — NORMAN SELFR, *Machinery for Refrigeration* (Chicago, H.-S. Rich., 1900).

De l'état de la surface de cette paroi;

Des vitesses avec lesquelles les deux milieux s'écoulent sur les deux faces de cette paroi.

Sous cette forme très générale, le problème de la conductibilité calorifique n'a jamais été examiné au point de vue technique, et il n'existe pas d'expériences donnant des renseignements sur tous ces points. Toutefois on peut avoir quelques nombres déduits de recherches faites sur des machines frigorifiques fonctionnant dans de bonnes conditions.

3. Valeurs du coefficient de transmission de la chaleur (cas des fluides employés dans les machines frigorifiques). — Nous appellerons, pour le serpentín du condenseur, coefficient de transmission de la chaleur le nombre de grandes calories (calories-kilogrammes) qui traversent en une heure un mètre carré de la paroi de ce serpentín lorsque la différence de température entre les deux faces est égale à 1° C.

Pour les épaisseurs ordinaires des parois employées dans les serpentíns, il semble résulter d'expériences faites sur les machines frigorifiques que ce coefficient de transmission de la chaleur est indépendant de la nature du fluide frigorifique (AzH_3 , SO_2 , CO_2) employé.

Nous admettons, d'après Stetefeld¹, les nombres suivants pour valeurs des coefficients de transmission de la chaleur, que l'on doit adopter dans le calcul des serpentíns des condenseurs.

TABLEAU XVI

VALEURS DES COEFFICIENTS DE TRANSMISSION DE LA CHALEUR POUR DES SURFACES
SÉPARANT DEUX FLUIDES SOUS DIVERS ÉTATS

NATURE DES MILIEUX ENTRE LESQUELS SEFFECTUE LA TRANSMISSION DE LA CHALEUR	VALEUR DU COEFFICIENT DE TRANSMISSION DE LA CHALEUR POUR DES SURFACES DE SÉPARATION DES FLUIDES	
	En cuivre	En fer
La chaleur est transmise :		
D'une vapeur humide à une vapeur humide k_v	1.400	860
D'une vapeur surchauffée à un liquide k_h	40	35 (30 d'après Lehnert)
D'une vapeur humide à un liquide k_e	260	220 (200 d'après Lehnert)
D'un liquide à un liquide k_f	435	415 (400 d'après Lehnert)

4. Calcul de la surface d'un serpentín. — Si on veut se servir de ces coefficients pour déterminer les dimensions des surfaces du condenseur et du réfrigérant, il faut d'une

1. STETEFELD, *Compendium der gesamten Kälte-Industrie*, p. 248.

Nous ne connaissons pas les expériences qui ont conduit aux valeurs indiquées dans ce tableau; nous considérerons ces nombres comme étant seulement bons pour l'établissement d'un avant-projet. Dans le projet définitif, il sera bon de se reporter à des résultats déjà obtenus dans de bonnes installations en marche industrielle.

Ce coefficient de transmission de la chaleur a des valeurs très différentes de celles que nous venons d'indiquer lorsque la transmission se fait d'un liquide quelconque à un liquide quelconque.

Lorsqu'il s'agit des réfrigérants à ruissellement employés dans l'industrie laitière pour refroidir le lait ou la crème (nous décrirons ces réfrigérants au chapitre IV), les nombres suivants sont admis pour k_f , si le liquide réfrigérant est de l'eau et si la paroi métallique qui sépare l'eau réfrigérante du lait ou de la crème à refroidir est en cuivre ou en laiton.

Pour le lait :	} $k_f = 900$	si T (température du lait avant le refroidissement) est supérieure à 25° C.
		— $k_f = 700 - 800$ — — — — — est inférieure à 25° C.
Pour la crème :	} $k_f = 800$	si T (température de la crème avant le refroidissement) est supérieure à 25° C.
		— $k_f = 650$ — — — — — est inférieure à 25° C.

Ces nombres sont empruntés à l'ouvrage suivant :

Otto KASDORF, *Eis und Kälte im Molkereibetrieb* (Leipzig, Heinsius, 1904, p. 97).

part connaître la quantité de chaleur qui doit être transmise, et d'autre part la différence entre les températures moyennes des milieux placés des deux côtés du serpentín.

Cette différence des températures moyennes ou *différence moyenne de température* est prise égale à la moyenne arithmétique de la différence des températures à l'origine (ϑ_a) et à la fin du serpentín (ϑ_e) toutes les fois que

$$\vartheta_e \geq \frac{1}{2} \vartheta_a.$$

On a dans ce cas

$$(1) \quad \vartheta_m = \frac{\vartheta_a + \vartheta_e}{2}.$$

Quand $\vartheta_e < \frac{1}{2} \vartheta_a$ il faut prendre la formule plus exacte indiquée par Grashof (*Theoretische Maschinenlehre*, I), formule d'après laquelle on a

$$(2) \quad \frac{\vartheta_a + \vartheta_e}{\log \text{nép} \frac{\vartheta_a}{\vartheta_e}}.$$

Voici, d'après Hausbrand¹, diverses valeurs de ϑ_m calculées au moyen de la formule précédente.

TABLEAU XVII

VALEUR DE ϑ_m CALCULÉES PAR LA FORMULE $\vartheta_m = \frac{\vartheta_a + \vartheta_e}{\log \text{nép} \frac{\vartheta_a}{\vartheta_e}}$

VALEURS DE $\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a}$	VALEURS DE $\frac{\vartheta_m}{\vartheta_a}$	VALEURS DE $\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a}$	VALEURS DE $\frac{\vartheta_m}{\vartheta_a}$
0,05	0,317	0,19	0,489
0,06	0,335	0,20	0,500
0,07	0,352	0,21	0,509
0,08	0,368	0,22	0,518
0,09	0,378	0,23	0,526
0,10	0,391	0,24	0,535
0,11	0,405	0,25	0,544
0,12	0,418	0,30	0,583
0,13	0,430	0,35	0,624
0,15	0,451	0,40	0,658
0,16	0,461	0,45	0,693
0,17	0,466	0,50	0,724
0,18	0,478		

Désignons maintenant par Q la quantité de chaleur qu'il faut transmettre en une heure d'une face à l'autre du serpentín; par S_p , la surface en mètres carrés de ce serpentín (surface extérieure)²; on a la relation

$$(3) \quad Q = k \times \vartheta_m \times S_p.$$

1. E. HAUSBRAND, *Verdampfen, Kondensieren, Kühlen*. Berlin, J. Springer.

2. S'il s'agit d'un tuyau à surface extérieure lisse, la surface S_p peut, sans erreur notable, désigner soit la surface intérieure, soit la surface extérieure du tuyau; s'il s'agit d'un tuyau qui porte des ailettes, la surface S_p est la surface extérieure du tuyau qui est beaucoup plus grande que la surface intérieure.

5. Cas d'un réfrigérant à saumure. — Considérons le cas d'un *réfrigérant à saumure*. Si par heure M_s kilogrammes de saumure doivent être refroidis de la température t'_s à la température t_s et si c_s est la chaleur spécifique de la saumure, la quantité de chaleur qui doit être absorbée à la saumure a pour expression

$$(4) \quad Q_s = c_s M_s (t'_s - t_s).$$

Si l'on remarque que la température T_1 à l'intérieur du réfrigérant est constante dans le régime permanent, on a

$$\vartheta_a = t'_s - T_1, \quad \vartheta_e = t_s - T_1.$$

On en déduit

$$\vartheta_m = \frac{t_s + t'_s - 2T_1}{2} = \frac{t_s + t'_s}{2} - T_1$$

et par suite, d'après l'équation (3),

$$(5) \quad S_p = \frac{Q_s}{k \times \vartheta_m}.$$

Prenons par exemple une machine à ammoniacque dont la puissance frigorifique totale est par heure de 91.500 frigories; la température du liquide à l'intérieur du serpentin est égale à -10° C. et la saumure doit être refroidie de la température de -2° C. à la température de -5° C. Le serpentin du réfrigérant étant en fer, la surface de ce serpentin (surface extérieure) peut se calculer de la manière suivante

$$\begin{array}{l} Q_s = 91.500 \\ \left. \begin{array}{l} \vartheta_a = -2 + 10 = +8 \\ \vartheta_e = -5 + 10 = +5 \end{array} \right\} \vartheta_m = 6,5, \quad \text{puisque } \frac{\vartheta_e}{\vartheta_a} = \frac{5}{8} > \frac{1}{2}. \end{array}$$

Dans le serpentin du réfrigérant se trouve à la fois du liquide et de la vapeur saturée de ce liquide. S'il n'y avait que de la vapeur saturée, il faudrait prendre

$$k = k_e = 220,$$

ce qui donnerait

$$S_p = \frac{91500}{220 \times 6,5} = 65 \text{ mètres carrés environ.}$$

S'il n'y avait que du liquide, il faudrait prendre

$$k = k_f = 115,$$

ce qui donnerait

$$S'_p = \frac{91500}{115 \times 6,5} = 122^{\text{m}^2},5 \text{ environ.}$$

La moyenne $\frac{1}{2}(S_p + S'_p)$ donnerait 94 mètres carrés : en nombre rond, nous prendrons 100 mètres carrés pour la surface extérieure du serpentin du réfrigérant.

6. Règle pratique adoptée aux États-Unis pour la construction des serpentins de réfrigérants à AzH^3 plongés dans la saumure. — D'après Siebel¹, on adopte aux États-Unis des dimensions encore plus considérables pour les serpentins de réfrigérants à AzH^3 plongés dans la saumure.

On admet qu'il faut généralement de 37 à 46 mètres de tuyaux de 3^m,125 environ de diamètre intérieur (1,25 Inch) pour produire 3.000 frigories-heure ou une puissance frigorifique d'une tonne des États-Unis en vingt-quatre heures; cela fait de 0^m,0123 à 0^m,0150 de tuyaux

1. SIEBEL, *Compend of Mechanical Refrigeration*, p. 137 (Size of pipe in brine tank).

de 3^m,125 par frigorie-heure. Ces tuyaux ont, en réalité, un diamètre intérieur de 3^m,45 et un diamètre extérieur de 4^m,15; leur épaisseur est de 0^m,7. La circonférence extérieure d'une section droite a une longueur égale à 0^m,13 environ. La surface extérieure d'une longueur de tuyaux de 1 mètre est donc de 0^m2,13. Par conséquent, la *production en vingt-quatre heures d'une puissance frigorifique d'une tonne des États-Unis (3.000 frigories-heure) exige une surface extérieure de tuyaux variant de 4^m2,8 à 6 mètres carrés*¹.

Si l'on adopte ces nombres, il est facile de savoir quelle longueur de tuyaux de 2^m,5 (1 inch) environ de diamètre intérieur il est nécessaire d'employer pour produire 3.000 frigories-heure. Une longueur de 1 mètre de ce tuyau a une surface extérieure de 0^m2,10 environ; il faut donc une longueur de ce tuyau variant de 48 à 60 mètres ou une longueur moyenne de 54 mètres environ.

D'autre part, si l'on admet qu'il faut 100 mètres carrés de surface extérieure du serpentín pour une puissance frigorifique utile de 91.500 frigories-heure (calcul précédent), on trouve qu'il faut donner au serpentín du réfrigérant une surface extérieure de 3^m2,7 pour la production de 3.400 frigories-heure (tonne frigorifique anglaise) ou de 3^m2,28 pour la production de 3.000 frigories-heure.

Le tableau suivant donne, pour les diamètres de tuyaux en fer les plus usités, les longueurs moyennes que doit avoir le serpentín du réfrigérant d'une machine à AzH³ en admettant que, pour la production de 3.000 frigories-heure (puissance frigorifique d'une tonne des États-Unis par vingt-quatre heures), la surface extérieure de ce réfrigérant soit égale à 5^m2,4 (nombre de Siebel) ou à 3^m2,28 (nombre résultant du calcul précédent).

TABLEAU XVIII

LONGUEURS DES SERPENTINS RÉFRIGÉRANTS DES MACHINES A AzH³

(TUYAUX A SURFACE EXTÉRIEURE LISSE)

(Production de 3.000 frigories-heure ou de 1 tonne frigorifique des États-Unis par vingt-quatre heures)

VALEUR NOMINALE du DIAMÈTRE intérieur	DIAMÈTRE		ÉPAISSEUR	LONGUEUR		LONGUEUR DU TUYAU corres- pondant à une SURFACE extérieure de 1 mètre carré	SURFACE extérieure DU TUYAU correspondant à une LONGUEUR de 1 mètre	LONGUEUR	
	INTÉRIEUR	EXTÉRIEUR		de la	de la			du	du
	réal	réal		CIR- CONFÉRENCE intérieure	CIR- CONFÉRENCE extérieure			SERPENTIN du RÉFRIGÉRANT (d'après Siebel)	SERPENTIN du RÉFRIGÉRANT (calcul précédent)
centimètres	centimètres	centimètres	centimètres	centimètres	mètres	mètres carrés	mètres	mètres	
1 1/4.	1,56	2,10	0,54	4,90	6,60	15,13	0,0660	81,81	49,70
2 1/2.	2,62	3,29	0,67	8,24	10,33	9,67	0,1033	52,30	31,85
3 1/8.	3,45	4,15	0,70	10,84	13,04	7,67	0,1304	41,41	25,30
3 3/4.	4,03	4,75	0,72	12,66	14,92	6,70	0,1492	36,20	22,10
5 . . .	5,17	5,94	0,77	16,24	18,66	5,36	0,1866	28,90	17,60
6 1/4.	6,17	7,19	1,02	19,38	22,59	4,43	0,2259	23,90	14,60
7 1/2.	7,67	8,75	1,08	24,10	27,49	3,63	0,2749	19,65	12,00
10 . . .	10,06	11,25	1,19	31,60	35,34	2,83	0,3534	15,28	9,35

1. LEHNERT (*Moderne Kältetechnik*, p. 123) admet pour les serpentins des réfrigérants à saumure un échange de chaleur de 800 à 1.200 calories par mètre carré de surface intérieure des tuyaux; avec ces nombres on voit qu'il faut de 2^m2,80 à 4^m2,25 de surface intérieure des tuyaux pour produire 1 tonne anglaise de puissance frigorifique en vingt-quatre heures ou 3.400 frigories-heure; pour produire en vingt-quatre heures une tonne frigorifique des États-Unis ou 3.000 frigories-heure il faut une surface intérieure de tuyaux comprise entre 2^m2,50 et 3^m2,75.

La règle américaine donne de 4^m2,07 à 5^m2,06 par tonne frigorifique des États-Unis produite en vingt-quatre heures, ou de 4^m2,6 à 5^m2,72 par tonne frigorifique anglaise.

Les nombres qui résultent du calcul, que nous avons fait plus haut, se rapprochent beaucoup des nombres de Lehnert.

7. Calcul d'un condenseur à immersion : masse d'eau de réfrigération. —
Proposons-nous maintenant de calculer la *surface d'un condenseur ou liquéfacteur à immersion*.

Si Q_e désigne la quantité de chaleur absorbée en une heure dans l'évaporateur (réfrigérant);

$\frac{1}{E} \mathfrak{C}_i$, l'équivalent thermique du travail indiqué fourni par heure au compresseur;

q_i , la quantité de chaleur dégagée par heure au liquéfacteur, on a

$$q_i = Q_e + \frac{1}{E} \mathfrak{C}_i.$$

Cette quantité de chaleur se compose de trois termes :

q' = dégagement de chaleur correspondant à la chaleur de surchauffe;
 q'' = dégagement — — — — — de condensation;
 q''' = dégagement — — — — — à l'abaissement de la température du liquide depuis la température de liquéfaction jusqu'à la température du liquide condensé avant le robinet détenteur (*Unterkühlungswärme*);

$$q_i = q' + q'' + q'''.$$

Soit M_i la masse d'eau qui circule par heure autour du serpentín du liquéfacteur, et t_i la température de cette eau à son entrée dans le liquéfacteur.

Cette eau absorbe d'abord la quantité de chaleur q''' , et sa température s'élève de la valeur t_i à la valeur t_{i_1} , de telle sorte que l'on a

$$q''' = M_i(t_{i_1} - t_i) = M \times q_u.$$

Elle absorbe ensuite la quantité de chaleur q'' , et sa température s'élève de la valeur t_{i_1} à la valeur t_{i_2} ,

$$q'' = M_i(t_{i_2} - t_{i_1}) = M \times r(T_2).$$

Enfin elle absorbe la quantité de chaleur q' , et sa température est, à la sortie du condenseur, égale à t'_{i_1} , de telle sorte que l'on a

$$q' = M_i(t'_{i_1} - t_{i_2}) = M[-Q_s].$$

On calcule la masse d'eau de réfrigération par la formule

$$(6) \quad M_i = \frac{q_i}{t'_{i_1} - t_i} = \frac{Q_e + \frac{1}{E} \mathfrak{C}_i}{t'_{i_1} - t_i}.$$

Supposons qu'il s'agisse d'une machine ayant une puissance frigorifique totale de 91.500 frigories-heure. Le rendement d'une machine à ammoniacque est de 3.330 frigories par cheval-heure indiqué; les 91.500 frigories à produire par heure exigent donc $\frac{91500}{3330} = 27,5$ chevaux-heure indiqués. Or, on a

$$\frac{1}{E} \mathfrak{C}_i = N_i \times 637 = 27,5 \times 637 = 17.500 \text{ environ.}$$

Si l'eau de réfrigération entre à la température de $+10^\circ \text{C.}$ ($t_i = +10^\circ \text{C.}$) et sort à la température de $+20^\circ \text{C.}$ ($t'_{i_1} = +20^\circ \text{C.}$), on a

$$M_i = \frac{91500 + 17500}{10} = 10.900.$$

Il faut faire circuler dans le condenseur environ 11 mètres cubes d'eau à l'heure.

Si on adopte pour une machine à AzH³, le nombre de 3.900 frigories par cheval-heure indiqué (qui est garanti par la Société Linde), on trouve pour la quantité d'eau de réfrigération

$$M_l = \frac{91500 + \frac{91500}{3900} \times 637}{10} = 7.650$$

ou près de 8 mètres cubes à l'heure.

Pour les machines à AzH³, adoptons la moyenne des deux nombres précédents, c'est-à-dire 9^m3,5 pour volume d'eau que l'on doit faire circuler au condenseur [entrée de l'eau à + 10°, sortie de l'eau à + 20°], la puissance frigorifique étant de 91.500 frigories-heure.

Dès lors, pour produire avec une machine à AzH³, une puissance de 3.000 frigories-heure (ou de 1 tonne frigorifique des États-Unis par vingt-quatre heures), il faut faire circuler par heure au condenseur un volume d'eau égal à

$$\frac{9,5 \times 3000}{91500} = 0^m3,312$$

ou par minute

$$\frac{312}{60} = 5^m,2.$$

Aux États-Unis, d'après Siebel¹, on admet que, pour produire une tonne frigorifique en vingt-quatre heures, il faut faire circuler par minute de 6 à 12 litres d'eau suivant la température de l'eau à l'entrée du condenseur, le plus grand volume correspondant naturellement à la valeur la plus élevée de la température de cette eau à son entrée au condenseur.

8. Calcul d'un condenseur à immersion : surface extérieure du serpentín du condenseur. — Pour calculer la surface à donner au condenseur, on peut suivre la méthode suivante :

Soit $\tau_a = T_2 - t_l$ l'excès de la température de liquéfaction sur la température de l'eau à l'entrée dans le condenseur, et $\tau_e = T_2 - t'_l$ l'excès de la température de liquéfaction sur la température de l'eau à la sortie du condenseur. On prend la moyenne

$$\tau_m = \frac{2T_2 - (t_l + t'_l)}{2} = T_2 - \frac{t_l + t'_l}{2}.$$

La surface S_l cherchée a dès lors pour expression

$$(7) \quad S_l = \frac{Q_c + \frac{1}{E} \bar{Q}_i}{k \times \tau_m}.$$

Pour valeur du coefficient k , on peut prendre la moyenne des valeurs des coefficients k_c et k_f qui sont inscrites dans le tableau XVI. La surface S_l a dès lors pour expression

$$(8) \quad S_l = \frac{Q_c + \frac{1}{E} \bar{Q}_i}{\frac{k_c + k_f}{2} \times \tau_m}.$$

1. SIEBEL, *Compend of Mechanical Refrigeration*, p. 128 (Amount of Cooling Water). Siebel indique que, pour produire une tonne de glace en vingt-quatre heures, il faut faire circuler par minute de 3 à 7 gallons d'eau; nous avons transformé cette règle en admettant que, pour faire une tonne de glace en vingt-quatre heures, il faut produire 2 tonnes frigorifiques.

On peut aussi chercher les valeurs prises par le second membre de l'équation (7) en y faisant successivement $k = k_c$ et $k = k_f$ et prendre pour S_l la moyenne des deux valeurs ainsi calculées.

Dans le cas considéré plus haut, si on admet $+ 24^\circ \text{C.}$ comme température de liquéfaction, on a

$$\begin{aligned} \tau_a &= 24 - 10 = 14, & \tau_e &= 24 - 20 = 4 \\ \tau_m &= 9, & k &= \frac{115 + 220}{2} = 167,5 \end{aligned}$$

$$(9) \quad S_l = \frac{91500 + 17500}{167,5 \times 9} = 72 \text{ mètres carrés environ.}$$

Si on prend $k = k_c = 220$, on trouve pour S_l la valeur $55^{\text{m}^2},05$; si on prend $k = k_f = 115$, on trouve $105^{\text{m}^2},3$. La moyenne de ces deux nombres fournit 80 mètres carrés environ. On trouve d'ailleurs à peu près le même nombre en prenant 3.900 frigories par cheval-heure indiqué pour rendement d'une machine à AzH^3 .

Pour produire avec une machine à AzH^3 une puissance frigorifique de 3.000 frigories-heure (ou 1 tonne frigorifique des États-Unis pendant vingt-quatre heures), il faut donner au serpentín du réfrigérant une surface extérieure égale à

$$\frac{80 \times 3000}{91500} = 2^{\text{m}^2},65 \text{ environ.}$$

D'après le tableau XVIII, on voit que cette surface correspond à une longueur de $14^{\text{m}},20$ de tuyaux ayant 5 centimètres de diamètre intérieur ou à une longueur de $20^{\text{m}},40$ de tuyaux ayant $3^{\text{cm}},125$ de diamètre intérieur.

Aux États-Unis, d'après Siebel¹, lorsque l'eau de réfrigération entre au condenseur à $+ 20^\circ \text{C.}$ et en sort à $+ 27^\circ \text{C.}$, on admet qu'il faut, par tonne frigorifique produite en vingt-quatre heures (3.000 frigories-heures), avoir avec une machine à AzH^3 une surface extérieure de serpentín égale à $3^{\text{m}^2},72$, correspondant à une longueur de $19^{\text{m}},50$ de tuyaux ayant 5 centimètres de diamètre intérieur ou à $27^{\text{m}},45$ de tuyaux ayant $3^{\text{cm}},125$ de diamètre intérieur.

9. Données pratiques relatives aux serpentins des condenseurs. — D'après Lehnert², les serpentins des condenseurs ont généralement de 25 à 30 millimètres de diamètre intérieur et de 3 à 5 millimètres d'épaisseur de parois. Ces serpentins sont généralement enroulés en spires; le diamètre de ces spires ne doit pas être inférieur à 40 centimètres. De plus, afin de ne pas accroître outre mesure les résistances opposées par les tuyaux du serpentín à la circulation du fluide frigorifique, on divise généralement ce serpentín en un certain nombre de parties en relation directe avec la conduite qui vient du compresseur. La longueur de chacune de ces parties ne doit pas dépasser 150 mètres.

Cette division du serpentín en plusieurs parties indépendantes se fait aussi bien pour les réfrigérants que pour les condenseurs.

10. Règles pratiques adoptées aux États-Unis pour la construction des serpentins. — Aux États-Unis, on est loin d'atteindre cette limite de 150 mètres pour la longueur de chacune des parties d'un serpentín. On préfère multiplier le nombre de ces divisions du serpentín réfrigérant.

Les tableaux XIX et XX donnent, d'après Siebel, les dimensions adoptées pour les serpentins utilisés avec diverses puissances frigorifiques des compresseurs.

1. SIEBEL, *Compend of Mechanical Refrigeration*, p. 127 (Amount of Condenser Surface).

2. LEHNERT, *Moderne Kältetechnik*, p. 107.

TABEAU XIX
 DIMENSIONS DES SERPENTINS D'UN RÉFRIGÉRANT PLONGÉ DANS LA SAUMURE ET DU BAC A SAUMURE CORRESPONDANT (MACHINES A AZH³)
 (D'après SIEBEL, *Compend of Mechanical Refrigeration*, p. 137). — (Le diamètre intérieur des tuyaux des serpentins est égal à 2^{cm},5.)

PRODUCTION DE GLACE en 24 heures	PUISSANCE FRIGORIFIQUE		BAC A SAUMURE			VOLUME de la SAUMURE quand le BAC est plein jusqu'à 15 centimètres du bord supérieur	NOMBRE		LONGUEUR		LONGUEUR DES SERPENTINS	
	en TONNES frigorigènes États-Unis pendant 24 heures	en FRIGORIES-HEURE	LONGUEUR	LARGEUR	HAUTEUR		ÉPAISSEUR de la paroi en fer	de SERPENTINS	de TUYAUX en hauteur dans chaque SERPENTIN	de chaque CIRCONVO-LUTION	TOTALS des SERPENTINS contenus dans LE BAC	par TONNE de glace produite
12,5	25	75.000	4,90	3,95	2,60	47,108	38	12	3,35	1.527,6	122,20	61,1
20	33	105.000	6,10	3,95	2,60	58,885	46	12	3,35	1.849,2	92,91	52,8
30	50	150.000	6,40	3,95	3,35	77,290	46	16	3,35	2.465,6	82,20	49,3
40	75	225.000	6,75	4,60	4,60	135,464	52	20	3,95	4.108,0	102,70	54,8

Longueur moyenne des serpentins..... } par tonne de glace produite en vingt-quatre heures..... 98^m,6
 } par tonne frigorigène des États-Unis produite en vingt-quatre heures..... 54^m,5
 } par frigorie-heure..... 0^m,018

TABEAU XX
 DIMENSIONS DE CONDENSEURS A IMMERSION POUR MACHINES A AZH³
 (D'après SIEBEL, *Compend of Mechanical Refrigeration*, p. 131). — (Le diamètre intérieur des tuyaux est égal à 2^{cm},5.)

PRODUCTION DE GLACE en 24 heures	PUISSANCE FRIGORIFIQUE		BAC			ÉPAISSEUR de la paroi en fer	NOMBRE de SERPENTINS	NOMBRE des CIRCONVO-LUTIONS des tuyaux en hauteur dans chaque SERPENTIN	LONGUEUR		LONGUEUR DES TUYAUX	
	en TONNES frigorigènes États-Unis pendant 24 heures	en FRIGORIES-HEURE	LONGUEUR	LARGEUR	PROFONDEUR				de chaque CIRCONVO-LUTION du serpent	TOTALS des tuyaux du condenseur	par TONNE de glace produite	par TONNE frigorigène des États-Unis
5	10	30.000	3,05	1,02	1,98	0,50	9	12	2,29	260,80	52,16	26,08
10	20	60.000	3,05	2,29	1,98	0,50	20	12	2,29	579,50	57,95	28,97
12,5	25	75.000	3,05	2,29	1,98	0,50	22	12	2,29	637,45	51,00	25,50
15	30	90.000	3,05	2,55	1,98	0,50	25	12	2,29	724,40	48,30	24,15
20	35	105.000	3,05	3,05	1,98	0,50	27	12	2,29	782,30	39,10	22,35
30	50	150.000	3,05	3,05	3,68	0,625	27	24	2,29	1.564,65	52,15	31,30
40	75	225.000	4,30	3,05	4,12	1,00	27	24	3,51	2.347,00	58,67	31,30
60	110	330.000	4,30	4,00	4,12	1,00	35	24	3,51	3.042,40	50,70	27,66

Longueur moyenne des serpentins..... } par tonne de glace produite en vingt-quatre heures..... 51^m,25
 } par tonne frigorigène des États-Unis produite en vingt-quatre heures..... 27^m,20
 } par frigorie-heure..... 0^m,009

11. Calcul d'un condenseur à ruissellement. — Si on emploie *un condenseur à ruissellement, non pour faire des économies d'eau* (dans le cas où celle-ci n'est pas en quantité suffisante), mais parce que, étant obligé d'employer de l'eau sale, on veut rendre le nettoyage plus facile, *on peut calculer la surface du serpentín comme nous venons de le faire pour un condenseur à immersion.*

Mais, si *on construit un condenseur à ruissellement pour faire des économies d'eau*, il convient de remarquer que le refroidissement y est opéré par évaporation de l'eau. Faisons le calcul d'un tel condenseur en évaluant la quantité de chaleur absorbée par cette évaporation.

Représentons par :

P_e , le poids en kilogrammes de l'eau évaporée pendant une heure; ce poids doit être remplacé par un afflux égal de ce liquide;

S , la surface de contact entre l'air et l'eau exprimée en mètres carrés;

α , un coefficient que l'on peut prendre égal à

$$\left\{ \begin{array}{ll} 0,55 & \text{pour l'air tranquille (appareil placé dans une cour);} \\ 0,70 & \text{— moyennement agité (appareil placé dans les villes sur les toits);} \\ 0,85 & \text{— fortement agité (appareil placé à l'air libre sans voisinage).} \end{array} \right.$$

F , la tension maximum de la vapeur d'eau à la température de l'évaporation de l'eau (température moyenne de l'eau qui coule sur le serpentín du condenseur);

f' , la tension actuelle de la vapeur d'eau dans l'air à son arrivée dans l'enceinte où se trouve le condenseur;

f'' , la tension actuelle de la vapeur d'eau dans l'air à sa sortie de l'enceinte où se trouve le condenseur;

H_0 , la hauteur barométrique normale (colonne de mercure de 760 millimètres de hauteur);

H , la hauteur barométrique actuelle en millimètres de mercure.

Pour calculer P_e , on peut, avec une exactitude suffisante, se servir de la formule de Dalton,

$$P_e = \frac{60}{1000} \alpha S \left[F - \frac{f' + f''}{2} \right] \frac{760}{H},$$

ou

$$(10) \quad P_e = 45,6 \alpha S \left[F - \frac{f' + f''}{2} \right] \frac{1}{H}.$$

La quantité de chaleur ($Q_e + \frac{1}{E} \mathcal{C}_i$) dégagée au condenseur a pour effet :

1° D'échauffer le poids P_e d'eau depuis la température t_k à laquelle elle arrive au condenseur jusqu'à la température t'_k à laquelle elle s'évapore; la quantité de chaleur absorbée par cette modification est

$$Q_I = P_e (t'_k - t_k);$$

2° De compenser la chaleur dégagée par l'eau à l'air extérieur par conductibilité et rayonnement; cette quantité de chaleur est

$$Q_{II} = k_1 \vartheta_m S,$$

dans laquelle k_1 est compris entre 20 et 25, et ϑ_m est la différence moyenne de température entre l'eau et l'air environnant;

3° De vaporiser le poids P_e d'eau, ce qui absorbe un nombre de calories représenté par

$$Q_{III} = 600 P_e.$$

On a donc l'équation

$$(11) \quad Q_e + \frac{1}{E} \varrho_i = \left[\left\{ 600 + (t'_k - t_k) \right\} 45,6 \alpha \left(F - \frac{f' + f''}{2} \right) \frac{1}{H} + h_i \varrho_m \right] S,$$

qui permet de déterminer S.

Revenons à l'exemple que nous avons étudié plus haut d'une machine à ammoniacque produisant par heure 91.500 frigories. Supposons que la machine ait un rendement de 3.000 frigories par cheval-heure indiqué; dans ce cas, $\frac{1}{E} \varrho_i = 19.750$. Soit 28° C., la température à laquelle l'eau se vaporise; $F_{28} = 28^{\text{mm}},1$ de mercure.

Pour nous placer dans les conditions les plus défavorables, supposons que la température moyenne du mois le plus chaud de l'été soit de + 20° C. et que l'état hygrométrique moyen soit de 0,6. Dans ce cas, on a

$$f' = 0,6 \times 17,39 = 10^{\text{mm}},42 \text{ de mercure.}$$

Supposons que l'air sorte à + 24° C., et avec un état hygrométrique 0,75; dès lors

$$f'' = 0,75 \times 22,18 = 13^{\text{mm}},30 \text{ de mercure.}$$

$$\frac{f' + f''}{2} = 11^{\text{mm}},86.$$

Si on prend $\alpha = 0,70$ (*Installation d'un condenseur à ruissellement sur un toit*), on trouve pour une hauteur barométrique moyenne de 750 millimètres

$$P_e = S \times 43,6 \times 0,7 [28,10 - 11,86] \frac{1}{750}$$

$$P_e = S \times 0,7.$$

D'autre part, soit $t_k = + 10^\circ$, $t'_k = + 28^\circ$,

$$\varrho_m = \frac{\varrho_a + \varrho_e}{2} = \frac{(28 - 20) + (28 - 24)}{2} = 6^\circ.$$

On a finalement

$$S = \frac{91500 + 19750}{618 \times 0,7 + 6 \times 25} = 200 \text{ mètres carrés environ,}$$

$$P_e = 200 \times 0,7 = 140 \text{ kilogrammes d'eau par heure.}$$

Mais, en raison de ce que les surfaces des tubes n'exercent pas toutes leur action avec la même intensité, en raison des pertes d'eau par jaillissement des gouttes d'eau emportées par l'air, on doit augmenter de 10 0/0 la surface calculée par la méthode précédente.

Dans l'exemple que nous avons choisi, la surface du condenseur à ruissellement doit être de 220 mètres carrés.

Il n'est heureusement pas nécessaire de constituer uniquement cette surface d'évaporation par la surface des tuyaux du condenseur; il convient d'employer des surfaces de moindre prix en plaçant entre les rangées de tuyaux des plaques verticales en tôle percées de trous, ou mieux des treillis en fils, afin de permettre une circulation très active de l'air.

12. Dimensions de condenseurs à ruissellement employés aux États-Unis (machines à AzH³). — Donnons maintenant, d'une part d'après Skinkle et Siebel, et, d'autre part, d'après la firme Fred. W. Wolf de Chicago, les dimensions de condenseurs à ruissellement usitées aux États-Unis avec des machines à AzH³.

TABEAU XXI

DIMENSIONS DE CONDENSEURS A RUISSELLEMENT POUR MACHINES A AZII³

(SIEBEL, Compend of Mechanical Refrigeration, p. 131)

PRODUCTION DE GLACE en 24 heures	PUISSANCE FRIGORIFIQUE		AUGES SUPERIEURE ET INFÉRIEURE DU CONDENSEUR				NOMBRE		DIAMÈTRE intérieur d'un TUYAU	LONGUEUR		LONGUEUR DES TUYAUX		
	en TONNES frigorifiques des États-Unis pendant 24 heures	et FRIGORIES- HEURE	LONGUEUR	LARGEUR	PROFONDEUR	ÉPAISSEUR du fer formant la paroi	de TUYAUX en hauteur 1	de rangées DE TUYAUX en largeur 2		d'un TUYAU du serpentin de l'une à l'autre des coudures	totale DES TUYAUX du condenseur	PAR TONNE de glace produite	PAR TONNE frigorifique des États-Unis	PAR TONNE frigorifique HEURE
tonnes			mètres	mètres	centimètres	centimètres			centimètres	mètres	mètres	mètres	mètre	
12,5	25	75.000	6,40	3,25	20,25	0,50	40	5	2,5	1.122,50	89,80	44,90	0,015	
20	35	105.000	7,50	3,25	20,25	0,50	40	5	2,5	1.354,20	67,70	38,70	0,013	
30	50	150.000	7,50	4,30	20,25	0,50	50	7	2,5	2.363,75	78,79	47,27	0,016	
40	75	225.000	7,50	4,30	20,25	0,50	50	7	3,12	2.363,75	59,09	31,52	0,010	
50	100	300.000	7,50	4,30	20,25	0,50	90	7	2,5	4.254,75	85,09	42,55	0,014	
60	125	375.000	7,50	4,30	30 »	0,50	80	7	3,12	3.782,00	63 »	30,25	0,010	
80	150	450.000	8,40	5,20	30 »	0,50	80	7	3,12	4.294,5	53,70	28,63	0,009	

Longueur moyenne des tuyaux ayant	} par tonne de glace produite en vingt-quatre heures.	80 ^m ,35
2 ^m ,5 de diamètre intérieur		43 ^m ,35
		0 ^m ,0145
Longueur moyenne des tuyaux ayant	} par tonne de glace produite en vingt-quatre heures	58 ^m ,60
3 ^m ,12 de diamètre intérieur		30 ^m ,12
		0 ^m ,0096

NOTA. — Le condenseur est divisé en plusieurs groupes de tuyaux indépendants : 1. Représente le nombre des tuyaux existant dans chaque groupe; 2. Représente le nombre des groupes de tuyaux indépendants.

DIMENSIONS DE CONDENSEURS A RUISSELLEMENT POUR MACHINES A AZH³

(D'après les données de la firme Fred. W. Wolff C. de Chicago)
 (Entre les rangées de tubes se trouvent des plaques verticales en tôle perforée. Voir fig. 121)

PRODUCTION DE GLACE en 24 heures	PUISSANCE FRIGORIFIQUE		ESPACE NÉCESSAIRE POUR L'INSTALLATION			DIAMÈTRE intérieur des TUYAUX	LONGUEUR D'UN TUYAU du serpentín de l'une à l'autre des courbures	NOMBRE		LONGUEUR TOTALÉ des tuyaux du condenseur	POIDS DU CONDENSEUR prêt pour l'expédition
	EN TONNES des États-Unis pendant 24 heures	en FRIGORIES-HEURE	LONGUEUR	LARGEUR	HAUTEUR			DE TUYAUX en hauteur	de groupes DE TUYAUX en largeur		
tonnes			mètres	mètres	mètres	centimètres	mètres			mètres	kilogrammes
4. . . .	7,5	22.500	6	0,60	2,45	3,12	5,50	20	1	110	1.045
8. . . .	15	45.000	6	0,93	2,45	3,12	5,50	40	2	220	2.090
7. . . .	12,5	37.500	6,60	0,60	3,60	5 »	6,10	24	1	146,50	1.460
12,5. . .	25	75.000	6,60	1,10	3,60	5 »	6,10	48	2	293	2.920
20. . . .	35	105.000	6,60	1,70	3,60	5 »	6,10	72	3	439,50	4.380
30. . . .	50	150.000	6,60	2,20	3,60	5 »	6,10	96	4	586	5.840
40. . . .	75	225.000	6,60	3,70	3,60	5 »	6,10	144	6	879	8.760
50. . . .	100	300.000	6,60	4,90	3,60	»	6,10	192	8	1.172	11.680
80. . . .	150	450.000	6,60	7,40	3,60	5 »	6,10	288	12	1.758	17.520
100. . . .	200	600.000	6,60	9,80	3,60	5 »	6,10	384	16	2.344	23.360

13. Modes de construction des condenseurs à immersion. — Arrivons maintenant au mode de construction des *condenseurs à immersion*.

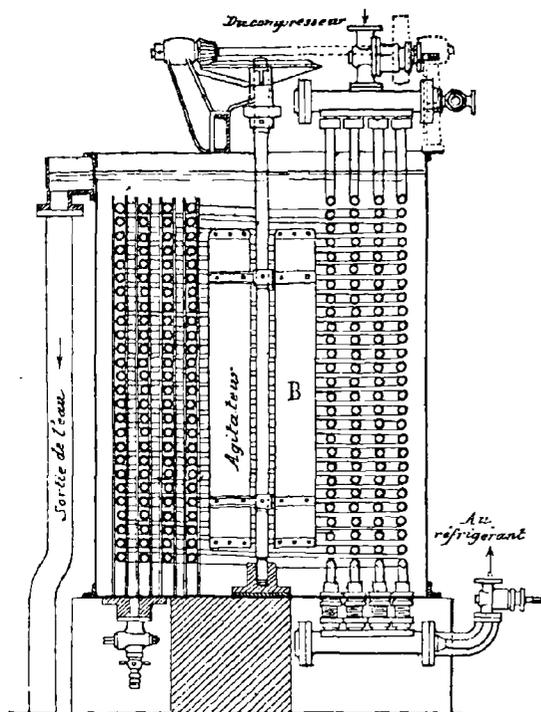


FIG. 112. — Condenseur à immersion.

Les condenseurs des machines à AzH^3 sont formés de tuyaux en fer forgé ou de préférence en acier doux d'un diamètre intérieur de 20 à 50 millimètres dont les parois ont de 3 à 8 millimètres d'épaisseur. Ils sont, quand cela est possible, laminés sans soudures ou à soudures hélicoïdales et raccordés entre eux par des soudures faites à l'arc électrique de manière à n'avoir pas de joints sous l'eau. Les tuyaux des condenseurs à anhydride sulfureux sont en cuivre. L'eau circule dans un récipient cylindrique ouvert à sa partie supérieure et dans lequel sont immergées les spirales du condenseur. Le courant de fluide frigorigène et le courant d'eau de réfrigération sont en sens inverse. La figure 112 représente un tel condenseur. Au centre est placé un agitateur B qui permet de donner à l'eau un mouvement de circulation allant de l'axe du cylindre vers ses parois, de telle façon que cette eau ait une température à peu près constante en tous les points du bain.

Comme le montre la figure 112, afin de ne pas augmenter outre mesure la résistance à la circulation du fluide dans des tuyaux de trop grande longueur, on divise le condenseur en plusieurs sections ou condenseurs partiels, qui peuvent être isolés les uns des autres en cas d'accident à l'un d'eux. La figure 113 représente un élément de condenseur immergé.

La maison *Borsig* de Berlin-Tegel a construit pour les abattoirs de Berlin des condenseurs à immersion à SO^2 qui sont représentés sur la figure 114. Ils se composent d'une cuve cylindrique en tôle forte de 3 mètres de hauteur sur 2^m,95 de diamètre avec serpentins en cuivre étiré sans soudure de 3 millimètres d'épaisseur et de 47 millimètres de diamètre extérieur; la longueur totale de ces serpentins est de 1.160 mètres, et leur surface de refroidissement atteint environ 150 mètres carrés.

Les tuyaux du condenseur représenté sur la figure 112 ont tous le même nombre de spires, et, comme le diamètre de ces dernières augmente du centre vers la périphérie du récipient, les tuyaux ont tous une longueur et une surface d'échange différentes. Or la résistance à l'écoulement du fluide frigorigène augmente avec la longueur des tuyaux; les spirales extérieures, qui possèdent la plus grande surface d'échange, sont donc précisément traversées par une quantité de fluide moindre que les spirales intérieures. En outre, l'eau qui circule autour des spirales extérieures est beaucoup moins soumise à l'action de l'agitateur. Il résulte de là une mauvaise utilisation des surfaces d'échange extérieures. On a remédié à cet inconvénient, dans les machines

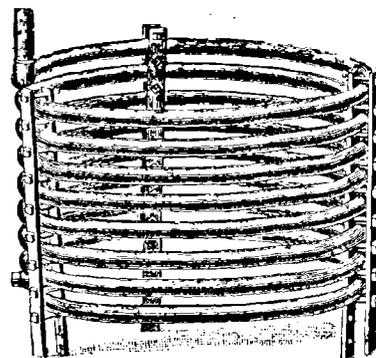


FIG. 113.
Élément de condenseur à immersion.

Linde, en donnant à tous les tuyaux la même longueur; dans ces conditions, les spirales intérieures sont composées d'un plus grand nombre de spires qui se trouvent nécessaire-

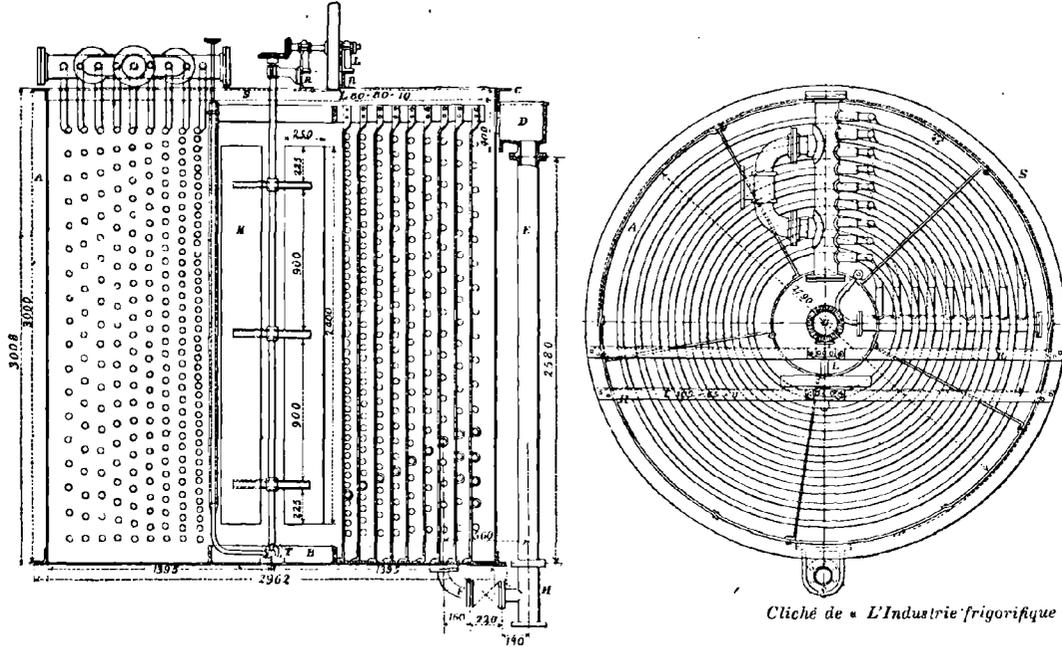


FIG. 114.

Condenseur à immersion à SO_2 construit par la firme de Borsig de Berlin-Tegel pour le frigorifique des abattoirs de Berlin. (Les cotes inscrites sur la figure sont exprimées en millimètres.)

ment plus serrées que celles des spirales extérieures (fig. 115). Les spires des tuyaux intérieurs sont toutefois si serrées, à cause de leur nombre, qu'elles contrarient fortement la circulation de l'eau, de sorte que l'agitateur perd beaucoup de son effet en absorbant plus de travail. On peut éliminer cet inconvénient en supprimant complètement l'agitateur et l'espace à l'intérieur des spires. On remplit ce dernier par un cylindre en tôle, et on fait pénétrer l'eau latéralement, dans une direction tangentielle autant que possible, de manière à ce qu'elle monte dans le récipient en suivant la forme des spires.

14. Modes de construction des condenseurs à immersion. — Condenseurs compound.

— On emploie souvent aussi comme condenseurs à immersion des condenseurs compound dont le type est représenté sur le schéma de la figure 116. Le condenseur est divisé en deux parties : un condenseur primaire à gros serpentin unique relié directement au compresseur, dans lequel une partie du fluide se liquéfie; le fluide non liquéfié se rend au condenseur secondaire qui est formé de serpentins multiples et de petit diamètre. L'eau de réfrigération circule d'abord autour des serpentins du condenseur secondaire pour venir ensuite baigner le ser-

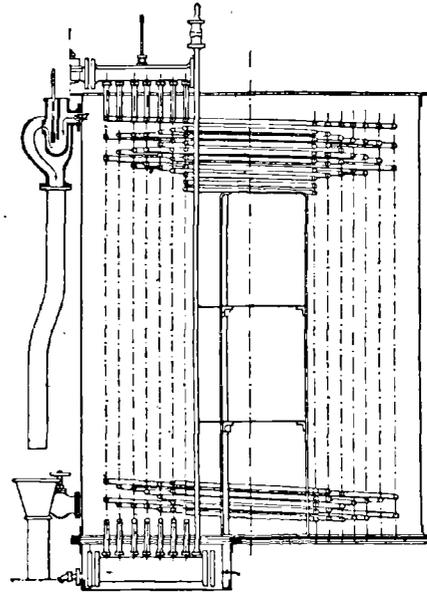


FIG. 115.

Condenseur à immersion, type Linde.

pentin du condenseur primaire. Ce mode de construction, un peu différent de celui qui est

adopté par la *York Manufacturing Co*, a été proposé par un ingénieur australien, *M. Norman Selfe*¹.

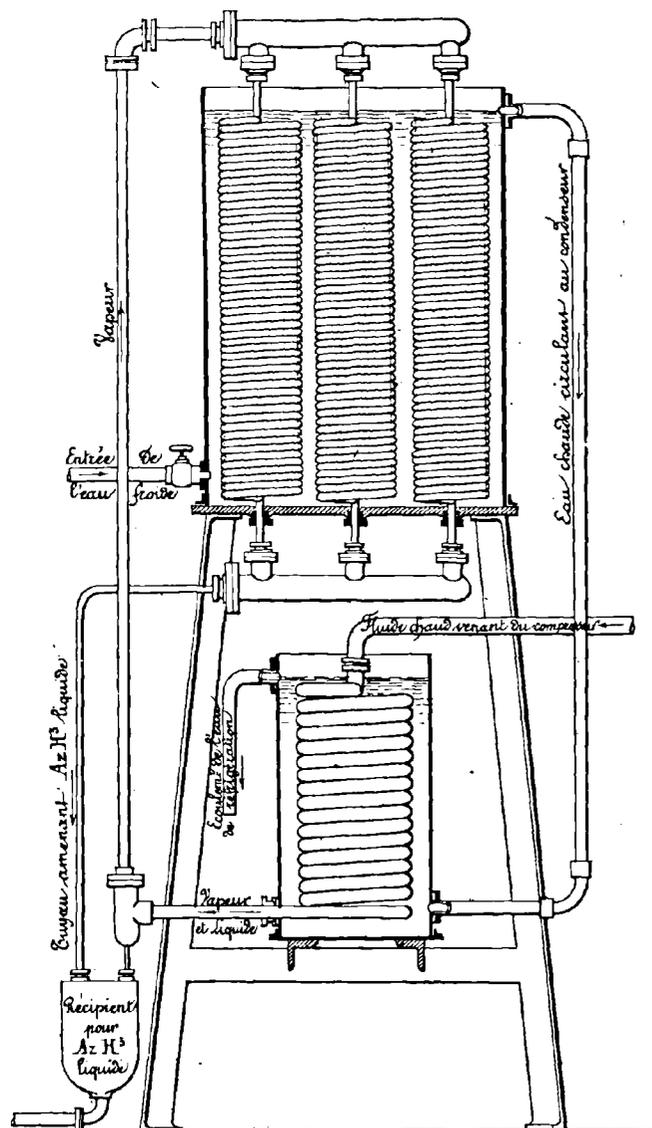


FIG. 116. — Condenseur compound à immersion, type Norman Selfe.

courant d'air naturel suffisant, on installe le condenseur dans un local fermé à l'intérieur duquel on provoque, au moyen de ventilateurs, le courant d'air indispensable. Mais les quantités d'air que l'on doit faire passer sont alors très considérables; on compte en effet que, pour évaporer par heure 1 kilogramme d'eau avec de l'air d'état hygrométrique 0,70, il faut faire passer par heure 300 mètres cubes d'air. Le travail consommé par les ventilateurs entre donc sérieusement en ligne de compte; on ne doit donc avoir recours à cette solution qu'en dernier ressort et, dans ce cas, disposer verticalement le tuyau d'échappement de l'air humide et chaud pour tirer parti de sa faible densité.

Les tubes du condenseur sont horizontaux. Ils se composent d'une série de tubes superposés réunis à leurs extrémités par des tubes coudés (*fig. 117*). Le fluide chaud venant du

15. Condenseurs à ruissellement. — Comme nous l'avons dit plus haut, les condenseurs à ruissellement effectuent le refroidissement par la vaporisation de l'eau que l'on fait couler sur les tuyaux. Ils doivent donc, pour favoriser cette évaporation de l'eau, présenter une très grande surface de contact avec l'air atmosphérique; il importe, en outre, de les placer dans un fort courant d'air qui remplace rapidement l'air saturé d'humidité par de l'air sec. On tient compte de la première de ces conditions : 1° en faisant ruisseler l'eau de condensation en une nappe mince, mais continue, à la surface des tubes du condenseur; 2° en multipliant les surfaces d'échange soit entre le fluide frigorigène et la paroi des tubes du condenseur, soit entre la surface extérieure du condenseur et l'air extérieur.

Pour satisfaire à la seconde condition, on place le condenseur dans un endroit exposé, sur un toit ou un échafaudage (à peu de distance de la salle des machines), en orientant les serpentins dans la direction du vent dominant. Lorsque les conditions locales ne permettent pas d'établir un

1. NORMAN SELFE, *Machinery for Refrigeration*, p. 62 (H. S. Rich., Chicago, 1900).

compresseur doit arriver à la partie supérieure et sortir à la partie inférieure. Il est mauvais de faire circuler ce fluide en sens contraire, car on laisse ainsi le liquide en contact avec les gaz chauds, d'où une réévaporation et une obtention de liquide à une température trop élevée. L'eau destinée à produire la condensation est distribuée par une gouttière ou un tuyau horizontal Wg percé d'un grand nombre de trous et alimenté par un réservoir spécial. L'eau qui ne s'est pas évaporée est recueillie au bas du condenseur dans un bac B et retourne au réservoir. On ajoute de temps en temps dans ce réservoir l'eau nécessaire pour remplacer celle qui s'est évaporée.

Ce type de condenseur ne permet pas une condensation suffisamment complète du fluide frigorigène et donne un liquide beaucoup trop chaud. Aussi a-t-on construit des condenseurs à ruissellement du type *compound*. La figure 118 représente un tel condenseur à ruissellement

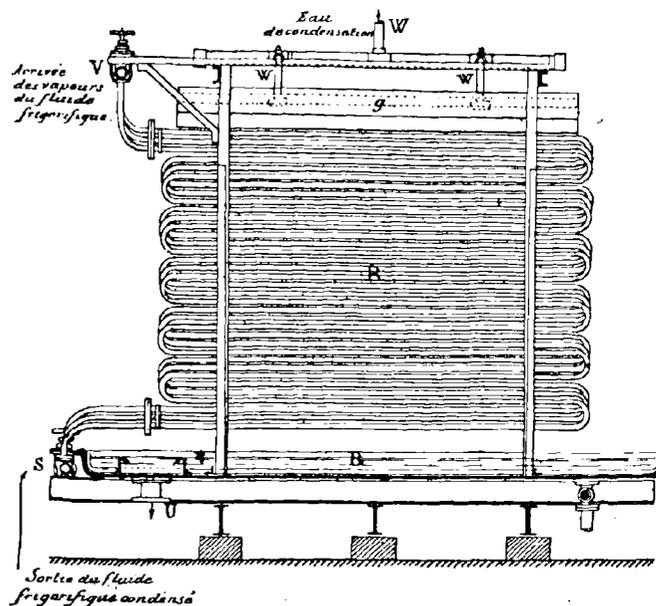


FIG. 117. — Condenseur à ruissellement.

construit par *Norman Selfe* sur le modèle du condenseur à immersion que nous avons décrit plus haut¹. Le fluide chaud venant du compresseur arrive par la vanne A et par le conduit B à la partie supérieure du condenseur primaire CD; le mélange de liquide et de vapeur sort à la base inférieure du condenseur CD dans le receiver E où se dépose l' AzH^3 liquéfié. Les vapeurs non liquéfiées sortent du receiver E et, par le tuyau FF_1 , arrivent à la partie supérieure du condenseur secondaire GH. Enfin l' AzH^3 liquide s'écoule par le tuyau KK_1 (qui part de la partie inférieure du condenseur secondaire GH) et par le tuyau L dans le récipient M où se rassemble le liquide provenant des deux condenseurs représentés sur la figure 118. Chacun des condenseurs est d'ailleurs pourvu de vannes spéciales qui permettent en cas d'avarie de réparer l'un d'eux sans interrompre le fonctionnement de l'appareil.

Pour condenser et refroidir aussi complètement que possible le fluide venant du compresseur sans employer le dispositif *compound*, on dispose entre les tuyaux du condenseur des plaques de tôle perforées verticales. La figure 119 représente un condenseur de ce type construit par la *Buffalo Refrigerating Machine Co.* Il se compose de tuyaux de 5 centimètres de diamètre intérieur horizontaux et encastrés à leurs deux extrémités dans deux colonnes montantes creuses formées de différentes sections pouvant se raccorder, chacune de ces sections correspondant à trois ou quatre tuyaux du condenseur². Le fluide chaud venant du compresseur arrive à la partie supérieure de l'une des colonnes verticales, se répand dans les tuyaux horizontaux où il se condense; l'ammoniaque liquide sort à la partie inférieure de la colonne opposée. A l'intérieur de cette dernière colonne circule d'abord l'eau de réfrigération qui condense ainsi les dernières parties du fluide et refroidit l'ammoniaque liquide. Cette eau arrive alors à la partie supérieure du condenseur et retombe en pluie sur les

1. NORMAN SELFE, *Machinery for Refrigeration*, p. 65.

2. On peut ainsi accroître ou diminuer facilement le nombre des tuyaux du condenseur. L'inconvénient de ce mode de construction est d'accroître outre mesure le nombre des joints.

tuyaux dont les intervalles sont garnis de plaques de tôle percées de trous. Enfin il existe à la partie supérieure de la colonne par où entre le fluide chaud un robinet de purge permettant d'évacuer les gaz étrangers qui se trouvent mélangés au fluide et dont la présence gêne le fonc-

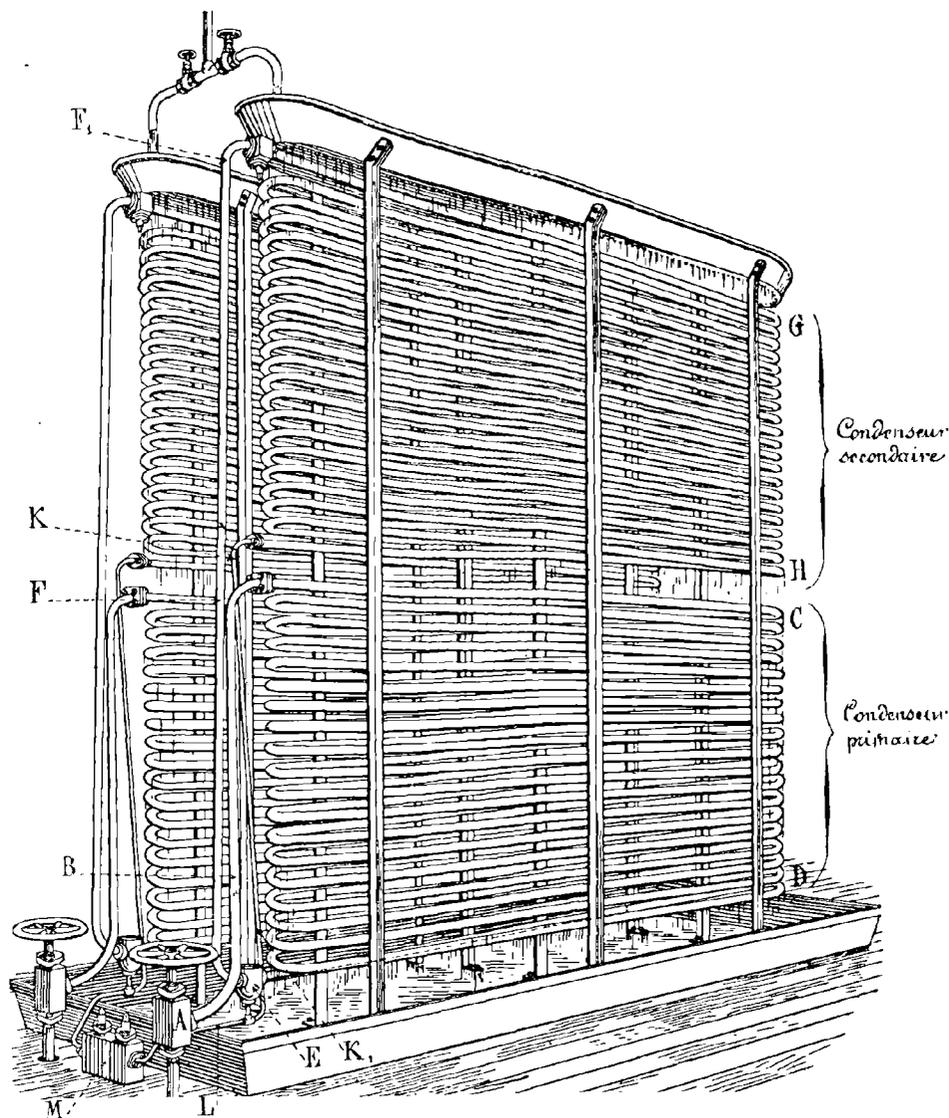


FIG. 118. — Condenseur compound à ruissellement Norman Selfe.

A, Entrée du fluide chaud venant du compresseur; — B, Conduite amenant le fluide chaud à la partie supérieure du condenseur primaire CD; — E, Récipient à AzH^3 liquide dans lequel aboutit le condenseur primaire; — FF, Tuyau faisant communiquer la partie inférieure du condenseur primaire avec la partie supérieure du condenseur secondaire GH; — KK, Tuyau amenant AzH^3 liquide au receiver E; — L, Tuyau d'écoulement d' AzH^3 liquide; — M, Récipient où arrive AzH^3 liquide venant des deux condenseurs.

tionnement de l'installation : à la partie inférieure de la même colonne se trouve un robinet purgeur pour l'huile.

Le condenseur de la firme *Lebrun* de Nimy (Belgique) est construit sur le même principe que le précédent. Mais, pour augmenter à la fois la résistance des tuyaux et leur surface de refroidissement, on les munit à l'intérieur d'hélices en fer, comme on le voit sur la figure 120.

Au lieu d'une seule rangée de tubes, le condenseur peut comprendre plusieurs rangées, comme le montre le condenseur *Fred. W. Wolf* représenté sur la figure 121. Sur la conduite

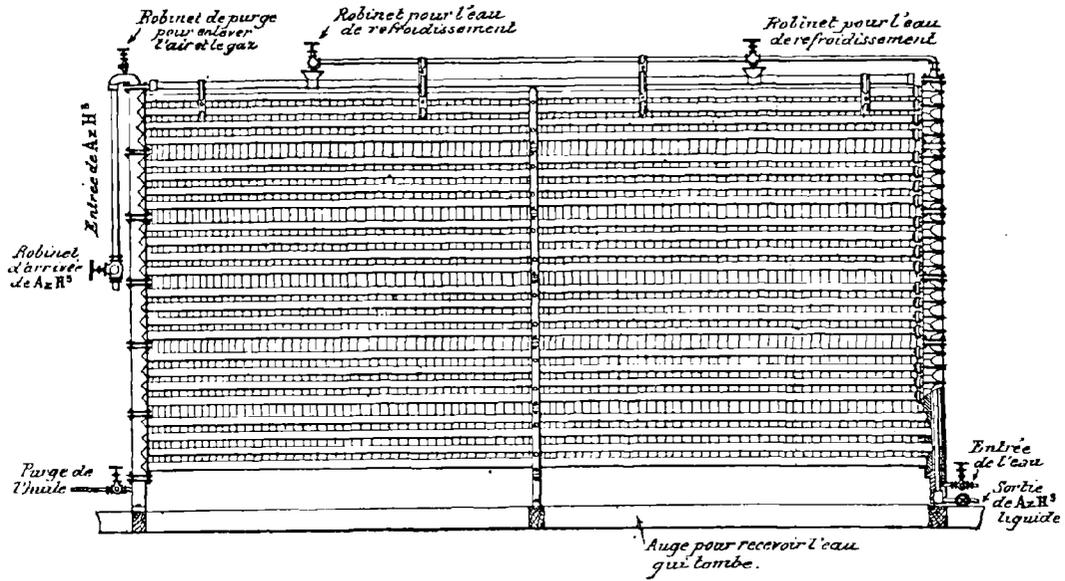


FIG. 119. — Condenseur à ruissellement (type Buffalo Refrigerating Machine C°).

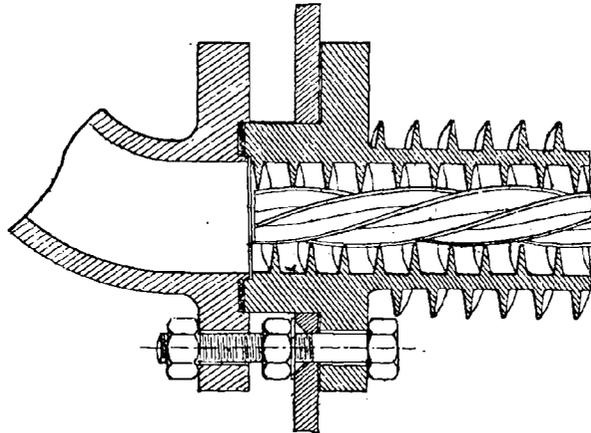


FIG. 120. — Tuyau de condenseur à ruissellement Lebrun.

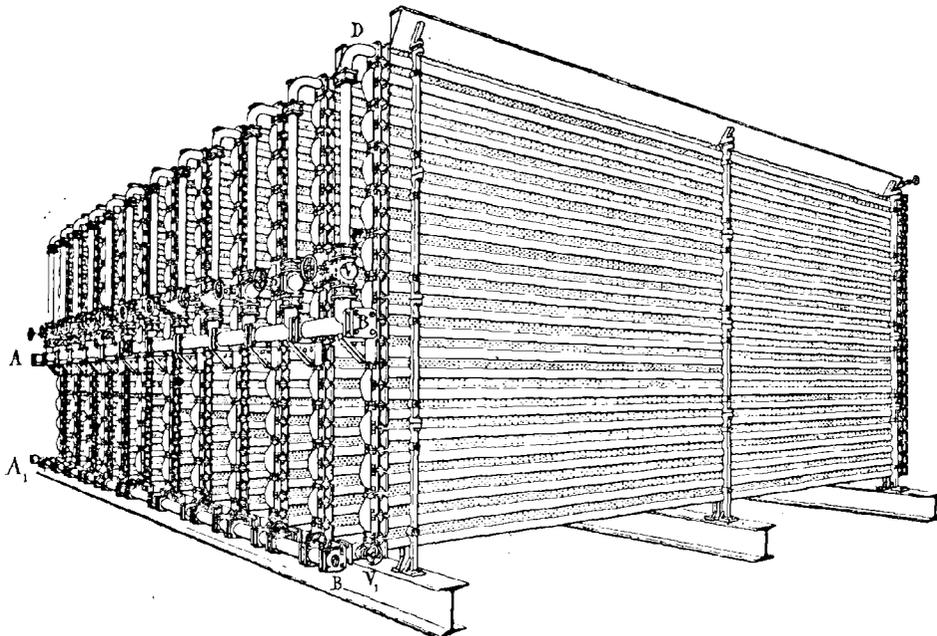


FIG. 121. — Condenseur à ruissellement Fred. W. Wolf.

générale AB en relation avec le compresseur et par laquelle arrive le fluide chaud sont branchées toute une série de colonnes montantes telles que CD, dont chacune est munie d'une vanne V. Le fluide chaud arrive en D à la partie supérieure de la section particulière du condenseur commandée par la vanne V; le liquide sort à la partie inférieure de cette section par la vanne V_1 . Celle-ci met la section particulière considérée en relation avec la conduite B_1A_1 , à laquelle aboutissent toutes les autres sections du condenseur. Grâce aux vannes telles que V et V_1 , on peut isoler chaque section du condenseur. Nous avons donné dans le tableau XXII les dimensions de tels condenseurs.

16. Condenseurs à doubles tuyaux. — Depuis sept ou huit ans les condenseurs à doubles tuyaux sont en faveur en Amérique. Comme le montre la figure 122, ces condenseurs se composent de deux tuyaux intérieurs l'un à l'autre. Le tuyau extérieur horizontal encasturé à ses deux extrémités dans deux colonnes montantes (type de la *Buffalo Refrigerating Machine C°*) a généralement 5 centimètres de diamètre intérieur; à son intérieur, se trouve un tuyau ayant environ 3^m,12 de diamètre intérieur dans lequel on fait circuler de l'eau, qui arrive à la partie inférieure du condenseur et sort à la partie supérieure. Le fluide à condenser circule dans l'espace annulaire compris entre les deux tuyaux; il arrive chaud à la partie supérieure du condenseur et sort à l'état liquide à la partie inférieure. Le fluide à con-

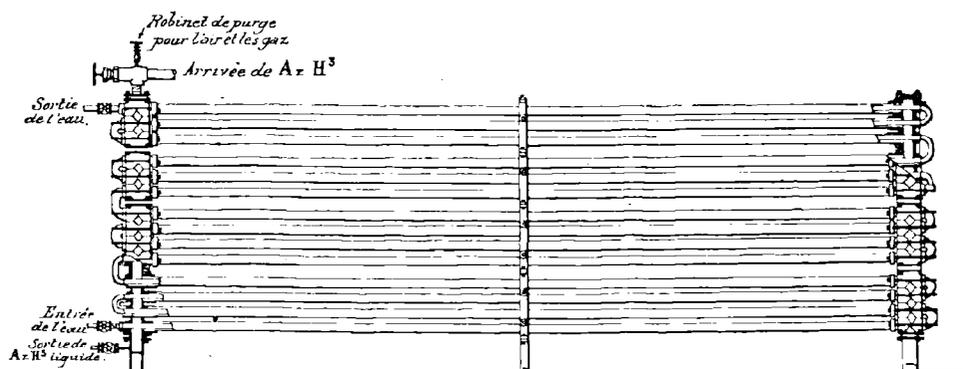


FIG. 122. — Condenseur à double tuyau (type Buffalo Refrigerating Machine C°).

denser et l'eau de réfrigération circulent donc en sens inverse l'un de l'autre; l'eau la plus froide achève ainsi la condensation du fluide, qui a déjà subi un commencement de condensation au contact de l'eau déjà réchauffée.

Ce type de condenseur présente certainement de très grands avantages au point de vue du contact intime établi entre l'eau de réfrigération et le fluide à condenser; à ce point de vue, il nécessite une longueur de tuyaux beaucoup moindre que le condenseur à immersion et que le condenseur à ruissellement. D'autre part, comme l'eau coule dans une série de tuyaux, on peut installer ce condenseur où l'on veut.

Mais ce mode de construction présente certains inconvénients graves¹. En premier lieu, il y a un grand nombre de joints qui supportent la pression de l'ammoniaque et celle de l'eau. Or ces joints sont placés soit dans des parties voisines des extrémités, soit aux extrémités mêmes de tuyaux ayant de 4^m,90 à 5^m,50 de longueur; l'inégale dilatation des tuyaux intérieurs et extérieurs produit sur eux de rapides détériorations. Ces joints travaillent faiblement, il est vrai, mais d'une manière constante et ne tardent pas à laisser échapper de

1. J. LEVEY, *Ammonia Condensers* (*Ice and Refrigeration*, t. XXVIII, n° 3, mars 1905).

l'ammoniaque. A chaque joint, cette fuite est si faible qu'il est souvent difficile de la découvrir; mais, dans les grands condenseurs, où il y a beaucoup de joints la multiplication de ces fuites conduit finalement à des pertes appréciables.

Un autre défaut du condenseur à double tuyau réside dans la petitesse de l'espace annulaire offert au passage du fluide. Le diamètre extérieur du tuyau de 3^m,12 de diamètre intérieur est égal à 4^m,15; sa section est donc de 13^m2,528; le diamètre intérieur du tuyau de 5 centimètres est égal à 5^m,175, et sa section est égale à 21^m2,033. La section de l'espace

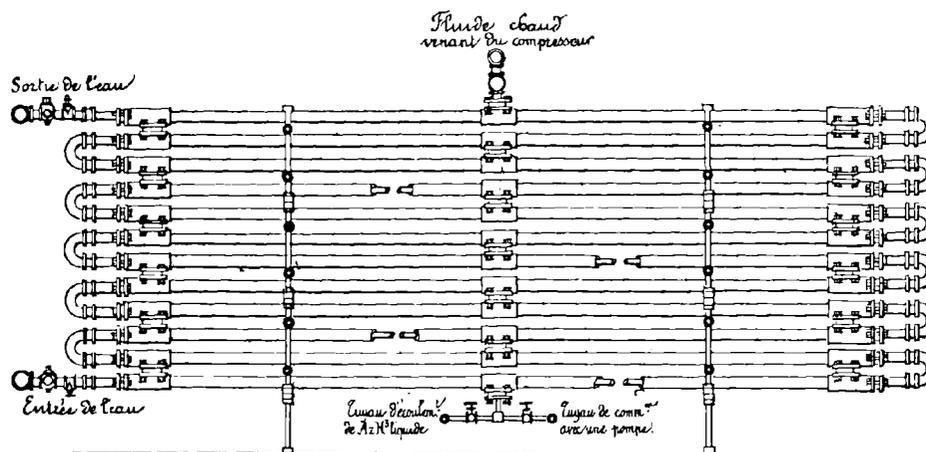


FIG. 123. — Condenseur à doubles tuyaux Westerlin et Campbell.

annulaire est égale à 7^m2,505 correspondant à un tuyau de diamètre intérieur égal à 3^m,09. Aussi, pour éviter des surpressions susceptibles de gêner le fonctionnement d'une installation, ne doit-on jamais mettre un tel condenseur en relation avec un compresseur dont le tuyau de refoulement ait un diamètre intérieur supérieur à 3^m,12.

Pour remédier à cet inconvénient de la faible section de l'espace annulaire, certains cons-

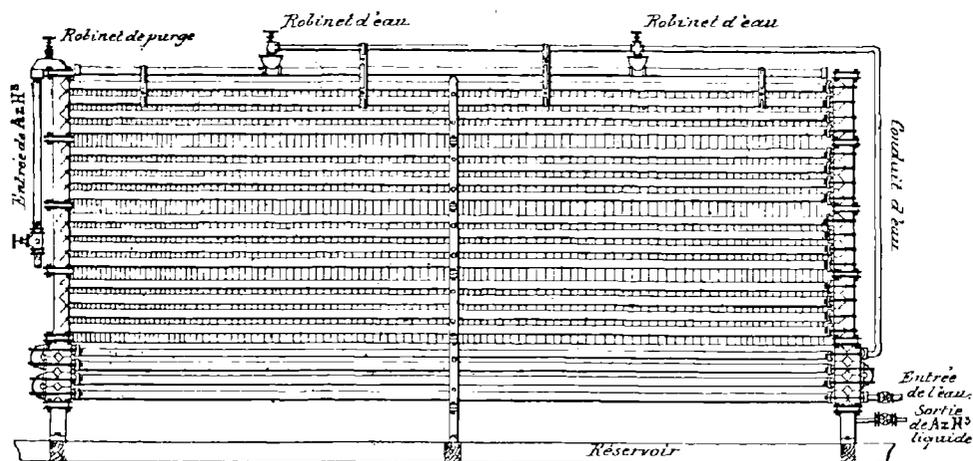


FIG. 124. — Combinaison d'un condenseur à ruissellement avec un condenseur à doubles tuyaux (Type Buffalo Refrigerating Machine C°).

tructeurs font arriver le fluide chaud venant du compresseur non plus à l'une des extrémités du tuyau de grand diamètre, mais au milieu de ce tuyau; le fluide peut alors pénétrer dans les deux espaces annulaires qui se trouvent de part et d'autre du tuyau de refoulement du condenseur; l'espace annulaire, qui est ainsi offert à la circulation du fluide, a dès lors

une section double de l'espace annulaire géométrique existant entre les deux tuyaux. Les communications entre les espaces annulaires des divers tubes sont d'ailleurs établies comme précédemment. La figure 123 représente un condenseur de ce type construit par la firme *Westerlin et Campbell de Chicago*.

D'autres constructeurs mettent en relation le tuyau de refoulement du compresseur non plus avec un seul espace annulaire, mais avec plusieurs de tels espaces réunis en quantité. Ils offrent ainsi au passage du fluide une plus grande section, mais tombent dans le défaut de faire circuler en partie le fluide dans le même sens que l'eau de réfrigération, ce qui diminue l'effet produit.

Enfin on peut combiner un condenseur à ruissellement avec un condenseur à double tuyau. La figure 124 représente un condenseur ainsi construit par la *Buffalo Refrigerating Machine Co*. Le fluide chaud venant du compresseur arrive à la partie supérieure du condenseur à ruissellement ; le condenseur à double tuyau

se trouve à la partie inférieure de celui-ci; il ne lui arrive que du fluide déjà fortement condensé dont il complète la condensation. L'eau de réfrigération circule d'abord à la partie inférieure dans le condenseur à double tuyau pour venir ensuite se déverser en pluie à la partie supérieure du condenseur à ruissellement.

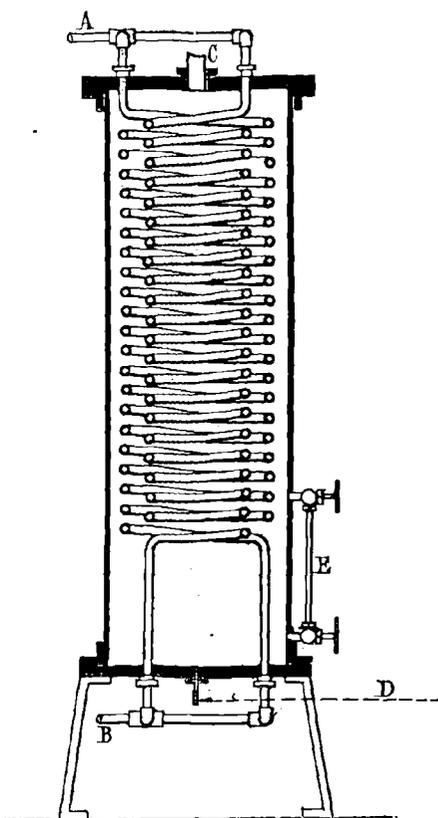


FIG. 125. — Condenseur-récepteur.

A, Sortie de l'eau; — B, Entrée de l'eau; — C, arrivée de l' AzH_3 ; — D, Tuyau de sortie de l' AzH_3 liquide; E, niveau en verre.

17. Condenseurs cylindriques ou condenseurs-récepteurs. — Le meilleur type de condenseur que l'on construit actuellement est le *condenseur cylindrique* ou *condenseur-récepteur* (en anglais *schell-condenser*), ainsi nommé par opposition avec le condenseur à tuyau étudié plus haut.

Dans ce nouveau modèle de condenseur, ce n'est plus l'ammoniaque qui vient se condenser dans une série de tuyaux plongés dans de l'eau ou sur lesquels on fait ruisseler ce liquide. Le fluide frigorigène chaud venant du compresseur pénètre dans un récipient cylindrique à l'intérieur duquel se trouve un serpentín dans lequel on fait circuler l'eau de réfrigération. La figure 125 représente un tel condenseur. Il se compose d'un cylindre vertical en fonte à parois épaisses; à l'intérieur de celui-ci se trouvent deux ou plusieurs serpentins à parois très épaisses ayant $3^{\text{m}},12$ de diamètre intérieur et dont les extrémités traversent le couvercle supérieur et le couvercle inférieur du cylindre.

Le fluide chaud venant du compresseur pénètre dans le cylindre à la partie supérieure; il se trouve alors immédiatement en contact avec les serpentins dans lesquels on fait circuler de l'eau froide en sens inverse du courant d'ammoniaque. A cause de la grande section du cylindre du condenseur, la vitesse du courant fluide est très faible dans ce cylindre; il en résulte un contact très intime entre les vapeurs d'ammoniaque et la surface des serpentins refroidie par l'eau, et par suite, une liquéfaction très complète de ces vapeurs. Le liquide produit se rassemble à la partie inférieure (munie d'un tube de niveau en verre), où il est refroidi par le courant d'eau froide qui arrive dans le serpentín réfrigérant.

Dans cet appareil, le nombre des joints soumis à la pression de l'ammoniaque est réduit à un minimum ; d'ailleurs ces joints qui se trouvent sur les couvercles supérieur et inférieur peuvent être rendus très étanches, car ils ne travaillent ni à l'expansion ni à la contraction. De plus, ce condenseur peut être placé dans la chambre des machines auprès du compresseur ; on peut ainsi donner une petite longueur au tuyau de refoulement du condenseur, et réduire au minimum la résistance opposée par ce tuyau à la circulation du fluide ; la pression de refoulement est alors très voisine de la tension de vapeur saturée de l'ammoniaque correspondant à la température moyenne de l'eau de réfrigération.

18. Condenseurs tubulaires à SO_2 . — On construit depuis longtemps pour l'anhydride sulfureux des condenseurs qui se rapprochent des condenseurs-récipients que

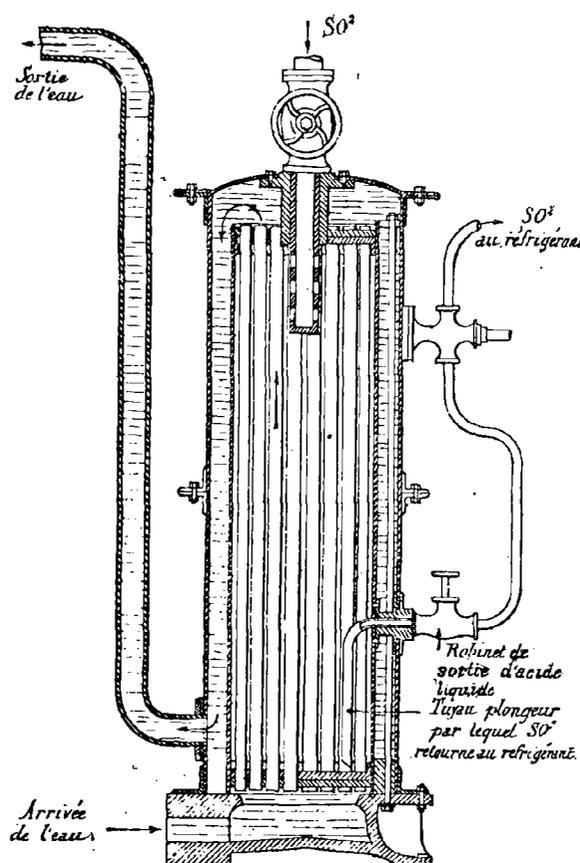
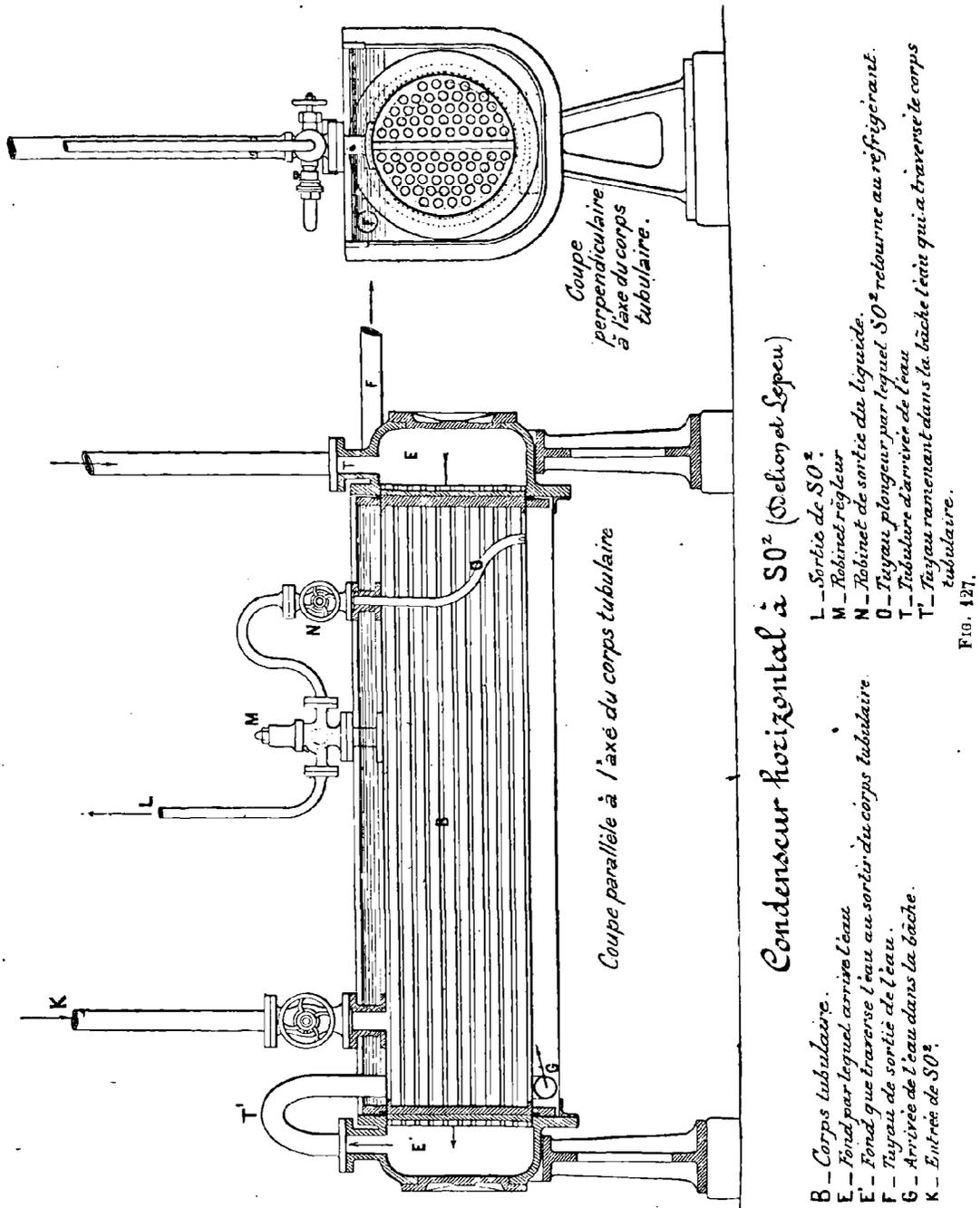


FIG. 126. — Condenseur tubulaire à SO_2 .

nous venons de décrire. Les figures 126 et 127 représentent de tels condenseurs construits par la maison *Delion et Lepeu* de Paris, par la *Société Gènevoise* et par la *Société Raoul Pictet*. Un condenseur de ce type est composé d'un récipient de grandes dimensions dans lequel arrive l'anhydride sulfureux. Ce récipient, complètement entouré par l'eau de condensation, est traversé, en outre, par des tubes étroits à parois minces dans lesquels circule cette eau de réfrigération. L'anhydride sulfureux liquéfié tombe à la partie inférieure du condenseur et, par un tuyau plongeur disposé à cet effet, retourne au réfrigérant par différence de pression. L'eau servant à la condensation arrive par une tubulure des fonds, traverse le corps tubulaire, passe dans la bache extérieure et s'écoule par le trop-plein.

19. Installation d'un refroidisseur de liquide à la suite du liquéfacteur, d'un refroidisseur de vapeur avant l'entrée au condenseur. — Dans beaucoup d'installations, on place à la suite du liquéfacteur un refroidisseur de liquide (*Flüssig-*



keitkühler) qui a pour but d'amener le liquide liquéfié qui s'écoule vers le robinet détenteur à une température aussi voisine que possible de celle de l'eau que l'on emploie pour le refroidissement. C'est là que se dégage plus particulièrement la quantité de chaleur appelée plus haut *Unterkühlungswärme*. On place en général le refroidisseur de liquide au-dessous du liquéfacteur pour permettre un écoulement naturel du fluide frigorigène de l'un

dans l'autre. Cela implique la nécessité de faire passer l'eau sous pression dans le refroidisseur de liquide, qui devra donc être hermétiquement fermé, comme le montre la figure 128.

On emploie parfois un appareil du même genre pour refroidir jusqu'à leur température de condensation les vapeurs qui sortent du compresseur, la chaleur de surchauffe est alors absorbée par l'eau qui a déjà circulé au condenseur. Les Anglais désignent souvent cet appareil sous le nom de *the Forecooler*. La figure 128 représente, combinés entre eux, un *refroidisseur de vapeur*, un *liquéfacteur à ruissellement*, un *refroidisseur de liquide*. Les conduites d'eau y sont représentées par W et les conduites du fluide frigorifique par K; en R est le robinet de détente, et en P le compresseur.

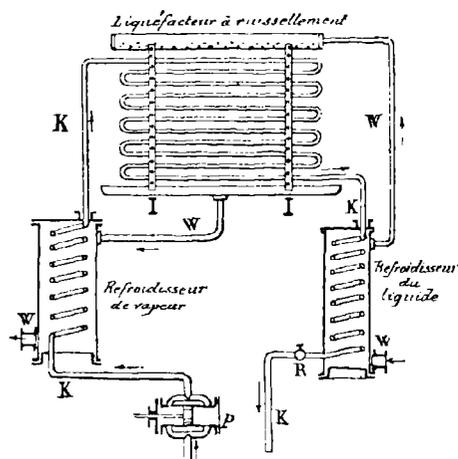


FIG. 128. — Refroidisseur de vapeur et refroidisseur de liquide.

20. Réservoir à liquide (Liquid Receiver).

— Dans les machines à AzH^3 on dispose souvent entre le condenseur et le robinet de détente un cylindre vertical dans lequel se rassemble l'ammoniaque liquide. C'est le *Réservoir à liquide* ou *Liquid Receiver*. Il a une contenance d'environ 2 litres par tonne frigorifique des États-Unis produite en vingt-quatre heures (3.000 frigories-heure). Ce réservoir peut servir de séparateur d'huile additionnel; l'huile étant en effet plus lourde que l'ammoniaque liquide tombe au fond, où sa présence peut être décelée par un niveau. Un robinet convenablement placé permet de soutirer cette huile. Un second niveau peut être placé sur le réservoir à liquide à peu près à l'endroit où le tuyau conduisant l'ammoniaque du receiver à l'évaporateur se termine à l'intérieur du receiver. On peut ainsi voir si ce dernier contient une quantité suffisante de fluide frigorifique.

Si le réservoir à liquide est destiné, dans le cas de réparations, à servir de récipient de conservation pour tout l'ammoniaque liquéfié qui se trouve dans l'installation, il doit avoir une capacité plus grande que celle qui a été indiquée plus haut. Dans ce cas, le réservoir est muni de clapets; ceux-ci ne doivent jamais être fermés tant que le réservoir n'est pas rempli au-delà des deux tiers de fluide liquéfié. Pour éviter les explosions, le réservoir à liquide doit être assez grand pour contenir plus de deux fois la charge d'ammoniaque de l'appareil.

21. Refroidisseurs d'eau de condensation.

— Aux condenseurs, on adjoint généralement des *refroidisseurs d'eau de condensation* qui permettent de ramener par une évaporation partielle l'eau des condenseurs à immersion à sa température initiale. Dans ce but, on fait tomber cette eau en pluie fine sur une surface aussi grande que possible à travers un courant d'air naturel ou artificiel. On remplace par de l'eau froide la quantité qui s'est évaporée, puis le tout revient au condenseur. On obtient aisément une surface d'évaporation convenable en employant les appareils de graduation utilisés dans les salines pour concentrer la saumure et formés simplement de fascines entassées sur un échafaudage (fig. 129). L'eau réchauffée est pompée dans une rigole ouverte à la partie supérieure de l'appareil; elle tombe ensuite en pluie à travers les brindilles des fascines et subit une évaporation partielle. L'appareil de la figure 130 se compose de planchettes de bois disposées en étages superposés de telle manière que chaque planchette soit perpendiculaire à celle qui est située au-dessus d'elle et à celle qui est située au-dessous. Dans l'appareil imaginé par Körting (fig. 131), on étale au moyen d'une lance spéciale le jet d'eau chaude en une nappe très

finement divisée et présentant une large surface d'évaporation. Aux États-Unis, on emploie actuellement des tours de réfrigération dans lesquelles l'eau à refroidir tombe sur de larges

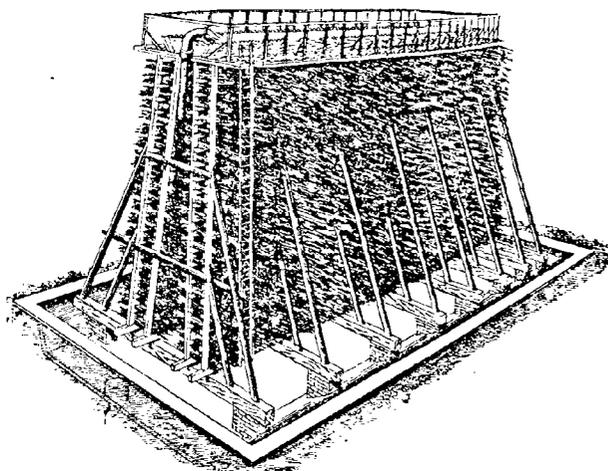


FIG. 129. — Refroidisseur d'eau de condensation.

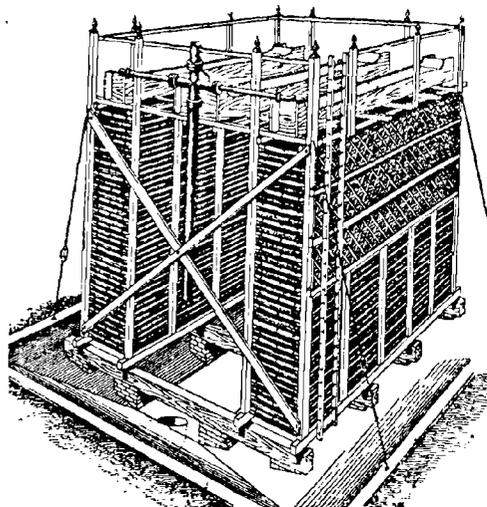


FIG. 130. — Refroidisseur d'eau de condensation.

surfaces de forme choisie pour augmenter la surface d'évaporation; au moyen de ventilateurs on provoque à l'intérieur de la tour un vif courant d'air qui favorise le refroidissement. La figure 132 représente une tour pour réfrigération d'eau du type construit par la *Ruemmel-Dawley Manufacturing Co* à Saint-Louis; l'eau chaude arrive en A à la partie supérieure, tombe en pluie sur les surfaces C, tandis qu'un fort courant d'air produit par le ventilateur V s'élève de bas en haut; l'eau refroidie se rassemble dans le bassin B. Dans la tour construite par la *Wheeler Condenser and Engineering Co* à New-York (fig. 133), l'eau chaude tombe sur un réseau en fils d'acier galvanisé; *ab* figure le tuyau d'amenée de l'eau chaude, V est le ventilateur, *c* est le tuyau d'écoulement de l'eau après refroidissement.

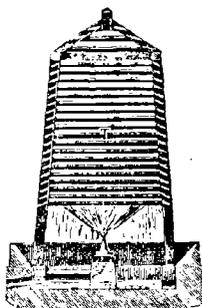


FIG. 131.
Refroidisseur d'eau
de condensation
(type Körting).

22. Réfrigérant. — Tout ce que nous venons de dire au sujet du condenseur s'applique au réfrigérant, qui ne diffère du premier que par les formes indéfiniment variées qu'il prend pour s'adapter aux différentes applications des machines frigorifiques. Nous étudierons ces formes avec ces applications mêmes.

Signalons seulement ici la forme particulière du réfrigérant des machines à SO_2 Pictet (fig. 134).

23. Disposition générale d'une installation. — Nous venons d'étudier tous les détails d'une installation d'une machine frigorifique. Nous pouvons maintenant résumer cette étude en reproduisant l'ensemble d'une installation. La figure 135 représente le schéma de cette installation. Les figures 136 et 136 bis montrent l'ensemble de l'installation frigorifique des machines à CO_2 faite à Arzew (Algérie) par la Société *Dyle et Bacalan*.

24. Saumure. — Points de congélation et chaleurs spécifiques à divers degrés de concentration. — Les échanges de chaleur entre les corps à refroidir et le fluide frigorifique se font souvent par l'intermédiaire d'une solution saline portée à basse

température et circulant entre le réfrigérant et les locaux à refroidir. Cette solution ne doit,

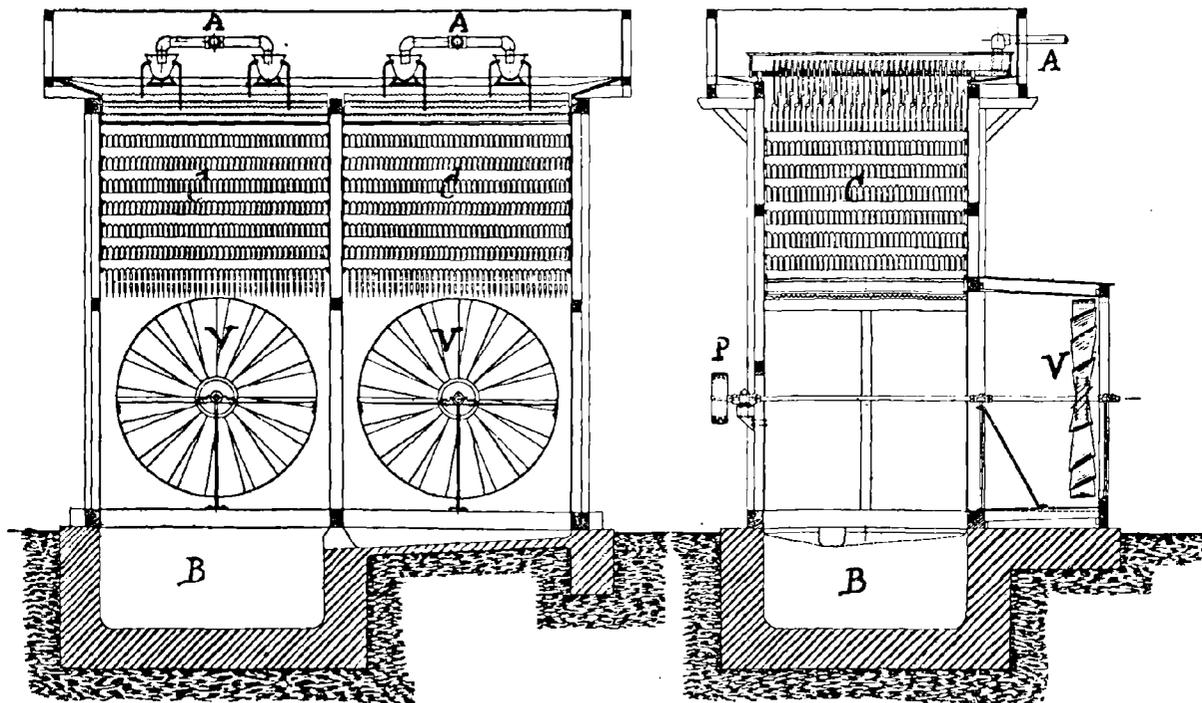


FIG. 132. — Tour pour le refroidissement de l'eau de condensation (type de la Ruemmeli Dawley Manufacturing Co à Saint-Louis, Etats-Unis).

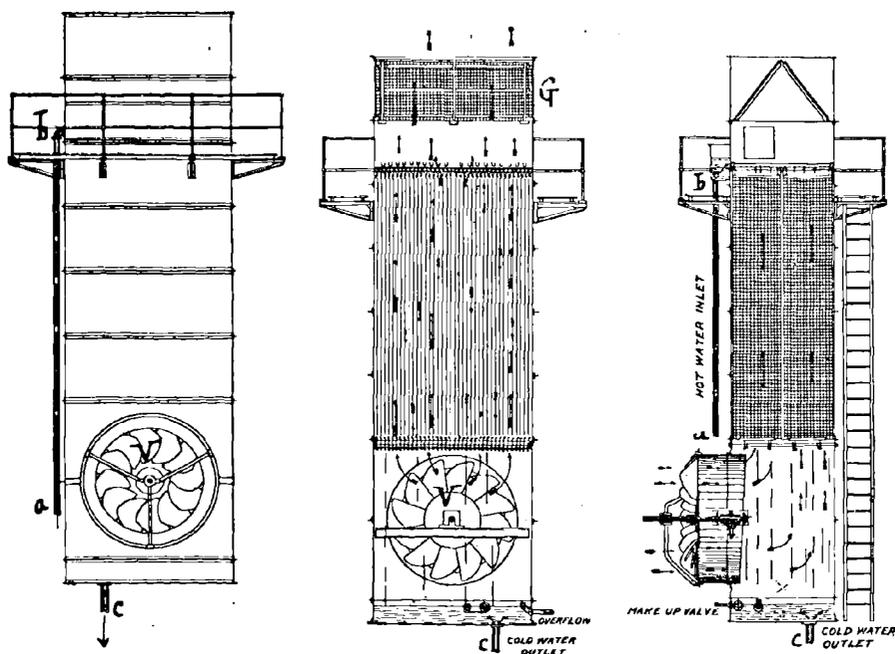


FIG. 133. — Tour pour le refroidissement de l'eau de condensation (type de la Wheeler Condenser and Engineering Co à New-York).
Hot water inlet, arrivée de l'eau chaude; — Cold water outlet, sortie de l'eau froide; — Overflow, trop-plein.

aux températures auxquelles elle est soumise, ni se congeler, ni former de dépôts qui empêcheraient la circulation.

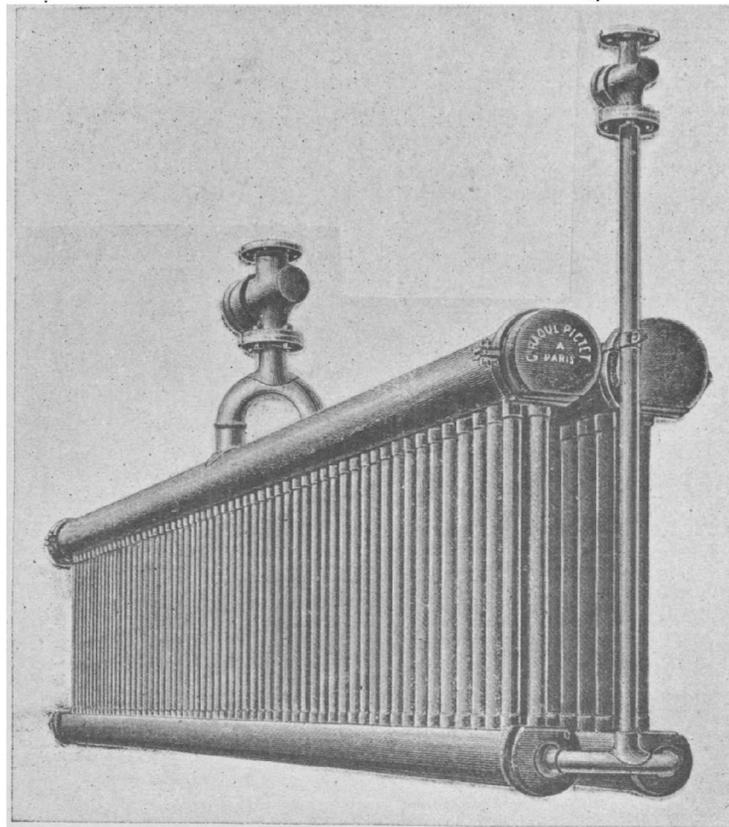


FIG. 134. — Réfrigérant des machines à SO² Pictet.

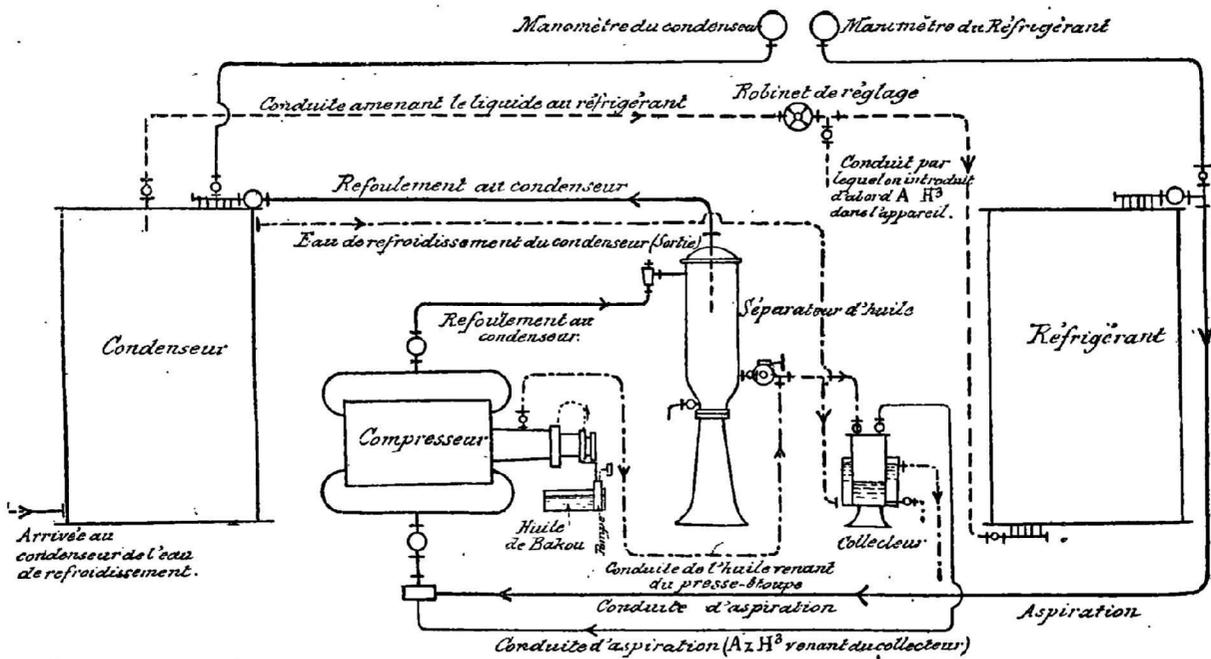


FIG. 135. — Schéma des connexions de l'ensemble d'une machine frigorifique.

On prépare cette solution saline en employant soit le sel ordinaire (NaCl), soit le chlorure de calcium (CaCl_2), soit le chlorure de magnésium (MgCl_2) : pour les températures supérieures à 0° on se sert généralement d'eau ordinaire.

Pour éviter la formation des dépôts, on donne à ces solutions une concentration telle qu'à aucune des températures, auxquelles elles peuvent être soumises, la saumure ne soit saturée; il suffirait en effet d'un abaissement de température très faible pour provoquer la formation de cristaux.

TABLEAU XXIII

SOLUTIONS DE CHLORURE DE CALCIUM ET DE CHLORURE DE SODIUM
(POIDS SPÉCIFIQUES, POINTS DE CONGÉLATION, CHALEURS SPÉCIFIQUES DES SOLUTIONS
A DIVERS DEGRÉS DE CONCENTRATION)

POIDS SPÉCIFIQUE à $+15^\circ$		CHLORURE DE CALCIUM CaCl_2				CHLORURE DE SODIUM NaCl			
Densimètre	Aréomètre	POIDS DE CHLORURE ANHYDRE		POINT	CHALEUR	POIDS DE CHLORURE ANHYDRE		POINT	CHALEUR
normal	Baumé	par kilogramme de solution	par mètre cube de solution à 0°	de congélation	spécifique	par kilogramme de solution	par mètre cube de solution à 0°	de congélation	spécifique
	degrés	kilog.	kilog.	degrés		kilog.	kilog.	degrés	
1,00	0,0	0,000	0	0,0	1,000	0,000	0	0,0	1,000
1,01	1,5	0,012	13	— 0,5	0,981	0,016	16	— 0,9	0,980
1,02	2,9	0,024	25	— 0,9	0,963	0,030	31	— 1,7	0,963
1,03	4,3	0,036	38	— 1,4	0,946	0,044	46	— 2,4	0,948
1,04	5,6	0,048	50	— 2,0	0,930	0,058	61	— 3,2	0,933
1,05	6,9	0,060	63	— 2,6	0,914	0,071	75	— 3,9	0,919
1,06	8,2	0,071	75	— 3,3	0,899	0,083	90	— 4,7	0,906
1,07	9,5	0,082	88	— 4,0	0,884	0,098	105	— 5,5	0,893
1,08	10,7	0,093	101	— 4,8	0,870	0,111	121	— 6,4	0,881
1,09	11,9	0,104	114	— 5,7	0,856	0,124	136	— 7,3	0,870
1,10	13,1	0,115	127	— 6,6	0,843	0,137	151	— 8,4	0,859
1,11	14,3	0,126	140	— 7,6	0,830	0,149	167	— 9,5	0,849
1,12	15,5	0,137	153	— 8,6	0,817	0,162	183	— 10,8	0,840
1,13	16,6	0,147	167	— 9,8	0,805	0,174	198	— 12,2	0,831
1,14	17,7	0,157	180	— 11,0	0,794	0,187	214	— 13,8	0,823
1,15	18,8	0,167	193	— 12,3	0,783	0,200	230	— 15,5	0,815
1,16	19,9	0,178	207	— 13,7	0,772	0,212	247	— 17,4	0,808
1,17	21,0	0,188	221	— 15,2	0,762	0,224	264	— 19,5	0,801
1,18	22,0	0,198	235	— 16,8	0,752	0,236	281	— 21,7	0,795
1,19	23,0	0,208	249	— 18,4	0,742	0,248	297	— 22,2	0,790
1,20	24,0	0,218	263	— 20,2	0,732	0,260	314	»	0,785
1,21	25,0	0,227	277	— 22,1	0,723	0,272	331	»	0,780
1,22	26,0	0,237	291	— 24,0	0,715	0,284	349	»	0,777
1,23	27,0	0,247	306	— 26,1	0,707	0,296	366	»	0,774
1,24	27,9	0,257	320	— 28,3	0,699	0,308	383	»	0,772
1,25	28,8	0,266	334	— 30,6	0,691	—	—	—	—
1,26	29,7	0,276	349	— 32,9	0,684	—	—	—	—
1,27	30,6	0,285	363	— 35,4	0,677	—	—	—	—
1,28	31,5	0,294	378	— 38,0	0,670	—	—	—	—
1,29	32,4	0,303	393	— 40,6	0,663	—	—	—	—
1,30	33,3	0,312	408	— 43,4	0,657	—	—	—	—

Le tableau XXIII qui nous a été communiqué par M. *Desvignes*, ingénieur à Paris, indique quelle concentration on doit ainsi donner à la dissolution, quand elle est obtenue avec du chlorure de calcium ou avec du chlorure de sodium. Le poids spécifique et la chaleur spéci-

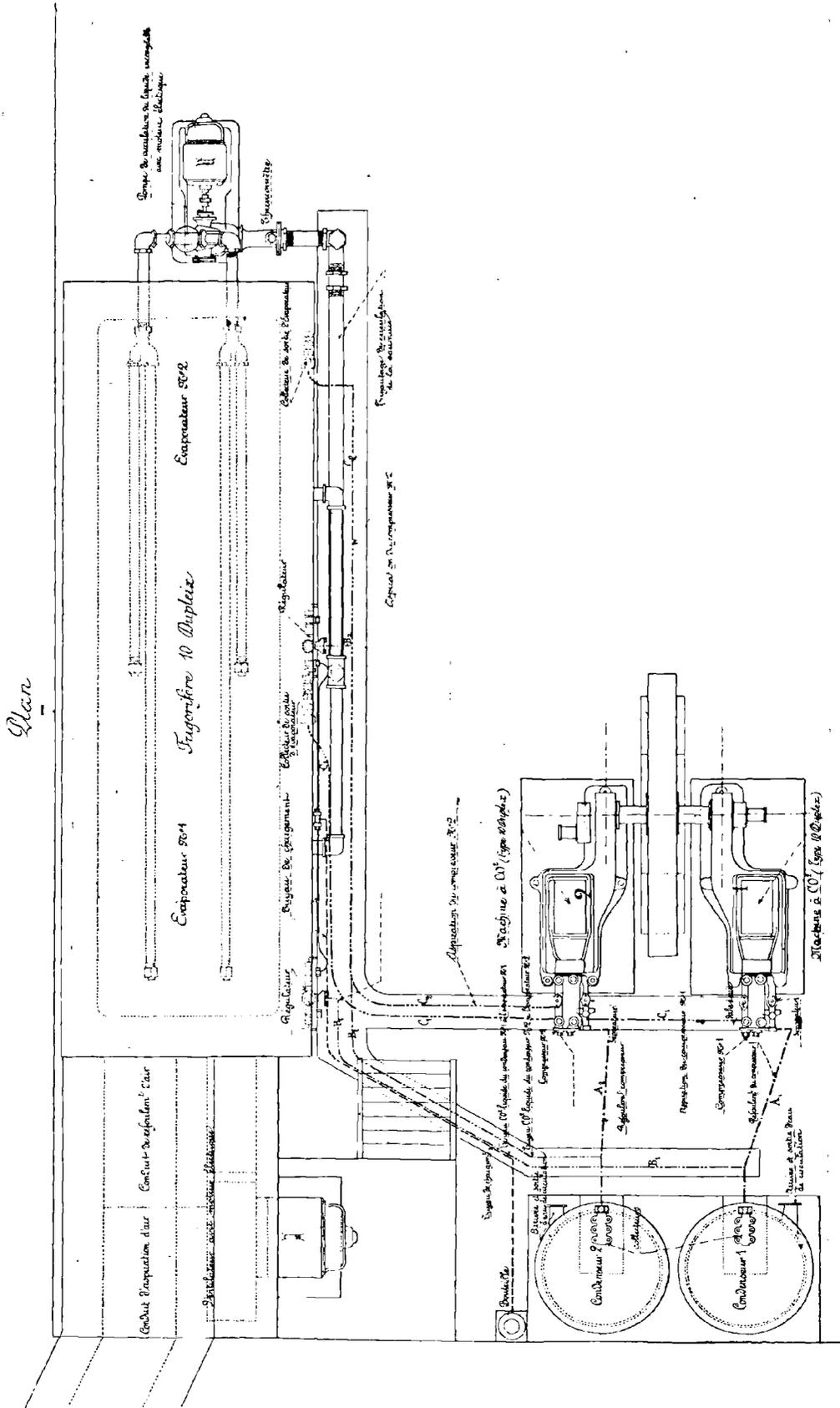


Fig. 136. — Ensemble général d'une salle de machines à CO₂ (type Hall). Installation d'Arzew (Algérie) faite par la Société Dyle et Bacalan.

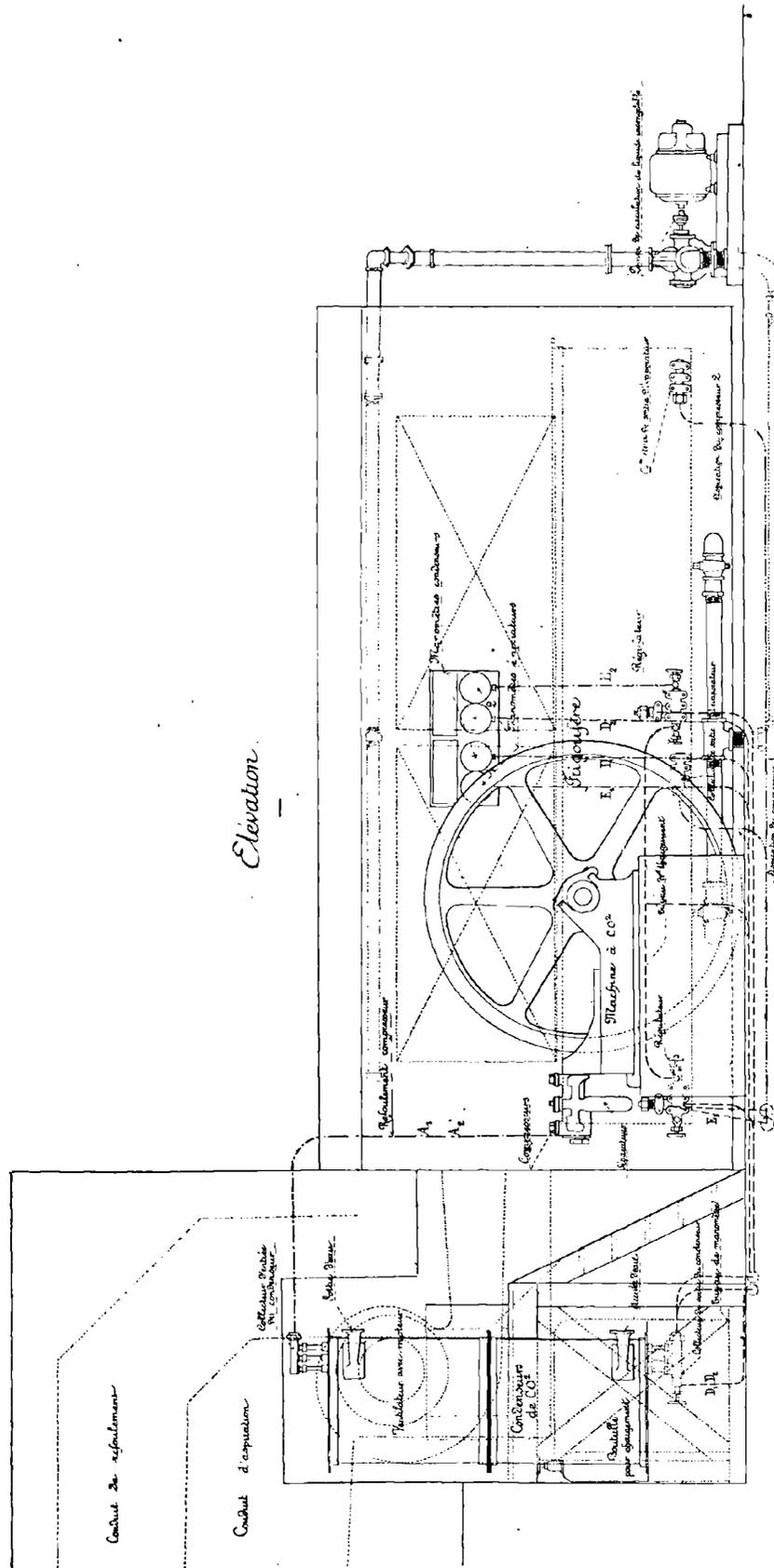


FIG. 136 bis. — Ensemble général d'une salle de machines à CO₂ (type Hall). Installation d'Arzew (Algérie) faite par la Société Dyle et Bacalan.

fique ont été calculés d'après les données puisées dans le *Recueil de constantes physiques* de Landolt et Börnstein; le point de congélation a été déterminé directement par M. Desvignes au moyen d'un bain d'air liquide permettant d'obtenir les températures de congélation des solutions à diverses concentrations.

Il faut éviter de descendre plus bas que -35° avec le chlorure de calcium et que -17° avec le chlorure de sodium. Pour une machine à froid, cette température limite est celle du fluide frigorigène dans l'évaporateur; elle est généralement indiquée par le manomètre de l'aspiration, et de 4° à 6° inférieure à celle du bain incongelable.

Quant aux dissolutions de chlorure de magnésium, leurs constantes sont, d'après Stetefeld¹.

TABLEAU XXIV

SOLUTIONS DE CHLORURE DE MAGNÉSIUM

(POIDS SPÉCIFIQUES, POINTS DE CONGÉLATION, CHALEURS SPÉCIFIQUES DES SOLUTIONS A DIVERS DEGRÉS DE CONCENTRATION)

POIDS SPÉCIFIQUES A $+18^{\circ}$ CENT.	POIDS DE CHLORURE ANHYDRE		POINT de CONGÉLATION	CHALEUR SPÉCIFIQUE
	PAR KILOGRAMME de solution	PAR MÈTRE CUBE de solution à $+18^{\circ}$		
	kilogramme	kilogrammes	degrés	
1,00	0,000	0,00	0,0	1,000
1,02	0,030	30,60	— 1,7	0,965
1,04	0,050	52,00	— 3,3	0,930
1,06	0,070	74,20	— 5,5	0,900
1,08	0,095	102,60	— 7,7	0,870
1,10	0,115	126,50	— 10,0	0,840
1,12	0,140	156,80	— 12,7	0,815
1,14	0,160	182,40	— 15,6	0,790
1,16	0,180	208,80	— 19,0	0,770
1,18	0,200	236,00	— 22,0	0,750
1,20	0,225	270,00	— 26,0	0,730

25. Préparation de la saumure. — La préparation de la saumure ne doit pas se faire dans le bac de l'évaporateur; on amène en effet dans ce bac toutes les impuretés contenues dans le sel employé; ces impuretés passent dans les tuyaux de circulation de saumure et dans les pompes. Pour préparer la saumure, on prend un tonneau présentant un faux fond percé de trous de 6 millimètres de diamètre environ et situé à 7 centimètres environ du fond véritable; ce faux fond est supporté lui-même sur des appuis troués. Au-dessus du faux fond on entasse du sel jusque près de la partie supérieure du tonneau. Avec une pompe on fait arriver de l'eau par la partie inférieure du tonneau; la saumure sort à la partie supérieure par une conduite munie d'un filtre. On la fait alors passer dans des vases de dimensions convenables, où on la laisse reposer et où on enlève les impuretés flottant à la surface. On peut alors la pomper avec précaution dans le bac de l'évaporateur.

Quand on emploie le *sel marin*, on peut, pour éviter l'attaque du fer par la dissolution, neutraliser celle-ci en ajoutant 1 à 2 kilogrammes de carbonate de soude par 100 kilogrammes de sel employé. Si on se sert de *chlorure de calcium*, il faut neutraliser en ajoutant 0^{gr},5 de soude caustique par 100 kilogrammes de sel employé.

1. STETEFELD, *Compendium der gesamten Kälte-Industrie*, p. 312.

CHAPITRE IV

LE REFROIDISSEMENT DES LIQUIDES¹

APPLICATIONS A LA LAITERIE ET A LA BRASSERIE

1. Modes de refroidissement des liquides. — On peut opérer le refroidissement des liquides et en particulier du lait et de la bière :

1° *Au moyen de la glace* ;

2° *Au moyen d'un liquide froid* ;

a) Soit en mélangeant ce liquide froid avec le liquide à refroidir ;

b) Soit en produisant un échange de chaleur entre un liquide chaud et un liquide froid séparés par une paroi métallique.

2. Réfrigération au moyen de la glace. — Le mode de réfrigération au moyen de la glace est le plus simple et parfois le plus économique.

On l'emploie en laiterie pour préparer le *lait réfrigéré* (*Kaltnmilch* en allemand) par l'introduction d'un morceau de lait congelé dans du lait à refroidir. Mais on se sert surtout de la méthode de réfrigération indirecte en plongeant les produits de laiterie dans de l'eau refroidie par des morceaux de glace. Cette méthode très simple et très répandue n'est pas à recommander ; dans une installation complète de laiterie frigorifique, on doit l'employer le moins possible.

Autrefois, dans les brasseries, on refroidissait le brassin pendant la fermentation en plongeant dans les cuves des vases métalliques remplis de glace. Cette méthode est à peu près abandonnée aujourd'hui.

Quant à la méthode par mélange avec un liquide froid, elle ne trouve son application ni en brasserie ni en laiterie.

3. Réfrigération par échange de chaleur entre deux liquides séparés par une paroi métallique. — La *méthode par échange de chaleur* entre deux liquides séparés par une paroi métallique s'effectue au moyen d'appareils que l'on peut classer en quatre groupes :

1. Pour la rédaction du chapitre IV nous avons fait des emprunts aux ouvrages suivants ; — OTTO KASDORF, *Eis und Kälte im Molkereibetrieb* (Leipzig, Heinsius, 1904) ; — P. PETIT, *Brasserie et Malterie* (Paris, Gauthier-Villars, 1904) ; — A. PERRET, *La Réfrigération en Brasserie (La Glace et les Industries du Froid, 2^e année, n^{os} 6, 7, 8, 9).*

- α) Les *appareils à cuve*;
- β) Les *appareils à courants parallèles*;
- γ) Les *appareils à contre-courant*;
- δ) Les *appareils qui résultent de la combinaison des systèmes précédents*.

Dans les *appareils à cuve*, le liquide à refroidir occupe des récipients qui sont soit immergés dans le liquide réfrigérant, soit directement refroidis par une circulation intérieure.

Les *appareils à courants parallèles* sont construits de telle façon que le liquide chaud et le liquide froid circulent *dans le même sens* de part et d'autre d'une paroi métallique.

Dans les *appareils à contre-courant*, les deux liquides circulent en sens inverse.

Donnons la description de quelques-uns de ces appareils.

4. Appareils à cuve. — Refroidissement intérieur des pots à lait. — On emploie souvent pour les boîtes à lait le dispositif représenté sur la figure 137. Le récipient *c* qui contient la glace est fermé par un couvercle vissé *d*; le rebord de ce couvercle porte sur un anneau *a* fixé au col de la boîte et est serré contre lui au moyen d'une vis qui passe dans le couvercle fermant le récipient à lait. On obtient ainsi une fermeture bien étanche qui empêche le lait de venir au contact de l'eau de fusion de la glace.

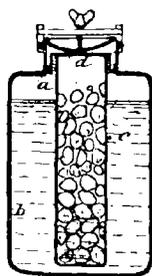


FIG. 137.
Refroidissement
intérieur des
pots à lait.

Un intéressant procédé de réfrigération du lait vient d'être appliqué en Allemagne. Dans chaque récipient à lait on suspend une bouteille d'acier renfermant de l'anhydride carbonique liquide. Cette bouteille possède une soupape d'échappement dont on peut régler l'ouverture de manière à faire varier la durée de la vaporisation du gaz liquéfié : habituellement, tout est disposé de manière que la provision d'anhydride carbonique soit épuisée en six à huit heures. Le gaz qui sort de la bouteille se dégage à la partie inférieure du récipient à lait, traverse ce liquide dans toute sa hauteur et se dégage à l'extérieur par une petite soupape qui se trouve dans le couvercle de la boîte à lait. Le dégagement d'anhydride carbonique au travers du lait non seulement n'a pas d'influence pernicieuse, mais a l'avantage, outre le refroidissement produit, d'engendrer une agitation qui empêche la formation d'une couche de crème.

5. Appareils à cuve. — Refroidissement au moyen d'un serpentín plongeant dans le liquide. — Le plus souvent on refroidit soit le lait, soit le moût de bière de fermentation, en y plongeant un serpentín au travers duquel circule le liquide froid. Cette méthode est appliquée dans les appareils suivants.

Dans l'appareil, représenté sur la figure 138, on fait circuler un liquide réfrigérant et on plonge l'appareil dans le lait comme l'indique la figure même. Le liquide réfrigérant entre en *b*, circule dans le sens indiqué par les flèches et sort par l'orifice *a*. La circulation du liquide froid provoque dans le lait une faible circulation qui accélère le refroidissement. Le liquide froid peut être de l'eau douce, de l'eau salée ou même un gaz liquéfié; mais, dans ce dernier cas, une construction spéciale est nécessaire. Cet appareil est très usité dans la pratique comme refroidisseur de crème.

La figure 139 représente un appareil du même genre (en tôle, en cuivre étamé ou en doublé), dans lequel le liquide froid circule dans le sens des flèches. Dans la pratique de la laiterie, il est bon de donner à cet appareil non une section rectangulaire, mais une section elliptique allongée afin de faciliter le nettoyage.

L'appareil dit *refroidisseur à poche* ou *refroidisseur pour cuve de fermentation* (*Taschenkühler* ou *Gährbottich-kühler*) ou encore *drapeau* est représenté sur la figure 140; il est très usité en brasserie pour refroidir le moût en fermentation dans les cuves. Il

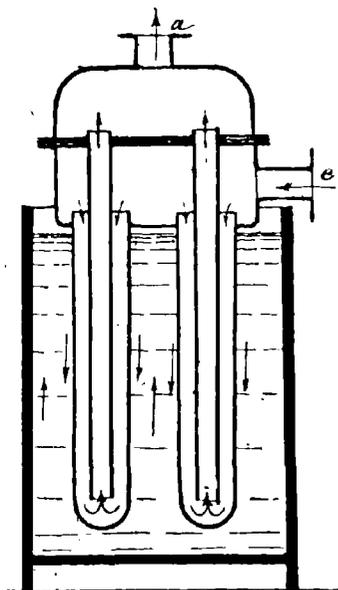


FIG. 138. — Refroidissement d'un liquide au moyen d'un appareil plongeant à son intérieur.

est en général formé de deux lames de cuivre étamées maintenues à une distance de 1 centimètre; l'espace ainsi limité contient un serpent, ou est divisé par des chicanes de telle façon que le liquide réfrigérant 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.

Au lieu du *drapeau*, on préfère, en laiterie, employer un simple tube de cuivre étamé enroulé en forme de serpent.

La figure 141 représente une installation de refroidissement des cuves de fermentation d'une brasserie au moyen d'eau douce refroidie qu'une pompe fait circuler dans des serpentins placés dans ces cuves. Cette eau douce est d'ailleurs refroidie dans un bac spécial où se trouve un serpent parcouru par de la saumure froide. On pourrait remplacer cette circulation de saumure par la circulation directe du fluide frigorigène.

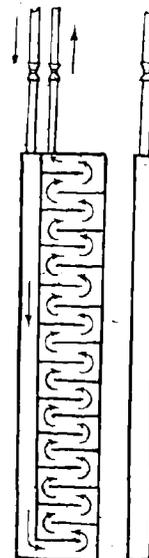


FIG. 139. — Forme particulière du réfrigérant plongé dans un liquide.

Enfin, on peut employer, pour refroidir des liquides comme le lait, un appareil construit par M. Mendès pour le refroidissement des liquides en général, et plus spécialement pour l'extraction du sulfate de soude dans le traitement des eaux-mères de ce sel¹. Comme le montre la figure 142, cet appareil se compose d'un vase dans lequel on fait tourner une série de caissons lenticulaires creux à l'intérieur desquels on fait circuler un liquide réfrigérant. A₁ représente une section du vase et des caissons creux, section faite normalement à l'axe de rotation; B₁ est une coupe longitudinale parallèle à cet axe. Le lait à refroidir arrive en 6 dans le vase et sort en 7. Le liquide froid pénètre en A dans le corps creux, circule à son intérieur et sort en B. Les caissons lenticulaires sont fixés sur un arbre horizontal plein 3 qui tourne sur des coussinets placés à l'intérieur d'un second arbre creux 4; celui-ci sert à établir la communication de l'extérieur avec l'intérieur des caissons. Les caissons sont séparés en deux chambres par une cloison intérieure 2 percée sur son pourtour d'un certain nombre d'ouvertures 5. Le liquide réfrigérant suit alors le sens des flèches. Enfin, pour être bien assuré que le liquide à refroidir ne sort pas du vase sans être venu au contact des parois refroidies des caissons, une série de cloisons, établies dans le vase à lait, obligent celui-ci à venir se refroidir dans des conditions convenables.

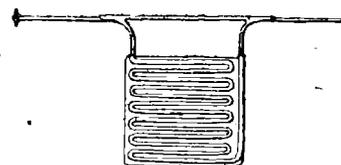


FIG. 140. — Drapeau pour le refroidissement du moût en brasserie.

Cet appareil, qui peut être aussi employé au refroidissement de la crème destinée à la préparation du beurre, donne d'excellents résultats.

1. MENDÈS, *Appareil échangeur pour le refroidissement des liquides, utilisant le froid engendré par les machines frigorifiques et leur application au traitement des eaux-mères par le froid artificiel* (*L'Industrie frigorifique*, 2^e année, n^o 9, février 1904).

6. Appareil refroidisseur à courants parallèles, à contre-courant. — Quelques-uns des appareils à cuve que nous venons de décrire sont en même temps, jusqu'à un certain point, des appareils à courants parallèles ou à contre-courant, et cette propriété leur donne une supériorité sur les appareils à cuve proprement dits.

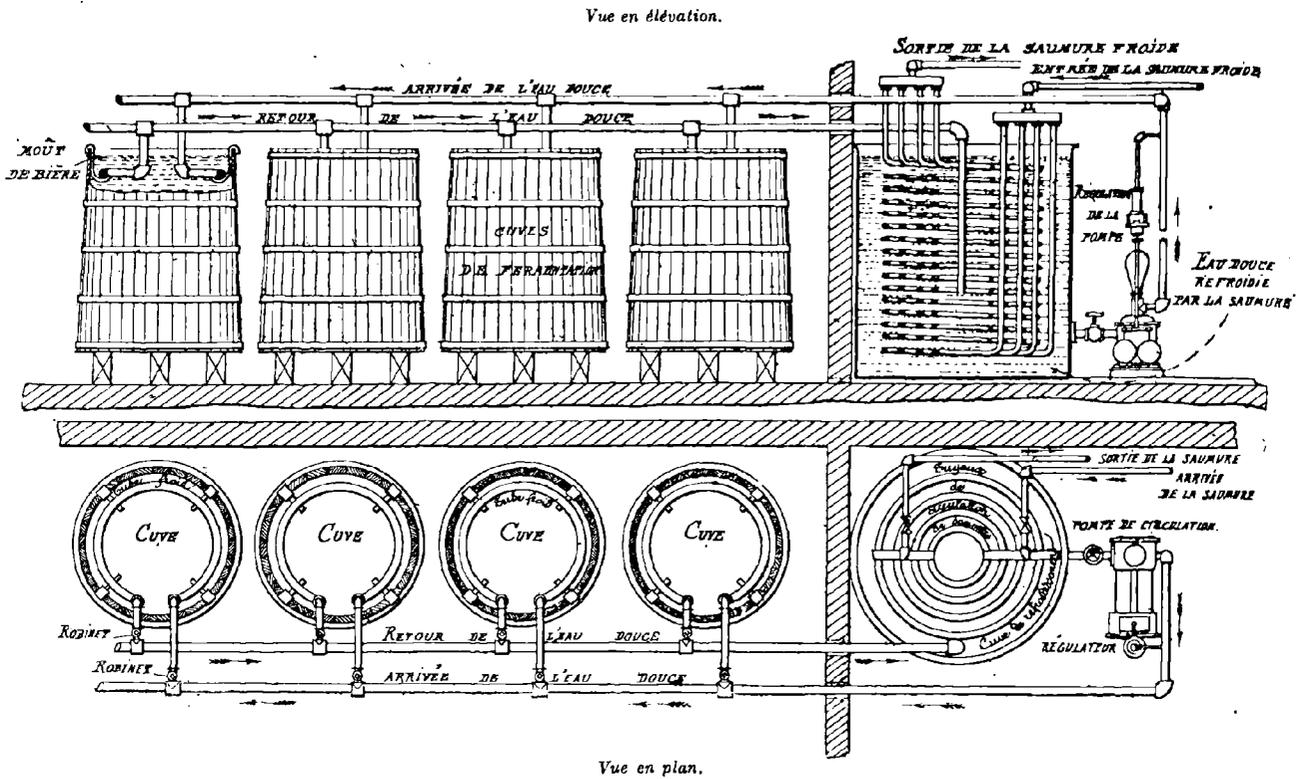


FIG. 141. — Installation de refroidissement des cuves de fermentation d'une brasserie (type Frick, Waynesboro, Pennsylvania).

Il est toutefois préférable d'employer de véritables réfrigérants à courants parallèles ou à contre-courant.

Dans les *appareils à courants parallèles*, la température la plus basse que puisse

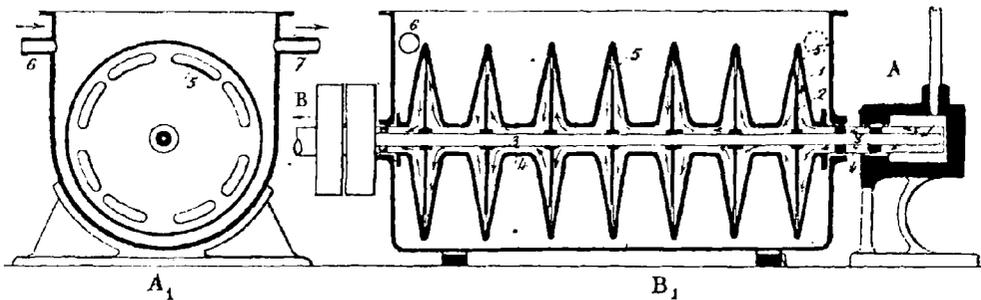


FIG. 142. — Appareil Mendès pour l'extraction du sulfate de soude (Application au refroidissement rapide de grandes quantités de lait).

atteindre le liquide à refroidir est toujours supérieure à celle du liquide réfrigérant qui quitte l'appareil.

Dans les *appareils à contre-courant*, le liquide réfrigérant rencontre, au moment où il pénètre dans l'appareil, le liquide déjà rafraîchi. Celui-ci se refroidit alors et sa température s'abaisse jusqu'à devenir égale à la température initiale du liquide réfrigérant.

7. Appareils à contre-courant et à ruissellement. — Les appareils de ce type les plus employés sont ceux dans lesquels on fait ruisseler le liquide à refroidir à la surface de tuyaux de mince paroi dans lesquels circule le liquide réfrigérant. On peut réaliser un contre-courant très suffisant en disposant ces tubes les uns au-dessus des autres comme dans les condenseurs à ruissellement; le liquide réfrigérant pénètre dans l'appareil par le bas, tandis que le liquide à refroidir circule à l'extérieur.

Ces appareils qui, en somme, sont tout à fait analogues aux condenseurs à ruissellement que nous avons étudiés dans le chapitre précédent, sont très employés en brasserie sous le nom de *Baudelots*, du nom d'un brasseur de Haraucourt (Ardennes). Ils servent à refroidir le moût après qu'il a été cuit et houblonné. Ils se composent d'une série de tuyaux horizontaux disposés comme un mur vertical, communiquant deux à deux, alternativement par leurs extrémités opposées; entre ces tuyaux se trouvent des plaques verticales perforées. On fait passer à travers ces tuyaux un courant ascendant de liquide froid. Sur ces tuyaux coule en une lame mince superficielle le moût à refroidir que l'on recueille à la partie inférieure.

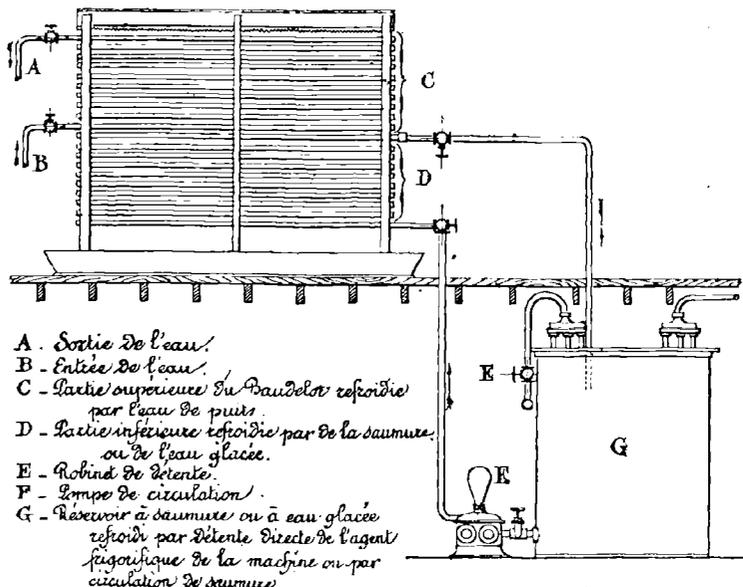


FIG. 143. — Réfrigérant Baudelot. Système à circulation de saumure dans la partie inférieure et à circulation d'eau froide dans la partie supérieure (type Frick C^e, Waynesboro, Pensylvania).

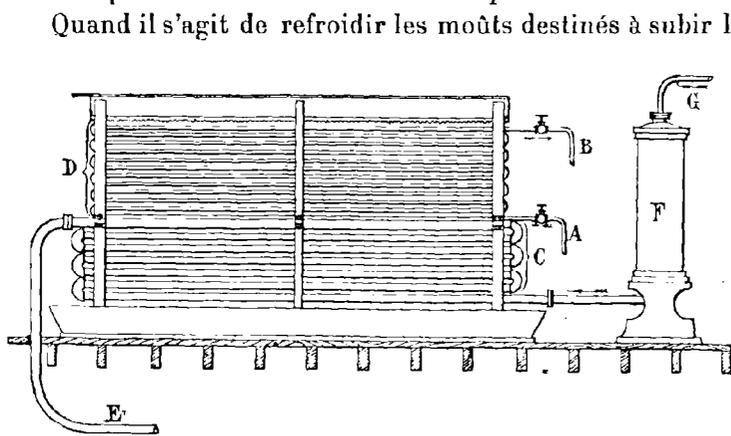


FIG. 144. — Réfrigérant Baudelot. Système à détente directe dans la partie inférieure et à circulation d'eau froide dans la partie supérieure (type Frick C^e, Waynesboro, Pensylvania).

A, entrée de l'eau; — B, Sortie de l'eau; — C, Partie refroidie par détente directe; — D, Partie refroidie par l'eau; — E, Tuyau d'aspiration d' AzH_3 ; — F, Receiver à AzH_3 liquide; — G, Tuyau d' AzH_3 liquide venant du condenseur.

Quand il s'agit de refroidir les moûts destinés à subir la *fermentation haute*, il suffit de faire circuler de l'eau froide (de l'eau de puits, par exemple) dans le Baudelot. Mais, quand il faut amener le moût, pour la *fermentation basse*, à une température de 6° à 7° C., il est nécessaire de diviser le Baudelot en deux parties : dans la partie supérieure circule de l'eau froide ordinaire; dans la partie inférieure circule soit de la saumure (fig. 143), soit le fluide frigorigène lui-même (fig. 144). Dans un chapitre consacré plus loin à l'étude des applications du froid en brasserie, nous indiquerons quelques-unes des dimensions adoptées pour les Baudelots.

On emploie des réfrigérants analogues en laiterie pour le refroidissement du lait pas-

teurisé et de la crème. On construit des appareils capables de refroidir par heure de 1.000 à 5.000 litres de lait de la température de 80° C. à la température de + 2° C. ; on emploie pour cela une circulation d'eau de puits dans la partie supérieure du réfrigérant et une circulation de saumure à - 5° C. dans la partie inférieure (Voir les figures 54, 55, 56 et 57 de l'ouvrage de *Kasdorf* ; elles sont accompagnées de tableaux donnant les dimensions des appareils et le nombre de litres de lait et de crème qu'ils sont capables de refroidir par heure d'une température à une autre bien déterminée).

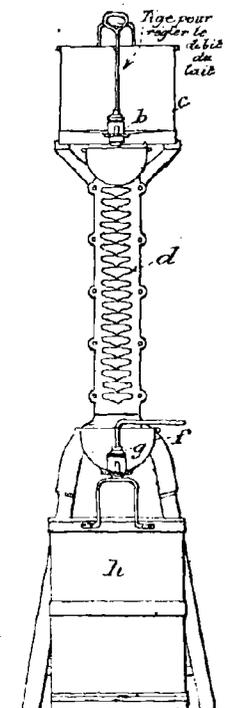


FIG. 145.
Réfrigérant à lait.

En dehors de ces grands appareils qui mesurent jusqu'à 2 mètres de hauteur et 3^m,25 de largeur, on emploie des appareils moins encombrants qui permettent de refroidir rapidement le lait fraîchement trait depuis la température qu'il a au moment de la traite jusqu'à une température supérieure d'environ 1° C. à la température de l'eau de puits employée comme liquide réfrigérant. La figure 145 représente un de ces réfrigérants. Les tuyaux *d* ont une section elliptique ; le liquide réfrigérant arrive par le robinet *g* ; le lait à refroidir contenu dans le récipient supérieur *c* s'en écoule par les ouvertures *b* dont on peut régler le débit au moyen de la tige munie d'une poignée visible sur la figure.

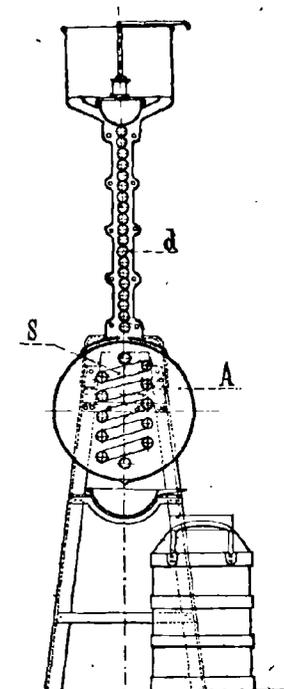


FIG. 146. — Réfrigérant à lait.

L'appareil de la figure 145 suppose que l'on peut faire circuler dans le réfrigérant un liquide suffisamment froid. Dans les petites installations où on ne possède pas d'appareils spéciaux pour abaisser la température de l'eau, on emploie avec avantage un appareil du type de celui qui est représenté sur la figure 146. La partie inférieure A de l'appareil est une boîte fermée à l'intérieur de laquelle se trouve un serpentin S ; ce serpentin peut être entouré soit de glace, soit d'un mélange réfrigérant de glace et de sel. On fait d'abord passer l'eau dans le serpentin S avant de l'envoyer dans les tuyaux *d*. Voici quelques dimensions de l'un de ces appareils.

LARGEUR DE LA SURFACE de refroidissement	NOMBRE DE TUYAUX de réfrigération	CONTENANCE DU BAC À GLACE contenant le serpentin S	NOMBRE DE LITRES DE LAIT refroidis par heure depuis la température de la traite jusqu'à une température supérieure de 1° à celle de l'eau de réfrigération
millimètres		kilogrammes	litres
600	19	40	500
800	19	50	700
1000	19	60	1000

8. Réfrigérants cylindriques. — On se sert depuis quelques années dans l'industrie du lait de réfrigérants cylindriques dont la paroi latérale B (*fig.* 147) est constituée par

une double feuille de cuivre étamé ondulée. Entre les deux feuilles, par conséquent dans l'intérieur de l'appareil, coule le liquide réfrigérant, tandis que le lait à refroidir est répandu en nappes minces sur la surface extérieure. Le liquide réfrigérant suit une direction inverse de celle du lait.

Supposons que l'on veuille réfrigérer le lait dans un espace antiseptisé afin de le mettre à l'abri des germes que l'air extérieur peut lui apporter pendant le refroidissement ; admettons d'autre part que l'on désire éviter que la buée de lait pasteurisé se répande au dehors. On réalise ces deux conditions en adaptant un manteau à l'appareil. Ce manteau C repose dans une rigole remplie d'eau ; on purifie l'air intérieur en y envoyant un jet de vapeur avant de commencer l'opération. Le liquide réfrigérant entre par le bas du serpentín, circule de bas en haut et redescend ensuite par le tuyau E. Le lait amené par un tuyau A s'échappe en minces filets et se répand sur toute la surface du réfrigérant pour se rassembler, après avoir été convenablement refroidi, dans une cuvette d'où il sort par un robinet.

Ces appareils peuvent refroidir de 70° à + 1° ou + 2°, de 700 à 4.000 litres de lait pasteurisé à l'heure (Voir dans l'ouvrage de Kasdorf les dimensions de ces réfrigérants, p. 83, 84 et 85).

On s'est efforcé d'augmenter le rendement de ces réfrigérants cylindriques en faisant ruisseler le lait aussi bien sur la surface intérieure que sur la surface extérieure. Mais de tels appareils présentent alors des difficultés particulières de nettoyage. On a cherché à parer à cet inconvénient en constituant la surface de réfrigération non plus par une surface métallique ondulée, mais par une série de tuyaux enroulés en forme de serpentín à l'intérieur desquels circule le fluide réfrigérant. Chacune des circonvolutions est pressée sur la précédente au moyen de vis, ce qui permet de démonter aisément l'appareil pour le nettoyage.

Enfin on peut constituer le réfrigérant cylindrique par une série de tuyaux enroulés en spirales placées les unes au-dessus des autres ; on fait circuler dans ces

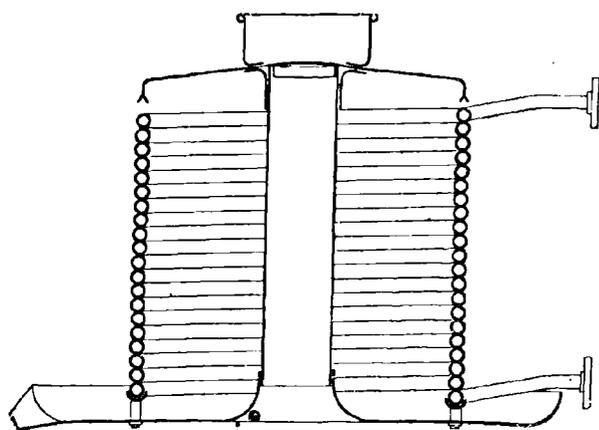


FIG. 148. — Réfrigérant cylindrique à détente directe. (Type Schlüter et Gsell).

tuyaux du fluide frigorigène, en se servant ainsi de la détente directe comme moyen de refroidissement. Le lait vient ruisseler sur la partie extérieure de ces tuyaux. L'appareil représenté sur la figure 148 appartient à ce type.

9. Comment on peut obtenir des liquides réfrigérants dans les installations de laiterie. — Avant de terminer cette étude du refroidissement des liquides, il est intéressant de savoir comment on peut, dans les installations de laiterie, abaisser la température des liquides employés pour le refroidissement du lait ou de la crème.

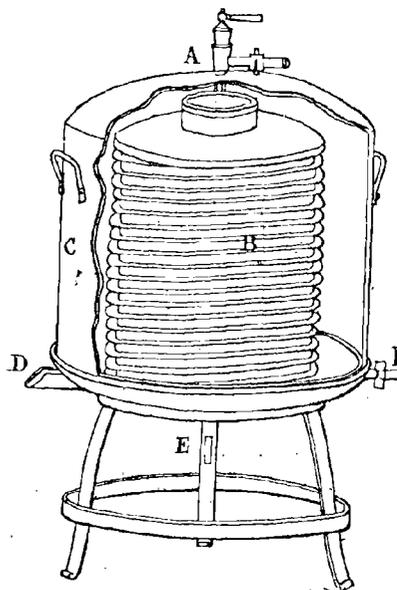


FIG. 147. Réfrigérant cylindrique à manteau.

Comme liquide réfrigérant on se sert généralement en laiterie :

D'eau de puits ordinaire;

D'eau de puits refroidie par de la glace;

De saumure refroidie par l'évaporation d'un liquide frigorigène (AzH_3 , SO_2 , CO_2).

On peut encore employer la détente directe des fluides frigorigènes (réfrigérant Lebrun, réfrigérant Schlüter et Gsell); mais ce mode de réfrigération est moins usité que les précédents.

La figure 149 représente un réfrigérant à ruissellement refroidi dans sa partie supérieure par de l'eau de puits qui arrive en 3 et sort en 4 — et dans sa partie inférieure par de l'eau glacée qui circule au moyen d'une pompe *p* de 2 en 1 à travers un récipient cloisonné (cloisons figurées en pointillé) contenant de la glace.

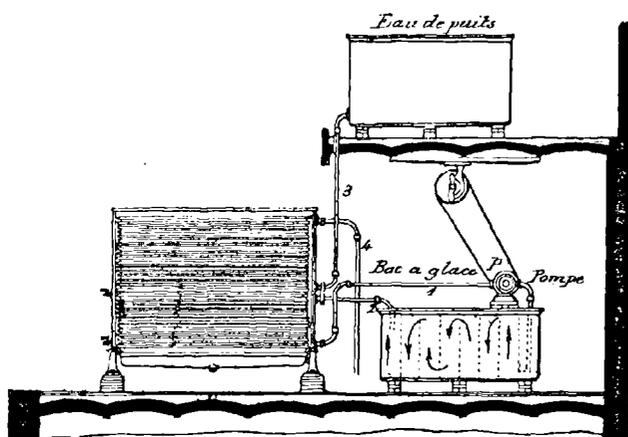


FIG. 149. — Réfrigérant à lait. Emploi d'eau glacée et d'eau de puits.

La figure 150 représente l'installation d'un réfrigérant à ruissellement refroidi au moyen de saumure dont la température est abaissée au moyen de glace rassemblée dans une glacière A. L'eau salée part du bassin supérieur 1; vient par le tube 3 dans le serpentin 12 plongé dans l'eau de fusion de la glace A; circule dans le tube 4-5, dans les tuyaux du réfrigérant à ruissellement; sort par le tuyau 6; enfin est ramenée au bassin 1 par la pompe 7 et le tuyau 8.

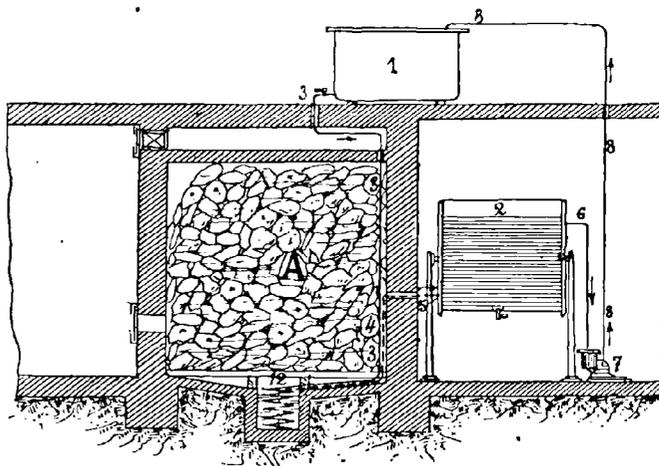


FIG. 150.
Réfrigérant à lait. Emploi de saumure refroidie par de la glace.

Sur la figure 151, on voit le schéma d'une installation dans laquelle le réfrigérant à lait est refroidi sur la moitié supérieure avec de l'eau de puits arrivant en 13 et sortant en 14 — et sur la moitié inférieure avec un mélange réfrigérant liquide formé avec 8 parties de glace et une partie de sel. Ce mélange préparé en 2 est aspiré au moyen de la pompe 4, passe par le tuyau 10 au réfrigérant à lait et revient par 11 au récipient 2. Le lait aspiré du récipient 1 par la pompe 3 est amené au moyen du conduit 5 à la partie supérieure du réfrigérant 6 et s'écoule refroidi par 7 dans un récipient 8 porté sur un wagonnet 9.

Enfin la figure 152 représente l'installation faite dans beaucoup de laiteries d'Irlande par la firme *Douglas* de Londres¹. La petite machine frigorifique est une machine à SO_2 ; le compresseur est fixé au réservoir du condenseur qui lui sert de support en même temps qu'à la transmission transmettant le mouvement au piston du compresseur. L'anhydride

1. Voir une installation complète d'une laiterie irlandaise dans l'article très documenté suivant : L. NERDUX, *Le froid en laiterie* (*L'Industrie frigorifique*, 2^e année, n° 9, février 1904, p. 44).

sulfureux se détend dans le réfrigérant en refroidissant une solution de chlorure de calcium. Cette saumure est envoyée dans le réfrigérant cylindrique au moyen d'une pompe.

La figure 153 représente un appareil analogue destiné à refroidir le lait fraîchement traité au moyen des deux réfrigérants D et E.

Il existe beaucoup d'autres dispositifs intéressants qui ont été employés pour abaisser la température du liquide employé pour la réfrigération. Nous conseillons au lecteur de se reporter à l'ouvrage de Kasdorf. (Voir fig. 68, 70, 71, 73, 74, 75, 76, p. 89 à 95.)

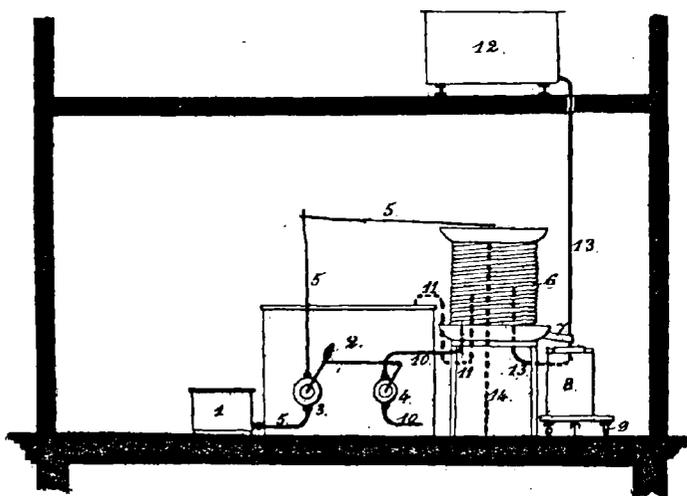


FIG. 151.
Réfrigérant à lait. Emploi d'eau de puits et d'un mélange réfrigérant.

10. Avantages des réfrigérants à ruissellement et à contre-courant. — Les réfrigérants à ruissellement et à contre-courant que nous venons de passer en revue présentent les avantages suivants :

1° Par suite de la formation de la couche mince de liquide, ils facilitent les échanges de chaleur;

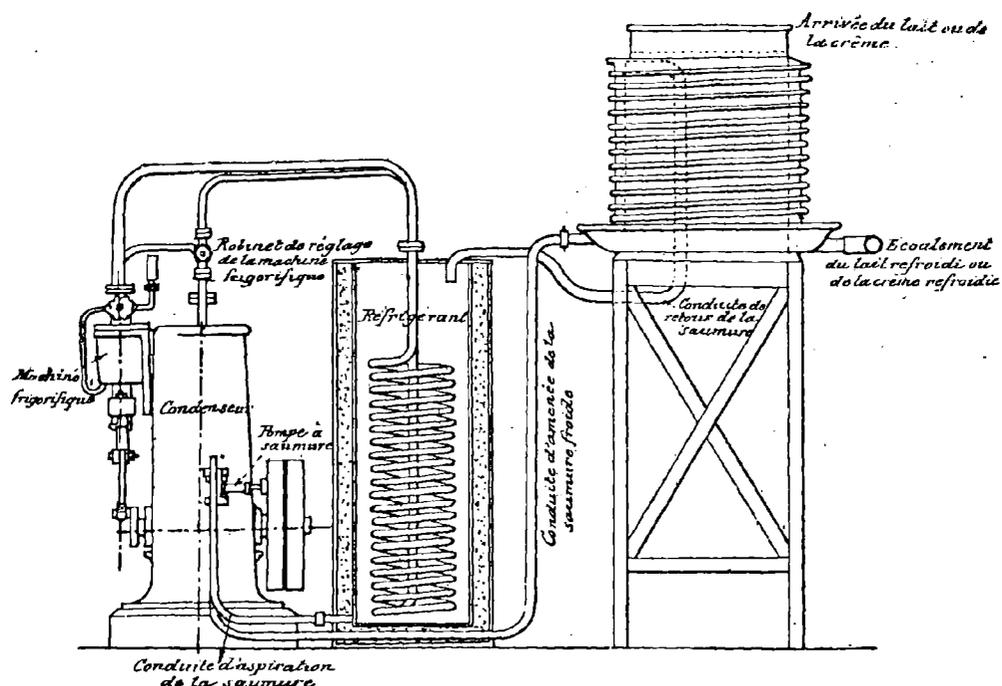


FIG. 152. — Réfrigération du lait ou de la crème. Appareil Douglas (machine à SO² et circulation de saumure).

2° Leur action s'accroît avec la vitesse du liquide (contrairement à ce qui se passe avec les refroidisseurs à cuve);

3° Ils sont faciles à visiter et à nettoyer.

Si on considère plus particulièrement ce dernier avantage, on peut se poser la question

de savoir dans quel cas il convient d'employer les réfrigérants à surfaces ondulées cylindriques ou les réfrigérants à surfaces ondulées planes et rectangulaires. Il est assez difficile de poser à cet égard une règle générale, les deux systèmes ayant des avantages sensiblement égaux. Toutefois on peut dire que le réfrigérant cylindrique est préférable lorsque les

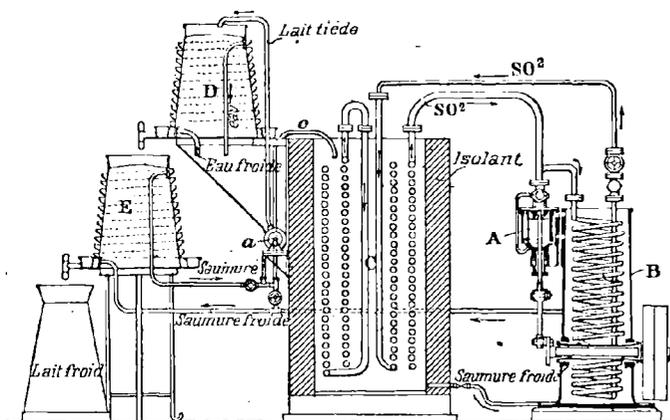


FIG. 153. — Appareil Douglas à refroidir le lait fraîchement trait.

A, Compresseur à SO_2 ; — B, Condenseur; — C, Évaporateur plongeant dans la saumure; — a, Pompe Douglas amenant le lait tiède au réfrigérant D; D, Réfrigérant à eau froide; — E, Réfrigérant à saumure complétant le refroidissement du lait; — c, By-pass permettant de refouler directement la saumure à l'évaporateur quand on n'utilise pas le réfrigérant E.

quantités de lait à refroidir ne sont pas trop considérables. Dans le cas où on doit refroidir un grand volume de lait, on a intérêt à employer le réfrigérant plan et rectangulaire et à disposer le réfrigérant entre deux colonnes supportant un axe de rotation autour duquel cet appareil peut tourner. Ce dispositif rend plus facile le maniement et le nettoyage de ce réfrigérant sans en augmenter considérablement le prix.

Le second facteur qui influe beaucoup sur l'effet produit par le réfrigérant à ruissellement est, d'une part, la vitesse du liquide ré-

frigérant et, d'autre part, la vitesse du liquide à refroidir, c'est-à-dire dans le cas actuel du lait, de la crème, etc...

L'effet de refroidissement va en augmentant avec la vitesse du liquide réfrigérant (eau, par exemple). La valeur la plus favorable de cette vitesse dans le système des tuyaux est celle de $0^{\text{m}},8$ par seconde; dans les petits appareils, cette vitesse ne doit jamais descendre au-dessous de $0^{\text{m}},4$ par seconde. Il est avantageux, pour produire cette circulation, d'employer une pompe permettant de régler la vitesse du courant. Ce détail a son importance, et le rendement de maints réfrigérants a été augmenté par l'emploi d'un tel dispositif.

Quant à la vitesse du liquide à refroidir (liquide ruisselant sur les parois de l'appareil réfrigérant), elle dépend de sa masse, de la hauteur de chute, de sa viscosité, de l'état et de la position de la surface refroidissante. Pour le refroidissement du lait, voici les vitesses les plus favorables à réaliser :

Hauteurs de la surface réfrigérante (en mètres)...	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0
Vitesses de chute à réaliser (en mètres)	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7

Il convient d'ailleurs de remarquer que l'on a intérêt à maintenir la surface de refroidissement aussi verticale que possible.

CHAPITRE V

L'ENTREPOT FRIGORIFIQUE¹

I

LES MATIÈRES ISOLANTES

1. Importance du bon isolement d'une chambre frigorifique. — Nous avons, dans l'introduction à cet ouvrage, insisté sur ce fait qu'un bon isolement des chambres frigorifiques est la condition essentielle qui assure le bon fonctionnement d'une installation frigorifique. En effet, si l'isolement est défectueux, des variations de température notables se produisent dans les chambres frigorifiques et ces variations de température sont souvent une cause de perte des objets conservés. En outre, une chambre frigorifique mal isolée exige, pour que l'on puisse y maintenir la température voulue, l'installation d'une machine beaucoup plus puissante que celle qui est nécessitée par le fonctionnement normal de l'installation. Un mauvais isolement n'est donc pas économique.

L'isolement des chambres et des entrepôts frigorifiques se fait en entourant ou en constituant les murs extérieurs, les cloisons intérieures, les plafonds, les parquets des chambres froides avec des substances mauvaises conductrices de la chaleur.

2. Qualités que doit présenter un bon isolant pour chambre frigorifique.
— Ces substances doivent posséder les qualités suivantes :

1° *Elles doivent être très mauvaises conductrices de la chaleur.*

Si une couche peu épaisse de l'isolant suffit pour obtenir un bon isolement, il en résulte une économie d'espace et une économie de matière à mettre en œuvre pour arriver à ce résultat.

1. Pour la rédaction de ce chapitre, nous avons fait des emprunts aux ouvrages suivants :

De LOVERDO, *le Froid artificiel*; — H. LORENZ, *Machines frigorifiques*, trad. P. Petit et Jaquet; — H. LORENZ, *Neuere Kühlmaschinen*; — A. PERRET, *les Machines à glace* (Paris, Bernard, 1904); — H. LORENZ, *Technische Wärmelehre* (Berlin, R. Oldenbourg, 1904); — STETEFELD, *Compendium der gesamten Kälte-Industrie*; — O. SCHWARZ, *Bau, Einrichtung und Betrieb öffentlicher Schlacht und Viehhöfe* (Berlin, Springer, 1903); — H. RIETSCHEL, *Leitfaden zum Berechnen und Entwerfen von Lüftungs und Heizungs-Anlagen* (Berlin, Springer, 1902); — Peter STAHL, *Die Isolierung und Ventilation als wichtigste Faktoren für Natureis-Kühlanlagen* (Nürnberg, Badstrasse, 1^a); — Peter STAHL, *Schutz gegen Wärme* (Nürnberg); — Otto KASDORF, *Eis und Kälte im Molkereibetrieb*; — HALL WILLIAMS, *Mechanical Refrigeration* (Londres, Whitaker, 1903); — Louis M. SCHMIDT, *Artificial Ice-Making and Refrigeration* (Londres, Sampson Low, Marston et C^{ie}, 1904); — A. J. WALLIS-TAYLER, *Refrigeration Cold Storage and Ice-Making* (Londres, Lockwood, 1902); *the Pocket Book of Refrigeration* (Londres, Lockwood, 1904); — *Zur technik der Kälte-Industrie* (Grünzweig et Hartmann, Ludwigshafen-am-Rhein); (traduction française) *Documents relatifs à l'industrie frigorifique*; — MADISON COOPER, *Practical Cold Storage* (Chicago, Nickerson et Collins, 1905); — SIEBEL, *Compend of mechanical Refrigeration*; — WINKELMANN, *Handbuch der Physik*, dritter Band, erste Hälfte. *Wärme*; — L. GRAETZ, *Wärmeleitung* (Leipzig, Johann Ambrosius Barth, 1906).

2° Elles doivent avoir un faible poids spécifique.

Cette condition est importante pour les installations d'isolement à bord des navires.

Son importance n'est pas moins grande pour les entrepôts frigorifiques à cause de la réduction des frais de transport jusqu'à pied d'œuvre et de la possibilité de faire des économies sur les dépenses de construction en édifiant des constructions plus légères.

3° Les substances isolantes doivent être exemptes d'odeur et ne doivent pas être putrescibles même quand elles sont humides.

Cette condition est capitale pour les isolants employés dans la construction des entrepôts frigorifiques destinés à la conservation des denrées alimentaires; celles-ci, en effet, absorbent très facilement les mauvaises odeurs provenant de la fermentation des isolants et deviennent impropres à la consommation.

4° Les substances isolantes doivent au contraire absorber autant que possible les mauvaises odeurs qui peuvent se dégager dans les chambres frigorifiques de conservation et les rendre moins nuisibles.

5° Les substances isolantes ne doivent pas être hygroscopiques.

Elles ne doivent pas absorber et retenir l'humidité; en effet, dans ces conditions, les substances cessent d'être mauvaises conductrices de la chaleur.

6° Quand, par suite de certaines circonstances (rupture d'un tuyau d'eau, etc...), un isolant est mouillé, il doit pouvoir se sécher facilement et retrouver après cette opération ses propriétés isolantes.

7° Les substances isolantes ne doivent pas attirer les parasites (souris, rats, etc...) ni offrir aux microbes un bon terrain de culture.

8° Les substances isolantes doivent être incombustibles ou tout au moins ne pas propager la combustion commencée en un point de leur masse.

9° Une fois mises en place dans les bourrages qui constituent les couches isolantes soit à l'extérieur, soit à l'intérieur des murs, les substances isolantes ne doivent pas se tasser et produire ainsi dans l'isolement des solutions de continuité.

10° Les substances isolantes ne doivent pas attaquer les parties en bois, en fer ou en maçonnerie qui sont en contact avec elles.

11° Les substances isolantes doivent présenter les plus grandes facilités pour le façonnage et l'application contre les parois des chambres froides.

12° Les substances isolantes ne doivent pas perdre leurs qualités avec le temps.

Il est assez difficile de trouver une substance isolante qui réunisse toutes ces qualités. Nous allons passer en revue les différentes substances isolantes qui sont actuellement employées dans la construction des entrepôts frigorifiques.

3. Coefficient de conductibilité. — Considérons un corps solide homogène et isotrope (c'est-à-dire jouissant des mêmes propriétés physiques dans toutes les directions) limité par deux plans parallèles indéfinis AB et CD (fig. 154).

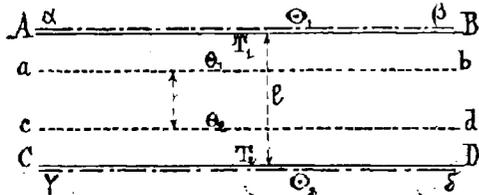


FIG. 154.

Le corps solide forme alors ce que l'on appelle un mur indéfini. Lorsque chacune des faces est maintenue à une température constante, la température prend au bout d'un certain temps, en chaque point du mur, une valeur invariable. On dit alors que l'état du mur est stationnaire.

Fourier a démontré la proposition suivante :

L'état stationnaire étant atteint, si θ_1 et θ_2 désignent les valeurs de la température aux

divers points des plans ab et cd parallèles aux faces extrêmes du mur et situés à la distance x l'un de l'autre, la quantité de chaleur qui traverse pendant le temps t une surface quelconque S prise sur un plan parallèle aux faces du mur a pour expression

$$(1) \quad Q = kS \frac{\theta_1 - \theta_2}{x} t.$$

Si dans cette formule on fait

$$S = 1 \text{ mètre carré, } \quad x = 1 \text{ mètre, } \quad \theta_1 - \theta_2 = 1^\circ \text{ C., } \quad t = 1 \text{ heure,}$$

on a

$$Q = k.$$

Le coefficient k , qui dépend uniquement de la nature de la substance dont le mur ABCD est formé, reçoit le nom de *coefficient de conductibilité de la substance* ou de *coefficient de conductibilité intérieure*. Avec les unités choisies dans le cas actuel, on voit que ce coefficient représente la *quantité de chaleur* (exprimée en grandes calories ou calories-kilogrammes) qui, dans l'état stationnaire défini par cette condition qu'il y a une différence de température de 1° C. entre deux plans parallèles aux faces du mur et situés à une distance de 1 mètre, traverse en une heure une surface de 1 mètre carré prise sur un plan parallèle aux faces du mur.

Si T_1 et T_2 désignent les températures auxquelles sont maintenues les deux faces AB et CD du mur situées à la distance l , on a aussi

$$(2) \quad Q = kS \frac{T_1 - T_2}{l} t.$$

4. Coefficient de transmission de la chaleur. Formule de Péclet. — Les deux faces AB et CD sont maintenues aux températures T_1 et T_2 au moyen de deux fluides, par exemple, qui confinent à ces deux faces.

Considérons dans ces deux fluides deux tranches $\alpha\beta$ et $\gamma\delta$ infiniment voisines des faces AB et CD; admettons que Θ_1 et Θ_2 soient les valeurs des températures des fluides sur ces deux tranches. Dans l'état stationnaire une quantité de chaleur Q va passer au travers du mur d'une surface S du plan $\alpha\beta$ à une surface S du plan $\gamma\delta$, si nous supposons que l'on a

$$\Theta_1 > T_1 > T_2 > \Theta_2.$$

Les plans $\alpha\beta$ et AB d'une part, CD et $\gamma\delta$ d'autre part, étant indéfinis dans les deux sens, on peut admettre que l'on a

$$(3) \quad Q = \alpha_1 S (\Theta_1 - T_1) t$$

$$(4) \quad Q = \alpha_2 S (T_2 - \Theta_2) t,$$

α_1 et α_2 désignant des coefficients convenables.

Des équations (2), (3) et (4) on déduit

$$\frac{Q}{t} = \frac{S(\Theta_1 - \Theta_2)}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{l}{k} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

ou en posant

$$(5) \quad K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{l}{k} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$(6) \quad Q = KS(\Theta_1 - \Theta_2) t.$$

Le coefficient K reçoit le nom de *coefficient de transmission de la chaleur à travers le mur d'épaisseur l*.

Ce coefficient K, que nous avons déjà eu à considérer dans le chapitre III dépend :

- α) De la nature et de l'état physique des fluides qui baignent les surfaces AB et CD;
- β) Des vitesses avec lesquelles ces deux fluides s'écoulent le long de ces surfaces;
- γ) Des états physiques des deux surfaces de contact AB et CD;
- δ) De la nature et de l'épaisseur du mur ABCD.

Si les deux fluides αβ et γδ sont séparés non plus par un seul mur, mais par plusieurs murs superposés d'épaisseurs différentes l, l', l'' , on a, dans l'état stationnaire, les équations

$$\begin{aligned} Q &= KS (\Theta_1 - \Theta_2) t, & K &= \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{l}{k} + \frac{1}{\alpha_2}} \\ Q &= K'S (\Theta_2 - \Theta_3) t, & K' &= \frac{1}{\frac{1}{\alpha'_1} + \frac{l'}{k'} + \frac{1}{\alpha'_2}} \\ Q &= K''S (\Theta_3 - \Theta_4) t, & K'' &= \frac{1}{\frac{1}{\alpha''_1} + \frac{l''}{k''} + \frac{1}{\alpha''_2}} \end{aligned}$$

on en déduit

$$(7) \quad \frac{Q}{t} = \frac{S(\Theta_1 - \Theta_4)}{\frac{1}{K} + \frac{1}{K'} + \frac{1}{K''}}$$

Si les milieux qui confinent aux faces AB et CD du mur (*fig. 154*) sont des milieux en repos et bons conducteurs de la chaleur, on a $\Theta_1 = T_1, \Theta_2 = T_2$ et par suite $\frac{1}{\alpha_1} = 0, \frac{1}{\alpha_2} = 0$. Le coefficient de transmission K prend alors la valeur

$$K = \frac{k}{l}.$$

Si les murs superposés considérés plus haut sont tous bons conducteurs et confinent à des milieux en repos et bons conducteurs, la formule (7) devient

$$(7 \text{ bis}) \quad \frac{Q}{t} = \frac{S(T_1 - T_4)}{\frac{l}{k} + \frac{l'}{k'} + \frac{l''}{k''}}$$

T_1 et T_4 étant les températures des faces extrêmes de l'ensemble des murs superposés.

Cette formule est connue sous le nom de *formule de Pécelet*.

5. Comment on peut réaliser la mesure pratique de K par la méthode du mur de Fourier. — Pour réaliser d'une manière suffisamment exacte pour la pratique la méthode du mur de Fourier et connaître pour les divers isolants les valeurs du coefficient K, on peut opérer de la manière suivante. Entre deux plaques métalliques de grande surface MN, MN' (*fig. 155*), on dispose l'isolant que l'on veut étudier; on maintient la plaque MN à une température constante au moyen de la vapeur d'un liquide bouillant à température fixe. Au contact de la plaque MN' se trouve de la glace concassée ou mieux de la glace en bloc à la température de 0° C. Cette glace se trouve divisée en deux parties : une partie est à l'intérieur du vase A, une autre partie à l'extérieur entoure complètement le vase A. On

mesure la quantité de glace fondue dans le vase A pendant un temps déterminé. Du poids de glace fondue on déduit la quantité de chaleur qui a passé à travers la tranche $mnpq$ de l'isolant¹. Si on a pris la section de cette tranche suffisamment petite par rapport à la section de la masse entière de l'isolant, on peut considérer que la propagation de la chaleur se fait dans cette tranche comme si sa section était indéfinie². Comme les épaisseurs des plaques MN et M'N' sont petites par rapport à celle de l'isolant, et que leur conductibilité pour la chaleur est très grande par rapport à celle de l'isolant, on peut, dans la formule (7), négliger les valeurs de $\frac{1}{K}$ et de $\frac{1}{K''}$ relatives à ces plaques et écrire

$$\frac{Q}{t} = KS(\Theta_1 - \Theta_2) = \frac{k}{l} S(\Theta_1 - \Theta_2).$$

L'expérience permettant de connaître les valeurs de Q, S, t, $(\Theta_1 - \Theta_2)$, cette formule donne la valeur du coefficient de conductibilité intérieure pour l'isolant étudié.

En opérant sur divers isolants occupant le même volume entre les deux mêmes plaques MN et M'N', on peut comparer pour ces corps les diverses valeurs des coefficients de transmission de la chaleur. On peut, en particulier, se rendre compte de l'influence de la densité du bourrage, c'est-à-dire du volume réellement occupé par la matière solide de l'isolant.

6. Comment on détermine généralement le coefficient K. — Dans toutes les expériences qui ont été réalisées jusqu'ici pour connaître les valeurs du coefficient K relatives à divers isolants, on ne s'est pas préoccupé en général de réaliser les conditions du mur de Fourier. On opère souvent de la manière suivante :

Une boîte B en zinc ayant la forme d'un cube est disposée à l'intérieur d'une autre boîte B' de telle façon que les faces des deux boîtes soient équidistantes (fig. 156). On place l'isolant dans le volume C laissé libre entre les deux surfaces. On maintient la surface extérieure de B' à une température constante et on place de la glace à l'intérieur de la boîte B. Au moyen d'un robinet convenablement disposé, on soutire à des intervalles de temps déterminés l'eau provenant de la fonte de la glace. La pesée de cette eau permet de déterminer la quantité de chaleur Q qui a traversé l'isolant de l'extérieur de B' à l'intérieur de B.

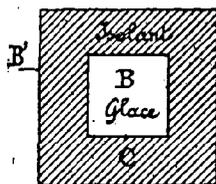


FIG. 156.

Ce mode opératoire convient surtout pour la comparaison des divers isolants au point de vue de leur conductibilité pour la chaleur, les poids de glace fondus au bout d'un même temps étant d'autant plus petits que la conductibilité thermique est aussi plus petite.

Une méthode analogue a été employée en 1899 par Lamb et Wilson³. Les substances isolantes à étudier sont placées entre deux cylindres concentriques en cuivre. Le cylindre extérieur plonge dans de l'eau froide ; dans le cylindre intérieur se trouvent montés en série une bobine et un petit moteur électrique actionnant un ventilateur⁴. Un courant électrique

1. Au lieu de déterminer le poids de glace fondue, on pourrait, par une méthode analogue à celle du calorimètre de Bunsen, mesurer la variation de volume résultant de la fusion de la glace. M. Berget a employé cette méthode pour déterminer, par la méthode du mur, le coefficient de conductibilité intérieure du mercure et de quelques métaux. La méthode dont nous donnons ici le principe a été également employée par M. Berget (A. BERGET, *Journal de Physique*, 2^e série, t. VII, p. 503 ; 2^e série, t. IX, p. 435).

2. Cette méthode dont nous indiquons ici le principe est la méthode connue en physique sous le nom de *méthode de l'anneau de garde*.

3. *Proceedings of the Royal Society*, 1899, p. 283-288.

4. Grâce au ventilateur, la chaleur produite en un point de l'enceinte intérieure se communique rapidement par l'air en mouvement à cette enceinte et par suite à l'isolant.

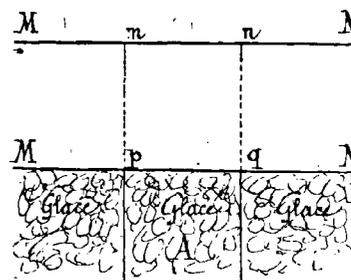


FIG. 155.

échauffe le fil de la bobine et élève la température de l'air; l'enceinte métallique intérieure et l'isolant s'échauffent; un ampèremètre et un voltmètre permettent de mesurer les watts dépensés pour que la température de l'eau extérieure s'élève d'un certain nombre de degrés¹.

7. Valeurs des coefficients de conductibilité et des coefficients de transmission. — Ces méthodes ne donnent pas le coefficient de transmission K en valeur absolue et encore moins le coefficient de conductibilité intérieure k de la substance isolante. Les formes complexes des volumes occupés par la matière isolante empêchent de leur appliquer les formules simples que nous avons indiquées plus haut. De plus on identifie toujours le coefficient de transmission avec le coefficient de conductibilité intérieure. Aussi les nombres donnés par divers auteurs sont-ils assez différents les uns des autres. Le tableau suivant contient, d'après divers auteurs, les coefficients de conductibilité intérieure de quelques isolants ordinairement employés dans les entrepôts frigorifiques. Il ne faut considérer ces nombres que comme des moyennes, puisque la conductibilité dépend de nombreux facteurs, notamment de la densité du bourrage de l'isolant.

TABLEAU XXV
VALEURS DES COEFFICIENTS DE CONDUCTIBILITÉ INTÉRIEURE DES ISOLANTS
EMPLOYÉS DANS LES ENTREPÔTS FRIGORIFIQUES²

NATURE DE L'ISOLANT	COEFFICIENT DE CONDUCTIBILITÉ INTÉRIEURE (grande calorie, mètre, heure, degré centigrade)	POIDS DE 1 MÈTRE CUBE	SOURCE DANS LAQUELLE LE RENSEIGNEMENT a été puisé
		kilogrammes	
Air (absolument calme)	0,025	—	Winkelmann
Air (mouvement faible)	0,050		Siebel
Amiante sèche	0,107		Lamb et Wilson
Bois de chêne (normalement à la fibre)	0,210		Landolt et Börnstein
Bois de pin	0,124		Siebel
Bois de sapin (parallèlement à la fibre)	0,170		Landolt et Börnstein
Bois de sapin (normalement à la fibre)	0,093		Id.
Bois de pin (sciure)	0,087		Lamb et Wilson
— (copeaux)	0,058		Id.
Charcoal	0,060		Id.
—	0,080		Siebel
Charbon de bois feuilleté . . .	0,118	160 à 190	Lorenz
— en poudre	0,080		Siebel
Cendres de bois	0,062		Landolt et Börnstein
Coke pulvérisé	0,160	350 à 550	Id.

1. Les limites de cet ouvrage ne nous permettent pas d'exposer ici le principe des méthodes employées pour mesurer le coefficient de conductibilité intérieure des corps isolants et des corps mauvais conducteurs de la chaleur. On trouvera ces renseignements dans l'ouvrage suivant très documenté : WINKELMANN, *Handbuch der Physik*, III^e volume, 1^{re} partie, *Chaleur*, p. 439 à 508 (Leipzig, J. Ambrosius Barth, 1906). Dans cet ouvrage les coefficients de conductibilité intérieure (désignés par λ) sont exprimés au moyen des unités, petite calorie, centimètre, seconde, degré centigrade : pour transformer ces nombres et les ramener aux unités employées dans cet ouvrage (grande calorie, mètre, heure, degré centigrade), il suffit de les multiplier par 360.

MADISON COOPER (*Practical Cold Storage*, p. 77) emploie, pour comparer les coefficients de transmission de la chaleur relatifs à divers isolants, une méthode calquée sur celle de Lamb et Wilson.

2. Dans les ouvrages anglais, le coefficient de conductibilité intérieure est exprimé au moyen d'unités souvent différentes que nous allons indiquer.

1^o Dans SIEBEL (*Compend of Mechanical Refrigeration*, p. 19), le coefficient de conductibilité intérieure est le

NATURE DE L'ISOLANT	COEFFICIENT	POIDS DE 1 MÈTRE CUBE	SOURCE DANS LAQUELLE LE RENSEIGNEMENT a été puisé
	DE CONDUCTIBILITÉ INTÉRIEURE (grande calorie, mètre, heure, degré centigrade)		
		kilogrammes	
Coton	0,053	—	Siebel; Lamb et Wilson
Cyprès (taxodium) : copeaux .	0,070		Siebel
— sciure	0,101		Id.
— planche	0,100		Id.
Laine de scories ou silicate- cotton	0,099		Id.
Laine de scories ou silicate- cotton	0,101		Landolt et Börnstein
Liège	0,140	500 à 600	Lorenz
— granulé	0,081		Siebel
— imprégné Grünzweig et Hartmann	0,050	300	Grünzweig et Hartmann
Laine de Kapok (serrée) . . .	0,052		Lamb et Wilson
— — (non serrée)	0,044		Id.
Feutre cardé en morceaux . .	0,070		Id.
Feutre en deux couches (cha- cune de 1 ^{cm} ,3 d'épaisseur) . .	0,060		Id.
Peuplier jaune (Liriodendron): sciure	0,090		Siebel
Peuplier jaune (Liriodendron): planche	0,091		Id.
Plâtre	0,500		Landolt et Börnstein
Poudre de craie	0,090	1.600	Lorenz
Pierre ponce	0,066	370	Id.
Riz (balle de)	0,094		Siebel
Terre d'infusoires ou Kiesel- guhr	0,136	250 à 350	Lorenz
Sable	0,270		Lamb et Wilson
Scories	0,200		Id.
Mur en briques	0,700	1.470 à 1.700	Lorenz
Mur en moellons	1,300	2.400 à 2.460	Id.
Mur en pierre calcaire	1,900		

8. La conductibilité d'un isolant s'accroît rapidement avec son degré d'humidité. — Il convient de remarquer que tous ces nombres se rapportent à des substances parfaitement sèches; dès que les matières isolantes sont humides, elles deviennent bonnes conductrices de la chaleur.

C'est ce que montrent nettement les nombres suivants qui nous ont été communiqués par M. Lespès, directeur des Usines Dyle et Bacalan, à Bordeaux.

nombre de B. T. U. qui traversent en une heure un pied carré (square foot) d'une substance dont l'épaisseur est de 1 pouce (1 Inch), la différence de température entre les deux faces de la substance étudiée étant égale à 100° Fahrenheit. Pour passer des nombres exprimés dans ce système d'unités aux nombres exprimés dans le système d'unités adopté ici, il suffit de multiplier les premiers par le facteur 0,0012;

2° Dans SIEBEL (*Compend of Mechanical Refrigeration*, p. 180), le coefficient de conductibilité intérieure est le nombre de B. T. U. qui traversent en vingt-quatre heures un pied carré (square foot) d'une substance d'épaisseur égale à 1 pied, la différence de température entre les deux faces étant égale à 1° Fahrenheit. Pour passer des nombres exprimés dans ce système d'unités aux nombres exprimés dans le système d'unités adopté dans cet ouvrage, il suffit de multiplier les premiers par le facteur 0,062.

Par exemple, dans le premier système d'unités employé par Siebel, le coefficient de conductibilité intérieure de la balle de riz est représenté par le nombre 78; dans le système d'unités que nous adoptons, il sera représenté par $78 \times 0,0012 = 0,0936$ ou 0,094. Dans le deuxième système d'unités employé par Siebel, le coefficient de conductibilité intérieure du liège granulé est exprimé par le nombre 1,3; dans le système d'unités adopté ici, il sera représenté par $1,3 \times 0,062 = 0,0806$ ou 0,081.

TABLEAU XXVI

CALORIES TRANSMISES PAR MÈTRE CARRÉ ET PAR HEURE A TRAVERS DES PAROIS DE 0^m,150 D'ÉPAISSEUR D'ISOLANT COMPRIS ENTRE 2 PANNEAUTAGES SIMPLES DE 22 MILLIMÈTRES D'ÉPAISSEUR

(D'après les résultats d'expériences faites à la maison Hall)

	$\theta_1 - \theta_2 = 33^\circ$		$\theta_1 - \theta_2 = 28^\circ$		$\theta_1 - \theta_2 = 22^\circ$		OBSERVATIONS
	SÈCHE	HUMIDE	SÈCHE	HUMIDE	SÈCHE	HUMIDE	
	calories	calories	calories	calories	calories	calories	
Charbon de bois (charcoal).	12,9	31 »	8 »	20,6	5 »	12,1	1. 150 millimètres de sciure de bois équivalent à 100 millimètres de laine de scorie. 2. Le poil de vache convient quand on craint l'humidité.
Sciure de bois ¹	18,9	43 »	12,1	26,4	6,4	15 »	
Laine de scorie ¹	11,3	38,5	6,4	23,5	3,2	18 »	
Poil de vache ²	11,3	24 »	6,4	14,5	3,2	10 »	
Mastic terre réfractaire. . .	28 »	»	17 »	»	9,5	»	
Briques de liège.	16 »	»	9 »	»	8 »	»	

Dans une communication faite à l'*American Warehousemen's Association*, *Starr et Stoddard* ont montré combien il est urgent de protéger la matière isolante contre l'humidité. Leurs expériences ont porté sur un remplissage de sciure de bois de 200 millimètres d'épaisseur placé entre deux madriers d'environ 23 millimètres d'épaisseur, dont la surface intérieure était recouverte d'une couche imperméable de papier. Ils ont trouvé pour les quantités de chaleur qui, par heure, par mètre carré et pour une différence de température de 1° C., traversent cet isolement, les nombres suivants :

Remplissage sec.	0 ^{cal.} ,275
— un peu humide.	0 ,370
— humide jusqu'à émission de vapeurs . . .	0 ,430

9. Calcul du coefficient de transmission K d'un milieu composé de divers isolants. — Les nombres que nous venons de donner permettent de calculer, au moyen de la formule (5), les coefficients de transmission K d'un milieu composé de divers isolants.

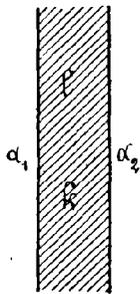


FIG. 157.

1° *Paroi formée d'une couche d'une seule sorte de matériaux limitée de part et d'autre par de l'air* (fig. 157). La formule (5) donne

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{l}{k} + \frac{1}{\alpha_2}$$

D'après les nombres donnés par *Rietschel* (*loc. cit.*, p. 144), on peut, dans cette formule, prendre

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 10.$$

On a donc dans ce cas

$$(8) \quad \frac{1}{K} = \frac{1}{10} + \frac{l}{k} + \frac{1}{10}, \quad l \text{ exprimé en mètres.}$$

EXEMPLE. — Considérons un verre simple faisant partie d'une fenêtre et ayant 0^m,002 d'épaisseur.

Prenons

$$k = 0,800;$$

le coefficient de transmission K est

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{10} + \frac{0,002}{0,800} + \frac{1}{10} = 0,2.$$

K = 5

2° *Paroi formée de couches de différentes matières* (par exemple tapisserie, enduit, mur, couche de peinture) *confinant à l'air par ses deux faces extrêmes* (fig. 158). — Dans ce cas, on a, d'après Rietschel,

$$(9) \quad \frac{1}{K} = \frac{1}{10} + \frac{l_1}{k_1} + \frac{l_2}{k_2} + \dots + \frac{l_n}{k_n} + \frac{1}{10}, \quad l_1, l_2, \dots, l_n \text{ exprimés en mètres.}$$

EXEMPLE. — Mur de briques garni intérieurement d'un enduit et d'une tapisserie ou d'une couche de papier.

Épaisseur du mur . .	$l_1 = 0^m,51$	$k_1 = 0,700$
Épaisseur de l'enduit.	$l_2 = 0,01$	$k_2 = 0,700$
Épaisseur du papier .	$l_3 = 0,0001$	$k_3 = 0,060$

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{10} + \frac{0,51 + 0,01}{0,700} + \frac{0,0001}{0,060} + \frac{1}{10} = 0,94$$

K = 1,07

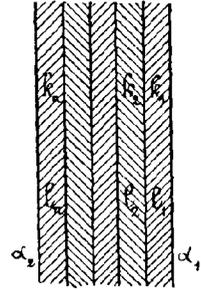


FIG. 158.

3° *Paroi présentant une couche d'air calme à son intérieur* (fig. 159).

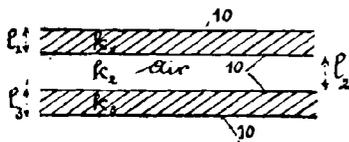


FIG. 159.

$$(10) \quad \frac{1}{K} = \frac{1}{10} + \frac{l_1}{k_1} + \frac{1}{10} + \frac{l_2}{k_2} + \frac{1}{10} + \frac{l_3}{k_3} + \frac{1}{10},$$

l_1, l_2, l_3 exprimés en mètres.

EXEMPLE. — Un mur en briques est formé de deux parties de 0^m,25 d'épaisseur séparées par une couche d'air de 0^m,10 d'épaisseur; la partie intérieure est recouverte d'un enduit de 0^m,01 d'épaisseur et d'une couche de papier de 0^m,001 d'épaisseur.

$l_1 = 0^m,25$	$k_1 = 0,700$
$l_2 = 0,10$	$k_2 = 0,050$
$l_3 = 0,25$	$k_3 = 0,700$
$l_4 = 0,01$	$k_4 = 0,700$
$l_5 = 0,001$	$k_5 = 0,060$

$$(11) \quad \frac{1}{K} = \frac{1}{10} + \frac{0,25}{0,700} + \frac{1}{10} + \frac{0,10}{0,050} + \frac{1}{10} + \frac{0,25}{0,700} + \frac{0,01}{0,700} + \frac{0,001}{0,060} + \frac{1}{10} = 3,14$$

K = 0,32

Si la couche d'air, au lieu d'être assez stagnante pour servir d'isolant, est en mouvement et peut être considérée comme n'étant pas isolante, il faut, pour se placer dans le cas le plus défavorable, faire dans la formule (10): $\frac{1}{k_2} = 0$. Cette formule devient alors

$$(12) \quad \frac{1}{K} = \frac{1}{10} + \frac{l_1}{k_1} + \frac{1}{10} + \frac{1}{10} + \frac{l_3}{k_3} + \frac{1}{10}$$

Si, dans l'exemple étudié plus haut, nous supposons que la couche d'air n'est pas isolante, le terme $\frac{0,10}{0,05} = 2$ disparaît, et l'on a

$$\frac{1}{K} = 3,14 - 2 = 1,14$$

K = 0,87.

En particulier on peut considérer que la couche d'air interposée entre deux parois est *beaucoup plus stagnante et par suite isolante* lorsque ces parois sont *horizontales* que lorsqu'elles sont *verticales*.

Lorsque les parois *horizontales*, présentant une couche d'air interposée, confinent par leurs faces extrêmes à des couches d'air à des températures différentes, la couche d'air interposée est beaucoup plus stagnante et isolante lorsque la paroi supérieure confine à la couche d'air *chaud* que lorsque c'est la paroi *inférieure* qui confine à cette couche d'air.

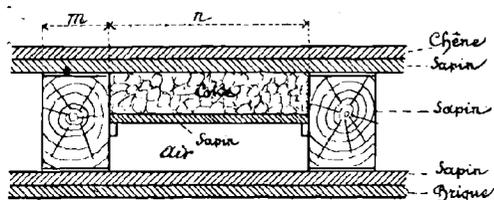


FIG. 160.

4° *Toit ou plancher avec remplissage et matelas d'air* (fig. 160). — Soient m la largeur des poutres et n

la distance entre les poutres, exprimées en mètres. Soient K_1 le coefficient de transmission de la chaleur au travers de la poutre, calculé au moyen de la formule (9); K_2 , le coefficient de transmission de la chaleur au travers de la paroi comprise entre les poutres, calculé au moyen de la formule (10). D'après *Rietschel*, le coefficient de transmission de la chaleur au travers du toit ou du plancher est donné par la formule

$$(13) \quad K = \frac{mK_1 + nK_2}{m + n}$$

EXEMPLE. — Plancher représenté sur la figure 160 :

Epaisseur du plancher de chêne	$l_1 = 0^m,025$	$k_1 = 0,210$
— — — sapin	$l_2 = 0,025$	$k_2 = 0,170$
Epaisseur des poutres en sapin	$l_3 = 0,240$	$k_3 = 0,093$
Epaisseur du plancher en sapin	$l_4 = 0,020$	$k_4 = 0,170$
Epaisseur de la paroi en briques	$l_5 = 0,015$	$k_5 = 0,700$

Le coefficient de transmission de la chaleur au travers de la poutre est donné par la formule

$$\frac{1}{K_1} = \frac{1}{10} + \frac{0,025}{0,210} + \frac{0,025}{0,170} + \frac{0,240}{0,093} + \frac{0,020}{0,170} + \frac{0,015}{0,700} + \frac{1}{10} = 3,21$$

$$K_1 = 0,31$$

Pour calculer le coefficient de transmission de la chaleur K_2 au travers de la paroi comprise entre les poutres, nous supposons que la couche d'air interposée est *isolante* ou que des deux masses d'air qui confinent aux deux surfaces extrêmes du plancher, la plus *chaude est située au-dessus du plancher*.

Epaisseur du plancher de chêne	$l_1 = 0^m,025$	$k_1 = 0,210$
— — — sapin	$l_2 = 0,025$	$k_2 = 0,170$
Epaisseur du remplissage de coke	$l_3 = 0,105$	$k_3 = 0,160$
Epaisseur du plancher de sapin qui retient la couche de coke	$l_4 = 0,015$	$k_4 = 0,170$
Epaisseur de la couche d'air isolante	$l_5 = 0,120$	$k_5 = 0,050$
Epaisseur du plancher de sapin	$l_6 = 0,020$	$k_6 = 0,170$
Epaisseur de la paroi en briques	$l_7 = 0,015$	$k_7 = 0,700$

Le coefficient K_2 est alors donné par la formule

$$\frac{1}{K_2} = \frac{1}{10} + \frac{0,025}{0,210} + \frac{0,025}{0,170} + \frac{0,105}{0,160} + \frac{0,015}{0,170} + \frac{1}{10} + \frac{0,120}{0,050} + \frac{1}{10} + \frac{0,020}{0,170} + \frac{0,015}{0,700} + \frac{1}{10} = 3,96$$

d'où on tire

$$K_2 = 0,25$$

Pour $m = 0,2$ et $n = 0,8$, on trouve

$$K = \frac{0,2 \times 0,31 + 0,8 \times 0,25}{0,2 + 0,8} = 0,262.$$

Si la couche d'air *la plus chaude est située au-dessous du plancher*, le matelas d'air interposé dans le plancher ne possède plus les mêmes propriétés isolantes que dans le cas précédent. Si, pour se placer dans les conditions les plus défavorables, on suppose que ce matelas d'air a perdu toute propriété isolante, on trouve pour les coefficients de transmission de la chaleur les valeurs suivantes

$$\frac{1}{K_2} = 3,96 - \frac{0,120}{0,050} = 3,96 - 2,40 = 1,56$$

$$K_2 = 0,64$$

$$K = \frac{0,2 \times 0,31 + 0,8 \times 0,64}{0,2 + 0,8} = 0,574.$$

Les méthodes de calcul que nous venons d'exposer ont été employées par Rietschel pour calculer les nombres inscrits dans les tableaux XXVII, XXVIII, XXIX.

Les valeurs des coefficients de conductibilité intérieure employées par l'auteur allemand ne sont pas toujours identiques à celles que nous avons inscrites dans le tableau XXV; les coefficients α_1 et α_2 relatifs au passage de la chaleur de l'air dans un solide, ou inversement, sont variables et compris entre 7 et 12. Toutefois les nombres de Rietschel diffèrent peu de ceux que l'on obtient en prenant 10 comme valeur moyenne des coefficients α_1 et α_2 ; c'est pourquoi nous les adoptons ici.

TABLEAU XXVII

VALEURS DU COEFFICIENT DE TRANSMISSION K POUR DIVERS MURS DONT LES FACES SONT EN CONTACT AVEC L'AIR
(NOMBRES DE GRANDES CALORIES QUI TRAVERSENT EN 1 HEURE UNE SURFACE DE 1 MÈTRE CARRÉ POUR UNE DIFFÉRENCE DE TEMPÉRATURE ÉGALE A 1°C.)
(RIETSCHEL, *Lüftungs und Heizungs-Anlagen*, 2^e partie, table 12)

I. — Murs extérieurs

1° Mur en briques :

Épaisseur du mur (enduit non compris)	en mètres	0,12	0,25	0,38	0,51	0,64	0,77	0,90	1,03	1,16
K		2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,55

2° Mur en briques avec une couche d'air :

Épaisseur du mur (non compris la couche d'air et l'enduit) [application de la formule (12)].	en mètres	0,24	0,37	0,50	0,63	0,76	0,89	1,02
	K		1,4	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6

3° Mur en briques avec couche de plâtre intérieure de 3 centimètres :

Épaisseur du mur (couche de plâtre non comprise) . . .	en mètres	0,12	0,25	0,38	0,51
K		2,2	1,5	1,2	1,0

4° Mur en briques avec revêtement intérieur en bois :

Épaisseur du mur de briques . . .	en mètres	0,12	0,25	0,38	0,51	0,64	0,77
— du revêtement en bois . . .	id.	0,010	0,010	0,010	0,015	0,015	0,015
K		2,0	1,5	1,1	1,8	1,4	1,0

5° Mur en briques avec revêtement extérieur et intérieur en bois :

Épaisseur du mur de briques . . . en mètres	0,12	0,25	0,38	0,12	0,25	0,38	0,12	0,25	0,38	
— du revêtement en bois . . . id.	0,020	0,020	0,020	0,025	0,025	0,025	0,030	0,030	0,030	
	K	1,2	1,0	0,85	1,1	0,9	0,8	1,0	0,8	0,7

6° Mur en moellons (grès) :

Épaisseur du mur (enduit non compris) en mètres	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	
	K	2,1	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,85

7° Murs en moellons avec revêtement intérieur en briques :

Épaisseur du mur en moellons . . . en mètres	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,25	0,25	0,25	
— du revêtement en briques id.	0,12	0,25	0,38	0,51	0,64	0,77	0,90	1,03	0,12	0,25	0,38	
	K	2,10	1,50	1,20	1,00	0,80	0,70	0,60	0,55	1,70	1,30	1,00
Épaisseur du mur en moellons . . . en mètres	0,25	0,25	0,25	0,25	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50		
— du revêtement en briques id.	0,51	0,64	0,77	0,90	0,12	0,25	0,38	0,51	0,64	0,77		
	K	0,90	0,75	0,65	0,60	1,30	1,00	0,85	0,75	0,65	0,60	

8° Mur en pierres calcaires :

Épaisseur du mur (enduit non compris) en mètres	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	
	K	2,5	2,2	2,0	1,8	1,7	1,55	1,4	1,3	1,25	1,2

9° Mur en béton :

Épaisseur du mur en mètres	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
— K	3,4	2,7	2,3	2,0	1,7	1,5

II. — Murs intérieurs

1° Mur en briques :

Épaisseur du mur (enduit non compris) en mètres	0,12	0,25	0,38	0,51	0,64	0,77	0,90	1,03	
	K	2,2	1,5	1,2	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5

2° Cloison en bois sans enduit :

Épaisseur de la cloison en mètres	0,010	0,015	0,020	0,025
— K	2,7	2,4	2,1	1,9

3° Cloison en bois avec enduit sur les deux faces :

Épaisseur de la cloison en mètres	0,020	0,025	0,030	0,040
— K	1,3	1,2	1,15	1,0

4° Cloison en agglomérés de liège (briques) :

Épaisseur de la cloison en mètres	0,12	0,25	0,38
— K	0,94	0,50	0,34

TABLEAU XXVIII

VALEURS DU COEFFICIENT DE TRANSMISSION K POUR PLAFONDS, PLANCHERS, FENÊTRES DE CONSTRUCTIONS DIVERSES

Plafond ou plancher (type de la figure 160) (L'air froid se trouve au dessus)	0,5	Stetefeld, Rietschel
Plafond ou plancher (type de la figure 160) (L'air froid se trouve au dessous)	0,25	Rietschel
Plafond massif avec plancher en bois	0,8	Stetefeld
Voûte avec plancher en bois	0,6	Id.
Sol en pierre massif	1,0	Id.
— sans cave dessous	1,4	Id.

Fenêtre simple	5,4	Stetefeld, Rietschel
— avec double vitre	3,0	Id.
Double fenêtre	2,5	Id.
Lanterneau simple	5,3	Stetefeld
Lanterneau double	2,4	Id.
Porte <i>extérieure</i> en chêne : deux épaisseurs de bois ayant ensemble 25 cent., sans isolant	2,0	Lehnert, Grünzweig et Hartmann
Porte <i>extérieure</i> en chêne : 8 cent. de liège aggloméré entre les deux épaisseurs de bois ayant chacune 12 ^{cm} ,5	0,5	Id.
Porte <i>intérieure</i> en chêne : deux épaisseurs de bois ayant ensemble 25 cent., sans isolant	1,1	Id.
Porte <i>intérieure</i> en chêne : 6 cent. de liège aggloméré entre les deux épaisseurs de bois ayant chacune 12 ^{cm} ,5	0,5	Id.

TABLEAU XXIX

VALEURS DU COEFFICIENT DE TRANSMISSION K POUR TOITS DE CONSTRUCTIONS DIVERSES
ISOLÉS OU NON AVEC DES AGGLOMÉRÉS DE LIÈGE
(D'après Rietschel et les données de la firme Grünzweig et Hartmann)

SORTES DE TOITS	SANS ISOLEMENT	AVEC ISOLEMENT D'AGGLOMÉRÉS DE LIÈGE AYANT UNE ÉPAISSEUR DE			
		3 centimètres	4 centimètres	5 centimètres	6 centimètres
Carton bitumé sur planches (0 ^m ,25)	2,13	0,93	0,79	0,68	0,60
Zinc sur planches (0 ^m ,25)	2,17	0,94	0,80	0,68	0,60
Ardoises sur planches (0 ^m ,25)	2,10	0,92	0,79	0,68	0,60
Tuiles sans planches, mais posées imperméables à l'eau	4,85	1,25	1,00	0,83	0,70
Couche d'asphalte sur planches de bois	1,32	0,74	0,64	0,57	0,51
Tôle ondulée sans planches	10,40	1,43	1,11	0,91	0,77

Passons maintenant en revue les principaux isolants employés dans l'industrie frigorifique.

10. **Air.** — L'air n'est un bon isolant qu'à la condition d'être parfaitement sec et parfaitement tranquille. L'humidité, les courants qui peuvent s'y produire augmentent beaucoup sa conductibilité pour la chaleur au point de rendre illusoire son pouvoir isolant.

Si on parvient à empêcher les mouvements de l'air, on obtient d'excellentes conditions d'isolement. On arrive à ce résultat en emprisonnant cet air entre les parties ténues d'un corps. C'est ainsi que le fer en barres est un bon conducteur de la chaleur, tandis que le fer en limailles est un isolant, grâce aux bulles d'air qu'il emprisonne. On diminue donc la conductibilité d'un corps pour la chaleur en le réduisant en parties très petites susceptibles de retenir de l'air entre elles. Aussi le coefficient de conductibilité intérieure d'un isolant dépend-il du poids de cette matière contenue dans l'unité de volume, c'est-à-dire de la manière dont cet isolant est plus ou moins tassé. Si le bourrage fait avec la matière isolante est trop lâche, la circulation de l'air devient possible et la conductibilité pour la chaleur augmente. Il en est de même si le bourrage est trop serré. D'après Madison Cooper, avec les isolants actuellement en usage, les meilleurs résultats semblent avoir été obtenus avec

un bourrage d'une densité de 140 à 190 kilogrammes par mètre cube (9 à 12 livres par pied cube); toutefois, la première valeur semble préférable à la seconde.

11. Feutre (en anglais, *Felton*, *Hair felt*; en allemand, *Filz*). — Le poil des bestiaux,

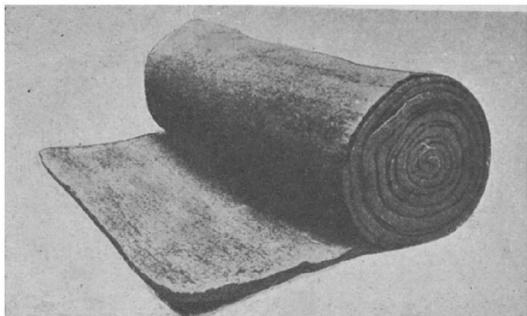


FIG. 161. — Rouleau de feutre.

après avoir été lavé, séché à l'air, débarrassé de toutes les matières étrangères, désodorisé, est transformé par des machines en une substance isolante dénommée *feutre*. Le feutre a une épaisseur qui varie de 6 à 50 millimètres; on le trouve aux États-Unis en rouleaux ayant de 0^m,60 à 1^m,80 de largeur et 15^m,25 de longueur. La figure 161 représente l'un de ces rouleaux.

D'après Madison Cooper¹, il convient d'employer des pièces de 0^m,60 de largeur placées entre des liteaux; le feutre doit être recouvert sur ses deux faces de papier imperméable,

comme le montre la figure 162. Les plaques de feutre sont fixées sur les liteaux au moyen de clous inclinés de manière à ne pas percer le papier.

Le feutre est, en effet, un isolant qui absorbe très vite l'humidité et perd alors ses pro-

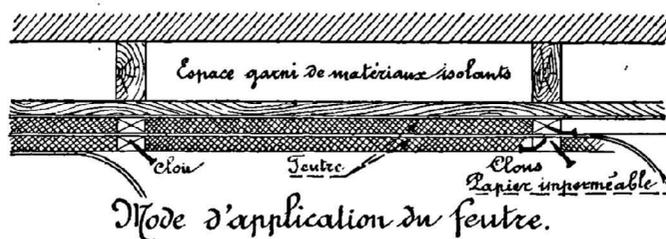


FIG. 162.

priétés. Aussi son emploi n'est-il pas à recommander dans les climats humides. A Londres, le grand entrepôt frigorifique du marché de Smithfeld a été obligé de supprimer le feutre comme agent isolant.

12. Matelas isolants (en anglais, *Quilt insulator*). — On emploie depuis longtemps pour rendre sourds les appartements des sortes de matelas formés de deux feuilles de papier imperméable entre lesquelles sont placées diverses substances telles que du *feutre*, de la *laine minérale*, de la *fibre de lin* (flax-fibre, en anglais), *des algues marines* (eel-grass, en anglais). Ce sont des algues marines qui entrent dans la composition du matelas *Cabot* (Boston, Massachusetts) (fig. 163), employé depuis longtemps aux États-Unis comme assourdissant. Ces algues sont incombustibles; de plus, la grande quantité d'iode qu'elles contiennent éloigne les rats et la vermine.



FIG. 163. — Matelas Cabot.

On tend actuellement à employer ces matelas Cabot comme isolants dans les chambres frigorifiques aux États-Unis. Pour cela on donne aux matelas une épaisseur de 1^{cm},25.

1. MADISON COOPER, *Practical Cold Storage*, p. 65.

Afin d'éviter l'humidité, on place les algues entre deux papiers imperméables. Sou-

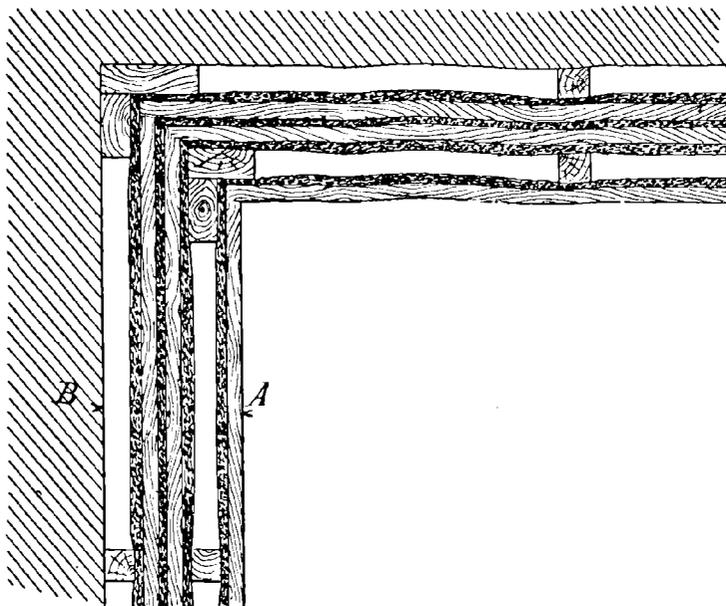


FIG. 164. — Mode d'emploi des matelas isolants Cabot.

De A vers B : Cloison en planches de 2^m,2 d'épaisseur; — Matelas isolant; — Couche d'air; — Matelas isolant; — Cloison en planches de 2^m,2 d'épaisseur; — Matelas isolant; — Cloison en planches de 2^m,2 d'épaisseur; — Matelas isolant; — Couche d'air; — Mur en briques.

vent même on enduit d'asphalte l'une des faces du matelas Cabot; cette face est alors appliquée contre la partie humide du mur.

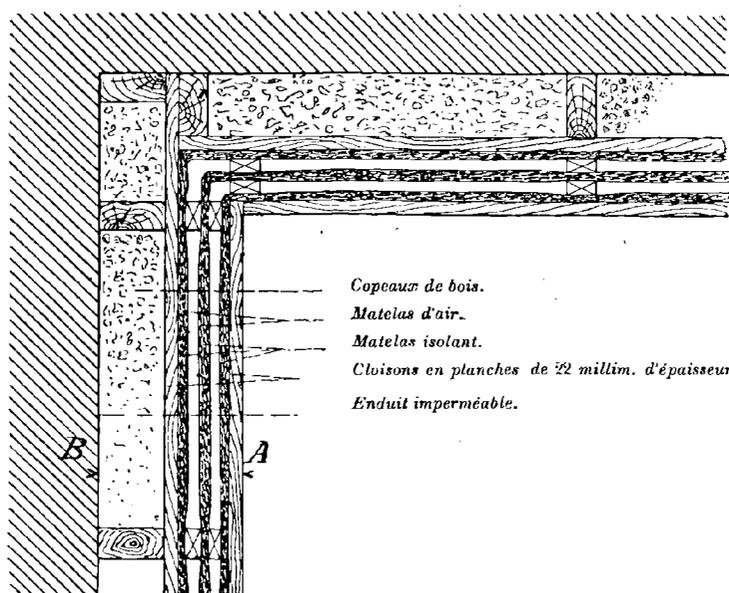


FIG. 165. — Mode d'emploi du matelas isolant Cabot préconisé par Madison Cooper.

De A vers B : Cloison en planches de 22 millimètres d'épaisseur; — Matelas isolant; — Couche d'air; — Matelas isolant maintenu simplement entre des liteaux; — Couche d'air; — Matelas isolant; — Cloison en planches de 22 millimètres d'épaisseur; — Copeaux de bois; — Enduit imperméable étendu sur la face intérieure du mur en briques.

La méthode ordinaire pour utiliser ces matelas dans l'isolation des chambres frigorifiques consiste à les placer entre deux doublages de parquet (fig. 164). Comme le fait

remarquer avec raison *Madison Cooper*¹, cette matière élastique, comprimée entre deux planches possède des propriétés moins isolantes que lorsqu'on la laisse se dilater librement. Aussi le mode d'emploi représenté sur la figure 165 et préconisé par *Madison Cooper* doit-il être préféré; il a, de plus, l'avantage de produire moins de déchets.

13. Rubéroïd. — On a pu améliorer beaucoup les propriétés de certains isolants, tels que le feutre, en les imprégnant de compositions particulières. Tel est le produit P. et B. dont sont imbibés le *rubéroïd* et certains papiers isolants.

Le *rubéroïd* est un feutre de paille et 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 contre les 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'air et à l'eau, il est inattaquable par les acides et les alcalis; il est incombustible, mauvais conducteur de la chaleur et de l'électricité.

14. Papier P. et B. (Papier Géant de la Société l'Industrie Internationale à Paris, de la maison Allut Noodt et Meyer à Hambourg) a pour base un papier très fort et très résistant saturé de la composition spéciale P. et B. et qui en est recouvert des deux côtés. Ce papier, comme tous les papiers isolants², est surtout employé pour empêcher la circulation de l'air et la pénétration de l'humidité à l'intérieur des parois isolantes des chambres froides.

Aussi la condition essentielle pour exécuter une pose efficace de ce papier sur une paroi est-elle d'empêcher toute circulation d'air entre le papier et cette paroi. Pour arriver à ce but, le papier doit être appliqué contre la paroi en le fixant au moyen de pointes à tapisser; les bords sont fixés à la paroi au moyen d'une colle spéciale (*la rubérine*). Les têtes des clous appliquant le papier contre la paroi doivent en être badigeonnées. La paroi étant entièrement tapissée de papier P. et B., les joints doivent être à nouveau repassés à la colle.

15. Crin animal. — Plumes. — Le *crin animal* dégage une mauvaise odeur et peut, de plus, servir de repaire à un grand nombre de parasites.

16. Sciure de bois (en allemand, *Sägemehl* ou *Sägespäne*; en anglais, *Sawdust*). — 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. Si on l'emploie, il faut qu'elle soit parfaitement sèche et introduite dans les parois absolument étanches protégées par deux feuilles de papier P. et B. *Madison Cooper* la proscrit absolument pour l'isolement des chambres frigorifiques; d'après lui, cette matière peut tout au plus être employée dans les glaciers à la condition d'être renouvelée tous les ans.

17. Copeaux de bois (*Shavings*, en anglais). — Il n'en est pas de même des copeaux de bois dont *Madison Cooper* recommande l'emploi. Pour être bien isolants, les bourrages

1. MADISON COOPER, *loc. cit.*, p. 67.

2. On emploie dans l'industrie frigorifique diverses sortes de papiers isolants, le papier *Néponset* (F. W. Bird and Son, East Walpole, Massachusetts), le papier *Ibex-Extra* (J. A. and W. Bird, Boston, Massachusetts), le papier *Giant* (Standard Paint Company, New-York), le papier *Willesden* (Willesden paper and Canvas Works Ltd, 61, South John Street, Liverpool). Il convient de remarquer que les papiers isolants doivent être sans odeur et n'être pas susceptibles de se crevasser par leur exposition aux basses températures. Aussi doit-on rejeter les papiers enduits de résine, les papiers enduits seulement sur leurs deux faces et gardant l'intérieur blanc. Les papiers à employer doivent être totalement imprégnés.

doivent être faits à raison de 140 kilogrammes de copeaux par mètre cube. Ces copeaux doivent être bien secs, exempts d'écorce, de saletés et de sciure de bois. Les copeaux de bois tendre, moins cassants et plus légers, sont préférables aux copeaux de bois dur. Madison Cooper conseille les copeaux de *sapin*, de *sapin noir du Canada* (Hemlock), de *tulipier* (White-Wood). La figure 165 représente un isolement fait avec ces copeaux.

18. Bois employés dans les isolements. — Nous allons voir, dans ce qui va suivre, que les cloisons en bois sont très employées dans les isolements faits en Angleterre et aux États-Unis. Les bois dont on peut se servir doivent être sans odeur. Madison Cooper recommande l'emploi du *sapin*, du *sapin noir du Canada*, du *tilleul* (bass-wood), du *tulipier*.

Toutefois, quand on est obligé de se servir de bois dégageant une légère odeur, il est bon d'enduire les planches sur leurs deux faces avec une ou deux couches d'un lait de chaux convenablement préparé.

Enfin le bois employé doit être aussi sec que possible.

19. Balle de riz (en allemand : *Reishülsen*; en anglais : *Rice chaff*). — La *balle de riz* récemment proposée comme isolant contient 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 pour le fer. La balle elle-même attire les rongeurs.

Il en est de même de la *paille hachée*, du *foin*, de l'*herbe sèche*, de la *balle d'avoine*. Ces matières peuvent cependant avoir quelque utilité dans les fermes éloignées pour isoler temporairement les glaciers et les fruitiers.

20. Tourbe (en allemand : *Torfmulle*). — La *tourbe* est un isolant peu coûteux qui doit être employé à l'état bien sec. Elle est en effet assez hygroscopique et attire les parasites. Il paraît cependant qu'une fabrique bavaroise prépare actuellement ce produit dans de meilleures conditions (Die Isoliermulle des Bayer. Torfstreu und Mullewerks, Haspelmoor, Haute-Bavière).

21. Cendres de houille (en allemand : *Hohlenasche*). — **Cendres de bois** (en allemand : *Holzäsche*). — **Poudre de craie** (en allemand : *Kreidepulver*). — **Kieselguhr**. — La *cendre* (cendre de houille, cendre de bois) est très mauvaise conductrice, mais elle présente le grave inconvénient de se tasser dans de grandes proportions.

Il en est de même de la *poudre de craie*, de la *silice fossile* ou *terre d'infusoires* ou *Kieselguhr*.

22. Amiante. — L'*amiante* a l'avantage d'être incombustible, mais ce n'est pas un très bon isolant. 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 qui est faite 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 *Imschenetaki*, dans lequel on mélange à l'amiante de la chaux, de la silice, de l'acide sulfurique à 50° B., de l'argile, du noir de fumée et un peu de minium pour colorer.

On fait souvent le revêtement intérieur des chambres frigorifiques avec de l'amiante mélangée à du ciment ou à du mortier; ce sont les produits dénommés en Allemagne *Asbest-Zement*, *Asbest-Mörtel*, fabriqués par la *Frankfurter Asbestwerke A.-G.*, à *Niederrad*.

23. Laine minérale [en anglais : *Slaywool*, *Silicate cotton* (Angleterre); — *Mineral wool*, *Granite rock wool*, *Rock cotton* (États-Unis)]. — Une matière assez analogue à l'amiante

comme incombustibilité est la *laine minérale* ou la *laine de scories*, très employée dans les entrepôts frigorifiques des États-Unis et de l'Angleterre. Jusqu'à ces dernières années ce produit était très cher, mais on sait maintenant le produire à un prix tel qu'il peut être utilisé dans un grand nombre de cas.

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.

Ce silicate complexe est en effet obtenu au moyen du laitier d'un haut fourneau, dans lequel on a introduit une quantité convenable de carbonate de chaux (mineral wool) ou d'un mélange de granit et de carbonate de chaux (rock wool). Ces substances minérales sont broyées, mélangées avec le coke et introduites dans le haut fourneau, où elles sont fondues sous l'action d'une température élevée. Le laitier fondu est alors soumis à l'action de la vapeur d'eau surchauffée à une température élevée.

Le produit ainsi obtenu 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 la laine. Bien que d'une composition analogue à celle du verre, cette substance n'est pas fragile; elle est même flexible sans être élastique¹.

La laine minérale est par elle-même assez bonne conductrice de la chaleur; elle ne devient isolante que par la grande quantité d'air interposée entre ses fibres. Aussi la densité du bourrage d'une telle substance ne doit-elle pas être trop considérable; elle ne doit pas dépasser 140 kilogrammes par mètre cube.

La laine minérale a l'inconvénient d'être très hygroscopique; elle attire très facilement l'humidité, s'altère lorsqu'elle est humide et ne peut plus servir; en particulier, si l'eau qui

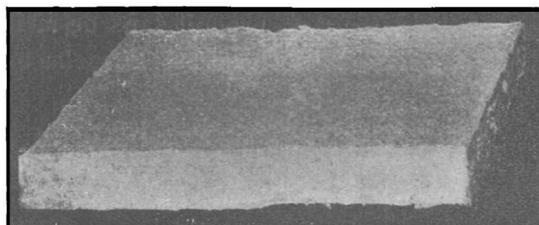


Fig. 166. — Laine minérale en plaques.

a imbibé les fibres vient à se congeler, elle brise ces dernières, les réduit en une poussière qui se tasse et constitue un mauvais isolant. Aussi est-il bon de ne l'employer pour effectuer les bourrages que dans des endroits parfaitement secs et doit-on prendre la précaution d'insérer entre les parois en bois et la laine minérale un papier imperméable tel que le papier P. et B.

La manipulation de la laine minérale exige des précautions spéciales. Les fibres piquent la peau et produisent au bout de peu de temps sur les mains des ouvriers des blessures assez douloureuses; de plus, les petites parties qui flottent dans l'air exercent des actions nuisibles sur les yeux et sur les bronches.

Cependant les avantages de cette matière, au point de vue de l'incombustibilité et de l'éloignement des rats et de la vermine, sont tels qu'aux États-Unis on s'est efforcé de la rendre plus transportable, plus facile à manipuler. On obtient ce résultat en comprimant la matière isolante en plaques ou en feuilles d'une densité et d'une rigidité suffisantes pour être sciées et assemblées. Ces plaques, qui ont l'apparence de la figure 166, sont faites généralement suivant les dimensions suivantes :

$$\left. \begin{array}{l} 45 \times 120 \text{ centimètres} \\ 22,5 \times 120 \quad \quad \quad \text{—} \end{array} \right\} \text{ de base sur } 1^{\text{cm}},25 \text{ à } 7^{\text{cm}},50 \text{ d'épaisseur.}$$

¹. Il importe que la laine minérale contienne le moins possible d'oxyde de fer et de sulfate ou sulfite de chaux. Aussi vaut-il mieux employer des produits préparés au moyen de fours spéciaux que d'utiliser la laine minérale provenant du traitement des résidus des hauts fourneaux ordinaires.

Toutefois, à cause de la compression de la matière isolante, la conductibilité de ces plaques pour la chaleur est plus grande que la conductibilité de la laine en fibres séparées.

La figure 167 montre la méthode préconisée par *Madison Cooper* pour faire un isolement au moyen de ces plaques de laine minérale.

La figure 168 montre l'application sur un mur en briques de ces plaques de laine minérale.

Enfin, certaines firmes des États-Unis compriment la laine minérale sous la forme de briques¹.

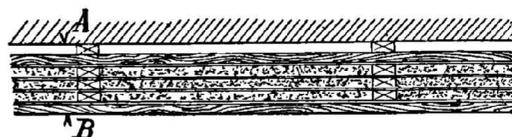
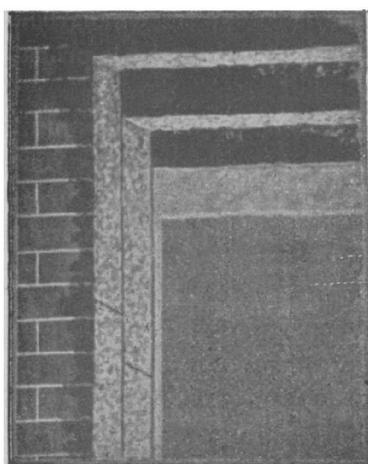


FIG. 167. — Méthode de Madison Cooper pour l'application de la laine minérale en plaques.

De A vers B: Enduit imperméable; — Matelas d'air; — Cloison en planches de 22 millimètres d'épaisseur; — Papier imperméable; — Plaque de laine minérale; — Papier imperméable; — Plaque de laine minérale; — Papier imperméable; — Plaque de laine minérale; — Papier imperméable; — Cloison en planches de 22 millimètres d'épaisseur.

24. Liège (en allemand : *Kork*; en anglais : *Cork* ou *Cork-wood*). — Le liège en poudre ou en plaques, bien que légèrement altérable, donne d'assez bons résultats. Il doit ses propriétés isolantes à sa grande porosité, qui immobilise ainsi une très grande quantité d'air formant manteau. 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 de liège aggloméré que l'on emploie aujourd'hui le liège.



... Ciment.
... Laine minérale.
... Ciment.
... Laine minérale.
... Ciment.
... Ciment.

... Couche de ciment bien polie faite avec du meilleur ciment de Portland.

FIG. 168. — Isolement fait contre un mur en briques avec des plaques de laine minérale.

25. Liège granulé (en allemand : *Korkabfall*). — Le liège granulé pèse environ 80 à 85 kilogrammes au mètre cube; on l'emploie souvent sous forme de bourrage entre murs ou cloisons de bois. Son prix est de 13 à 15 francs le mètre cube. Le granulé est vendu en grains de 2 à 5 millimètres et doit être soigneusement débarrassé par le blutage des impuretés et poussières. Grâce à sa grande élasticité, il ne se tasse pas, comme d'autres matières, qui laissent

alors des vides très préjudiciables au bon isolement.

26. Briques de liège (en allemand : *Korkstein*). — Le liège granulé nécessite, ainsi que tous les isolants pulvérulents, des parois qui le maintiennent, ce qui occasionne une dépense importante. On a donc été amené à agglomérer le granulé de liège et à lui donner la forme de briques, panneaux, etc., ayant l'apparence du liège naturel. Sous cette forme le liège peut être employé comme des briques ordinaires ou des carreaux céramiques pour la confection des murs, cloisons, plafonds et toutes parois isolantes.

Les agglomérés varient beaucoup comme aspect, comme densité et comme efficacité au point de vue de l'isolement. La plupart pèsent de 280 à 400 kilogrammes au mètre cube. Ils sont, en réalité, de véritables mortiers à base de liège, contenant 25 à 60 0/0 de matières agglomérantes inertes, qui diminuent souvent le pouvoir isolant et augmentent la densité.

1. Parmi les fabricants de laine minérale citons : Mac Neill, F. and C^o, Lamb's Buildings, Bunhill Row, London, E. C.; — Jones, Fredk. and C^o, Ryland Road, Kentish Town, London, N. W.; — United States Mineral Wool C^o, 143, Liberty Street, New-York; — Union Fibre C^o, Winona, Minnesota; — American Insulating Material Manufacturing C^o, Alexandria, Indiana, États-Unis. Fabrication de plaques et de briques de laine minérale (marque Sawyer's rock cotton insulating block).

Les agglomérants sont : le plâtre, la chaux, le ciment, le brai ou la poix, la glaise, le silicate.

Le plâtre et le ciment sont des corps très conducteurs, qui n'offrent que peu de liant ; on est obligé, pour donner une cohésion suffisante au produit, de les employer en grande quantité. La qualité du produit comme isolant s'en trouve fortement diminuée.

Certains agglomérés sont très hygroscopiques ; par les temps humides les matériaux changent de couleur et absorbent de l'eau. Ces agglomérés doivent être rejetés.

Il en est de même des agglomérés à agglutinant de base organique : colle, gélatine, ca séine, etc... Ces agglomérés se désagrègent à l'humidité, fermentent et dégagent une odeur de moisi et de fromage.

Les meilleurs agglomérés sont ceux qui sont agglutinés avec du brai ou avec de la poix fondue sous pression dans le vide, comme les *agglomérés de liège imprégnés* de la maison *Grünzweig et Hartmann* de Ludwigshafen-sur-le-Rhin (Imprägnierter Korkstein : Marke Reform). Ces agglomérés pèsent de 300 à 400 kilogrammes par mètre cube. Ils ne dégagent pas d'odeur, n'absorbent pas l'eau ; ils ne se crevassent pas sous l'influence de la chaleur ; ils sont très mauvais conducteurs de la chaleur ; en cas d'incendie, ils se réduisent en charbon à la surface et se couvrent rapidement d'une couche de suie spongieuse qui empêche la propagation du feu.

La *Société des lièges plastiques de Ravannes* [Moret-sur-Loing (Seine-et-Marne)] produit des briques en liège aggloméré qui ne pèsent que 210 kilogrammes au mètre cube et sont très isolantes. Ces briques sont moulées à la presse hydraulique et cuites à 160° sous pression ; elles ont l'aspect et les qualités du bon liège naturel ; leur surface rugueuse permet aux enduits de plâtre, ciment, etc..., d'y adhérer très fortement.

Citons aussi parmi les produits de déchets de liège aggloméré par le brai :

Ceux de la *Société des lièges agglomérés* ;

Ceux de la *Fabrique Rheinhold à Hanovre*.

Cette dernière Société fabrique des *Agglomérés de liège et de kieselguhr* (*Infusorit-Korkstein*).

Enfin il convient de rappeler les produits de la firme *The Nonpareil Cork Works*, à New-York, qui sont très réputés et très répandus aux États-Unis.

27. Panneaux de liège (en allemand : *Korkplatte*). — Les *panneaux en liège* plastique se font en dimensions pouvant aller jusqu'à 1 mètre carré et en toutes épaisseurs ; ils se travaillent avec les machines-outils, comme du bois tendre, ce qui permet de les rainurer de façon à les assembler par languettes de bois. Ce système supprime les inconvénients des joints en plâtre ou autres joints non isolants. Les panneaux de liège sont commodes surtout pour établir les plafonnages des glaciers et des wagons réfrigérants dont le bourrage est souvent très difficile avec des matières pulvérulentes.

On peut les clouer et les scier comme du bois ; ils sont imputrescibles et dépourvus de mauvaise odeur ; la composition de l'agglomérant à base d'acide borique empêche les moisissures et les bactéries de s'y développer, ce qui est très important au point de vue de la conservation des matières alimentaires.

28. Modes de fixation des briques ou des panneaux de liège. — Les figures 169, 170, 171 représentent quelques-unes des méthodes employées pour fixer contre les murs les briques ou les panneaux de liège. Sur la figure 169, la première assise de liège est appliquée contre le mur au moyen d'une couche de ciment ; la deuxième assise est

séparée de la première par une couche de papier. La figure 170 représente un mode de fixation qui est souvent employé et qui consiste à utiliser, pour clouer les plaques de liège, des liteaux en bois noyés dans la masse du liège; certaines firmes, notamment *The Nonpareil Cork Works*, fabriquent des plaques de liège ayant de 80 à 100 centimètres de longueur, de 30 à 50 centimètres de largeur et de 5 à 7^{mm},5 d'épaisseur dans lesquelles sont noyés des liteaux de bois. La méthode proposée par *Madison Cooper* et qui est représentée sur la figure 171 consiste à clouer dans le mur soit des liteaux de bois placés toutes les 6 ou 7 assises de briques, soit des madriers placés à des distances de 45 centimètres, sur lesquels on cloue les plaques de liège, en ayant soin de faire chevaucher les joints faits sur les liteaux (*fig. 171*). Nous verrons plus loin un autre mode de construction de murs isolants au moyen des lièges imprégnés de Grünzweig et Hartmann.

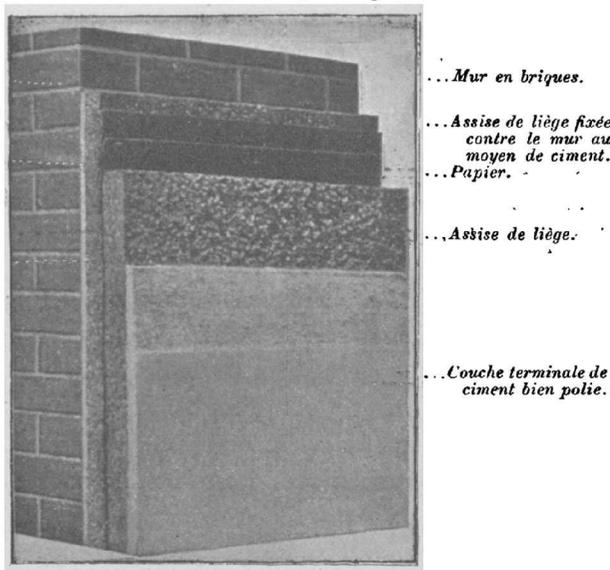


FIG. 169. — Isolement fait contre un mur en briques avec assises de liège, couches de papier imperméable alternées et couches de ciment.

29. Coquilles calorifuges. — La question de l'isolement des conduites de liquide à très basse température a une importance très grande au point de vue du fonctionnement régulier d'une installation frigorifique. Ces tuyaux doivent donc être isolés avec soin. On a préconisé à cet effet les substances les plus diverses et les modes d'application les plus variés, tels que paille, amiante, silice, magnésie, etc...

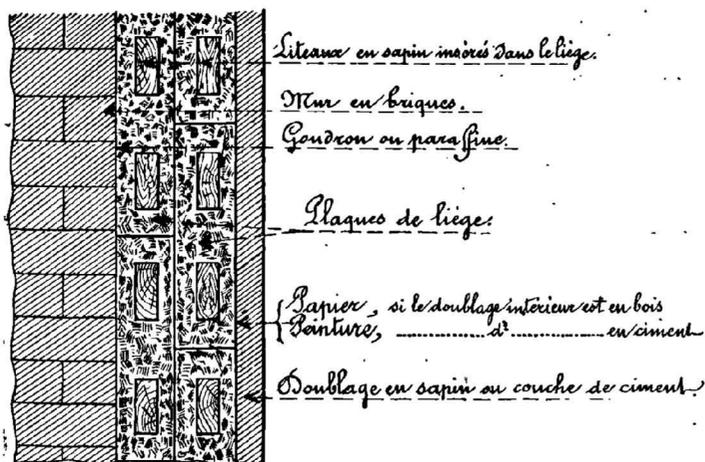


FIG. 170.

Isolement avec plaques de liège contenant des liteaux noyés dans leur masse

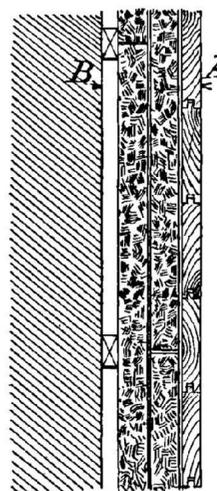


FIG. 171. — Méthode de Madison Cooper pour l'application contre un mur d'un isolement en liège.

De A vers B : Doublage de planches bouvetées de 22 millimètres d'épaisseur; — Papier imperméable; — Plaques de liège; — Papier imperméable; — Plaques de liège; — Matelas d'air; — Enduit imperméable contre le mur en briques.

Parmi tous ces corps, les uns sont peu isolants; les autres, meilleurs isolants, sont lourds, facilement décomposables et d'une application difficile.

Les coquilles de liège plastique permettent d'isoler les différentes tuyauteries d'une façon

très complète et très efficace. La facilité avec laquelle le liège plastique se travaille avec les machines à bois permet de faire sur indication des boîtes à brides, à robinets amovibles, et de protéger ainsi contre le rayonnement ces organes de tuyauterie qui, jusqu'ici, avaient été laissés non isolés par suite des difficultés d'application des différents calorifuges. Ces boîtes peuvent s'ouvrir pour permettre la manœuvre des vannes ou le serrage des brides.

30. Charcoal. — Le *charcoal*, ou charbon de bois en paillettes, provient de la combustion lente, en vase clos, soit de déchets de bois durs comme le buis, soit de déchets de bois tendres, notamment de rognures résultant de la fabrication des bobines de filature. Ces paillettes mesurent de 2 à 15 millimètres de longueur et de 1 à 15 millimètres de largeur.

Le charcoal est préférable au charbon de bois ordinaire; il est plus léger, plus mauvais conducteur; mais il a l'inconvénient, comme lui, de se tasser et d'être combustible.

Son poids est de 200 kilogrammes environ par mètre cube; mais, après son complet tassement, c'est-à-dire après un an ou deux, son poids par mètre cube peut atteindre 230 kilogrammes. On est donc obligé de remplir le vide des parois qui le contiennent.

On connaît diverses variétés de charcoal désignées sous les noms de *Cartvale Flake Charcoal* (Paisley, Écosse), *Cartvale Blätterholzkohle* (Allut Noodt et Meyer, Hambourg).

31. Coefficients de transmission de la chaleur par quelques isolants composés. — On réalise les isolements des chambres froides en superposant sous diverses épaisseurs quelques-unes des matières isolantes dont nous venons d'étudier les propriétés. Mais avant d'indiquer comment, dans la pratique, on réalise l'isolément des entrepôts frigorifiques, indiquons, d'après *Madison Cooper*¹, quels sont les coefficients de transmission pour la chaleur d'un certain nombre de parois isolantes obtenues par la juxtaposition de différentes couches des matières précédentes. Ces renseignements seront du plus grand intérêt quand il s'agira de déterminer quel est, dans la pratique, l'isolément qui correspond le mieux à des conditions déterminées.

TABLEAU XXX

VALEURS DU COEFFICIENT DE TRANSMISSION K POUR DIVERS ISOLEMENTS

	DESCRIPTION DE L'ISOLEMENT (épaisseurs exprimées en centimètres)	K (grande calorie, mètre, heure, degré centigrade)	NUMÉRO de la FIGURE CORRESPONDANTE
I De A ₁ vers B ₁	Planche. 2 ^{cm} , 2	0,46	<i>fig. 172</i>
	Papier W. P.		
	Planche. 2 , 2		
	Fibre de lin 2 , 5		
	Planche. 2 , 2		
II De A ₂ vers B ₂	Papier W. P.	0,42	<i>fig. 173</i>
	Plaque de Liège 7 , 5		
	Papier W. P.		
	Planche. 2 , 2		
	Planche. 2 , 2		

1. *Madison Cooper, loc. citat., p. 78 à 85.*

	DESCRIPTION DE L'ISOLEMENT (épaisseurs exprimées en centimètres)	K (grande calorie, mètre, heure, degré centigrade)	NUMÉRO de la FIGURE CORRESPONDANTE
III De A ₃ vers B ₃	Planche. 2 ^{cm} ,2	0,34	<i>fig. 174</i>
	Papier W. P.		
	Planche. 2 ,2		
	Liège granulé 10 »		
	Planche. 2 ,2		
	Papier W. P.		
IV De A ₄ vers B ₄	Planche. 2 ,2	0,24	<i>fig. 175</i>
	Sapin. 2 ,2		
	Papier W. P.		
	Plaque de liège. 5 »		
	Plaque de liège. 5 »		
	Matelas d'air. 2 ,5		
V De A ₅ vers B ₅	Sapin. 2 ,2	0,18	<i>fig. 176</i>
	Papier W. P.		
	Plaque de liège. 7 ,5		
	Plaque de liège. 5 »		
	Matelas d'air. 2 ,5		
	Sapin. 1 ,1		
VI De A ₆ vers B ₆	Papier W. P.	0,42	<i>fig. 177</i>
	Sapin. 1 ,1		
	Plaque de liège. 5 »		
	Matelas d'air. 2 ,5		
	Sapin. 1 ,1		
	Papier W. P.		
VII De A ₇ vers B ₇	Sapin. 1 ,1	0,44	<i>fig. 178</i>
	Sapin. 2 ,2		
	Papier W. P.		
	Sapin. 2 ,2		
	Laine minérale. 10 »		
	Sapin. 2 ,2		
VIII De A ₈ vers B ₈	Papier W. P.	0,38	<i>fig. 179</i>
	Sapin. 2 ,2		
	Liège granulé 20 »		
	Sapin. 2 ,2		
	Papier W. P.		
	Sapin. 2 ,2		
IX De A ₉ vers B ₉	Sapin. 1 ,1	0,23	<i>fig. 180</i>
	Papier W. P.		
	Sapin. 1 ,1		
	Matelas d'air. 2 ,5		
	Sapin. 1 ,1		
	Papier W. P.		
	Sapin. 1 ,1		
	Liège granulé 10 »		
	Sapin. 1 ,1		
	Papier W. P.		
	Sapin. 1 ,1		
	Matelas d'air. 5 »		
	Sapin. 1 ,1		
	Papier W. P.		
	Sapin. 1 ,1		
	Matelas d'air. 5 »		
	Sapin. 1 ,1		
	Papier W. P.		
	Sapin. 1 ,1		
	Papier W. P.		
	Sapin. 1 ,1		
	Matelas d'air. 5 »		
	Sapin. 1 ,1		
	Papier W. P.		

	DESCRIPTION DE L'ISOLEMENT (épaisseurs exprimées en centimètres)	K (grande calorie, mètre, heure, degré centigrade)	NUMÉRO de la FIGURE CORRESPONDANTE
X De A ₁₀ vers B ₁₀	Sapin	2 ^{cm} ,2	0,34 <i>fig. 181</i>
	Papier W. P.		
	Liège en plaque	7 ,5	
	Matelas d'air	2 ,5	
	Sapin	1 ,1	
	Papier W. P.		
Mur à l'épreuve du feu XI De A ₁₁ vers B ₁₁	Sapin	1 ,1	0,14 <i>fig. 182</i>
	Mur de briques.		
	Assise de briques creuses.	7 ,5	
	Laine minérale.	10 »	
	Assise de briques creuses.	7 ,5	
Plancher à l'épreuve du feu XII De A ₁₂ vers B ₁₂	Enduit de ciment.		0,14 <i>fig. 183</i>
	Béton.		
	Tuiles ou briques creuses.	7 ,5	
	Cendres sèches.	15 »	
	Double voûte en tuiles ou briques creuses.		
Mur Isolement en bois XIII De A ₁₃ vers B ₁₃	Enduit de ciment.		0,35 <i>fig. 184</i>
	Mur en briques.		
	Matelas d'air	2 ,5	
	Cloison bouvetée.	2 ,2	
	Papier imperméable.		
	Cloison bouvetée.	2 ,2	
	Laine minérale.	10 »	
	Cloison bouvetée.	2 ,2	
	Papier imperméable.		
	Matelas d'air	2 ,5	
Plancher XIV De A ₁₄ vers B ₁₄	Papier imperméable.		0,43 <i>fig. 185</i>
	Cloison bouvetée.	2 ,2	
	Papier imperméable.		
	Cloison bouvetée.	2 ,2	
	Plancher	2 ,2	
	Papier imperméable.		
	Plancher	2 ,2	
	Laine minérale.	5 »	
	Papier imperméable.		
	Plancher	2 ,2	
Plancher XV De A ₁₅ vers B ₁₅	Laine minérale.	5 »	0,38 <i>fig. 186</i>
	Papier imperméable.		
	Plancher	2 ,2	
	Solives.		
	Plancher	2 ,2	
	Papier imperméable.		
	Plancher	2 ,2	
	Plancher	4 ,3	
	Papier imperméable.		
	Plancher	2 ,2	
XVI De A ₁₆ vers B ₁₆	Laine minérale.	10 »	0,38 <i>fig. 187</i>
	Plancher	2 ,2	
	Papier imperméable.		
	Plancher	2 ,2	
	Solives de 10 sur.	10 »	
	Cendres	30 »	
	Planche	2 ,2	
XVI De A ₁₆ vers B ₁₆	Papier W. P.		0,38 <i>fig. 187</i>
	Plaque de feutre	7 ,5	
	—	7 ,5	
	—	7 ,5	
XVI De A ₁₆ vers B ₁₆	Papier W. P.		0,38 <i>fig. 187</i>
	Planche.	2 ,2	



FIG. 172.

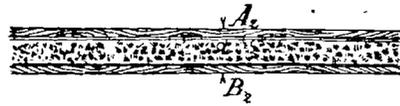


FIG. 173.

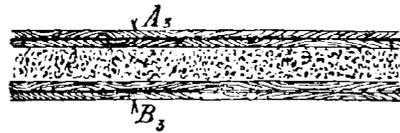


FIG. 174.

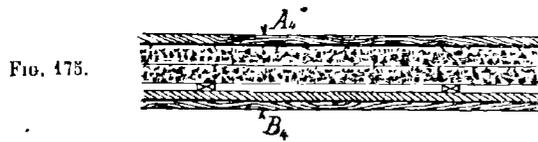


FIG. 175.

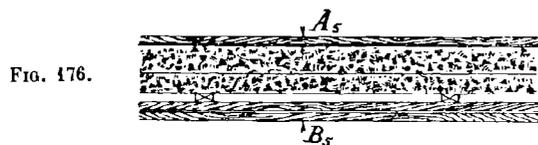


FIG. 176.

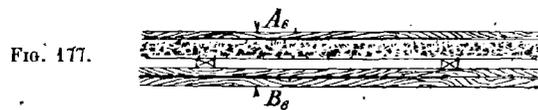


FIG. 177.

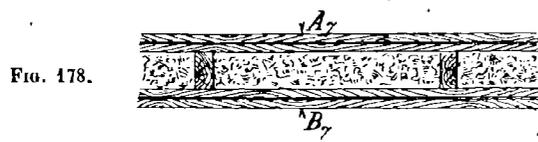


FIG. 178.

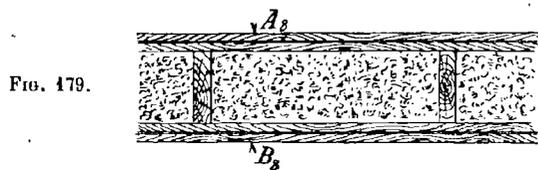


FIG. 179.

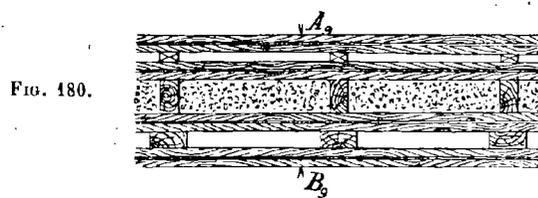


FIG. 180.

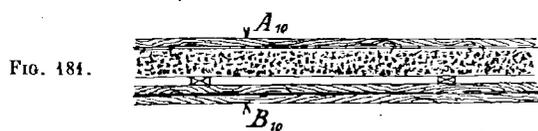


FIG. 181.

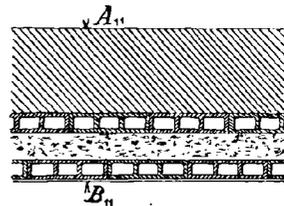


FIG. 182.

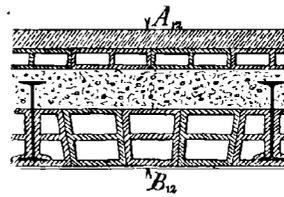


FIG. 183.

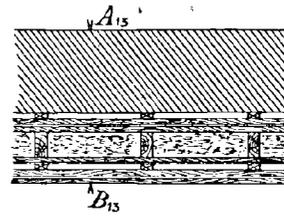


FIG. 184.

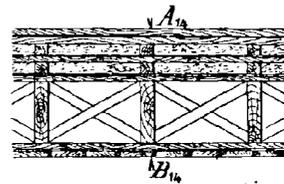


FIG. 185.

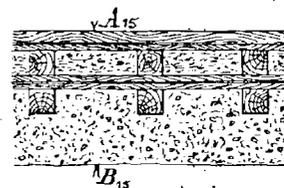


FIG. 186.

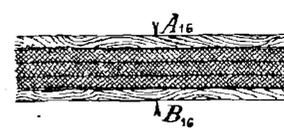


FIG. 187.

32. Valeur de K qui convient à un isolement économique et pratique. — Nous venons de donner les valeurs du coefficient K pour un certain nombre d'isollements. On peut se demander quelle est, dans la pratique, la valeur maximum de K qui convient à un isolement suffisamment économique. Un grand nombre de firmes, notamment la firme *Hall*, indiquent 0,25 pour cette valeur de K.

Nous adopterons de préférence, avec la firme *Grünzweig et Hartmann*, le nombre 0,30, et nous énoncerons la proposition suivante :

Une perte maximum de 0,30 calorie-kilogramme (au travers des plafonds, murs et planchers) par heure, par mètre carré de surface et pour une différence de température de 1° C. répond parfaitement aux exigences de la pratique et donne de bons résultats au point de vue financier.

II

CONSTRUCTION D'UN MAGASIN FRIGORIFIQUE

1. Fondations isolantes. — Supposons qu'il s'agisse de construire un magasin frigorifique sur un terrain libre.

Il faut d'abord s'assurer (et c'est là un point d'une importance capitale) que *ce terrain n'est pas humide*.

Si le terrain est *trop humide ou marécageux*, il convient d'établir sur pilotis des piliers en béton et maçonnerie sur lesquels on construit le plancher du magasin frigorifique : il existe alors entre ce plancher et la terre un matelas d'air qui empêche l'humidité du sol de pénétrer dans le sol du frigorifique. C'est un tel mode de construction qui a été adopté pour le frigorifique de l'Abattoir de Bruxelles-Anderlecht¹.

A moins que l'on ait affaire à un terrain sec, il convient, dans la plupart des cas, de procéder à un drainage très soigné du sous-sol.

Il importe maintenant de donner au magasin une base aussi sèche et aussi isolante que possible.

Le terrain est creusé à une profondeur de 1 mètre à 1^m,50. On place au fond un béton² établi dans les meilleures conditions d'étanchéité.

*O. Schwarz*³ conseille d'employer :

- 1° Ou bien une couche épaisse de 1 mètre de béton tout entière en béton de mâchefer ;
- 2° Ou bien d'établir une première couche de 0^m,25 de béton ordinaire, une deuxième

1. *Kühlanlage für den Schlachthof in Brüssel-Anderlecht (Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie, 1902, fasc. 4).*

2. Le béton est un ouvrage de maçonnerie formé de matériaux de petites dimensions agglomérés dans du mortier et formant une masse compacte d'une grande dureté. Les matériaux qui entrent ordinairement dans la composition du béton sont les cailloux ou silex, la meulière concassée, les éclats de pierre, les fragments de briques et de tuiles ; le mortier est, suivant les données d'emploi du béton, fait de chaux hydraulique ou de ciment et de sable de rivière ou de pouzzolane qui varient dans les proportions de 1 à 5 parties de sable ou de pouzzolane pour une partie de chaux ou de ciment. Le béton le plus ordinairement employé à Paris, dans les fondations, se compose de 50 parties de cailloux pour 80 parties de mortier.

On nomme *mâchefer* le produit de la demi-fusion des cendres de certains combustibles minéraux tels que la houille. Les mâchefers sont des silicates d'alumine colorés par un peu de fer provenant soit des pyrites de fer du charbon, soit, dans les feux de forges, de l'oxydation du fer que l'on y chauffe ; il semble donc que ce sont les cendres du combustible qui ont rongé le fer, d'où le nom de mâchefer.

On donne le nom de *ciment* à différentes variétés de chaux éminemment hydrauliques susceptibles de durcir très rapidement à l'air et dans l'eau.

3. SCHWARZ, *Bau öffentlicher Schlachthöfe*, p. 431.

couche de 0^m,50 de béton de mâchefer, une troisième couche de 0^m,25 de béton ordinaire.

A l'abattoir de *Düsseldorf*, le plancher isolant des chambres froides est porté sur un sol formé d'une couche de béton de scories de 0^m,80 d'épaisseur sur laquelle se trouvent 0^m,20 de béton ordinaire et une couche de ciment. A l'abattoir de *Cologne*, le sol de la cave est revêtu d'une couche de béton de 0^m,12 d'épaisseur sur fond de 0^m,15 également bétonné avec du sable de pierre ponce.

M. de *Loverdo*¹ recommande la disposition suivante, qui donne pleine satisfaction dans la plupart des cas :

Couche de béton de mâchefer, 0^m,20 au moins ; deuxième couche de béton à chaux hydraulique additionnée d'un peu de ciment pour activer la prise, 0^m,20 au moins.

D'après M. de *Loverdo*, dans certains cas, on peut remplacer cette double couche de béton de 0^m,40, par une couche de mâchefer pilonné de 0^m,15 à 0^m,20 et une simple couche de béton de 0^m,25 à 0^m,30. Cette disposition est plus économique.

En effet, le prix du mâchefer pilonné n'est que de 4 à 6 francs le mètre cube, tandis que le mâchefer bétonné revient à 15 francs le mètre cube et le béton à chaux hydraulique à 25 francs le mètre cube, dans les endroits où le gravier et le mâchefer sont à la portée de tout le monde. Car, s'il s'agit d'en aller chercher à une certaine distance, il faut ajouter aux prix indiqués les frais de transport, soit environ 12 francs par jour et par camion.

L'étanchéité du béton est encore accentuée par une couche d'asphalte ou de ciment. Pour l'asphalte une épaisseur de 0^m,015 à 0^m,030 ; pour le ciment une chape de 0^m,030 à 0^m,040 sont nécessaires. Le prix de cette chape par mètre carré est de 4 francs environ. Une telle précaution est absolument indispensable, lorsque tout ou partie du magasin frigorifique est au-dessous du niveau de la nappe d'eau souterraine.

Au-dessus de cette base on construit les murs du magasin frigorifique.

Afin d'avoir un isolement bien complet du plancher du frigorifique, on place une couche isolante au-dessus de la couche d'asphalte ou de ciment.

Cet isolant peut être constitué :

- a) Soit par une couche de plaques de liège ;
- b) Soit par un matelas d'air.

Comme plaques de liège, on peut se servir des plaques d'agglomérés de liège imprégnés du type *Grünzweig et Hartmann* que l'on emploie en une couche de 6 à 10 centimètres d'épaisseur, ou en deux couches superposées de 4 à 8 centimètres d'épaisseur ; ces plaques sont réunies par un mastic spécial liquide à chaud, imperméable à l'air et à l'eau. Le mètre carré de deux couches de 4 centimètres d'épaisseur de ce liège imprégné revient à 11 fr. 25.

Une autre méthode consiste à ménager un matelas d'air. D'après M. de *Loverdo* on a pleine satisfaction en établissant sur le béton un matelas d'air de 0^m,50. Pour cela on dispose sur le ciment ou l'asphalte des madriers espacés de 0^m,50 les uns des autres. La hauteur des madriers doit être égale à celle du matelas d'air qu'on veut ménager. Le prix de ces madriers est de 1 fr. 60 le mètre. Dans ces conditions, le mètre carré revient à 3 fr. 20 pour un matelas d'air de 0^m,50 et à 1 fr. 60 pour un matelas d'air de 0^m,25.

C'est au-dessus de ce matelas d'air qu'on établit le plancher du frigorifique.

Les fondations isolantes comprendront donc :

- 1° Une couche de 0^m,20 de mâchefer bétonné, soit 3 francs le mètre carré ;
- 2° Une couche de 0^m,20 de béton de chaux hydraulique, soit 5 francs le mètre carré ;

1. DE LOVERDO, *le Froid artificiel*, p. 119.

3° Une chape de ciment, soit 4 francs le mètre carré ;

4° Un matelas d'air de 0^m,50, soit 3 francs le mètre carré, ou deux couches d'agglomérés de liège imprégnés, soit 11 fr. 25 le mètre carré.

Donc le mètre carré des fondations isolantes reviendra de 15 à 23 francs environ.

L'isolement que nous venons d'indiquer n'est pas exagéré. En effet l'air froid, en raison de sa plus grande densité, s'accumule dans le voisinage du plancher du frigorifique. C'est par là que les déperditions de frigorifiques sont les plus importantes.

Aussi aux États-Unis et en Angleterre établit-on avec les plus grandes précautions les fondations isolantes lorsqu'on établit au rez-de-chaussée des chambres de congélation. On fait en sorte de diminuer autant que possible la superficie de la base du bâtiment au profit de sa hauteur.

2. Plancher isolant. — Si l'isolement a été fait au moyen des agglomérés de liège imprégnés dont nous avons parlé plus haut, il suffit, pour avoir un plancher convenablement isolé, d'établir au-dessus de cette couche isolante une chape de ciment de 3 à 6 centimètres d'épaisseur. Comme le ciment a l'inconvénient de pouvoir servir de support à de nombreuses colonies de bactéries, il faut avoir soin de maintenir l'aire très propre et très sèche. Il est à recommander pour cela de donner à tout le plancher une certaine pente qui aboutisse à une rigole permettant l'évacuation des eaux.

L'asphalte n'est pas à recommander comme plancher isolant des chambres frigorifiques, à cause de l'odeur dégagée qui peut se communiquer aux matières conservées. Toutefois, en employant de l'asphalte de qualité supérieure et en attendant que l'odeur soit bien dissipée avant de rien introduire dans les chambres, on peut obtenir des résultats satisfaisants. C'est ce qui a été fait à l'abattoir de *Cologne*.

O. Schwarz considère qu'un excellent plancher pour chambre frigorifique est constitué par la *Terralith*, préparée par la maison *Mahla* de Nüremberg et qui a été employée par *Heiss* dans la construction du frigorifique de l'abattoir de *Straubing*. La *Terralith* est placée directement au-dessus de la base en béton du magasin frigorifique.

À l'abattoir d'*Offenbach*, où les chambres froides sont sur caves, le sol de ces chambres est formé d'une couche de béton de 0^m,20 portant des plaques de liège de 0^m,08 hourdées et revêtues d'asphalte : sur l'asphalte on a posé à l'aide d'un mortier de ciment des carreaux en grès céramiques à rainures.

Quand un matelas d'air a été ménagé dans les fondations isolantes, on peut établir, au-dessus de ce matelas, deux cloisons en planches entre lesquelles on intercale une couche de papier P. et B. Ces planchers supportent la matière isolante qui peut être de la laine minérale (0^m,15), du charcoal, du liège granulé (0^m,20), du liège en plaques, de la tourbe, etc. On procède, pour la mise en place de cet isolant, comme pour le matelas d'air des fondations. En effet, la couche du plancher qui surmonte l'espace isolé ne doit pas s'appuyer directement sur la matière isolante, mais sur les soliveaux. La hauteur de ces soliveaux égale l'épaisseur de la matière isolante ; on les espace à raison de 0^m,50 comme les madriers du matelas d'air. On remplit l'espace entre les soliveaux avec la matière isolante et on établit au-dessus des soliveaux un double plancher.

Les soliveaux en bois du matelas d'air et du matelas isolant peuvent être remplacés par des soliveaux en ciment armé.

Les deux planchers en bois qui limitent le matelas isolant sont de même souvent remplacés avantageusement par deux couches de ciment armé de 0^m,20 à 0^m,40 d'épaisseur.

Il n'est pas bon d'avoir dans une chambre frigorifique un plancher de bois sans protec-

tion. En effet, d'une part, l'humidité venant se condenser sur le plancher peut le faire gonfler; d'autre part, le bois absorbe facilement les odeurs qu'exhalent la viande, le gibier, les fruits, etc...; enfin, les autres impuretés (boue, gouttes de sang, etc...) provenant des produits ou dues aux allées et venues du personnel, imbibent le bois et compromettent l'atmosphère des locaux.

Aussi, lorsqu'au-dessus de la matière isolante on établit un premier plancher en bois, doit-on le préserver soit par une couche de ciment armé, soit par des feuilles de plomb, de zinc ou de tôle galvanisée.

3. Exemples de planchers isolants construits en Angleterre et en Amérique. — En Angleterre et en Amérique, les planchers isolants sont tout particulièrement l'objet d'une construction soignée. Nous donnons ici quelques exemples de ces modes de construction usités dans les entrepôts frigorifiques de ces pays¹.

I		IV			
	Inches	Centimètres			
Plancher	2	5,08	Plancher en bois bouveté	1,25	3,17
Deux couches de papier isolant.			Une couche de papier isolant.		
Plancher en bois bouveté.	7/8	2,22	Solives de 2 sur 9 inches (5,08		
Matelas d'air	2	5,08	× 22,86) dont les parties cen-		
Plancher en bois bouveté.	7/8	2,22	trales sont séparées les unes		
Solives de 12 inches (30 ^{cm} ,48):			des autres de 12 inches (30 ^{cm} ,48);		
les espaces entre les solives			les espaces entre les solives		
sont remplis de silicate cotton.			sont remplis de silicate cotton		
Plancher en bois bouveté.	7/8	2,22	disposé entre 2 toiles métal-		
Deux couches de papier isolant.			liques.		
Plancher en bois bouveté.	7/8	2,22	Une couche de papier isolant.		
Matelas d'air	2	5,08	Plancher en bois bouveté.	1	2,54
Plancher en bois bouveté	7/8	2,22	Béton.		
Deux couches de papier isolant.			(Les toiles métalliques servent à		
Plancher en bois bouveté.	7/8	2,22	retenir le silicate cotton en cas		
			d'incendie.)		
II		V			
Ciment	2	5,08	Plancher bouveté.	1	2,54
Béton	3	7,62	Trois couches de papier isolant.		
Plancher en bois bouveté.	7/8	2,22	Plancher bouveté.	1	2,54
Deux couches de papier isolant.			Solives de 2 sur 9 inches (5,08		
Plancher	2	5,08	× 22,86); les espaces entre les		
Matelas de silicate cotton	4	10,16	solives sont remplis de silicate		
Plancher bouveté.	7/8	2,22	cotton ou de liège:		
Deux couches de papier isolant.			Plancher bouveté.	1	2,54
Plancher	2	5,08	Trois couches de papier isolant.		
			Plancher bouveté.	1	2,54
III		VI			
Asphalte	2	5,08	Plancher bouveté.	1,25	3,12
Plancher en bois bouveté	7/8	2,22	Couche de papier isolant.		
Deux couches de papier isolant.			Solives de 2 sur 9 inches (5,08		
Plancher en bois bouveté.	7/8	2,22	× 22,86) dont les parties cen-		
Matelas d'air	2	5,08	trales sont séparées les unes		
Plancher en bois bouveté.	7/8	2,22	des autres de 12 inches (30 ^{cm} ,48);		
Matelas de silicate cotton	3	7,62	les espaces entre les solives		
Plancher en bois bouveté.	7/8	2,22			
Béton.					

1. Traités anglais de Wallis-Taylor et de Louis Schmidt.

	Inches	Centimètres		Inches	Centimètres
sont remplis de silicate cotton.			Plancher bouveté et goudronné. . .	1	2,54
Plaque de silicate cotton aggloméré (clouée sur les solives) . .	1	2,54	Deux couches de papier isolant.		
Plancher bouveté.	1	2,54	Plancher bouveté.	1	2,54
VII			Solives de parquet de 3 × 11 inches (7 ^{cm} ,62 × 27 ^{cm} ,94) espacées les unes des autres de 21 inches (53 ^{cm} ,34).		
Plancher	2	5,08	Solives transversales de 11 × 4 inches (27 ^{cm} ,94 × 10 ^{cm} ,16).		
Deux couches de papier isolant.			Espaces entre les solives remplis de flake charcoal.		
Doublage hermétique.	1	2,54	Bandes de feutre.	1/4	0,63
Traverses de 4 × 4 inches (10,16 × 10,16) dont les parties centrales sont séparées les unes des autres de 12 inches (30 ^{cm} ,48); les espaces entre les traverses sont remplis de silicate cotton.			Plancher bouveté.	1,25	3,12
Doublage hermétique.	1	2,54	IX		
Douze couches de papier isolant.			<i>Plancher du dock Sainte-Catherine à Londres</i>		
Doublage hermétique.	1	2,54	Béton (voûte de la cave telle qu'elle existait d'abord).		
Traverses de 4 × 4 inches (10,16 × 10,16) dont les parties centrales sont distantes les unes des autres de 16 inches (40 ^{cm} ,64); elles sont enfouies dans 12 inches (30 ^{cm} ,48) d'un remplissage bien sec.			Planches brutes.	1,25	3,12
Au dessous se trouvent les fondations isolantes.			Solives (posées transversalement) de 4,50 inches de hauteur (11 ^{cm} ,43) sur 3 inches de largeur (7 ^{cm} ,62) à 21 inches (53 ^{cm} ,34) les unes des autres : les espaces entre les solives ont été remplis de charcoal bien sec.		
VIII			Plancher de la chambre frigorifique, fait de voliges bouvetées.	2,50	6,35
Sol					
Béton.					
Couche d'asphalte					

4. Murs et parois isolantes. — Les murs des entrepôts frigorifiques sont généralement en maçonnerie (briques, meulières ou moellons) ou en ciment armé. Ces murs portent la toiture et restent indépendants ou non des parois isolantes proprement dites. Le mur en maçonnerie doit avoir de 0^m,35 à 0^m,60 d'épaisseur; dans certains cas, comme nous le verrons plus bas, l'épaisseur est même plus grande.

5. Il n'est pas bon de ménager des matelas d'air dans les murs en maçonnerie des entrepôts frigorifiques. — On avait pensé à profiter du pouvoir isolant de l'air pour donner à la maçonnerie un certain isolement. Pour cela on ménageait dans l'épaisseur de cette maçonnerie un ou plusieurs matelas d'air. Cette pratique est condamnée aujourd'hui. L'air, en effet, ne possède un grand pouvoir isolant que s'il est parfaitement sec et à l'état de repos. Or, dans les matelas d'air pratiqués à l'intérieur d'un mur en maçonnerie, il est impossible que l'air réunisse ces deux conditions. En effet, on ne peut pas rendre ces espaces creux étanches sur leurs deux faces; il existe toujours une communication par les joints des diverses couches entre elles et avec l'air extérieur. De plus, comme on ne peut pas empêcher l'entrée de l'air extérieur plus ou moins humide, il se produit dans ces espaces creux des condensations de vapeur d'eau provenant du refroidissement de l'air chaud et humide qui s'y introduit; l'air contenu dans la cavité reste donc humide et, par suite, conducteur. Enfin, les nombreux *parpaings* (pierre de taille traversant toute l'épais-

seur du mur) que l'on est obligé d'établir pour la solidité de la maçonnerie favorisent l'afflux de chaleur par conductibilité. Dans ces conditions, l'isolement de la maçonnerie est tout à fait illusoire.

6. Bourrages au moyen de matières isolantes des intervalles laissés libres dans le mur en maçonnerie. — *Au lieu de laisser les espaces creux pleins d'air, on les remplit parfois avec des matières isolantes, sciure de bois, escarbilles de charbon criblées, kieselguhr, poudre de craie, pierre ponce, déchets de liège, tourbe, etc...* Mais il faut que ces produits soient réellement isolants et ne donnent pas naissance à des odeurs dans les chambres frigorifiques. A ce dernier point de vue il faut proscrire le coke et les escarbilles de coke qui peuvent n'avoir pas été complètement débarrassés de leurs goudrons dans la fabrication du gaz d'éclairage et engendrent dans les chambres frigorifiques des odeurs de goudron susceptibles d'avarier les produits conservés. Tous les auteurs allemands (*Lorenz, Schwartz, Stetefela*) proscrirent la laine de scories comme susceptible de dégager de l'hydrogène sulfuré; ce reproche ne semble pas fondé avec le mode de préparation actuelle de ce produit. *Schwartz* recommande le charbon de bois en feuilles dit *Cartvale* (*Cartvale Blätterholzkohle* de la maison Allut Noodt et Meyer de Hambourg). On peut encore employer le *Cartvale Flake Charcoal* et d'autres matières similaires.

7. Le bourrage des murs en maçonnerie au moyen de matières isolantes n'est pas à recommander. — *Mais ce mode de bourrage des murs n'est pas à recommander pour les raisons suivantes.* En premier lieu, ce mode d'isolement est long et délicat à installer pendant la construction des murs. D'autre part, il est à peu près impossible d'introduire l'isolant à l'état sec et surtout de le maintenir dans cet état. En effet, pendant le transport et sur le chantier de construction quelques-unes des matières employées pour le bourrage absorbent l'humidité : parmi celles-ci se trouvent principalement la sciure de bois, la pierre ponce en petits morceaux, le kieselguhr, les scories, le tan, la laine de tourbe. Toutes ces matières plus ou moins hygroscopiques introduites humides ont un pouvoir isolant pour la chaleur considérablement diminué. Si l'on admet que les matériaux de bourrage arrivent secs sur le chantier et y sont conservés à l'abri de la pluie, on voit cependant qu'ils sont exposés aux intempéries et à l'humidité dans les couches creuses disposées à l'intérieur des murs. Ils absorbent l'humidité du mortier ou de l'enduit et restent exposés à l'action directe de la pluie et de l'humidité du bâtiment jusqu'à ce que le toit soit posé, que les murs soient secs et puissent être jointoyés ou crépis. On peut donc dire qu'aucun bourrage intérieur des murs n'est sec lorsque le bâtiment est achevé; il n'est donc pas susceptible de réaliser la protection promise contre la chaleur. De plus, par suite de la perméabilité pour l'air des parois limitant les cavités, il se produit principalement du côté de l'ouest (côté exposé à la pluie) un continuel échange d'air par le mur; cet échange provoque dans les bourrages des dépôts d'humidité, surtout dans la saison chaude; les matériaux du bourrage ne sont jamais secs et, par suite, ont un faible pouvoir isolant. De plus, il peut se former, dans ces parties du mur, des moisissures et des champignons, causes de mauvaises odeurs dans les chambres froides. Enfin, ces bourrages offrent d'excellents asiles à la vermine de toute nature.

8. Murs en maçonnerie massifs. — Isolement intérieur ou extérieur des murs. — *Il convient donc de renoncer à l'isolement intérieur des maçonneries et il est préférable d'appliquer contre un mur massif une enveloppe isolante placée soit à l'extérieur, soit à l'intérieur du magasin frigorifique.*

Nous allons examiner les diverses solutions qui ont été réalisées pour le mode de construction de cette enveloppe isolante. Mais auparavant il importe de résoudre la question importante qui suit.

9. Doit-on isoler l'intérieur ou l'extérieur d'un bâtiment frigorifique. — Isolement extérieur; ses avantages; difficultés qu'il présente. — Doit-on isoler l'intérieur ou l'extérieur d'un bâtiment frigorifique? — Employons, par exemple, comme isolant un aggloméré de liège imprégné comme celui qui est fabriqué par la maison *Grünzweig et Hartmann*.

Quand on se trouve en présence d'une simple façade crépie présentant peu de *modénature*¹ et qu'on n'éprouve pas de difficultés particulières à faire courir l'isolant le long de la surface extérieure de l'entrepôt, l'isolement extérieur agit, toutes choses égales d'ailleurs, avec plus d'intensité que l'isolement intérieur, et cela pour les raisons suivantes :

a) Par l'emploi d'un isolant imperméable à l'air et à l'eau, la maçonnerie est à l'abri de la pénétration d'humidité pouvant résulter d'une pluie battante ou d'une grande humidité de l'air.

b) La filtration de l'air au travers de la maçonnerie est empêchée; en particulier, le vent ne peut plus accroître cette perméabilité.

c) L'influence directe des rayons du soleil sur les masses des murs à grande chaleur spécifique (400 à 500 calories par mètre cube de maçonnerie) est annihilée; la maçonnerie ne peut plus pendant une partie de la journée absorber une grande quantité de chaleur pour la transmettre ensuite par conductibilité et rayonnement à l'intérieur du magasin frigorifique.

d) Les extrémités des poutres en fer ne traversent pas l'isolant et, par leur conductibilité, ne peuvent exercer aucune influence nuisible.

e) Par suite de sa chaleur spécifique élevée, la maçonnerie refroidie devient, pour les chambres frigorifiques, un excellent volant de froid, ce qui est particulièrement important pour un refroidissement mécanique intermittent.

A égalité d'épaisseur l'isolement extérieur effectué avec une matière imperméable à l'air et à l'eau, telle que les agglomérés de liège imprégnés, a un effet beaucoup plus considérable que l'isolement intérieur.

Malheureusement l'application à tous les cas de ce mode d'isolement présenté de nombreuses difficultés.

Dans les entrepôts frigorifiques modernes, qui sont en général très élevés, l'isolement extérieur des murs exige une surveillance continuelle et l'emploi de matériaux de premier ordre. Les modénatures horizontales des façades doivent être supprimées ou recouvertes d'isolant, ce qui n'est pas toujours facile. L'isolement extérieur des murs des fondations présente beaucoup de difficultés et entraîne de grosses dépenses par suite des terrassements, si l'isolement n'a pu être appliqué lors de l'élévation des murs.

Enfin l'application de l'isolant extérieur ne doit être faite que lorsque les murs sont complètement secs; en effet, si cette condition n'est pas remplie, les murs ne peuvent être desséchés que par l'intérieur, ce qui exige une grande dépense de frigorifiques.

Aussi, la plupart du temps, l'isolement des murs est-il fait à l'intérieur du frigorifique.

1. Terme d'architecture. Proportion et galbe des moulures d'une corniche : la modénature détermine le caractère des divers ordres d'architecture; le galbe est la grâce du contour d'une colonne, d'un vase, du feuillage d'ornement, de la courbure extérieure d'une coupe.

10. Isolement intérieur; ses inconvénients. — Ce mode d'isolement présente cependant quelques inconvénients.

a) Les parties extérieures des murs non protégées sont exposées à toutes les variations de température, aux coups de vent, à la pluie battante, à l'action des rayons du soleil, toutes causes qui exercent une grande influence sur l'isolement thermique de la maçonnerie.

b) Toutes les constructions des faux planchers, toutes les cloisons traversant l'isolant, produisent dans l'isolement des solutions de continuité.

On diminue souvent le premier effet nuisible en installant le long de la paroi du frigorifique des jalousies en bois, du genre de celles qui sont employées dans les habitations sous les tropiques et notamment au Congo. C'est ce qui a été fait pour le frigorifique de Bruxelles-Anderlecht.

11. Divers modes d'isolement des parois de frigorifiques. — Emploi des agglomérés de liège. — Examinons maintenant les différents modes de construction qui ont été employés pour réaliser l'isolement (le plus souvent intérieur) des parois des frigorifiques.

Si on se sert, comme isolant, d'agglomérés de liège imprégnés, on peut réaliser de la manière suivante l'isolement intérieur ou extérieur d'une paroi. Une première assise est recouverte sur l'une de ses faces d'un enduit formé d'un mastic spécial imperméable à l'air et à l'eau; elle est alors fixée au moyen de goupilles à crochet contre le mur préalablement recouvert de mortier de ciment. La seconde assise enduite aussi de mastic est posée directement, sans ciment, avec des clous à crochet contre la première. La surface extérieure de cet isolement en liège peut alors encore recevoir une couche de mastic imperméable à l'air et à l'eau, sur lequel on étend un bon crépi de ciment avec toile métallique.

Si l'isolement doit être placé entre deux murs, il est avantageux d'élever d'abord le mur extérieur, de lui appliquer l'isolement comme nous venons de l'indiquer, puis de bâtir le second mur. Suivant la hauteur de l'étage, on peut poser l'isolement en une seule fois ou partiellement, mais il faut tout de suite au fur et à mesure le recouvrir avec le deuxième mur.

Voici les épaisseurs de lièges imprégnés dont il faut garnir les murs pour réduire à 0,3 calorie la quantité de chaleur qui traverse 1 mètre carré de la surface du mur isolé par heure et pour une différence de température de 1° C. entre les deux faces de ce mur (données de la fabrique Grünzweig et Hartmann).

a. — MURS EN BRIQUES		b. — MURS EN GRÈS, EN MOELLONS EN BÉTON OU EN CIMENT ARMÉ	
ÉPAISSEUR DU MUR	ÉPAISSEUR de la couche isolante en ● agglomérés de liège	ÉPAISSEUR du mur	ÉPAISSEUR de l'isolant
	centimètres		centimètres
0,23	10 + 5	0,30	8 + 8
0,38	8 + 6	0,40	8 + 8
0,51	8 + 5	0,50	10 + 5
0,64	6 + 6	0,60	8 + 6
	ou 1 couche de 12	0,70	8 + 6
0,77	6 + 5	0,80	8 + 5
	ou 1 couche de 12	0,90	8 + 5
0,90	1 couche de 10	1,00	8 + 5

Dans certains cas, on donne au revêtement en liège imprégné une épaisseur plus considérable. Ainsi dans le frigorifique construit à Monte Carlo par la *Société du Froid Industriel*, l'épaisseur des briques de liège enrobées au brai et jointoyées au brai varie entre 16 et 24 centimètres. Au-dessus de cet isolant, on a mis un revêtement en briques ordinaires ayant de 11 à 22 centimètres d'épaisseur, avec chappe de ciment vers l'intérieur de la chambre ; cette sorte de muraille intérieure joue le rôle important d'accumulateur de froid et de régulateur de la température des chambres.

On peut remplacer, comme le propose *Schwartz*, les agglomérés de liège imprégnés dont nous venons de parler par des *carreaux de liège aggloméré avec de la terre d'infusoires* (*Infusorit-Korkplatten*), qui sont sans odeur et que l'on peut fixer sur du plâtre ou sur un mortier quelconque. Mais il est bon, avant de placer le liège contre le mur, de garnir les joints intérieurs avec du ciment et, après séchage complet, de badigeonner la surface intérieure du mur avec une couche d'asphalte liquide ou d'huile de résine désodorisée ; de cette manière on rend le mur parfaitement imperméable et bien sec avant de poser les briques de liège. Sur la surface intérieure des carreaux de liège, on doit appliquer une couche de 20 millimètres de ciment. Mais, pour que les *carreaux de liège ne soient pas imprégnés d'humidité*, il est bon, avant d'appliquer la couche de ciment, soit de fixer contre la surface du liège des plaques de pierre ponce antiseptiques et imperméables à l'eau, — soit d'y étendre un enduit formé d'une pâte de goudron brut et de farine de liège rendue malléable au moyen d'huile de résine désodorisée. Il suffit souvent, comme le propose *Peter Stahl*, de fixer sur la surface intérieure des plaques de liège une ou plusieurs couches de toile métallique en fil galvanisé et d'étendre au dessus une sorte de béton formé avec du ciment, du bon sable de rivière et aussi peu d'eau que possible, de manière à avoir une pâte consistante. Ces précautions doivent être prises toutes les fois que l'on emploie comme isolant des carreaux de liège qu'il faut avoir soin de ne pas exposer à l'humidité.

12. Autres modes de construction de l'isolement des murs. — Cloisons bouvetées séparées par des matelas isolants. — Emploi de briques creuses. — Quand on n'emploie pas comme isolant les briques de liège simples imprégnées ou asphaltées, on peut, pour construire la paroi isolante intérieure au mur du frigorifique, opérer de la manière suivante indiquée par M. de Loverdo.

Sur le mur de maçonnerie on appuie de distance en distance, de 0^m,50 à 0^m,70 d'axe en axe, et dans le sens de la plus grande largeur, des soliveaux de 8 × 11 centimètres, obtenus en coupant en deux les soliveaux du commerce ayant 8 × 22. On ménage ainsi un matelas d'air de 11 centimètres. Les montants servent de points d'appui pour y clouer un plancher de sapin *bouveté* ou *rainé*. Les planches ont une épaisseur de 18 à 27 millimètres ; elles sont assemblées sur leurs bords par des *rainures* et des *mollets*¹.

On revêt la face interne de ce plancher à l'aide d'une couche de papier P. et B., dont les rouleaux ont environ 1 mètre de hauteur. On doit toujours commencer l'application du papier par la partie supérieure, de façon à maintenir avec une seule série de pointes de tapisserie l'extrémité de la première bande et les bords de la seconde.

Sur le papier on applique un deuxième plancher absolument identique au premier, en prenant la précaution de faire alterner les joints de deux placages de manière à éviter la pénétration de l'air extérieur.

Sur ce deuxième plancher, on applique des *bastings* de 6 × 18, toujours dans le sens

1. La *rainure* est une excavation longitudinale d'une profondeur de 8 à 10 millimètres et d'une largeur égale au tiers de l'épaisseur de la planche. — Le *mollet*, au contraire, est une saillie s'adaptant parfaitement dans la rainure.

de la plus grande largeur, et on ménage ainsi entre ces solives un vide de 18 centimètres que l'on remplit de *laine minérale*. Enfin on applique sur les solives un deuxième double plancher absolument identique au premier.

D'après M. de Loverdo, le mètre carré de cette enveloppe protectrice revient à 49 francs environ; le total de l'épaisseur est de 0^m,39.

Enfin certaines firmes emploient pour l'isolement des briques creuses noyées dans du ciment; l'air à peu près sec enfermé dans ces briques est à l'état stagnant et constitue un

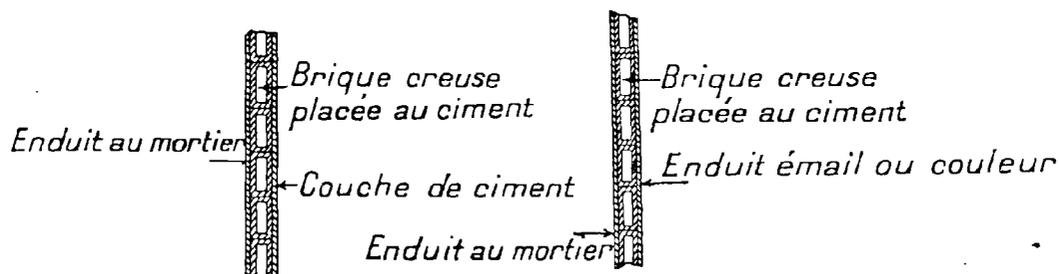


FIG. 188. — Emploi de briques creuses dans l'isolement des murs du frigorifique du marché de Feltre à Nantes (construction de la firme Lebrun).

isolant. La figure 188 représente ce mode d'isolation employé par la firme *Lebrun* pour l'entrepôt frigorifique du *marché de Feltre à Nantes*.

13. Parois isolantes dans les frigorifiques anglais ou américains. — Nous allons maintenant indiquer, d'après divers auteurs anglais, de quelle manière sont construits les murs isolants de frigorifiques anglais ou américains¹. Mais, avant d'entreprendre cette description, il nous semble intéressant de faire une remarque sur le mode différent de construction des parois isolantes en France et en Allemagne d'une part, en Angleterre et surtout aux États-Unis de l'autre. Comme nous allons le voir, les isolements sont généralement constitués, dans ces derniers pays, par une paroi multiple en planche, formant coffrage intérieur, rempli de liège, de charcoale ou autres matériaux isolants. Ce mode d'isolement, avec le bas prix du bois employé, réalise bien les conditions économiques des exploitations industrielles d'Angleterre ou des États-Unis, où l'amortissement se fait très rapidement. Dans ces pays, en effet, ou bien une affaire est bonne et, dans les dix ou quinze années qui suivent, elle fait place à une autre beaucoup plus importante; ou bien, elle est médiocre, et, dans ce cas, elle doit disparaître dans le même délai avec le moins de perte possible. La cloison en planches avec isolant interposé répond bien à ce programme économique. En France et en Allemagne on a l'habitude de faire œuvre durable, un grand nombre d'installations étant municipales ou militaires; or, la cloison en bois n'a pas le caractère constructif durable que les Allemands et les Français aiment à trouver dans une œuvre qui doit être utilisée pendant de longues années sans grosses réparations; ce mode d'isolement ne peut en effet avoir une durée d'usage qui dépasse quinze ou vingt années. Au contraire, la brique de liège ou l'aggloméré bien enrobé de substances imputrescibles donne aux isolements, établis comme nous l'avons dit plus haut, un grand caractère de durabilité. C'est ce caractère même qui fait donner la préférence à une telle méthode d'isolement par les ingénieurs allemands ou français.

1. Voir traités anglais de Wallis-Taylor, Louis Schmidt, Hall Williams.

	I		Inches	Centimètres		Inches	Centimètres
	Inches	Centimètres					
Mur de briques	14	35,56			Cloison de planches bouvetées.		
Matelas d'air	3,5	8,89			Couche de papier imperméable	2	5,08
Mur de briques	9	22,86			goudronné		
Couche de ciment	1	2,54			Cloison de planches bouvetées.		
Couche de goudron	1	2,54			Feutre	2	5,08
Étai	2 × 3	5,08 × 7,62			Cloison de planches bouvetées.	2	5,08
Couche de papier goudronné.					Couche de papier imperméable		
Cloison de planches assem-					Cloison de planches bouvetées.		
blées parrainures et mollets ¹	1	2,54					
Étai	2 × 4	5,08 × 10,16			VI		
Cloison de planches assem-					<i>Mur à l'épreuve du feu (fig. 182)</i>		
blées parrainures et mollets.	1	2,54			Mur de briques dont l'épais-		
Couche de papier goudronné.					seur doit être accommodée		
Cloison de planches assem-					à la hauteur du bâtiment.		
blées par rainures et mollets.	1	2,54			Tuiles creuses	3	7,62
					Silicate cotton ou laine de		
					scories	4	10,16
					Tuiles creuses	3	7,62
					Couche de ciment et plâtre.		
					(Coefficient de transmission		
					de la chaleur = 0,140)		
					VII		
					<i>Mur à l'épreuve du feu (fig. 189)</i>		
					(De B à A).		
					Mur de briques.		
					Couche de goudron.		
					Laine minérale	4	10,16
					Plâtre	22,5	6,35
					Plâtre très dur ou plâtre dia-		
					mant.		

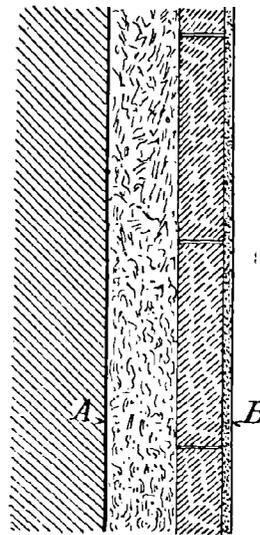


FIG. 189. — Mur isolé à l'épreuve du feu

1. En anglais, *tongued and grooved boarding*.

VIII		Inches	Centimètres		Inches	Centimètres
Mur de briques ou de pierres bien garni à l'intérieur de goudron ou d'asphalte.				Cloison de planches bouvetées. Trois couches de papier.	2	5,08
Étais à une distance de 24 inches (60 ^{cm} ,96) les uns des autres : les espaces entre les étais sont remplis de silicate cotton	2 × 3	5,08	7,62	Cloison de planches bouvetées. Espace rempli de laine de scories ou de liège	2	5,08
Cloison de planches brutes bouvetées	3/4	1,905		Cloison de planches bouvetées. Trois couches de papier.	2	5,08
Deux couches de papier imperméable isolant.				Cloison de planches bouvetées. Espace rempli de laine de scories ou de liège	2	5,08
Cloison de planches brutes bouvetées	3/4	1,905		Cloison de planches bouvetées. Trois couches de papier.	2	5,08
Étais à une distance de 24 inches (60 ^{cm} ,96) les uns des autres	2 × 3	5,08	7,62	Cloison de planches bouvetées. Dans les espaces garnis de laine de scories ou de liège on place horizontalement des bastings espacés de 16 inches (40 ^{cm} ,64).		
Cloison de planches brutes bouvetées	3/4	1,905				
Deux couches de papier imperméable isolant.				XI		
Cloison de planches brutes bouvetées	3/4	1,905		Mur de briques.		
Étais à une distance de 24 inches (60 ^{cm} ,96) les uns des autres : les espaces entre les étais sont remplis de silicate cotton	2 × 3	5,08	7,62	Matelas d'air	1	2,54
Cloison de planches brutes bouvetées	3/4	1,905		Cloisons de planches bien choisies	3/4	1,905
Deux couches de papier imperméable isolant.				Laine de scories ou silicate cotton	9	22,86
Cloison de planches brutes bouvetées	3/4	1,905		Couche de papier isolant.		
Deux couches de papier imperméable isolant.				Cloison de planches bien choisies	3/4	1,905
Cloison de planches bouvetées.	3/4	1,905				
				XII		
IX				Mur de briques garni de coaltar.		
Mur de briques.				Matelas d'air	2	5,08
Matelas d'air	2	5,08		Cloison de planches bouvetées.	7/8	2,22
Cloison de planches bouvetées.	2	5,08		Deux couches de papier.		
Trois couches de papier.				Cloison de planches bouvetées.	7/8	2,22
Cloison de planches bouvetées.	2	5,08		Laine de scories ou silicate cotton	4	10,16
Matelas d'air	2	5,08		Cloison de planches bouvetées.	7/8	2,22
Cloison de planches bouvetées.	2	5,08		Deux couches de papier.		
Trois couches de papier.				Cloison de planches bouvetées.	7/8	2,22
Cloison de planches bouvetées.	2	5,08		Matelas d'air	2	5,08
				Cloison de planches bouvetées.	7/8	2,22
X				Deux couches de papier.		
Mur de briques bien garni intérieurement de coaltar.				Cloison de planches bouvetées.	7/8	2,22
Matelas d'air	2	5,08				
				XIII		
				Mur de briques.		
				Matelas d'air	2	5,08
				Cloison de planches bouvetées.	7/8	2,22
				Deux couches de papier.		

	Inches	Centimètres		inches	Centimètres
Cloison de planches bouvetées.	7/8	2,22	Trois couches de papier iso-		
Matelas d'air	2	5,08	lant.		
Cloison de planches bouvetées.	7/8	2,22	Cloison de planches bouvetées.	2	5,08
Deux couches de papier.			Matelas d'air	2	5,08
Cloison de planches bouvetées.	7/8	2,22	Cloison de planches bouvetées.	2	5,08
			Trois couches de papier iso-		
			lant.		
XIV			Cloison de planches bouvetées.	2	5,08
Mur de briques.			Matelas d'air	2	5,08
Matelas d'air	2	5,08	Cloison de planches bouvetées.	2	5,08
Cloison de planches bouvetées.	7/8	2,22	Trois couches de papier iso-		
Une couche de papier.			lant.		
Silicate cotton	4	10,16	Cloison de planches bouvetées.	2	5,08
Cloison de planches bouvetées.	7/8	2,22	Matelas d'air	2	5,08
Une couche de papier.			Cloison de planches bouvetées.	2	5,08
Matelas d'air	4	10,16	Trois couches de papier iso-		
Cloison de planches bouvetées.	7/8	2,22	lant.		
Deux couches de papier.			Cloison de planches bouvetées.	2	5,08
Cloison de planches bouvetées.	7/8	2,22	Silicate cotton	8	20,32
			Cloison de planches bouvetées.	1	2,54
XV			XVIII		
Mur de briques.					
Couche de coaltar.			<i>La paroi du frigorifique est en bois</i>		
Cloison de planches bouvetées.	7/8	2,22	Cloison de planches bouvetées.	2	5,08
Matelas d'air	2	5,08	Montants de	5,5 × 3	13,97 × 7,62
Cloison de planches bouvetées.	7/8	2,22	Entre les montants, charbon		
Une couche de papier.			de bois bien séché.		
Liège granulé.	3	7,62	Cloison de planches bouvetées.	2	5,08
Cloison de planches bouvetées.	7/8	2,22	Couches de papier isolant.		
Deux couches de papier.			Cloison de planches bouvetées.	2	5,08
Cloison de planches bouvetées.	7/8	2,22	Deux couches de papier iso-		
			lant.		
			Cloison de planches bouvetées.	1	2,54
XVI			Étais à une distance de		
Mur de briques.			16 inches (40 ^{cm} ,64) les uns		
Matelas d'air dans lequel sont			des autres	2 × 6	5,08 × 15,24
disposées des briques creu-	2,5	6,35	Cloison de planches bouvetées.	1	2,54
ses à une distance de 1 ^m ,524			Deux couches de papier iso-		
(5 pieds dans tous les sens).			lant.		
Cloison de planches bouvetées.	1	2,54	Étais à une distance de		
Couche de papier isolant.			16 inches (40 ^{cm} ,64) les uns		
Cloison de planches bouvetées.	1	2,54	des autres : les espaces		
Charcoal placé sur des ta-	12	30,48	entre les étais sont remplis		
blettes horizontales.			de silicate cotton	2 × 4	5,08 × 10,16
Cloison de planches bouvetées.	1	2,54	Cloison de planches bouvetées.	1	2,54
Deux couches de papier iso-			Deux couches de papier iso-		
lant.			lant.		
Cloison de planches bouvetées.	1	2,54	Cloison de planches bouvetées.	1	2,54
XVII					
<i>La paroi du frigorifique est en bois</i>					
Cloison de planches bouvetées.	2	5,08			

14. Cloisons de séparation pour entrepôts frigorifiques. — Voici maintenant quelques indications sur la manière dont les cloisons de séparation sont construites dans les entrepôts frigorifiques anglais et américains.

I		Inches	Centimètres			Inches	Centimètres
Cloison de planches bouvetées.	1		2,54	Deux couches de papier.			
Toile métallique (fil de fer).				Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22
Silicate cotton	6		15,24	Matelas d'air..	2		5,08
Toile métallique (fil de fer).				Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22
Cloison de planches bouvetées.	1		2,54	Deux couches de papier.			
Le but de la double enveloppe métallique est de rendre la cloison incombustible en supportant le silicate cotton dans le cas où les deux planches extrêmes brûleraient.				Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22
II				VI			
Cloison de planches bouvetées.	3/4		1,905	Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22
Matelas d'air..	1/2		1,27	Silicate cotton..	2		5,08
Silicate cotton en plaques.. .	1		2,54	Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22
Silicate cotton ordinaire ou floconneux	4		10,16	Matelas d'air..	2		5,08
Silicate cotton en plaques. . .	1		2,54	Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22
Matelas d'air..	1/2		1,27	Deux couches de papier.			
Silicate cotton en plaques. . .	1		2,54	Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22
Cloison de planches bouvetées.	3/4		1,905	VII			
III				Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22
Cloison de planches bouvetées.	1		2,54	Deux couches de papier.			
Trois couches de papier.				Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22
Cloison de planches bouvetées.	1		2,54	Matelas d'air..	2		5,08
Silicate cotton ou liège. . . .	2		5,08	Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22
Cloison de planches bouvetées.	1		2,54	Deux couches de papier.			
Trois couches de papier.				Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22
Cloison de planches bouvetées.	1		2,54	VIII			
Silicate cotton ou liège. . . .	2		5,08	Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22
Cloison de planches bouvetées.	1		2,54	Deux couches de papier.			
Trois couches de papier.				Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22
Cloison de planches bouvetées.	1		2,54	Silicate cotton.	8		20,32
IV				Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22
Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22	Deux couches de papier.			
Deux couches de papier.				Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22
Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22	Silicate cotton.	4		10,16
Silicate cotton.	4		10,16	Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22
Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22	Deux couches de papier..			
Matelas d'air..	2		5,08	Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22
Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22	IX			
Deux couches de papier.				Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22
Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22	Deux couches de papier.			
V				Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22
Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22	Silicate cotton.	4		10,16
Deux couches de papier.				Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22
Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22	Deux couches de papier..			
Silicate cotton..	6		15,24	Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22
Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22	X			
				Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22
				Deux couches de papier.			
				Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22
				Feutre.	2		5,08
				Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22
				Silicate cotton	2		5,08
				Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22
				Deux couches de papier.			
				Cloison de planches bouvetées.	7/8		2,22

15. Plafonds de frigorifiques. — *Les plafonds des frigorifiques qui se trouvent au-dessous du toit doivent être particulièrement isolés.*

L'isolement du plafond au moyen d'agglomérés de liège peut être fait comme le montre la figure 190. On emploie le mode de construction que nous avons indiqué plus haut avec les

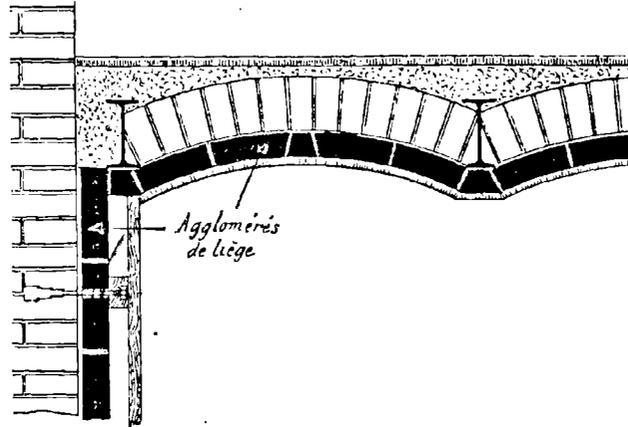


FIG. 190. — Plafond isolé au moyen d'agglomérés de liège.

agglomérés de liège imprégnés de la maison *Grünzweig et Hartmann*. Voici les épaisseurs des deux couches isolantes que l'on doit employer :

Le liège est placé au-dessus d'une assise de 15 centimètres de béton et d'une couche de 3 à 5 centimètres de ciment.	} Épaisseur des deux couches de liège : 8 cent. + 8 cent.
Assise de 20 à 25 centimètres de béton au-dessous du liège et couche de 3 à 5 centimètres de ciment au-dessus du liège.	
Voûte en briques de l'épaisseur d'une 1/2 brique avec assise de béton et couche de ciment de 3 centimètres.	} Épaisseur des deux couches de liège : 10 cent. + 5 cent.
Voûte en briques de l'épaisseur d'une brique avec assise de béton et couche de ciment de 3 centimètres.	

Cette construction du plafond isolant peut encore être faite de diverses manières que nous allons indiquer.

I				Inches	Centimètres
En allant de <i>a</i> à <i>b</i> (fig. 191) :					
Asphalte.	1	2,54	Plancher bouveté.	1	2,54
Béton	2	5,08	Matelas d'air	2	5,08
Voûte en briques.			Plancher bouveté.	1	2,54
Copeaux de bois.			Trois couches de papier isolant.		
Plancher en bois bouveté. . .	7/8	2,22	Plancher bouveté.	1	2,54
Couche de papier isolant.			Matelas de silicate cotton ou de liège entre les solives.		
Plancher en bois bouveté. . .	7/8	2,22	Plancher bouveté.	1	2,54
Matelas d'air	2	5,08	Trois couches de papier isolant.		
Plancher en bois bouveté. . .	7/8	2,22	Plancher bouveté.	1	2,54
Couche de papier isolant.					
Plancher en bois bouveté. . .	7/8	2,22			
III					
			Plancher bouveté.	1	2,54
			Deux couches de papier isolant.		
			Plancher bouveté.	1	2,54

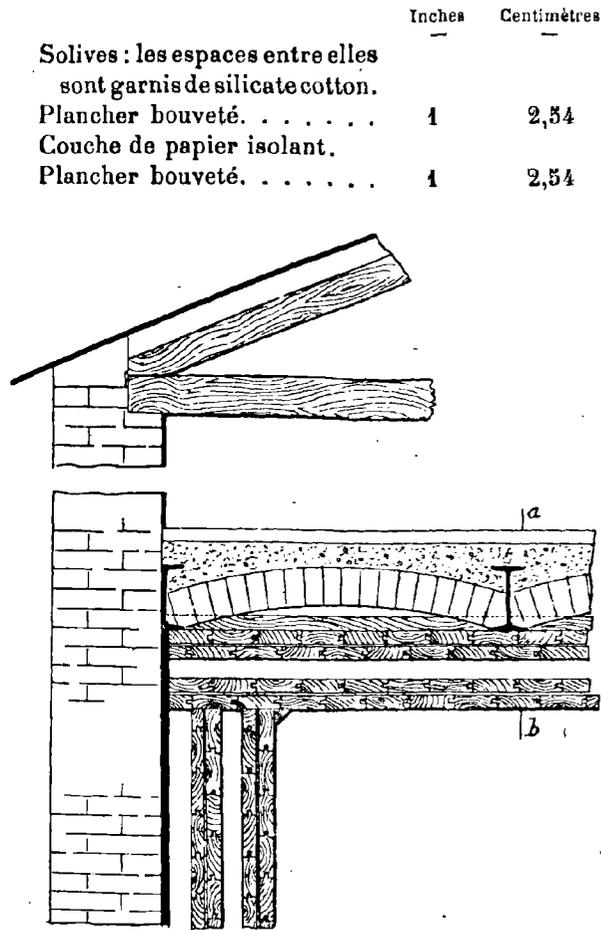


FIG. 191. — Isolement d'un plafond.

IV

	Inches	Centimètres
Plancher bouveté.	1	2,54
Deux couches de papier isolant.		
Plancher bouveté.	1	2,54
Soliveaux à distance de 16		

	Inches	Centimètres
inches (40 ^{cm} ,64) les uns des autres : les espaces entre les soliveaux sont remplis de silicate cotton	2 x 2	5,08 x 5,08
Deux couches de papier isolant.		
Plancher bouveté.	1	2,54
Soliveaux à distance de 16 inches (40 ^{cm} ,64) les uns des autres : les espaces entre eux sont remplis de silicate cotton.	2 x 2	5,08 x 5,08
Deux couches de papier isolant.		
Plancher bouveté.	1	2,54
Solives.		
Plancher bouveté.	1	2,54
Deux couches de papier isolant.		
Plancher bouveté.	1	2,54

V

Assise de béton.		
Tuiles.	3	7,62
Matelas d'isolant bien sec . .	6	15,24
Double voûte de tuiles creuses.		
Couche de ciment et plâtre.		

VI (fig. 192)

Asphalte.		
Béton.		
Voûte en briques.		
Couche de goudron.		
Laine minérale	2,5	6,35
Plâtre.		
Plâtre très dur ou plâtre diamant.		

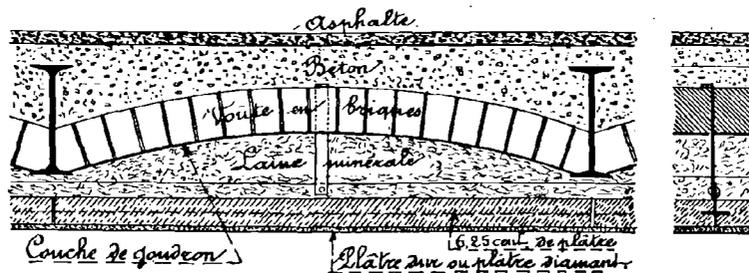


FIG. 192. — Plafond isolé (ce mode de construction est à l'épreuve du feu).

16. Toit. — Lorsque le toit et le plafond supérieur du frigorifique coïncident, il faut que ce plafond soit constitué à sa partie supérieure par une assise de béton recouverte d'une couche d'asphalte bien imperméable. Dans ce cas on garantit très bien le toit contre les

rayons du soleil en y faisant croître du gazon. C'est ainsi que le toit du frigorifique de l'abattoir de Munich présente à l'œil une prairie luxuriante que l'on est obligé de faucher plusieurs fois par an.

Lorsque le toit est en pente, l'espace libre formant grenier au-dessus du plafond supérieur du frigorifique n'est pas en général utilisé et le toit n'a pas besoin d'être isolé. Mais dans ce cas le plafond supérieur doit être bien isolé.

Lorsque la partie supérieure du plafond confinant au grenier est un plancher, il est bon, pour se garantir contre les rongeurs, de recouvrir ce plancher d'une plaque de tôle.

17. Peintures et enduits sur les parois intérieures des frigorifiques. — *La paroi intérieure d'un frigorifique doit être aussi lisse que possible et être constituée de façon à ne pas offrir un bon terrain de culture aux microorganismes¹. Pour qu'un enduit de ciment ne jouisse pas de cette dernière propriété, il convient de le recouvrir d'un enduit fait avec une couleur vitrifiable ou émaillée. On a ainsi une surface bien exempte d'aspérités sur laquelle les poussières de l'air ne se déposent pas. Otto Kasdorf, le Dr Rapp prétendent que cette couche d'émail a, en outre, une action désinfectante; mais la cause de cette action et les conditions dans lesquelles elle s'exerce ne sont pas bien déterminées.*

On emploie aussi, pour le garnissage intérieur des chambres froides, des carreaux de faïence émaillée de couleur claire ou des *briques émaillées silésiennes*; souvent on se contente de faire ce revêtement en briques jusqu'à une hauteur de 2 mètres, mais dans ce cas on enduit le reste avec un lait de chaux ou mieux avec une claire peinture émaillée. Ce mode de construction est appliqué dans la plupart des abattoirs frigorifiques de l'Allemagne, à Cologne, Francfort-sur-le-Mein, Offenbach, etc.

Les parois en bois intérieures doivent être aussi recouvertes d'enduits spéciaux. M. Barrier préconise l'enduit suivant employé avec succès à Verdun (Voir l'ouvrage de M. de Loverdo sur *le Froid artificiel*) :

- Première couche : Peinture au carbonyle (huile antiseptique contre l'humidité);
- Deuxième couche : Peinture ignifuge à l'huile de formule spéciale;
- Troisième couche : Peinture dite vernissée;
- Quatrième couche : Peinture dite vernissée de couleur blanche.

18. Portes. — Les portes des chambres froides doivent remplir les conditions suivantes :

- 1° Elles doivent être isolantes;
- 2° Elles doivent fermer hermétiquement;
- 3° Elles doivent être d'une manutention commode et disposées de telle manière que leur ouverture amène le trouble le moins grand possible dans la température des chambres frigorifiques;
- 4° Elles doivent pouvoir s'ouvrir de l'intérieur comme de l'extérieur.

On obtient des portes isolantes en les constituant de l'une des manières suivantes :

I		II	
	Centimètres		Centimètres
Cloison en chêne bouvetée . .	12,5	Cloison en chêne bouvetée . .	15,0
Liège (imprégné ou non) . .	6 à 8	Couche de papier isolant	
Cloison en chêne bouvetée . .	12,5	P. et B.	

1. Il est prouvé que les schizomycètes et autres microorganismes se déposent et se développent d'autant plus facilement sur les enduits de ciment que les murs suintent sans cesse. On remarque alors des masses de *Zooglea*, d'un toucher velouté, qui se propagent rapidement et répandent bientôt une forte odeur de mois.

	Centimètres		Inches	Centimètres
Laine minérale ou tourbe. . .	6 à 8	Trois couches de papier iso-		
Cloison en chêne bouvetée. . .	15,0	lant.		
		Cloison de planches bouvetées.	1	2,54
III		IV		
	Inches	Centimètres		
Cloison de planches bouvetées.	1	2,54		
Trois couches de papier iso-				
lant.				
Cloison de planches bouvetées.	1	2,54		
Traverses de 2 inches (5 ^{cm} ,08)				
sur 1 inch (2 ^{cm} ,54) : les				
espaces compris entre les				
traverses sont remplis de				
silicate cotton ou de liège.				
Cloison de planches bouvetées.	1	2,54		
		Cloison de planches bouvetées.	1	2,54
		Deux couches de papier iso-		
		lant.		
		Cloison de planches bouvetées.	1	2,54
		Matelas de silicate cotton . .	12	30,48
		Cloison de planches bouvetées.	1	2,54
		Deux couches de papier iso-		
		lant.		
		Cloison de planches bouvetées.	1	2,54

Comme on le voit, ces portes sont très épaisses et, par conséquent, très lourdes. Pour rendre leur manutention plus commode, il faut réduire leur hauteur au strict minimum et leur donner juste la largeur nécessaire pour l'entrée et la sortie des produits. Dans tous les cas, les charnières de ces portes font partie de pentures très robustes, solidement boulonnées.

Aussi aux simples portes doit-on préférer les portes à deux battants ayant 1^m,50 à 1^m,80 de large et 2 mètres de haut. A Cologne, les portes des chambres frigorifiques de l'abattoir ont 1^m,20 de large et 2^m,80 de haut; à Posen, elles ont 1^m,57 de large et 2^m,80 de haut; à Dusseldorf, 1^m,50 de large et 2^m,80 de haut; à Stolp, 1^m,50 de large et 2 mètres de haut. Dans l'usine frigorifique de Verdun, installée pour l'Administration de la Guerre, la hauteur des portes est de 2 mètres. Mais au-dessus de la porte se trouve ménagée une ouverture de faibles dimensions, fermée en temps ordinaire par un trapillon isolé maintenu par des verrous ou taquets que l'on enlève, lors de l'introduction ou de la sortie des viandes, pour donner passage à une portion de rail mobile aérien : celui-ci permet d'amener dans la chambre frigorifique des wagonnets contenant des pièces très lourdes.

Ce genre de portes est très usité dans la chambre, dite *antichambre froide* ou *sas à air*, qui est toujours disposée entre une chambre froide et l'extérieur, de telle manière que sa température soit intermédiaire entre celle de la chambre froide et la température extérieure. La moitié supérieure de la porte ne s'ouvre que pour le passage des wagonnets de transport; elle reste fermée pendant la circulation des piétons. D'ailleurs, pour éviter le réchauffement de cette chambre intermédiaire, on munit parfois sa porte d'entrée d'un tambour.

Afin de faciliter la manœuvre, on place à la partie inférieure de la porte un rouleau glissant sur une courbe de fer (*fig.* 193). En Angleterre, dans beaucoup d'entrepôts, on ménage un judas au milieu du vantail, de façon à passer les marchandises par cette petite ouverture; celle-ci s'oppose à la sortie de l'air froid accumulé au voisinage du sol et ne laisse passer à chaque manœuvre que de petites quantités d'air extérieur; elle produit donc un minimum de trouble dans la température de la chambre frigorifique.

Dans le même but, lorsqu'une chambre frigorifique possède plusieurs portes, il ne faut jamais disposer deux portes l'une en face de l'autre.

Il faut que la porte d'une chambre frigorifique puisse s'ouvrir de l'intérieur comme de l'extérieur. C'est là une condition qui peut parfois éviter des accidents. Souvent, en effet, des manœuvres ont été enfermés dans des chambres froides par mégarde; ils y ont passé des heures et des nuits pénibles, n'ayant pas la ressource de se faire ouvrir en cognant,

puisque les coups ne peuvent se faire entendre au travers de l'enveloppe isolante, aussi mauvaise conductrice du son que de la chaleur.

Une des conditions essentielles que doit remplir une porte de chambre frigorifique est d'avoir une *fermeture hermétique*. On obtient facilement la réalisation de cette condition si les bords affectent la forme d'un biseau qui vient coincer sur une feuillure oblique à profil semblable (fig. 193). Toutefois cette disposition en biseau, qui est excellente pour les parties

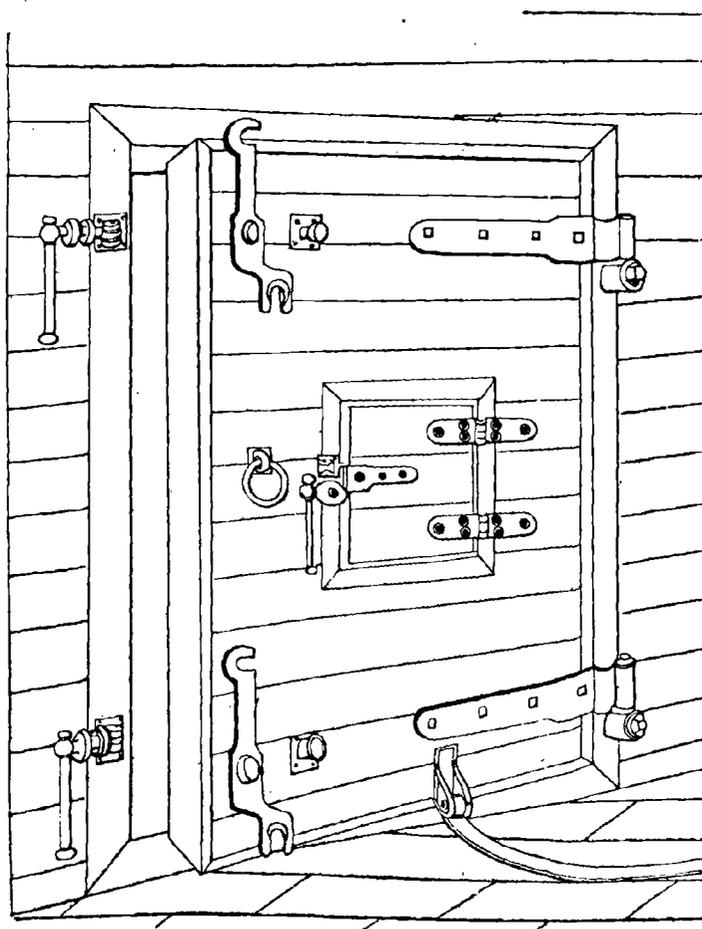


FIG. 193. — Porte de chambre froide.

latérales et le bord supérieur, présente l'inconvénient, pour le bord inférieur, d'exiger un *seuil* qui gêne souvent la manutention.

Les portes, en fermant, viennent s'appuyer sur un bourrelet en feutre, ou mieux sur une lisière de drap fixée sur un cadre vissé en fer qui, lui-même, déborde le pourtour de la porte. La feuillure¹ de la porte elle-même, du côté opposé, est pourvue aussi d'un tampon en flanelle.

A cause des températures extrêmes auxquelles elles sont soumises et de l'absorption de l'humidité de l'air, les portes ont souvent l'inconvénient de *gonfler*; leur fermeture n'est plus alors possible. Pour éviter cela, il est indispensable de visser aux quatre coins des portes (surtout à la face interne) des pièces en fer en forme d'équerre.

1. La feuillure d'une porte ou d'une fenêtre est l'entaille dans laquelle la porte ou la fenêtre est encadrée pour fermer juste.

Enfin il convient d'avoir un système de fermeture assurant l'herméticité. La figure 193 représente l'un de ces systèmes.

Dans les abattoirs frigorifiques, pour garantir les portes contre les chocs inévitables lors de l'entrée ou de la sortie de grands quartiers de viande, il est nécessaire de les protéger en plaçant horizontalement, au milieu de chaque battant, trois ou quatre barres de fer courbées et parallèles de 40 à 50 centimètres de longueur; ces barres sont espacées d'une dizaine de centimètres. Dans ce cas, la propreté de la porte est mieux entretenue, l'armature recevant les chocs de la viande.

Il est également bon de recouvrir la porte d'une tôle galvanisée, ayant environ 1 millimètre d'épaisseur, fixée à l'aide de vis.

19. Fenêtres. — Baies vitrées. — Une erreur que l'on rencontre dans un grand nombre de frigorifiques consiste à employer des baies vitrées trop petites. Il importe en effet de pouvoir éclairer tous les coins et recoins d'une chambre frigorifique, de ne pas avoir d'espaces sombres qui sont autant de nids à saletés et par suite autant de causes de détérioration des matières à conserver. Or, parmi les lumières artificielles, la lumière électrique (lampes à incandescence) peut seule être employée à cause des odeurs que dégage l'éclairage au gaz et à l'huile et de la grande quantité de chaleur produite. Mais la lumière électrique, quoique fournissant moins de chaleur, ne peut être assez diffusée pour éclairer les moindres parties de la chambre frigorifique; les ombres sont encore trop marquées.

La lumière naturelle du jour permet seule d'éclairer tous les coins; mais elle nécessite l'emploi de grandes baies vitrées. Si celles-ci sont convenablement construites, la perte de frigorifiques est petite; mais dans tous les cas cette perte n'est rien en comparaison des inconvénients que présente une trop grande parcimonie de lumière.

A l'abattoir de Stolp, les baies vitrées du frigorifique ont 1^m,50 sur 1^m,75; ce sont là de bonnes dimensions.

Les fenêtres ne doivent jamais être du côté exposé au soleil (sud et ouest). Elles doivent être munies de matelas d'air. On les fait de deux ou trois grandes dalles de verre dépoli ou vert (verre contenant 2 0/0 de protoxyde de fer, translucide, mais ne laissant, pour ainsi dire, pas pénétrer la chaleur), ou encore de dalles en verre armé; entre ces dalles se trouvent une ou deux couches d'air de 10 centimètres chacune. On emploie beaucoup actuellement les dalles en verre creux du type Falconnier; il faut que ces dalles soient disposées en deux couches séparées par un matelas d'air de 10 centimètres, sans quoi le verre échauffé sur l'une de ses faces par le soleil et refroidi sur l'autre éclaterait.

Il est souvent bon de munir l'extérieur des baies vitrées de volets en bois pour éviter l'action directe des rayons du soleil.

Dans certains frigorifiques d'abattoirs (Breslau, Münich), l'éclairage se fait par le haut; dans d'autres il se fait par côté.

20. Aération ou renouvellement de l'air. — Il est avantageux de pouvoir renouveler soit totalement, soit partiellement, l'air des chambres frigorifiques. A cet effet, on se sert de tuyaux d'aération; le type de l'un de ces tuyaux, dû à O. Schwarz, est représenté sur la figure 194. Il se compose d'un tube en fonte *a* coupé à arêtes vives à ses deux extrémités et introduit dans le mur de telle façon qu'à ses deux extrémités une partie du tube fasse saillie sur la surface de la paroi. Tout autour du tube *a* se trouvent six tirants *b* filetés à leurs deux extrémités, au moyen desquels on ferme le tube extérieurement et intérieurement au bâtiment au moyen de deux couvercles en fonte *c* et *d*. Le couvercle extérieur *c*

est isolé au moyen d'un corps mauvais conducteur de la chaleur occupant l'espace h qui fait saillie dans le tube a . Chacun des couvercles porte une feuilure dans laquelle on introduit une bague en caoutchouc e permettant une fermeture hermétique au moyen des écrous à oreilles f .

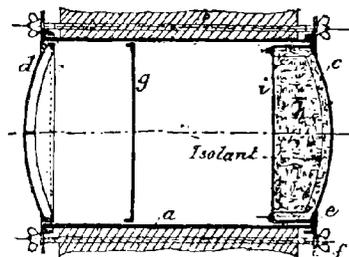


FIG. 194. — Tuyau d'aération pour le renouvellement de l'air des chambres frigorifiques (type O. Schwarz).

Enfin, pour éviter l'entrée des rongeurs lorsqu'on enlève les couvercles c et d en vue d'assurer le renouvellement total de l'air dans les chambres, on place en g une plaque métallique percée de trous. Pour des parois de 1 mètre d'épaisseur, on fait des tubes de 0^m,30 à 0^m,50 de diamètre intérieur. Des tubes d'aération de ce type ont été installés dans les abattoirs de Hambourg, Rathenow, Stolp, Rügenwalde, Oschatz, Goldberg en Silésie, Düsseldorf.

On peut aussi installer des tuyaux de ce genre dans le toit du frigorifique, de manière à empêcher les couches d'air vicié de séjourner sous ce toit.

Quant au renouvellement de l'air pendant le fonctionnement du frigorifique, il se fait par des cheminées d'appel munies de valves de réglage.

21. Grues et monte-charges. — Les grues et monte-charges sont indispensables aux entrepôts composés de deux ou plusieurs étages. Généralement ces appareils desservent les couloirs; quelquefois cependant ils traversent les chambres froides, qui sont ainsi aérées par le fonctionnement de ces appareils. Cette dernière disposition n'est pas possible pour les entrepôts conservant des denrées de nature différente à chaque étage.

La force motrice est de préférence fournie par l'eau ou par l'électricité : à cause de la difficulté d'installer des tuyauteries, cette dernière est encore préférable.

L'usine frigorifique de Verdun possède deux monte-charges installés aux extrémités opposées du couloir; ils sont à bennes guidées (1^m,20 × 1^m,20) avec contrepoids; chaque treuil, d'une force de 1.500 kilogrammes, est actionné par une réceptrice susceptible de développer 44 chevaux à la vitesse de 1.320 tours avec un rendement de 790/0. Le courant est fourni aux deux réceptrices par deux génératrices à lumière à excitation dérivée de 50 ampères et 113 volts. La vitesse ascensionnelle de ces monte-charges est de 0^m,30 par seconde et leur charge utile de 400 à 450 kilogrammes par ascension.

Les constructeurs J.-G. Childs et C^{ie}, de Londres, ont construit pour un grand nombre d'entrepôts anglais des monte-charge électriques automatiques pour transporter les quartiers de viandes congelées¹.

Ces monte-charges se composent d'un certain nombre de berceaux (dix par exemple) courant dans des guides verticaux et suspendus à des chaînes sans fin. Deux plates-formes à charnières sont installées à chaque étage, une pour charger et l'autre pour décharger; ces plates-formes sont repliées en dehors du passage à tous les étages où on ne s'arrête pas. La plate-forme étant tournée d'une manière convenable reçoit une à une les carcasses de bœuf qui sont enlevées par un des berceaux montants; ce berceau emporte le quartier de bœuf au sommet de l'ascenseur, le redescend de l'autre côté et le dépose automatiquement sur une des plates-formes à charnières qui a été mise en position pour recevoir cette carcasse. Les quartiers de bœuf congelés sont ainsi déposés à proximité des chambres froides, où l'on peut les faire glisser facilement au moyen de plans inclinés automatiques. De tels monte-charges sont installés dans les entrepôts frigorifiques Compania Sansisena (Long Lane, Smithfield), à

1. On trouvera les photographies de ces monte-charges dans l'ouvrage suivant, très documenté : WALLIS-TAYLER, *Refrigeration Cold Storage and Ice-Making*.

Londres ; ils peuvent livrer au quatrième étage 300 quartiers de bœufs à l'heure au prix de 0 fr. 25 par 100 quartiers de bœuf.

Les mêmes constructeurs (Childs) ont installé dans les entrepôts frigorifiques précédents (Sansisena) un monte-charge qui consiste en deux chaînes verticales parallèles portant, de

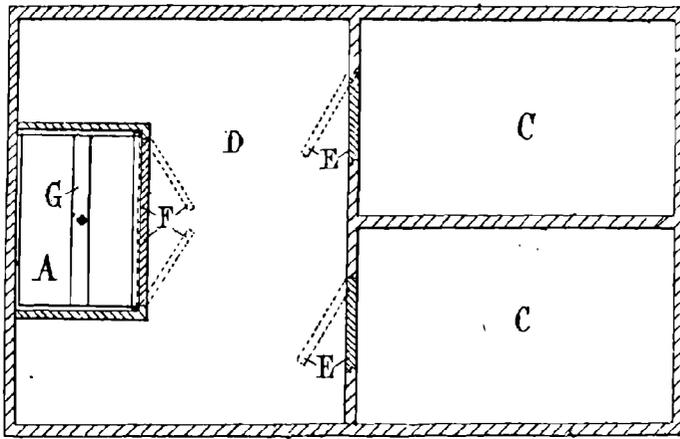


FIG. 195.

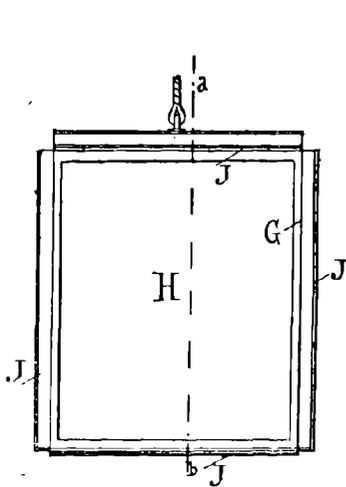


FIG. 196.

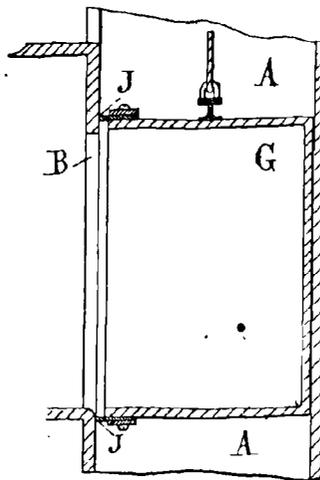


FIG. 197.

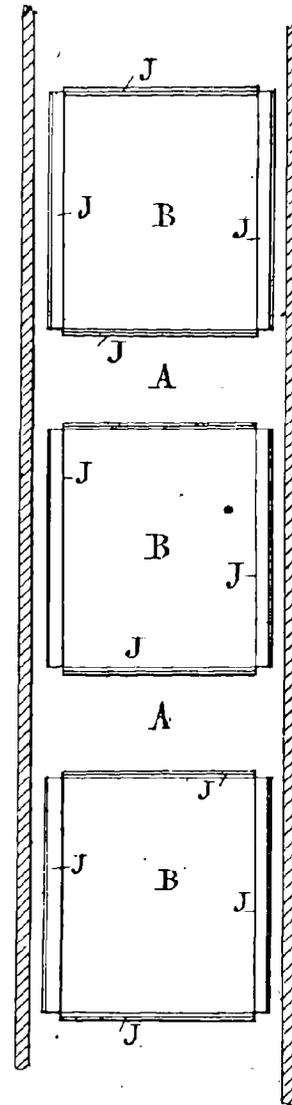


FIG. 198.

FIG. 195 à 198. — Élévateur-antichambre hermétique. Type Wills.

distance en distance, de petites bennes en fer dans lesquelles les carcasses de mouton sont placées et d'où elles sont enlevées par des manœuvres. Ce monte-charge peut distribuer par heure 700 carcasses de mouton au quatrième étage du magasin, au prix de 0 fr. 075 par 100 carcasses.

Des monte-charge ont été également fournis par Childs à l'entrepôt frigorifique de Southampton (Southampton Cold Storage Company). Ces monte-charge sont disposés pour prendre la marchandise à côté du navire, l'élever verticalement à 15 mètres de hauteur, la transporter horizontalement à 15 mètres de distance et la déposer automatiquement à

l'endroit désiré. Chaque élévateur peut transporter 1.800 carcasses de mouton par heure ou environ 600 quartiers de bœuf, barils ou caisses d'œufs du continent. Ce sont des monte-charges combinés pour transporter verticalement et horizontalement.

22. Élévateur-antichambre hermétique. Type Wills. — Lorsque les grues et monte-charges sont à l'intérieur de l'entrepôt frigorifique, on a l'habitude d'établir un couloir ou une antichambre entre la cage de l'élévateur et les chambres frigorifiques, afin que

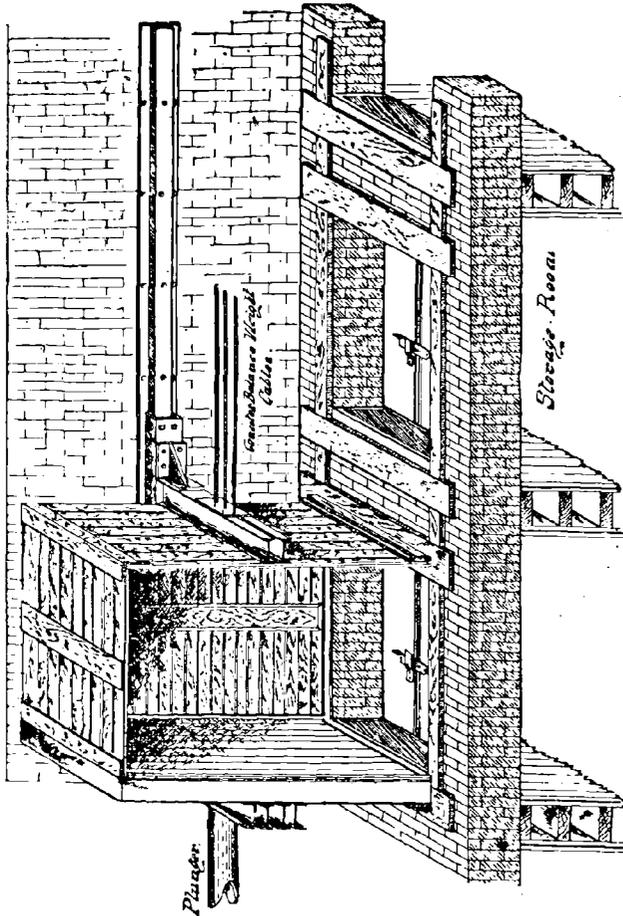


FIG. 199. — Élévateur-antichambre hermétique de l'entrepôt frigorifique (The Scranton Cold Storage Warehouse) de Scranton (États-Unis).

Plunger, Piston plongeur; — Counter Balance Weight Cables, Câbles du contrepois; — Storage Room, Chambre de conservation.

l'air froid ne s'échappe pas par cette cage pendant l'ouverture des portes. Ce mouvement de l'air froid est rendu possible parce que la cabine ne s'adapte pas assez étroitement à la cage et à ses ouvertures et aussi parce que, pendant les heures de presse, les portes entre les chambres restent souvent ouvertes. Pour remédier autant que possible à ces inconvénients, l'antichambre froide est pourvue d'une sorte d'écluse d'air ou tampon; l'espace ainsi employé est, en raison de ses variations de température, rendu inutile pour le magasinage. D'ailleurs les variations de température qui se produisent dans cette chambre la rendent humide et insalubre.

L'élévateur-antichambre hermétique Wills¹ a pour objet d'utiliser cet espace et de le rendre propre et salubre : à cet effet, la cabine est rendue, pratiquement parlant, *hermétique*, excepté à la face ouverte; des pièces flexibles forment joint par dessus et entre les bords de la cabine et de l'ouverture correspondante pratiquée dans la cage de l'élévateur. Il en résulte que, lorsque la cabine décharge ou prend des marchandises, l'air de la chambre contiguë ne peut pas s'échapper à travers ou autour de la

cabine; celle-ci devient une partie mobile de l'antichambre.

Cet élévateur-antichambre est représenté sur les figures 195 à 198. A est une cage d'élévateur (fig. 195) ayant des ouvertures B correspondant aux divers étages du bâtiment (fig. 197); CC sont des chambres frigorifiques (fig. 195); D est une chambre placée entre la cage et les chambres C en vue d'établir une écluse à air ou un tampon; E₁E représentent des portes de communication entre les chambres C et la chambre D; F₁F sont des portes de communication entre la chambre D et la cage A. G est la cabine ou le chariot de l'élévateur. Sur les figures 196 et 197, on voit en J, autour des bords du côté ouvert H de la cabine, des

1. *Industrie frigorifique*, 3^e année, n° 20, janvier 1905.

prolongements pliants ou flexibles; lorsque la cabine est contiguë à une ouverture B de la cage d'élévateur (*fig.* 197), ou lorsqu'elle recouvre cette ouverture, ces prolongements se referment et occupent l'espace ordinairement laissé autour de l'ouverture de la cage entre la cabine et les planchers ou côtés du bâtiment. De cette manière, la cabine forme momentanément une partie de la chambre D. La figure 198 représente un autre système dans lequel les pièces de pont flexibles J sont placées sur les bords ou sur le châssis des ouvertures B au lieu de se trouver sur la cabine.

La figure 199 est une vue en perspective d'un élévateur-antichambre hermétique installé par *The Standard Elevator Co* (Gloucester, Massachusetts) dans un entrepôt frigorifique (*The Scranton Cold Storage and Warehouse*) à *Scranton* (Pensylvanie).

III

MODE DE RÉFRIGÉRATION DES CHAMBRES FRIGORIFIQUES D'UN ENTREPOT

1. Quantité de chaleur dégagée dans le refroidissement d'un volume déterminé d'air humide. — Pour refroidir les corps solides (denrées alimentaires par exemple) que l'on veut conserver à l'abri de la décomposition dans les chambres frigorifiques d'un entrepôt, on est obligé d'abaisser la température de l'air de ces chambres.

Donnons une idée de la quantité de chaleur dégagée par l'abaissement de la température d'un certain volume d'air humide.

Prenons un volume de V mètres cubes d'air saturé de vapeur d'eau à la température t sous la pression de H millimètres de mercure; si F_t désigne la tension maxima de la vapeur d'eau à la température t , les masses d'air sec et de vapeur d'eau contenues dans ce volume V sont exprimées en kilogrammes par les équations

$$\left\{ \begin{array}{l} M = V \times 1,293 \frac{H - F_t}{760} \cdot \frac{1}{1 + \alpha t} \\ m = V \times \frac{5}{8} \times 1,293 \frac{F_t}{760} \cdot \frac{1}{1 + \alpha t} \end{array} \right. \quad \alpha = \frac{1}{273}$$

Le même volume d'air saturé de vapeur d'eau à la température t_1 sous la pression de H_1 millimètres de mercure contient des masses d'air sec et de vapeur d'eau données par les formules

$$\left\{ \begin{array}{l} M_1 = V \times 1,293 \frac{H_1 - F_{t_1}}{760} \cdot \frac{1}{1 + \alpha t_1} \\ m_1 = V \times \frac{5}{8} \times 1,293 \frac{F_{t_1}}{760} \cdot \frac{1}{1 + \alpha t_1} \end{array} \right. \quad \alpha = \frac{1}{273}$$

où F_{t_1} est la tension maxima de la vapeur d'eau à la température t_1 .

Faisons les approximations suivantes. Les hauteurs de mercure $H - F_t$, $H_1 - F_{t_1}$ sont peu différentes de 760; les températures t et t_1 égales au maximum à 30° C. sont telles que $1 + \alpha t$ et $1 + \alpha t_1$ diffèrent peu de 1,1; il en résulte que les produits $\frac{H - F_t}{760} \cdot \frac{1}{1 + \alpha t}$, $\frac{H_1 - F_{t_1}}{760} \cdot \frac{1}{1 + \alpha t_1}$, diffèrent assez peu de l'unité pour que nous considérions les masses M et M_1 comme égales l'une et l'autre à $V \times 1,293$.

La quantité de chaleur dégagée par cette masse d'air sec qui se refroidit de la température t à la température t_1 a pour expression

$$V \times 1,293 \times 0,258 (t - t_1) = V \times 0,31 (t - t_1).$$

D'autre part, il y a eu condensation de la masse $m - m_1$ de vapeur d'eau ; si on admet que la condensation de 1 kilogramme de vapeur d'eau dégage en moyenne 610 calories, la quantité de chaleur dégagée dans le cas actuel est égale à $(m - m_1)$ 610 calories.

La quantité totale de chaleur dégagée dans le refroidissement de V mètres cubes d'air de la température t à la température t_1 est donc, en calories-kilogramme,

$$(m - m_1) 610 + V \times 0,31 (t - t_1).$$

Prenons un exemple numérique.

Supposons qu'il s'agisse du refroidissement de 1 mètre cube d'air passant de l'état saturé à la température de 20° C. à l'état saturé à la température de 0° C.

Dans ce cas on a

$$\begin{aligned} m &= 0^{\text{kg}},01734 & m_1 &= 0^{\text{kg}},00487 \\ V &= 1 \text{ mètre cube} & t - t_1 &= 20. \end{aligned}$$

TABLEAU XXXI

TENSIONS MAXIMA DE LA VAPEUR D'EAU ET MASSES DE VAPEUR D'EAU CONTENUES
DANS UN MÈTRE CUBE D'AIR SATURÉ

TEMPÉRATURES	TENSIONS MAXIMA de la vapeur d'eau en millimètres de mercure	MASSES DE VAPEUR D'EAU contenues dans 1 mètre cube d'air saturé	TEMPÉRATURES	TENSIONS MAXIMA de la vapeur d'eau en millimètres de mercure	MASSES DE VAPEUR D'EAU contenues dans 1 mètre cube d'air saturé
Degrés Centigrades		Kilogramme	Degrés Centigrades		Kilogramme
— 20	0,985	0,00143	+ 6	6,999	0,00725
— 19	1,070	0,00122	+ 7	7,492	0,00773
— 18	1,161	0,00132	+ 8	8,019	0,00824
— 17	1,260	0,00142	+ 9	8,521	0,00873
— 16	1,366	0,00154	+ 10	9,165	0,00936
— 15	1,480	0,00166	+ 11	9,790	0,00996
— 14	1,602	0,00179	+ 12	10,315	0,01060
— 13	1,734	0,00193	+ 13	11,184	0,01156
— 12	1,875	0,00208	+ 14	11,907	0,01198
— 11	2,028	0,00224	+ 15	12,699	0,01274
— 10	2,186	0,00240	+ 16	13,533	0,01353
— 9	2,395	0,00259	+ 17	14,414	0,01436
— 8	2,549	0,00278	+ 18	15,353	0,01524
— 7	2,753	0,00299	+ 19	16,342	0,01615
— 6	2,967	0,00321	+ 20	17,591	0,01734
— 5	3,196	0,00345	+ 21	18,489	0,01816
— 4	3,441	0,00370	+ 22	19,652	0,01924
— 3	3,703	0,00396	+ 23	20,883	0,02038
— 2	3,983	0,00425	+ 24	22,177	0,02157
— 1	4,255	0,00452	+ 25	23,550	0,02282
0	4,600	0,00487	+ 26	24,982	0,02413
+ 1	4,942	0,00521	+ 27	26,492	0,02550
+ 2	5,302	0,00557	+ 28	28,087	0,02695
+ 3	5,687	0,00595	+ 29	29,773	0,02847
+ 4	6,097	0,00636	+ 30	31,510	0,02900
+ 5	6,534	0,00679			

La quantité de chaleur dégagée dans cette transformation est alors égale à

$$(0,01734 - 0,00487) 610 + 0,31 \times 20 = 13,8 \text{ grandes calories.}$$

Si, au lieu d'être saturé dans l'état initial et dans l'état final, l'air a un état hygrométrique E dans le premier état et un état hygrométrique E_1 dans le second état, la quantité totale de chaleur dégagée dans le refroidissement de V mètres cubes d'air de la température t à la température t_1 a pour expression

$$(Em - E_1m_1) 610 + V \times 0,31 (t - t_1).$$

Si, par exemple, 1 mètre cube d'air humide passe de l'état hygrométrique 0,80 à la température de 30° C. à l'état de saturation à la température de 4° C., la quantité de chaleur dégagée dans cette transformation est :

$$\begin{aligned} m &= 0,029 \text{ kilogr.} & m_1 &= 0,00636 \text{ kilogr.} \\ E &= 0,80 & E_1 &= 1 \\ V &= 1 \text{ mètre cube} & t - t_1 &= 26. \\ & & & (0,8 \times 0,029 - 0,00636) 610 + 0,31 \times 26 = 18,33 \text{ calories.} \end{aligned}$$

Le tableau XXXI donne pour les diverses températures les tensions de la vapeur d'eau saturée et les masses de vapeur d'eau contenues dans 1 mètre cube d'air saturé.

2. Refroidissement direct par vaporisation de l'agent frigorifique. — Refroidissement par l'intermédiaire de la saumure. — Cet abaissement de température de l'air des chambres d'un entrepôt peut être obtenu de diverses manières.

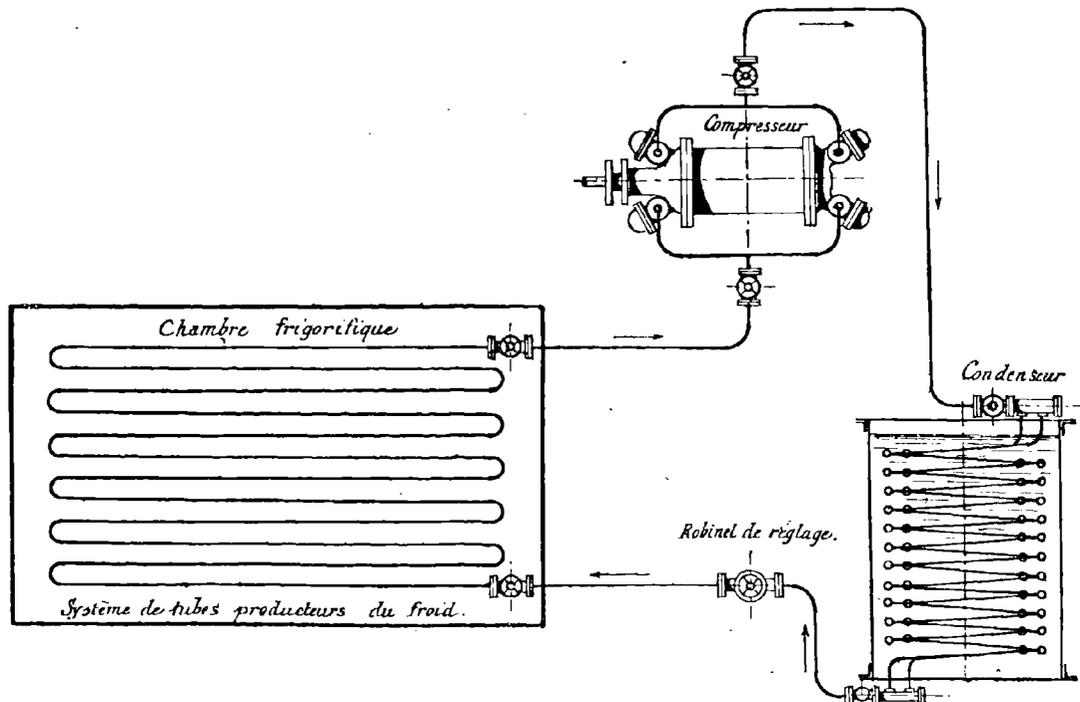


FIG. 200. — Schéma du mode de refroidissement par détente directe.

Supposons que nous tapissions une ou plusieurs parois de la chambre à refroidir au moyen du système de tuyaux qui constitue le réfrigérant ou l'évaporateur d'une machine à com-

pression, comme le montre la figure 201. Nous obtenons ainsi le mode de refroidissement désigné sous le nom de *refroidissement direct par vaporisation de l'agent frigorifique ou par détente directe* (*Dampfkühlung*, dans les auteurs allemands).

Si la vaporisation de l'agent frigorifique a pour effet de refroidir d'abord une solution salée de liquide incongelable que l'on fait circuler dans les tuyaux tapissant l'une des parois de la chambre frigorifique, on a le *refroidissement par l'intermédiaire de la saumure*, ici par *circulation de saumure* (*Salzwasserkühlung*, comme l'appellent les auteurs allemands).

La figure 202 représente schématiquement un pareil mode de réfrigération.

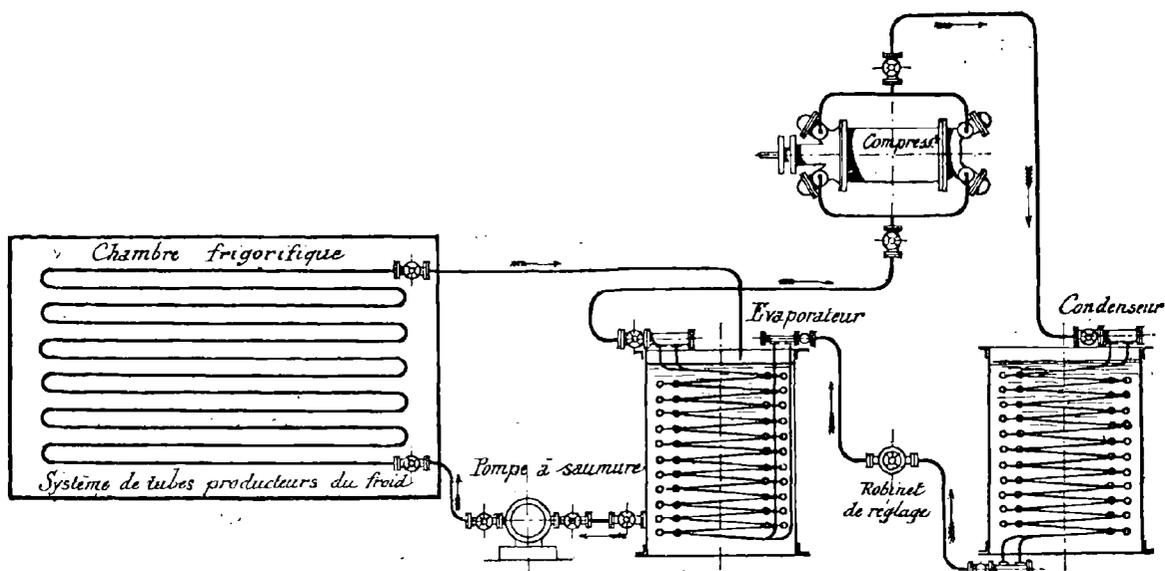


FIG. 201. — Schéma du mode de refroidissement par circulation de saumure.

3. Classification des procédés de refroidissement par détente directe. —

Dans le refroidissement par détente directe, le système des tuyaux producteurs de froid peut être disposé de plusieurs manières.

a) Les tuyaux producteurs de froid sont fixés directement à l'une des parois de la chambre frigorifique; l'air de cette chambre se refroidit directement au contact de ces tuyaux par conductibilité et par rayonnement. On donne à ce système le nom de *refroidissement interne par détente directe* (*dampf-Innen-Kühlung*, suivant la dénomination adoptée par les auteurs allemands).

b) Les tuyaux producteurs du froid sont enfermés dans une chambre distincte de la chambre frigorifique ou dans un espace clos contenu à l'intérieur de cette chambre; l'air chaud de la chambre à refroidir aspiré au moyen de ventilateurs vient circuler autour des tuyaux à froid dans l'enceinte spéciale où ils se trouvent, puis est renvoyé froid dans la chambre à refroidir. L'air de cette chambre se refroidit donc uniquement par conductibilité. On désigne ce mode de refroidissement sous le nom de *refroidissement externe par détente directe* (*Dampf-Ausser-Kühlung*, d'après les auteurs allemands).

c) L'abaissement de température de l'air des chambres à refroidir peut être obtenu en combinant les deux méthodes précédentes. On a dès lors le *refroidissement interno-externe par détente directe* (*Dampf-Innen-Ausser-Kühlung*, d'après les auteurs allemands).

4. Classification des procédés de refroidissement par l'intermédiaire d'un liquide incongelable. —

Cette distinction des trois modes de refroidissement par détente

directe peut se répéter pour le refroidissement par l'intermédiaire d'un liquide incongelable.

On a :

a') Le refroidissement interne par l'intermédiaire de la saumure (*Salzwasser-Innen-Kühlung*);

b') Le refroidissement externe par l'intermédiaire de la saumure (*Salzwasser-Aussen-Kühlung*);

c') Le refroidissement interno-externe par l'intermédiaire de la saumure (*Salzwasser-Innen-Aussen-Kühlung*).

5. Frigorifères. — Nous avons supposé que l'on faisait circuler de la saumure refroidie dans des tuyaux au contact desquels on amenait l'air que l'on voulait refroidir. Or on peut supprimer la surface intermédiaire métallique des tuyaux et refroidir l'air au contact direct de la saumure. Lorenz désigne plus particulièrement les appareils qui permettent ce contact direct de la saumure et de l'air sous le nom d'*appareils à air refroidi par le moyen de la saumure* (*Salzwasser-Luftkühlapparate*) pour les distinguer des *appareils à air refroidi au moyen de la circulation dans les tuyaux* (*Röhren-Luftkühlapparate*).

Nous leur donnerons le nom de *frigorifères*.

Le mode de refroidissement de l'air par contact direct avec la saumure rentre dans le type dit de refroidissement externe par circulation de saumure.

6. Combinaison de la détente directe avec l'action intermédiaire de la saumure. — Enfin on peut combiner le refroidissement par détente directe et le refroidissement par saumure, et l'on a :

a") Le refroidissement interne par détente directe et par l'intermédiaire de la saumure (*Dampf-Salzwasser-Innen-Kühlung*);

b") Le refroidissement externe par détente directe et par l'intermédiaire de la saumure (*Dampf-Salzwasser-Aussen-Kühlung*);

c") Le refroidissement interno-externe par détente directe et par l'intermédiaire de la saumure (*Dampf-Salzwasser-Innen-Aussen-Kühlung*¹).

7. Circulation naturelle et circulation artificielle de l'air. — Dans le refroidissement de l'air d'une chambre frigorifique, le mouvement des différentes couches d'air qui viennent se refroidir au contact des tuyaux peut être produit soit au moyen d'un ventilateur, soit uniquement par les différences de densité qui existent entre l'air chaud et l'air froid. Le second mode de circulation de l'air est appelé *circulation naturelle de l'air*; le premier est désigné sous le nom de *circulation artificielle*. Au lieu de la classification que nous avons empruntée à M. Constanz Schmitz, on distingue souvent (Voir Otto Kasdorf, Lorenz) les *installations frigorifiques à circulation naturelle de l'air* et les *installations frigorifiques à circulation artificielle de l'air*.

8. Refroidissement interne par détente directe ou par circulation de saumure. — Dans le mode de refroidissement *interne*, qu'il soit à détente directe ou à

1. Ce mode de classification est dû à M. Constanz Schmitz.

Constanz SCHMITZ, *Luftkühl-Methoden und Apparate* [*Eis und Kälte-Industrie*, Bd V, n° 23 et 24, 5 et 20 juin 1904]; — DÖBERLEIN (*Luftkühlung durch das verdampfende Kältemittel*, Berlin, Constanz Schmitz, 1904) désigne par les mots *refroidissement interne* (*Innenkühlung*) et *refroidissement externe* (*Aussenkühlung*) les modes de refroidissement correspondant à l'installation des appareils producteurs de froid à l'intérieur ou à l'extérieur des chambres frigorifiques; au contraire, dans les dénominations adoptées par M. Constanz Schmitz, il y a refroidissement externe lorsque les appareils producteurs de froid sont installés dans les chambres frigorifiques à l'intérieur d'enceintes convenablement disposées. Il importe de bien préciser ces définitions qui rendent parfois pénible la lecture des mémoires allemands.

circulation de saumure, les tuyaux du réfrigérant (détente directe) ou de la circulation de liquide incongelable sont groupés de différentes manières soit au plafond de la chambre, soit

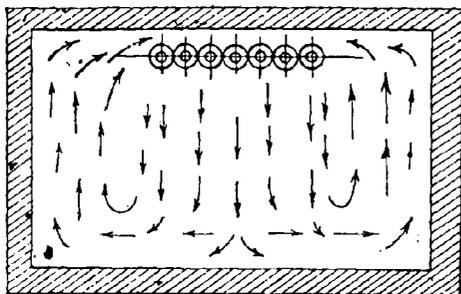


FIG. 202.
Tuyaux de refroidissement groupés au plafond.

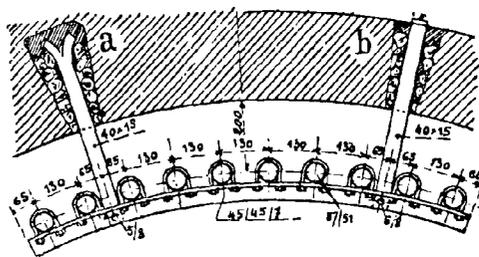


FIG. 203. — Mode de groupement
au plafond des tuyaux de réfrigération.

sur les parois. La circulation naturelle de l'air se fait, suivant les cas, de diverses manières. Si les tuyaux sont groupés au plafond comme l'indique la figure 202, l'air froid descend

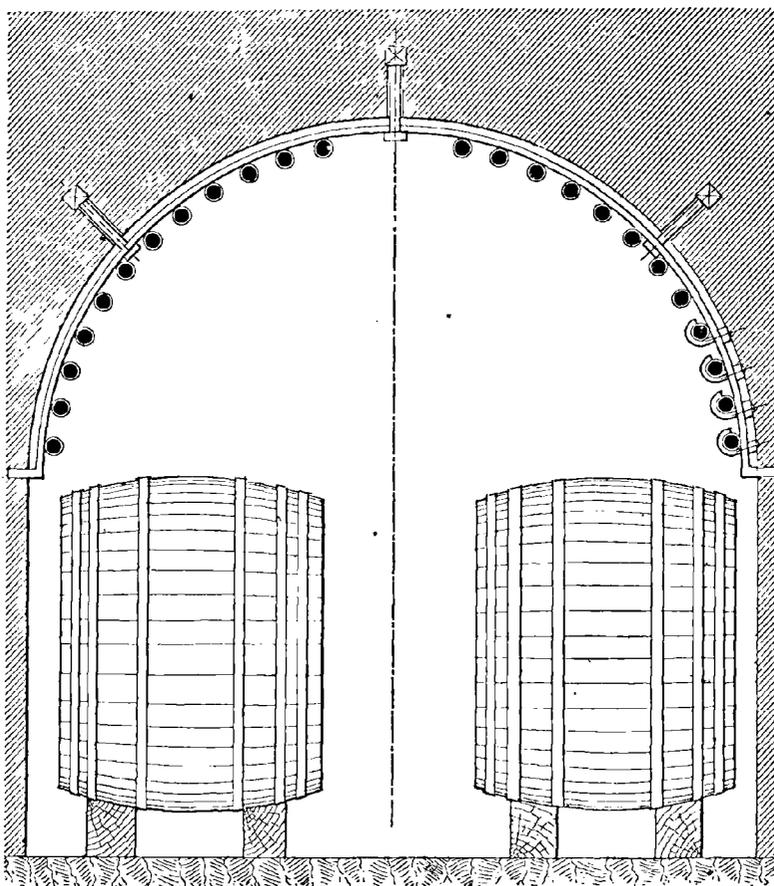


FIG. 204. — Tuyaux de refroidissement lisses suspendus au plafond d'une cave de garde de brasserie (Type Frick).

de haut en bas dans le milieu de la chambre frigorifique, change de direction au voisinage du sol, enfin remonte chaud de bas en haut en léchant les parois. Ce dispositif est celui qui est habituellement employé en Europe. Les figures 203, 204, 205, 206 montrent divers modes d'installations de ces tuyaux.

En Amérique, les tuyaux sont parfois fixés les uns au-dessus des autres le long des parois. Le mode de circulation naturelle de l'air est celui qui est représenté sur la figure 207.

Le dispositif américain a l'inconvénient d'amener le courant d'air froid immédiatement en contact avec les murs et le sol du frigorifique, ce qui favorise les déperditions de froid, puisque c'est précisément par là que pénètre la plus grande quantité de chaleur. Le

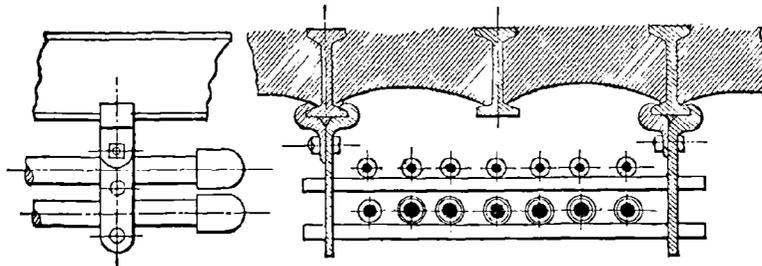


FIG. 205. — Mode de suspension au plafond des tuyaux de réfrigération lisses (Type Frick, Waynesboro, Franklin C^e, Pensylvanie).

procédé européen permet au contraire à l'air froid d'absorber une grande quantité de chaleur à l'intérieur de la chambre avant d'entrer en contact avec les parois ; la différence entre la température de ces dernières et celle de l'air extérieur est plus faible. Le procédé américain a

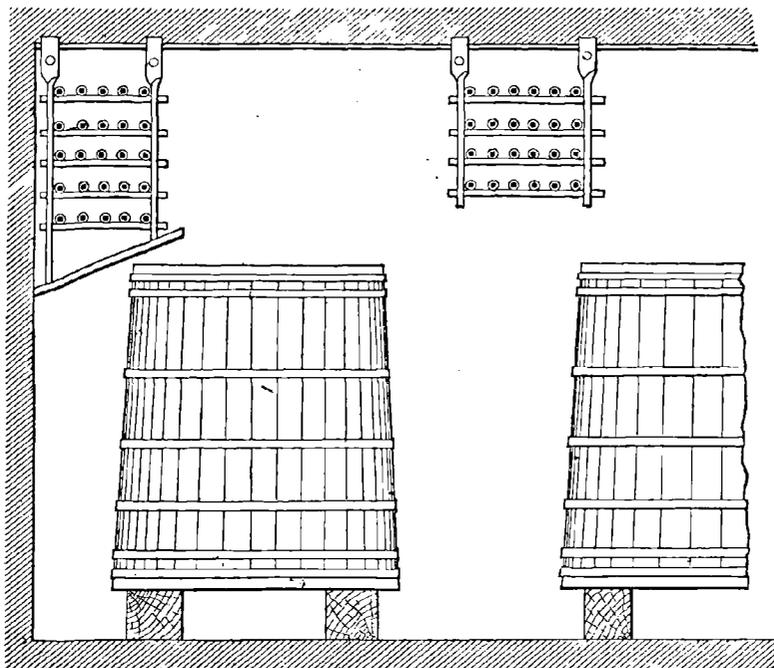


FIG. 206. — Tuyaux de réfrigération suspendus au plafond d'une cave de fermentation d'une brasserie (Type Frick, Waynesboro, Franklin C^e, Pensylvanie).

l'avantage de favoriser le dessèchement des parois et du sol de la chambre frigorifique, puisque ceux-ci sont rencontrés d'abord par l'air froid et, par suite, déjà desséché ; au contraire, dans la disposition européenne, l'air ne vient lécher le sol et les parois que lorsqu'il s'est échauffé et saturé d'humidité. Comme cette dernière circonstance n'a pas une très grande importance pour les installations frigorifiques des brasseries, *l'agencement des tuyaux aux plafonds des caves de brasseries jouit, au point de vue économique, d'une certaine préférence sur l'autre (fig. 204 et 206) ; au contraire, l'installation des tuyaux contre les parois est*

meilleure pour les chambres de conservation des denrées alimentaires, à moins qu'on ne trouve plus d'avantages à employer le refroidissement externe.

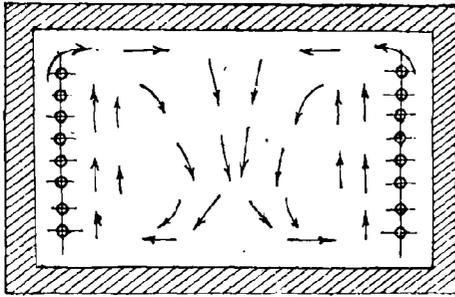


FIG. 207. — Tuyaux de réfrigération installés le long des parois.

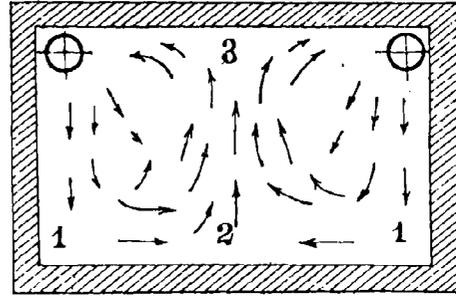


FIG. 208. — Autre mode d'installation des tuyaux de refroidissement. Circulation naturelle défectueuse de l'air.

On combine les deux dispositifs précédents en disposant les tuyaux froids dans les deux angles supérieurs du plafond, comme le montre la figure 208. Mais cette disposition est défectueuse, car on peut craindre la formation dans les espaces 1, 2, 3 de couches d'air stagnantes ne participant pas à la circulation générale et par conséquent peu refroidies et non renouvelées.

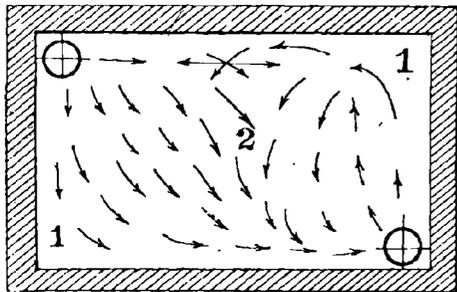


FIG. 209. Dispositif produisant une très faible circulation.

Le dispositif représenté sur la figure 209 produit une très petite circulation. Par suite de la disposition des tuyaux froids aux deux extrémités d'une même diagonale, la circulation naturelle de l'air se fait surtout sur les côtés. Les parties marquées 1 sur la figure 209 restent en dehors de la circulation et ne sont pas refroidies uniformément ; dans la partie 2, la température est sensiblement constante.

9. Tuyaux généralement employés pour le refroidissement des chambres.

— Les tuyaux, que l'on emploie pour le refroidissement des chambres, se distinguent :

- 1° En tuyaux à surface extérieure lisse ;
- 2° En tuyaux à ailettes.

Les tuyaux à surface extérieure lisse ont de 25 à 50 millimètres de diamètre intérieur et 2^{mm},5 d'épaisseur. Quand ils sont simplement placés dans les locaux et qu'ils agissent sans le secours d'une ventilation mécanique, ils absorbent de 8 à 12 grandes calories par mètre carré de leur surface moyenne, par heure et par degré d'écart entre la température du liquide réfrigérant et celle du local à refroidir.

Pour la détente directe de l'AzH³, on se sert souvent de tuyaux à ailettes en fer forgé ayant 30 millimètres de diamètre intérieur et 38 millimètres de diamètre extérieur, avec éléments à ailettes rapportés sur ces tuyaux. Ces éléments sont au nombre de trois par mètre courant et comportent chacun 4 ailettes de 180 millimètres de diamètre ; la surface extérieure de ces tuyaux est égale à 0^m2,700 par mètre courant, tandis que la surface intérieure environ 7,5 fois moins grande n'est égale qu'à 0^m2,094. Ces tuyaux à ailettes absorbent de 3 à 5 grandes calories par mètre carré de leur surface extérieure, par heure et par degré d'écart entre la température du liquide réfrigérant et celle du local à refroidir.

Dans le refroidissement par circulation de saumure, les tuyaux à ailettes sont en fonte,

d'une longueur de 2 mètres avec un diamètre intérieur de 75 millimètres et un diamètre extérieur de 92 millimètres; chaque tuyau porte 53 ailettes venues de fonte avec lui; ces ailettes ont 195 millimètres de diamètre, elles sont espacées de 35 millimètres. La surface extérieure d'un tel tuyau est égale à 3^m2,08, soit 1^m2,54 par mètre courant de tuyaux.

Comme les précédents, lorsque ces tuyaux sont simplement placés dans les locaux et agissent sans le secours d'une ventilation mécanique, ils n'émettent que 3 à 5 frigories par mètre carré de leur surface extérieure (ou 30 à 40 frigories par mètre carré de leur surface intérieure) par heure et par degré d'écart entre la température du liquide réfrigérant et celle du local à refroidir.

Nous verrons plus loin que de tels tuyaux à ailettes (circulation de saumure) sont employés pour le refroidissement des chambres de l'entrepôt construit pour la *Société du Frigorifique de Monte-Carlo*.

10. Dégivrage des tuyaux. — L'humidité de l'air se dépose à l'état de givre sur les tuyaux producteurs de froid pendant le fonctionnement de l'installation. Or la glace est mauvaise conductrice de la chaleur, et le dépôt en question *diminue les échanges de chaleur entre le liquide réfrigérant et le milieu extérieur*. Si, par exemple, on se sert de tuyaux lisses, le nombre de frigories qu'ils émettent s'abaisse, *quand ils sont moyennement givrés, à 6 ou 7 frigories par mètre carré de leur surface moyenne, par heure et par degré centigrade d'écart entre la température du liquide réfrigérant et le local à refroidir. Il est donc nécessaire de dégivrer les tuyaux.*

Ce dégivrage peut s'effectuer par la manœuvre d'une valve, qui permet de se servir du réfrigérant comme condenseur. Mais cette manœuvre doit être effectuée avec beaucoup de soin, afin qu'il n'arrive pas de fluide froid dans le compresseur.

Lorsque le refroidissement se fait par circulation de saumure, le dégivrement des tuyaux se fait avantageusement de la manière suivante, qui est appliquée dans un grand nombre d'entrepôts frigorifiques, notamment à l'entrepôt frigorifique de la Bourse du Commerce à Paris¹.

On dispose à cet effet un réservoir D rempli de solution saline et qui est relié avec la pompe B (fig. 210). Les robinets *d* et *e* permettent de faire aspirer la pompe soit dans le réservoir C, soit dans le réservoir D. De même, la sortie de la solution peut être mise en communication avec les réservoirs C ou D par les robinets *f* et *g*.

La solution chaude que l'on emploie pour opérer le dégivrement est la même que celle qui sert, étant froide, à abaisser la température du faisceau tubulaire A. C'est la solution ordinaire de chlorure de calcium à 30 0/0 qui sert ainsi ou de véhicule au froid pour refroidir ou de véhicule de chaleur pour dégivrer.

On procède de la manière suivante.

On chauffe la solution saline dans le bac D jusqu'à une certaine température déterminée

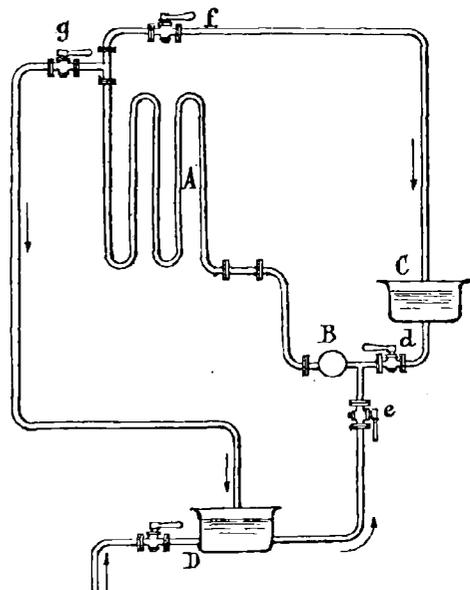


FIG. 210. — Dégivrage des tuyaux (Schéma de l'installation de l'entrepôt frigorifique de la Bourse du Commerce à Paris).

1. *L'Industrie frigorifique*, 2^e année, n° 49, décembre 1904.

par le volume des chambres, leur température, la capacité de leur tuyauterie. Lorsque la température convenable est atteinte, on dispose les robinets de façon à faire circuler le liquide chaud dans le faisceau tubulaire.

Au bout de quelques minutes, la gaine de glace se détache des tuyaux en formant une enveloppe qui n'est plus adhérente à ce dernier et dont on peut provoquer facilement la chute en donnant de légers coups sur la tuyauterie. On arrive ainsi, sans produire de l'humidité dans la chambre froide, sans élever sa température, à se débarrasser de la glace.

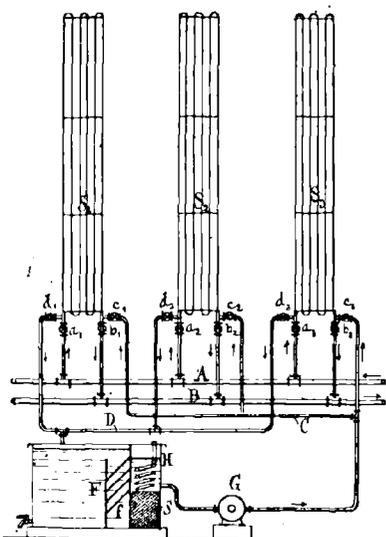


FIG. 211. — Dégivrage des tuyaux (Procédé Constanz Schmitz).

La circulation de la dissolution saline chaude peut se faire, comme le montre la figure 210, par le moyen de la pompe de l'installation; on pourrait également recourir à une pompe supplémentaire. Si le réservoir D se trouvait au-dessus du faisceau tubulaire A, la circulation de la dissolution chaude dans ce faisceau tubulaire pourrait être produite par la gravité.

M. Constanz Schmitz a indiqué un type d'appareil dégivreur qui est représenté sur la figure 211. Il a pour but de dégivrer et en même temps d'enlever les dépôts qui se produisent sous forme d'incrustations dans l'intérieur des tuyaux où circule de la saumure froide. Dans ce but, on fait circuler de la saumure chaude *en sens inverse* de la saumure froide en ayant soin de donner à ce courant de liquide chaud une vitesse suffisante pour produire une chasse dans les tuyaux : le dégivrage se produit alors et les boues sont entraînées.

Sur la figure 211, on voit en :

Sur la figure 211, on voit en :

S_1, S_2, S_3 , les groupes de tuyaux à circulation de saumure ;

$a_1 b_1$	} les robinets d'arrêt permettant de séparer	
$a_2 b_2$		
$a_3 b_3$		
		S_1, S_2, S_3 des conduites principales
		A et B de la saumure froide ;

C, D, les conduites de la saumure chaude ;

$c_1 d_1$	} les robinets permettant de mettre les	
$c_2 d_2$		
$c_3 d_3$		
		conduites C et D en communication
		avec S_1, S_2, S_3 ;

G, la pompe pour la saumure chaude ;

F, le réservoir duquel part la saumure et dans lequel elle revient après avoir traversé les tuyaux S_1, S_2, S_3 ;

f, s, les filtres pour séparer les boues de la saumure qui a circulé dans les tubes ;

H, le serpentin dans lequel circule de la vapeur pour réchauffer la saumure.

Si, par exemple, on veut dégivrer et nettoyer intérieurement le groupe de tuyaux S_1 , on ferme les robinets a_1 et b_1 , on ouvre les robinets c_1 et d_1 : la pompe G envoie un courant de saumure chaude qui circule avec une grande vitesse en sens inverse du sens du courant habituel de saumure froide. On continue à faire circuler ce courant chaud jusqu'à ce que le serpentin S_1 soit complètement dégivré et que l'eau revienne au bac F aussi exempt de boue que possible. Ce résultat obtenu, on ferme les robinets b_1 et d_1 , on ouvre

les robinets a_1 et b_1 , et on met ainsi le serpentin S_1 en relation avec les conduites principales de saumure froide A et B.

11. Refroidissement externe par détente directe ou par circulation de saumure dans des tuyaux. — Circulation naturelle de l'air. — Quand les tuyaux

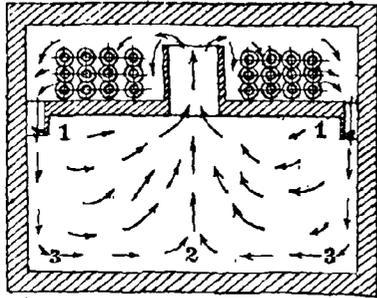


FIG. 212.
Refroidissement externe.

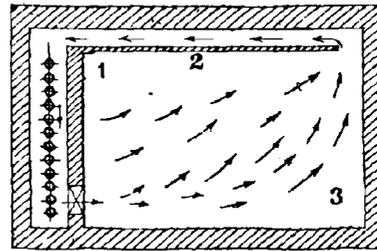


FIG. 213. — Disposition des tuyaux pour réaliser la réfrigération externe.

réfrigérants sont situés dans une enceinte qui est séparée de la chambre frigorifique et ne communique avec elle que par des ouvertures permettant l'entrée de l'air chaud et la sortie

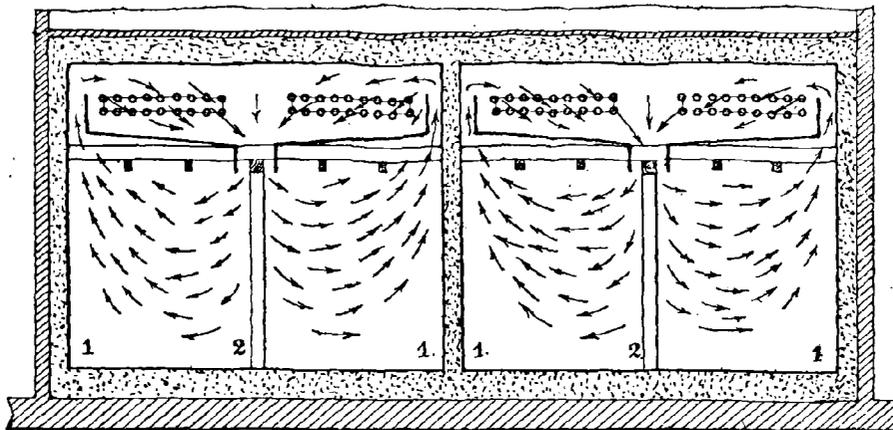


FIG. 214. — Autre disposition des tuyaux pour la production du refroidissement externe.

de l'air froid, on dit que le refroidissement est *externe*. Il peut d'ailleurs être à détente directe ou à circulation de liquide incongelable dans des tuyaux.

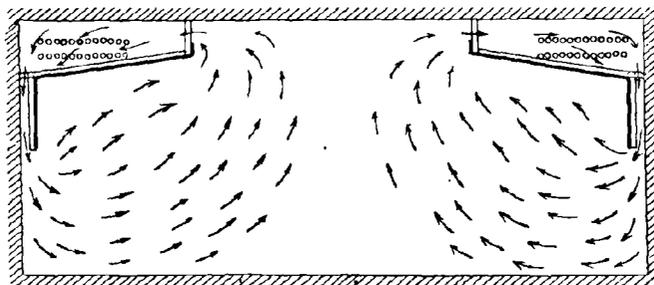


FIG. 215. — Mode d'agencement des tuyaux pour refroidissement externe.

Les figures 212, 213, 214, 215, 216, 217 représentent divers modes d'installation des tuyaux réfrigérants.

Ces dispositifs conviennent très bien pour réaliser, si l'on veut, le filtrage de l'air intro-

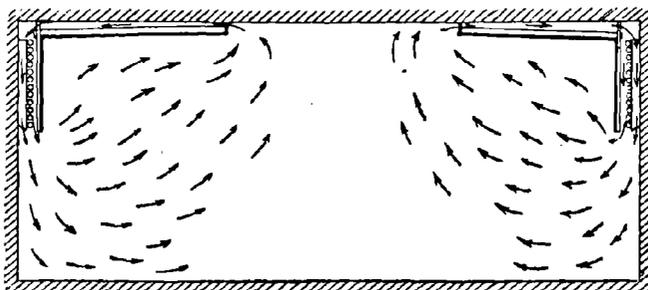


FIG. 216. — Disposition des tuyaux pour refroidissement externe.

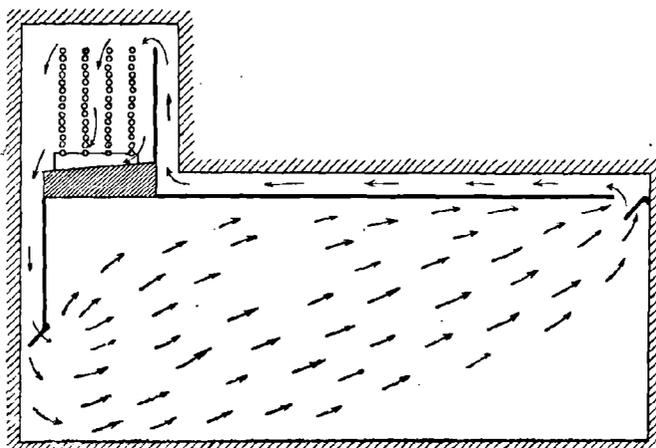


FIG. 217. — Dispositif des tuyaux pour refroidissement externe (Méthode de St. Clair).

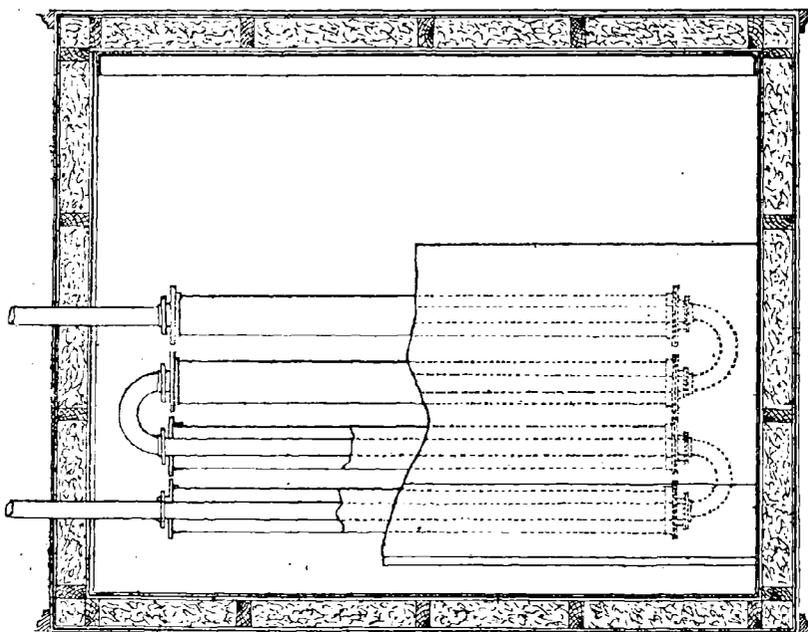


FIG. 218. — Installation de circulation de saumure de la maison Stamford de Londres (Petites installations frigorifiques de laiterie).

duit dans les chambres et enlever l'eau qui dégoutte des tuyaux lors du dégel sans que cette eau introduise dans la chambre frigorifique des germes d'infection.

La figure 218 représente une installation de circulation de saumure établie par la maison *Stamford* de Londres, et qui convient très bien aux petites chambres frigorifiques dans lesquelles on conserve des aliments, par exemple du beurre. Les tuyaux à l'intérieur desquels circule la saumure sont entourés d'un tuyau plus gros; entre les deux tuyaux se trouve un liquide. La saumure qui circule dans le tuyau intérieur est à une température d'environ -9° ; elle refroidit l'air de la chambre à environ $1^{\circ},5$. Quand cette température est atteinte, l'excédent de frigories fournies par la saumure est employé à congeler le liquide intermédiaire. Dès qu'on cesse la circulation du liquide incongelable, l'anneau de glace produit son effet et maintient pendant quelque temps la chambre à la température voulue sans qu'on ait besoin de faire fonctionner la machine frigorifique. Ces tuyaux *accumulateurs de froid* sont très utiles pour les petites installations frigorifiques de laiterie.

12. Inconvénients que présentent les installations frigorifiques avec circulation naturelle d'air. — Toutes les installations frigorifiques avec circulation naturelle d'air présentent l'inconvénient du déplacement à peine sensible de l'air, résultant des faibles différences de température qui se produisent dans les locaux. Cela est avantageux lorsqu'il s'agit de rafraîchir un local et non pas de dessécher les marchandises qu'on veut y conserver; ce dernier but n'est réalisable qu'avec une circulation rapide et de fréquents changements d'air. Le refroidissement par circulation naturelle de l'air s'applique donc parfaitement aux caves de brasserie où, en raison des masses de liquide qu'elles renferment, on ne peut songer à dessécher l'air; il s'applique aussi aux petites et moyennes chambres frigorifiques de laiterie, dans lesquelles le beurre ne doit séjourner que quelques jours. Il en est autrement pour les *denrées alimentaires facilement périssables (viande, poisson)*, dont la conservation nécessite un dessèchement au moins superficiel.

13. Circulation artificielle de l'air. — Il faut alors employer une *circulation artificielle de l'air*.

Les tuyaux producteurs du froid sont placés dans un local spécial communiquant, d'une part, avec les conduites de distribution de l'air froid et, d'autre part, avec les tuyaux d'aspiration de l'air chaud. Le ventilateur est placé dans le canal principal d'aspiration. Le travail consommé¹ par le ventilateur est d'autant plus faible que la section des conduits est plus grande et que ceux-ci présentent moins de coudes. Quand cela est possible, l'espace contenant les tubes producteurs de froid doit être placé au-dessus des chambres à refroidir, afin de profiter de la vitesse que communiquent à l'air ascendant et descendant les différences de température pour diminuer la puissance à fournir au ventilateur. Cela est d'autant plus important que plus on fournit de puissance au ventilateur, plus on le fait tourner vite, et

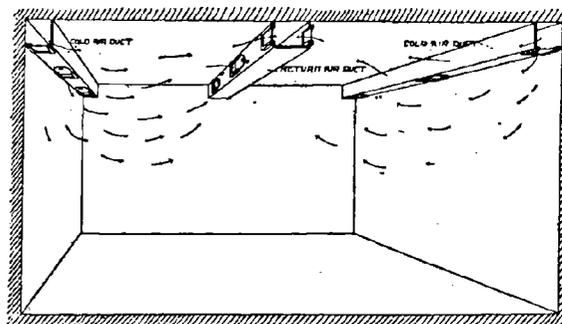


FIG. 219. — Circulation artificielle de l'air.

Cold air duct, Conduit d'air froid; — Return air duct, Conduit de retour de l'air.

1. On peut admettre, dans des conditions normales, et pour une vitesse de l'air de 4 à 5 mètres par seconde dans les canaux principaux, que la puissance consommée par le ventilateur est de 0,15 à 0,25 cheval pour un déplacement d'air de 1.000 mètres cubes à l'heure, ce qui occasionne une élévation de température nuisible de $0^{\circ},3$ à $0^{\circ},4$. Si l'on double la quantité d'air déplacé et, par conséquent, la vitesse du ventilateur, la puissance à lui fournir et la quantité de chaleur produite seront quadruplées.

plus est grande la quantité de chaleur communiquée à l'air et diminuant l'effet frigorifique.

Comme ventilateurs, il est préférable d'employer les machines soufflantes axiales ou à vis d'Archimède plutôt que les ventilateurs centrifuges qui, à cause des étranglements se rencontrant sur le parcours de l'air et des nombreux changements de direction, absorbent plus de puissance que les appareils du premier type.

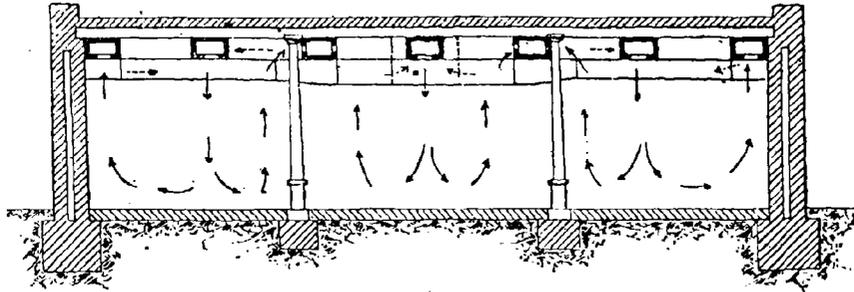


FIG. 220. — Circulation artificielle de l'air.

Grâce au ventilateur et aux canaux de distribution et d'aspiration de l'air, on a entièrement en main la ventilation des chambres frigorifiques.

Les canaux exécutés à l'origine en tôle étamée sont maintenant exclusivement en bois imprégné de sulfate de fer; on leur donne une forme parallélépipédique et on les fixe en général au plafond des chambres (fig. 219). L'air froid arrive dans ces dernières par des bouches placées à la partie inférieure des canaux de distribution, tandis que l'air chaud s'échappe, en général, par des orifices pratiqués dans les parois latérales des canaux d'aspiration, plus rarement à leur partie supérieure ou inférieure. Des registres visibles sur la figure 219 permettent d'obturer plus ou moins les canaux d'aduction de l'air froid et de sortie de l'air chaud. Si l'extension des chambres frigorifiques nécessite un

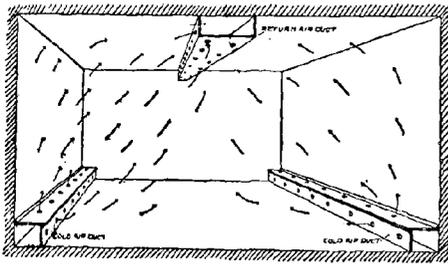


FIG. 221. — Circulation artificielle de l'air.
Méthode de Madison Cooper.

Cold air duct, Conduit d'air froid; — Return air duct, Conduit de retour de l'air.

réseau multiple de canaux, on fait alterner les conduites de distribution et d'aspiration, de manière à provoquer un déplacement d'air tel que l'indique la figure 220. Comme le fait remarquer avec raison Madison Cooper (*Practical Cold Storage*, p. 141), le dispositif représenté sur la figure 219 a l'inconvénient de rendre déficiente la circulation d'air froid entre les marchandises arrimées au voisinage du sol de la chambre frigorifique. L'air venant des conduits d'air froid se dirige en effet vers les tuyaux de sortie de l'air chaud en suivant un chemin de moindre résistance; la circulation près du plancher laisse donc à désirer. Pour la produire dans des conditions convenables, on est obligé d'envoyer dans la chambre un fort courant d'air sec, qui produit un assèchement superficiel trop considérable.

Aussi les dispositifs représentés sur les fig. 221 et 222 sont-ils préférables à celui de la fig. 219

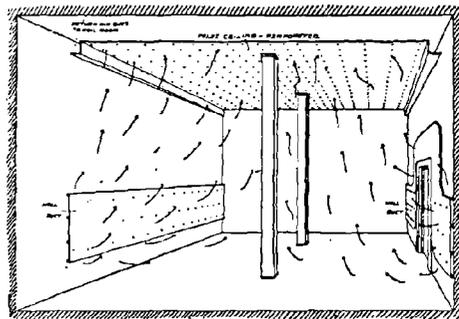


FIG. 222. — Mode de circulation artificielle de l'air proposé par Madison Cooper.

Wall duct, Conduits d'amenée de l'air disposés contre le mur; — Return air duct to coil room, Conduit de retour de l'air au réfrigérant à tuyaux; — False ceiling, Perforated, Faux plafond percé de trous.

Dans le cas du refroidissement externe comme dans celui du refroidissement interne, le principal inconvénient de l'emploi de tuyaux est le dépôt de givre qui peut se produire sur les parois de ces tubes.

Si le refroidissement se fait par circulation de saumure, on peut employer pour le dégivrage les procédés dont nous avons plus haut indiqué le principe.

14. Refroidisseur Fixary. — Dans le cas où le refroidissement se fait par détente directe, on peut employer le système Fixary qui est représenté sur les figures 223 et 224.

Le refroidisseur Fixary se compose de trois groupes de serpentins, enfermés dans les

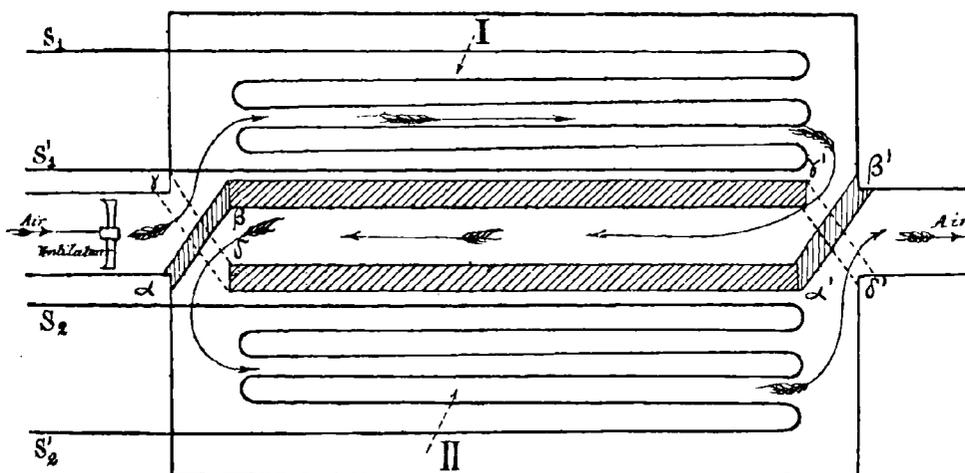
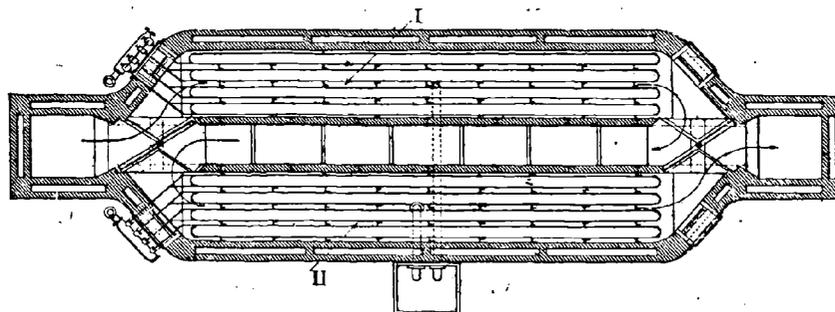


FIG. 223. — Schéma du réfrigérant Fixary.

compartiments d'une chambre ou d'un coffre contigu à la chambre frigorifique et prolongée par le tambour d'un ventilateur puissant. Deux groupes de serpentins d'égale importance



Cliché de « la Revue de Mécanique ».

FIG. 224. — Refroidisseur Fixary.

I et II occupent la moitié supérieure du coffre; le troisième, à surface plus étendue, et logé dans la moitié inférieure, n'est pas visible sur la figure schématique. Des robinets sont disposés de façon à faire passer le liquide frigorifique venant du condenseur dans un ou plusieurs serpentins. Un ventilateur aspire l'air des chambres froides de façon à l'obliger de parcourir les trois compartiments.

Considérons d'abord les deux groupes I et II. Dans le cas de la figure, le serpentin II ($S_2S'_2$) sert de réfrigérant; le liquide frigorifique y est vaporisé; le serpentin I ($S_1S'_1$) est inactif, sa surface est recouverte de givre provenant d'une opération précédente; la surface du serpentin II n'est pas givrée.

L'air chaud venant des chambres de réfrigération circule d'abord autour du serpent S₁S'₁; il se refroidit en fondant le givre. Cet air refroidi circule ensuite autour du serpent S₂S'₂ avant de se rendre de nouveau dans les chambres. Lorsque le serpent II est givré, on cesse d'y faire passer du liquide réfrigérant que l'on envoie dans le serpent I; on tourne les vannes $\alpha\beta$ et $\alpha'\beta'$ dans les positions $\gamma\delta$ et $\gamma'\delta'$; l'air circule en sens inverse du sens précédent. Quant à l'eau provenant de la fusion de la glace déposée sur les serpents, on l'évacue au moyen d'un purgeur.

Le serpent inférieur sert toujours de réfrigérant : l'air ne circule au contact de sa surface qu'en dernier lieu quand il est déjà débarrassé de son humidité et refroidi au moins à 0° par l'un des serpents supérieurs. Il ne peut donc déposer qu'une couche de givre très mince sur le troisième serpent.

On voit donc que, pour que le serpent soit dégivré, il faut que l'air venant de la chambre ait une température supérieure à 0° C. Ce dégivrement n'est pas possible avec l'air venant de chambres où la température est maintenue à plusieurs degrés au-dessous de zéro. Dans ce dernier cas, on peut employer le procédé Linde, qui consiste à faire fonctionner, comme condenseurs, les serpents réfrigérants.

Lorsque les tuyaux producteurs de froid sont ainsi groupés, on peut compter :

a) Pour des tuyaux lisses :

Sur une absorption de 15 à 25 calories (suivant le dispositif de l'appareil et la vitesse de l'air) par mètre carré de leur surface extérieure, par heure et par degré centigrade d'écart entre la température du liquide réfrigérant et celle de l'air qui circule autour des tuyaux.

b) Pour des tuyaux à ailettes (12 ailettes de 180 millimètres au mètre courant) :

Sur une absorption de 6 à 10 calories par mètre carré de leur surface extérieure, par heure et par degré centigrade d'écart entre la température du liquide réfrigérant et celle de l'air circulant autour des tuyaux.

15. Principe des frigorigères (Mignon et Rouart¹). — Dès 1875, Mignon et Rouart ont indiqué une méthode de refroidissement de l'air, qui consiste à produire une sorte de filtration directe de cet air à travers un liquide incongelable maintenu à basse température. Ce contact intime établi entre l'air et une solution saline refroidie a l'avantage de le dessécher et de le purifier.

On sait, en effet, qu'à une température déterminée la tension maxima de la vapeur d'eau émise par une dissolution saline est inférieure à la tension maxima de la vapeur d'eau émise par de l'eau pure; de plus, la différence entre ces deux tensions maximum est d'autant plus grande que la dissolution est plus concentrée.

Soient F₀ la tension maxima de la vapeur d'eau émise par de l'eau pure à une certaine température;

F, la tension maxima de la vapeur d'eau émise par une dissolution saline à cette même température;

P, le poids en kilogrammes du sel dissous dans 100 kilogrammes d'eau;

M_s, le poids moléculaire du sel dissous;

M_e = 18, le poids moléculaire de l'eau;

k, une constante.

On donne aux quotients

$$\frac{P}{M_s} = n, \quad \frac{100}{M_e} = n',$$

1. MIGNON et ROUART, Procédé pour obtenir le refroidissement artificiel de masses d'air considérables par le contact avec un liquide refroidi (Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, t. LXXXI, 18 octobre 1875).

les noms de nombre de molécules du sel dissous et de nombre de molécules d'eau. L'expression

$$N = \frac{n}{n + n'} \times 100$$

reçoit le nom de nombre de molécules de sel dissoutes dans 100 molécules de dissolution.

Raoult a énoncé la loi suivante :

Dans des limites de concentration assez étendues, la diminution relative de la tension maxima de la vapeur d'eau est proportionnelle au rapport du nombre de molécules du sel dissous au nombre total des molécules de la dissolution.

Cette loi s'exprime par la formule

$$(1) \quad \frac{F_0 - F}{F_0} = k \frac{n}{n + n'}$$

Or cette formule peut s'écrire

$$(2) \quad \frac{F_0 - F}{F_0} = \frac{k}{100} \cdot \frac{n}{n + n'} \times 100 = \frac{k}{100} \times N.$$

On peut donc énoncer la loi précédente sous la nouvelle forme.

Dans des limites de concentration assez étendues, la diminution relative de la tension maxima de la vapeur d'eau est proportionnelle au nombre de molécules dissoutes dans 100 molécules de dissolution.

Si la dissolution n'est pas trop concentrée, on peut négliger dans $(n + n')$, n devant n' et écrire la formule précédente

$$(3) \quad \frac{F_0 - F}{F_0} = k \frac{n}{n'} = k \frac{\frac{P}{M_s}}{\frac{100}{M_e}} = k \frac{M_e}{100 M_s} \times P$$

ou, en posant

$$(4) \quad a = k \frac{M_e}{100 M_s}$$

$$(5) \quad \frac{F_0 - F}{F_0} = a \times P.$$

La diminution relative de la tension de vapeur est proportionnelle au poids de sel dissous, le coefficient de proportionnalité représentant la diminution relative de la tension de vapeur correspondant à la dissolution de 1 kilogramme de sel dans 100 kilogrammes d'eau.

Cette dernière loi est connue sous le nom de *loi de Willner*. Pour des concentrations (poids de sel dissous dans l'unité de poids de la dissolution) variant entre 0,10 et 0,25 (P variant entre 11,11 et 33,33] on peut prendre $a = 0,006$ pour le sel marin et 0,00635 pour le chlorure de calcium.

Considérons une dissolution de sel marin contenant 20 0/0 de sel (cas des dissolutions salines employées dans les applications qui nous intéressent ici); 100 kilogrammes de dissolution contiennent donc 80 kilogrammes d'eau et 20 kilogrammes de sel marin; il y aurait par suite 25 kilogrammes de sel dissous dans 100 kilogrammes d'eau. L'équation (5) donne alors

$$(6) \quad \begin{aligned} F_0 - F &= 0,006 \times 25 \times F_0 = 0,15 F_0 \\ F &= 0,85 F_0. \end{aligned}$$

De ces considérations résulte immédiatement la conséquence suivante.

Si de l'air à la température T et dont l'état hygrométrique est E se trouve en présence de la dissolution à la même température et si la tension EF' de la vapeur d'eau dans cet air

est supérieure à la tension maximum F de la vapeur émise par la dissolution, la vapeur d'eau contenue dans l'air se condensera jusqu'à ce que l'on ait $EF' = F$.

En mettant en contact de l'air chaud avec une dissolution refroidie d'un sel quelconque, non seulement on refroidit cet air, mais on le dessèche. En même temps on le purifie, les microorganismes restent avec les poussières dans la saumure.

16. Recherches de MM. Stetefeld, Baier et Bongert sur l'action désinfectante exercée sur l'air par la saumure des frigorifères. — MM. Rich. Stetefeld, D^r Baier, D^r Bongert ont publié récemment les résultats d'expériences importantes entreprises sur l'action désinfectante exercée par la saumure des frigorifères sur l'air des chambres froides¹. Les résultats obtenus soit par des essais de laboratoire, soit par des essais sur des frigorifères en marche industrielle sont les suivants :

1° La saumure employée dans les frigorifères et qui contient 20 0/0 de sel empêche le développement des bactéries et des moisissures qui y sont contenues; elle tue au bout de quelques semaines les germes des moisissures exemptes de spores. Mais les spores résistants conservent pendant plusieurs années au sein de la saumure leurs facultés de développement.

2° Quand on fait passer de l'air infecté par des moisissures ou des bactéries au travers de la saumure stérile, celle-ci retient tous ces microorganismes.

En même temps cette saumure est un milieu d'absorption intense pour les gaz odorants, en particulier pour l'ammoniaque.

L'accroissement de la teneur en bactéries de la saumure au travers de laquelle on fait circuler de l'air infecté est une autre preuve de l'action désinfectante exercée par cette saumure.

3° On peut se demander si de l'air stérile garde son intégrité après son passage au travers d'une saumure contenant une grande quantité de microorganismes. Nous avons vu, en effet, que ceux-ci peuvent vivre très longtemps dans la saumure; la question qui se pose ici est donc très importante. Elle a été l'objet d'expériences très soignées.

Elles ont montré que les bactéries ne se transmettent pas de la saumure à l'air. Si de l'air stérile est infecté par son passage au travers de la saumure, cela tient à l'entraînement par le courant d'air trop violent de petites particules de saumure. Ces particules forment alors de nouvelles colonies de bactéries à l'endroit où elles se déposent. La possibilité d'infection de l'air par la saumure se rapporte aux cas dans lesquels des gouttes de saumure sont entraînées par le courant d'air.

Ce fait a été parfaitement démontré par l'expérience; les plaques de culture sur lesquelles avait passé, après avoir traversé la saumure, l'air *seul* étaient indemnes; celles sur lesquelles l'air, après son passage au travers de la saumure, avait déposé des parcelles de saumure, étaient contaminées.

Ce fait explique un singulier résultat d'expérience obtenu avec le frigorifère à ruissellement (système Borsig) du nouvel abattoir des porcs de Berlin. On trouva que l'air froid sortant du frigorifère était plus riche en bactéries que ne l'était l'air provenant des salles de conservation immédiatement avant son retour au frigorifère. L'explication de cette singulière circonstance réside dans ce fait que de petites particules de saumure sont entraî-

1. R. STETEFELD, DR. BAIER, DR. BONGERT, *Untersuchungen über die hygienische Bedeutung der Kühlanlagen mit offener Salzwasserkühlung* [Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie, 12^e année, fasc. 4, avril 1905]. Ces expériences ont été également publiées dans *Ice and Cold Storage*, 1905, VIII, 101. On en trouve un très bon compte rendu dans *la Glace et les Industries du Froid*, 2^e année, n^o 5 et 7, mai et juin 1905.

nées du réfrigérant par l'air et que cette pluie de saumure infectée ensemence les plaques de culture. En effet, les colonies trouvées sur les plaques étaient très nombreuses, ce qui n'avait rien d'étonnant, car la saumure en question contenait de 1.800 à 2.000 germes par centimètre cube. D'autre part, ces bactéries étaient exactement de même nature que celles trouvées dans la saumure. Enfin, en disposant un miroir bien brillant dans le canal d'amenée de l'air froid ayant traversé la saumure, il était facile de voir qu'au bout de peu de temps la surface de ce miroir était recouverte d'une buée dans laquelle on pouvait, au moyen du nitrate d'argent, facilement reconnaître la présence du chlorure de sodium de la saumure.

4° La plus grande partie des gouttes de saumure entraînées par l'air froid qui a traversé la saumure du frigorifère se dépose sur les parois du canal d'amenée de cet air froid. Cette précipitation est favorisée par les coudes que peut faire ce canal dans son parcours.

Cependant, si l'on veut précipiter complètement les particules de saumure avant l'entrée dans les chambres froides, il convient de disposer sur son trajet un bon séparateur. Une toile métallique à très petites mailles ne remplit pas cet office. Une haie épaisse formée de branches de bouleau donne au contraire un bon résultat. On a pu recueillir ainsi dans une haie, en trois heures, 2 litres de saumure précipitée; cela peut donner une idée sur la masse de saumure que l'air peut entraîner ainsi.

Par la séparation de ces particules, l'air entre dans les chambres froides pur et presque stérile.

Ces essais ont montré de plus que, dans ces conditions, l'air des chambres froides contient un plus petit nombre de germes que l'air environnant, à quelque place que ce soit.

5° Quand une saumure a été ainsi infectée par le passage de l'air, on peut la régénérer à peu près exempte de bactéries en la laissant reposer; toutes les impuretés se déposent sous la forme d'un précipité brun rouge. En soutirant la partie supérieure claire, on a de la saumure à peu près stérile. La couleur brun rougeâtre du précipité tient à la présence d'oxyde de fer.

6° Les expériences faites avec le frigorifère à ruissellement du nouvel abattoir à porcs de Berlin ont été reprises avec le réfrigérant sec Humboldt (genre Fixary), installé dans le frigorifique du Marché Central de Berlin.

Contrairement aux observations faites d'autre part par divers expérimentateurs¹, les expériences de M. Stetefeld semblent montrer que l'air froid sortant du réfrigérant Humboldt est plus contaminé que celui qui entre dans ce réfrigérant au sortir des chambres froides. De plus, l'air des chambres froides du marché contient plus de germes que l'air des chambres froides de l'abattoir.

D'après Stetefeld, une des causes de cet état de choses doit être attribuée à la grande sécheresse de l'air provenant des réfrigérants secs; cette sécheresse favorise l'accumulation de poussière qui, par suite de la grande rapidité du courant d'air, est facilement entraînée.

D'autre part, l'air qui doit être refroidi et purifié circule avec une grande vitesse autour des serpentins du réfrigérant. Dès lors, par rapport à la quantité d'air qui circule, la surface des serpentins est trop petite pour produire une séparation des moisissures. Si cette séparation était effective, on devrait trouver l'eau provenant du dégivrage fortement contaminée. Or, au Marché Central de Berlin, l'eau de dégivrage, reçue dans un bac en ciment, ne contient pas plus de 500 à 1.000 bactéries par centimètre cube; elle est claire sans être inodore et contient seulement quelques poussières.

1. MUSWACHER, *Erfahrungen aus dem Bau und Betriebe von Kühlanlagen*. (Berliner Tierärztliche Wochenschrift, 1902, n° 36); — RESOW, *Vergleichende Untersuchungen über den Keimgehalt der Kühlhausluft* (Zeitschrift für Fleisch- und Milchhygiene, 15^e année, janvier 1903, n° 4).

De plus, le système de réfrigérant sec n'est pas non plus l'idéal pour l'absorption des gaz. Les liquides sont en effet les seuls qui puissent absorber les gaz. L'absorption dans les réfrigérants secs ne peut donc avoir lieu quand l'humidité de l'air passe de la forme gazeuse à l'état solide; le givre des tuyaux n'est pas capable d'absorber les gaz.

Aussi Stetefeld conclut-il nettement à la supériorité en général des frigorifères sur les réfrigérants secs au point de vue de l'action désinfectante exercée sur l'air qui les traverse.

Cette dernière question ne semble pas complètement résolue. La Société Humboldt¹ fait reprendre les expériences par un bactériologiste éminent et se propose de démontrer que les conclusions de Stetefeld sont trop sévères pour les réfrigérants secs. Il convient donc, avant de se prononcer, d'attendre les résultats de ces nouvelles expériences et de la discussion à laquelle elles donneront naissance.

17. Divers types de frigorifères. — Proposons-nous maintenant de savoir en quoi consistent les divers types de *Frigorifères* qui sont employés.

On les distingue en :

- a) *Frigorifères à ruissellement* ;
- b) *Frigorifères à disques*.

18. Frigorifères à disques. — **Appareils Linde.** — L'appareil rotatif Linde est le type des *frigorifères à disques* (fig. 225). Il se compose d'un grand bac dans la partie inférieure duquel se trouve l'évaporateur *aA* noyé dans un bain incongelable.

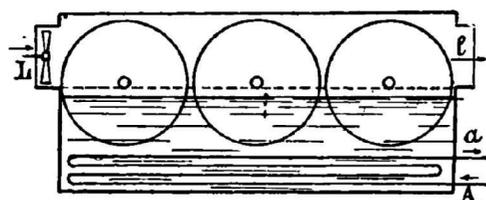
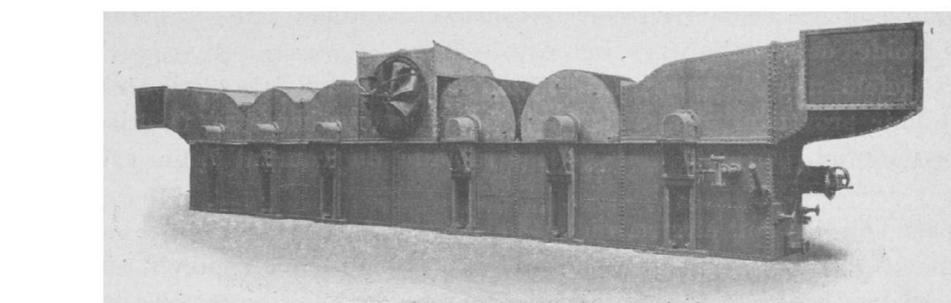


FIG. 225.

Schéma d'un frigorifère à disque type Linde.

Au-dessus de ce bac sont disposés plusieurs axes portant chacun un grand nombre de disques en tôle mince, d'un diamètre maximum de 2 mètres représentant une surface considérable dont le 1/3 ou le 1/4 environ plonge dans le bain. Ces disques sont animés d'un mouvement de rotation très lent qui les maintient recouverts d'une couche d'eau salée, à une température très voisine de celle du bain. Un ventilateur *L* placé à l'origine de l'appareil aspire l'air chaud des locaux à refroidir et le refoule sur les disques au contact

desquels il se refroidit en abandonnant en même temps son humidité et les poussières ou organismes qu'il tient en suspension.



Cliché Linde.

FIG. 226. — Frigorifère Linde de l'abattoir de Mayence. Vue extérieure du frigorifère; côté du ventilateur.

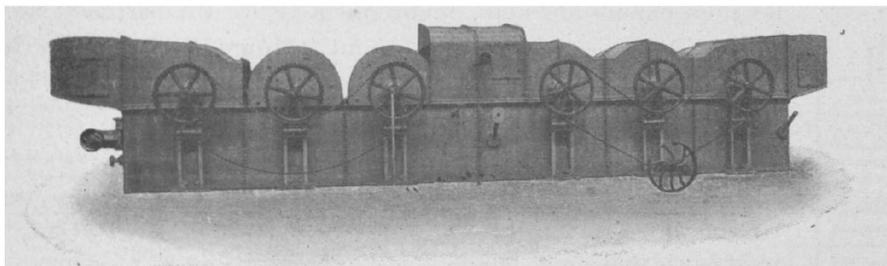
desquels il se refroidit en abandonnant en même temps son humidité et les poussières ou organismes qu'il tient en suspension.

Cet appareil offre une très grande surface sous un petit volume, une faible résistance au

1. *Eis und Kälte-Industrie*, Bd. VII, n° 2, 1905, p. 20.

passage de l'air; il supprime les éclaboussures et diminue l'entraînement par l'air de la dissolution.

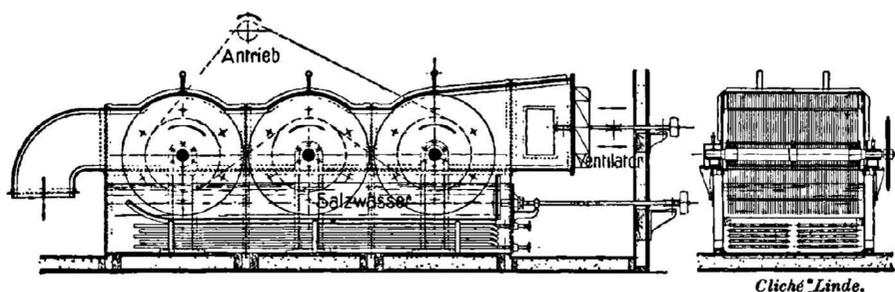
On peut compter avec cet appareil sur *une absorption de 7 à 8 calories par heure, par*



Cliché Linde.

FIG. 227. — Autre vue extérieure du frigorifère Linde de l'abattoir de Mayence; côté opposé au ventilateur.

mètre carré de la surface des plaques en contact avec l'air et pour 1° C. de différence de température entre l'air et la saumure, lorsque la surface des disques plongeant dans la saumure est le 1/3 ou le 1/4 de leur surface et lorsque les disques tournent avec une vitesse de 5 à 8 tours par minute. La puissance nécessaire pour faire tourner chaque axe porteur de disques



Cliché Linde.

FIG. 228. — Frigorifère Linde de l'abattoir de Mayence; coupe du frigorifère.
Antrieb, commande des disques; — salzwasser, saumure; — ventilator, ventilateur.

varie de 0,3 à 0,5 cheval effectif. Le ventilateur produit la circulation de l'air avec une vitesse de 1^m,5 à 2^m,5 par seconde et pour une section du passage offert à l'air égale à 1 mètre carré¹.

Les figures 226, 227 et 228 représentent un frigorifère de ce type installé par la Société Linde dans le frigorifique de l'abattoir de Mayence.

19. Frigorifères à ruissellement. — Le plus simple des *frigorifères à ruissellement* est représenté sur la figure 229. L'air arrive en L et sort en l; la saumure froide arrive en S et sort en s; le cylindre qui porte les plateaux doit être bien isolé contre la chaleur.

Le premier des frigorifères de ce type a été installé, en 1875, par MM. *Mignon et Rouart* pour la Manufacture royale de bougies de Hollande, à Amsterdam. Le frigorifère était constitué par un grand cylindre isolé muni d'un axe sur lequel étaient fixés des plateaux susceptibles de recevoir un mouvement de rotation et passant dans l'intervalle de disques fixés aux parois du cylindre. On faisait arriver sur le plateau supérieur une solution concentrée refroidie de chlorure de calcium; la force centrifuge la projetait contre les parois du cylindre, et les disques des parois la ramenaient sur le second plateau tournant où elle subissait une nouvelle dispersion; de cette façon on produisait une cascade continue de

1. D'après Lehnert, il faut de 1,5 à 2 mètres carrés de surface de disques pour chaque mètre carré de chambre froide d'un abattoir maintenue entre 0° et + 4° C.

liquide pulvérisé au travers de laquelle on faisait circuler l'air au moyen d'un ventilateur. En employant un ventilateur débitant 20.000 mètres cubes d'air à l'heure et une machine à absorption à ammoniacque (type Carré) de 60.000 frigories-heure, on put, dans les jours les plus chauds de l'été, maintenir à 12° C. un bâtiment de 50^m,20 de long, 14^m,54 de large, 4^m,18 de haut (volume, 3.051 mètres cubes), dans lequel on introduisait journellement 15.000 kilogrammes d'huile chaude à 60°.



FIG. 229. — Schéma d'un frigorifère à ruissellement.

La figure 230 représente le schéma d'un frigorifère à ruissellement construit par la maison *A. Borsig* de Berlin-Tegel, dans lequel la saumure est refroidie par le serpentin *aA* dans l'enceinte où se trouvent les étagères sur lesquelles ruisselle la pluie de cette saumure.

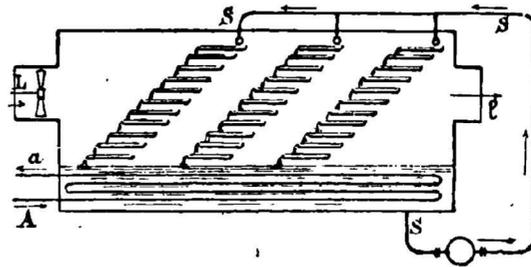


FIG. 230. Schéma d'un frigorifère Borsig à ruissellement.

Un frigorifère de ce type installé par la firme *A. Borsig* à l'abattoir d'Offenbach est représenté sur la figure 231.

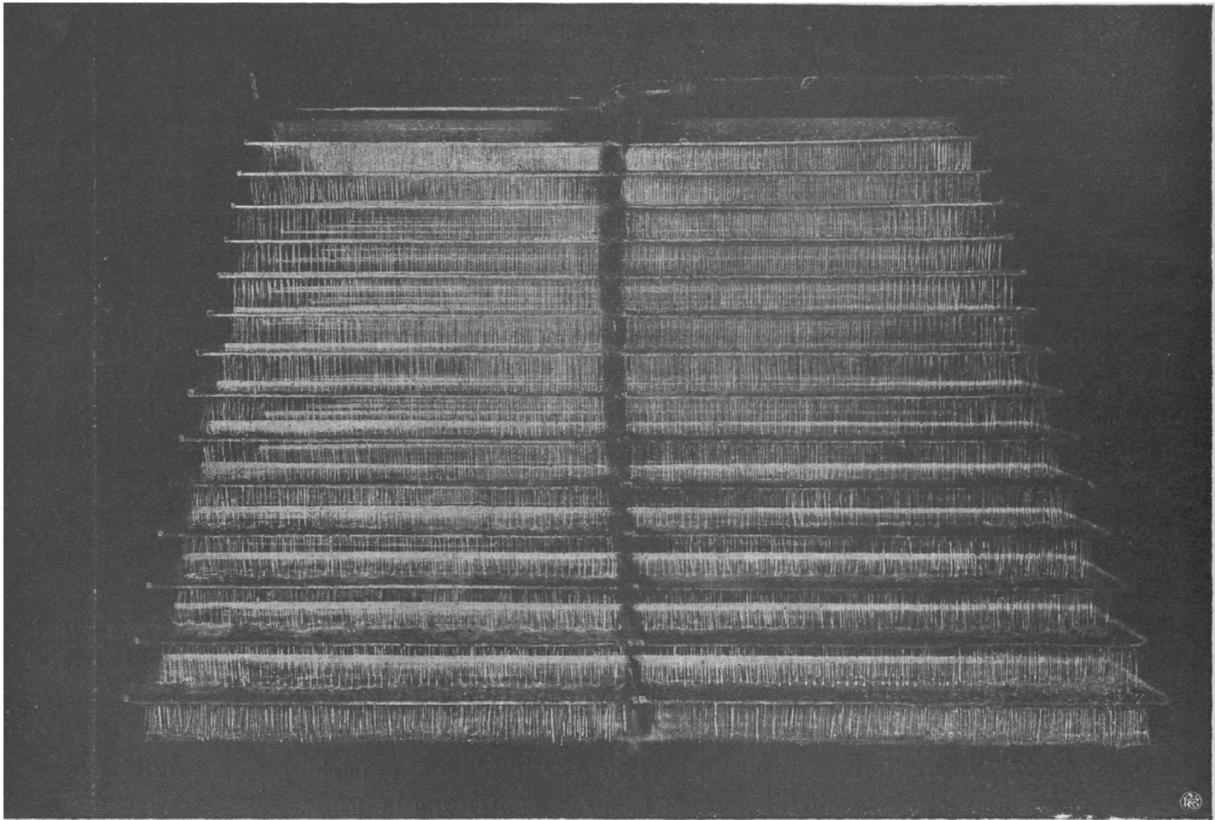
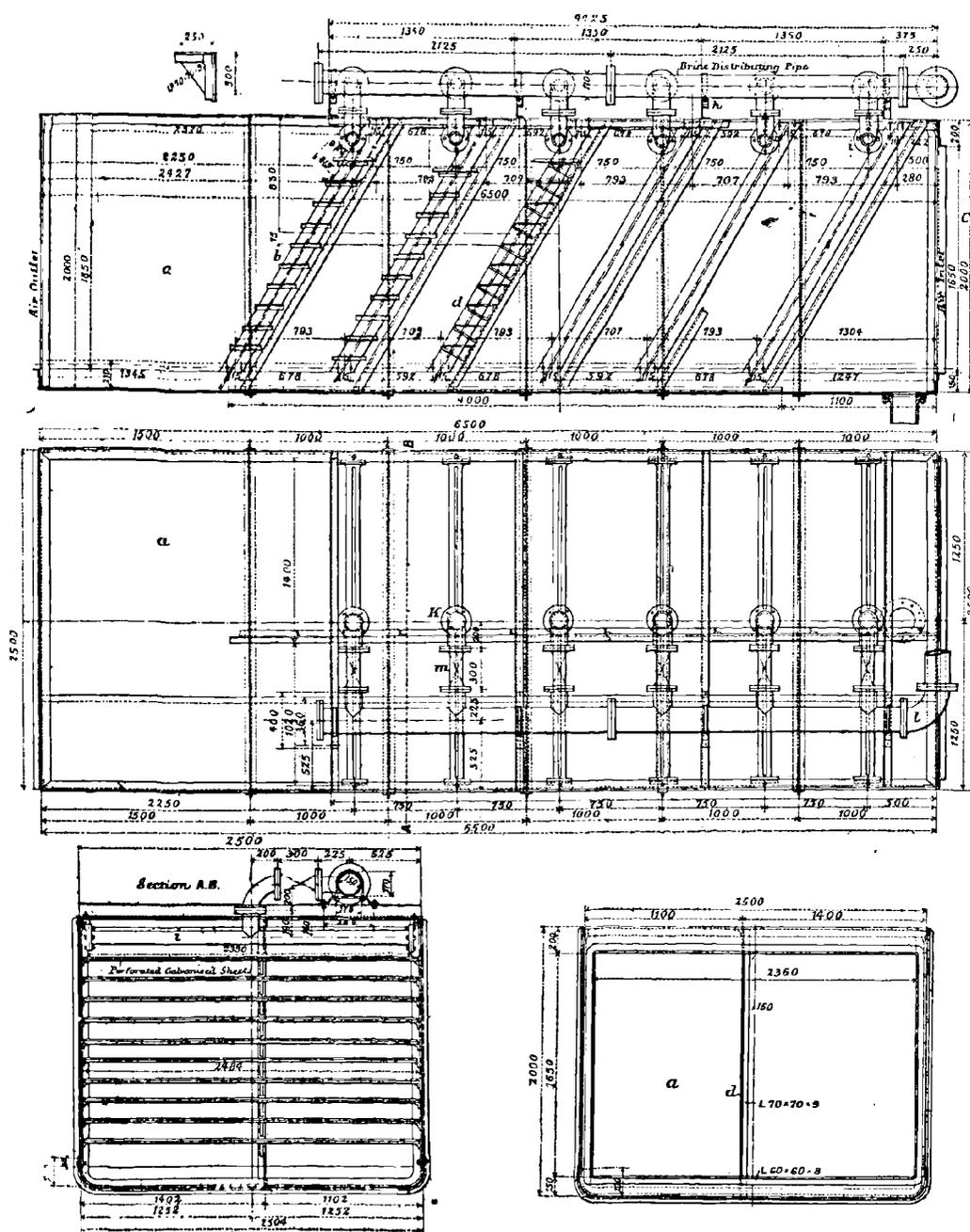


FIG. 231. — Frigorifère à ruissellement construit par la firme *A. Borsig* (Berlin) pour le frigorifique de l'abattoir d'Offenbach.

La figure 232 représente les détails de construction d'un frigorifère à ruissellement installé par la maison *Borsig* pour les abattoirs de Berlin. Il se compose d'un bac en tôle de

6^m,50 de longueur, 2^m,50 de largeur et 2 mètres de hauteur avec une série de gradins sur fers inclinés de 30° et percés de trous de 3 millimètres sur lesquels la saumure froide tombe en cascades au fond du bac. L'air à refroidir est envoyé sur



Cliché de « l'industrie frigorifique ».

FIG. 232. — Frigorifère à ruissellement construit par la Société A. Borsig pour les abattoirs de Berlin. Les cotes sont indiquées en millimètres.

Air Inlet, entrée de l'air; *Air Outlet*, sortie de l'air; *Brine Distributing Pipe*, Tuyau de distribution de la saumure; *Perforated galvanized Sheets*, plaques galvanisées perforées.

ces gradins par un ventilateur de 2 mètres de diamètre marchant à 300 tours. La capacité de chacun de ces frigorifères est de 335.000 frigories-heure.

D'après Stetefeld, avec un frigorifère à ruissellement, on peut compter sur une *absorption*

de 550 à 600 calories par mètre cube de l'espace où ruisselle la saumure, par heure et pour 1° C. de différence de température entre l'air et la saumure. Pour que l'air n'entraîne que le moins possible de gouttes de saumure (ce dont nous avons vu plus haut l'importance), il faut que sa vitesse de circulation à l'intérieur du frigorigère ne dépasse pas 1 mètre à 1^m,50 par seconde.

Enfin un certain nombre de constructeurs installent des frigorigères dans lesquels la so-

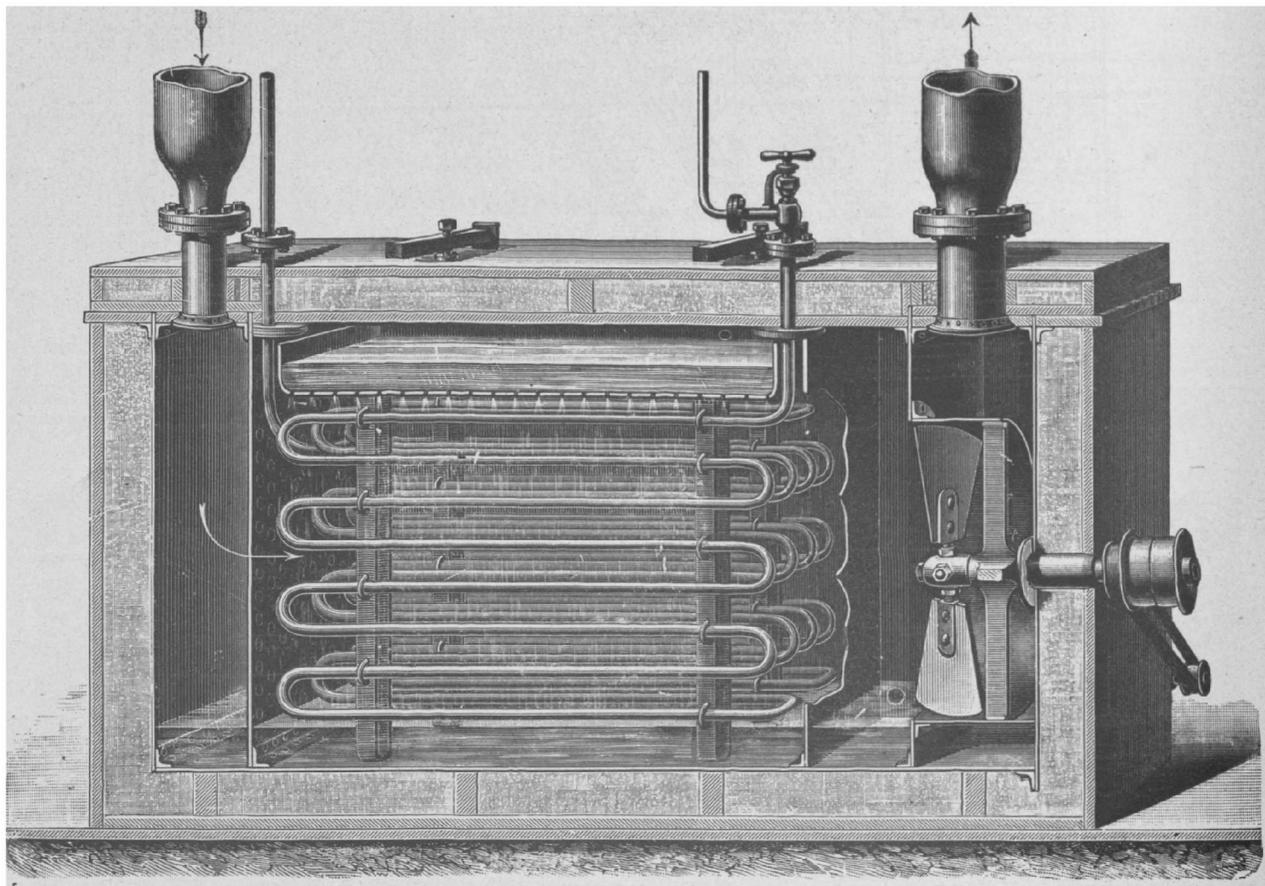


FIG. 233. — Frigorifère Mignon et Rouart (construit actuellement par la maison Grimault et Le Soufaché).

lution incongelable ruisselle sur les parois du serpentin dans lequel se produit l'évaporation du liquide frigorifique; cette solution se rassemble au bas du faisceau tubulaire dans un collecteur d'où elle remonte dans le tuyau de distribution à l'aide d'une pompe. La pluie du liquide incongelable a pour fonction de s'opposer à la formation du givre ou de détruire le givre formé par les serpentins en humidifiant ceux-ci et en absorbant la vapeur d'eau en suspension dans l'air à refroidir. La figure 233 représente un frigorigère de ce type construit par la maison *Grimault et Le Soufaché* (anciennement Mignon et Rouart).

20. Refroidissement mixte. — Actuellement on emploie souvent, pour refroidir les locaux d'un entrepôt frigorifique, le système de refroidissement interno-externe par action de la saumure, que l'on appelle aussi *Refroidissement mixte*.

Dans un grand nombre de cas, on applique cette méthode en employant un frigorigère intérieur ou extérieur à la chambre frigorifique et une circulation de saumure dans des tuyaux disposés dans cette chambre. De cette façon, on évite les variations de la température pendant l'arrêt des machines, la saumure contenue dans les tuyaux fournissant un volant

de froid, comme le montre nettement la belle étude de *M. Desvignes* sur le réchauffement des chambres d'un entrepôt frigorifique pendant l'arrêt des machines¹. On règle, d'autre part, le point hygrométrique au degré convenable, sans s'exposer à une trop grande sécheresse; on obtient dans toutes les parties de la chambre une température uniforme; on a sur les tuyaux une quantité minime de givre déposé et on brasse l'air d'une façon constante. *Ce refroidissement mixte est à recommander dans toutes les installations de conservation de denrées alimentaires.* Les figures 234 et 235 représentent une telle installation par *refroidissement mixte* faite par la *Société du Froid Industriel* à l'entrepôt frigorifique de Monte-Carlo².

21. Entretien des frigorifères. — L'entretien des surfaces métalliques, en contact avec le sel marin, surtout lorsque le degré de la solution dépasse 20° B., doit faire l'objet de soins constants, pendant la période de chômage. A l'état de repos, le sel finit par oxyder ces surfaces, et il est indispensable de les gratter soigneusement et de les enduire d'une ou plusieurs couches de peinture au minium.

D'autre part, comme la solution de chlorure absorbe l'humidité de l'air qui la traverse, il est indispensable de la concentrer périodiquement, par l'addition de sel par exemple.

22. Nombre de frigories à produire pour refroidir un espace déterminé. — **Premières règles pratiques pour avant-projet.** — Le nombre de frigories, qu'il est nécessaire de produire pour refroidir un espace déterminé, dépend d'un grand nombre de circonstances et de conditions, notamment des dimensions et de l'isolement des chambres à refroidir, de la fréquence des entrées et des sorties des produits conservés, de leur température à l'entrée; de la température à laquelle ils doivent être conservés, de leur nature et en particulier de leur chaleur spécifique, etc... Pour ces raisons, il est impossible de donner des règles générales, et les indications suivantes, qui peuvent être employées dans les calculs d'avant-projet, ne doivent être considérées que comme approximatives.

D'après Siebel³, si la température des chambres doit être maintenue au voisinage de 0° C., entre — 1° C. et + 2° C., on peut adopter les règles pratiques suivantes :

Pour les chambres froides de 30.000 mètres cubes et au dessus, il faut produire 8 à 16 frigories-heure par mètre cube;

Pour les chambres froides de 1.500 mètres cubes et au dessus, il faut produire 16 à 30 frigories-heure par mètre cube;

Pour les chambres froides de 30 mètres cubes et au dessus, il faut produire 25 à 50 frigories-heure par mètre cube;

Pour les chambres froides d'une capacité inférieure à 30 mètres cubes, il faut produire 75 à 150 frigories-heure par mètre cube.

Ces nombres sont relatifs aux *chambres vides*.

Si ces chambres sont remplies de *produits simplement réfrigérés*, il faut augmenter les nombres précédents de 50 0/0 de leur valeur.

Enfin, si les produits emmagasinés doivent être *congelés*, il faut doubler les nombres précédents.

23. Nombre de frigories nécessaires pour refroidir un espace déterminé. — **Règles pratiques plus précises.** — Parmi les quantités dont dépend le nombre

1. A. DESVIGNES, *Étude sur le réchauffement des entrepôts frigorifiques* (*L'Industrie frigorifique*, 3^e année, n° 31, décembre 1905).

2. Les plans du tuyautage de cette belle installation frigorifique nous ont été communiqués par M. Ch. Lambert, ingénieur à Paris, auquel nous adressons nos remerciements pour les nombreux renseignements qu'il a bien voulu nous communiquer.

3. SIEBEL, *Compend of Mechanical Refrigeration*, p. 173 (*Refrigeration required*).

PRODUCTION ET UTILISATION DU FROID

*Entrepôt frigorifique pour toutes denrées de la Société du Frigorifique de Monte Carlo
Plan du Rez-de-chaussée.*

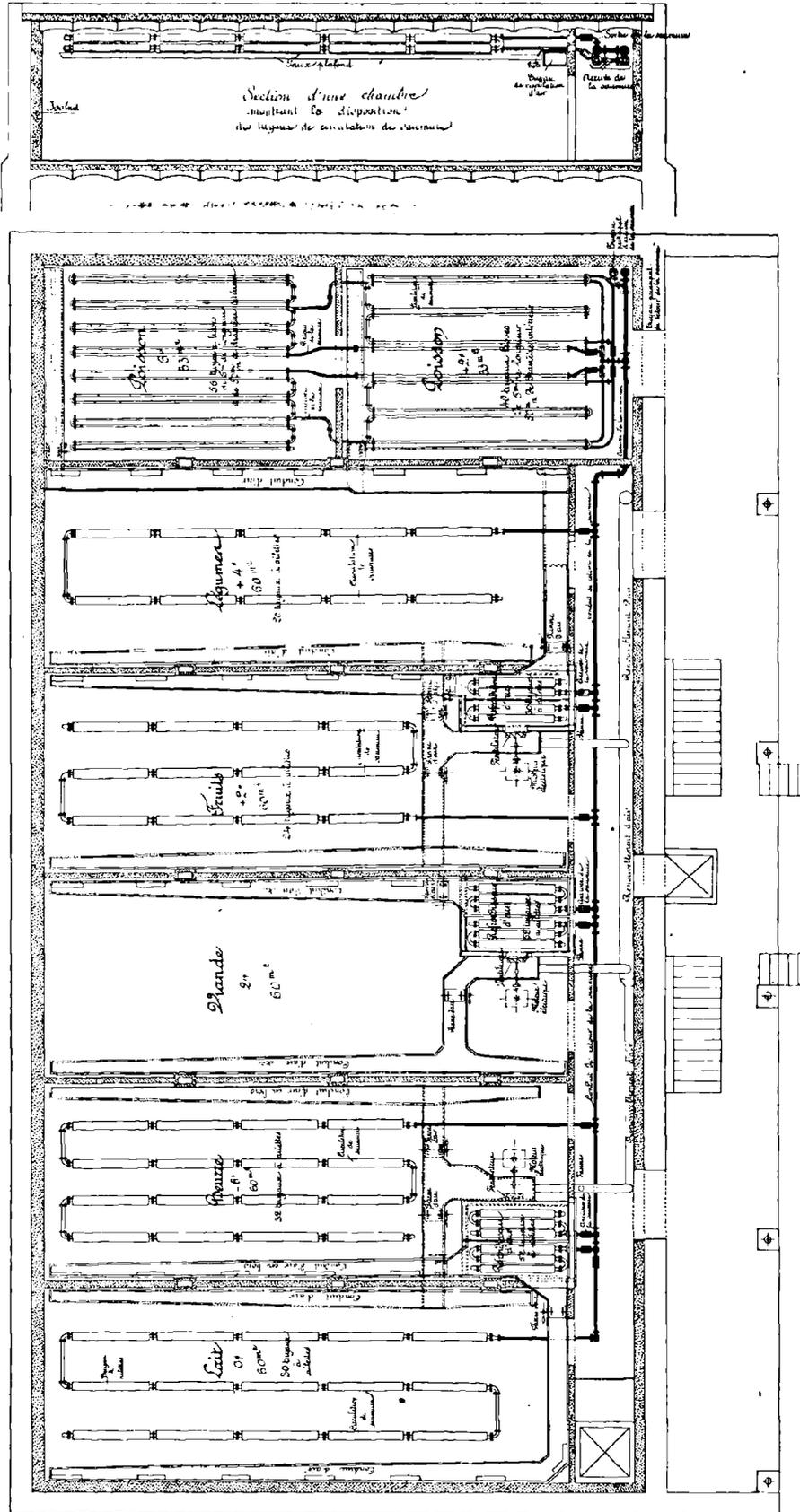


FIG. 234.

L'ENTREPOT FRIGORIFIQUE

Entrepôt frigorifique de la Société du Frigorifique de Monte-Carlo

Cave

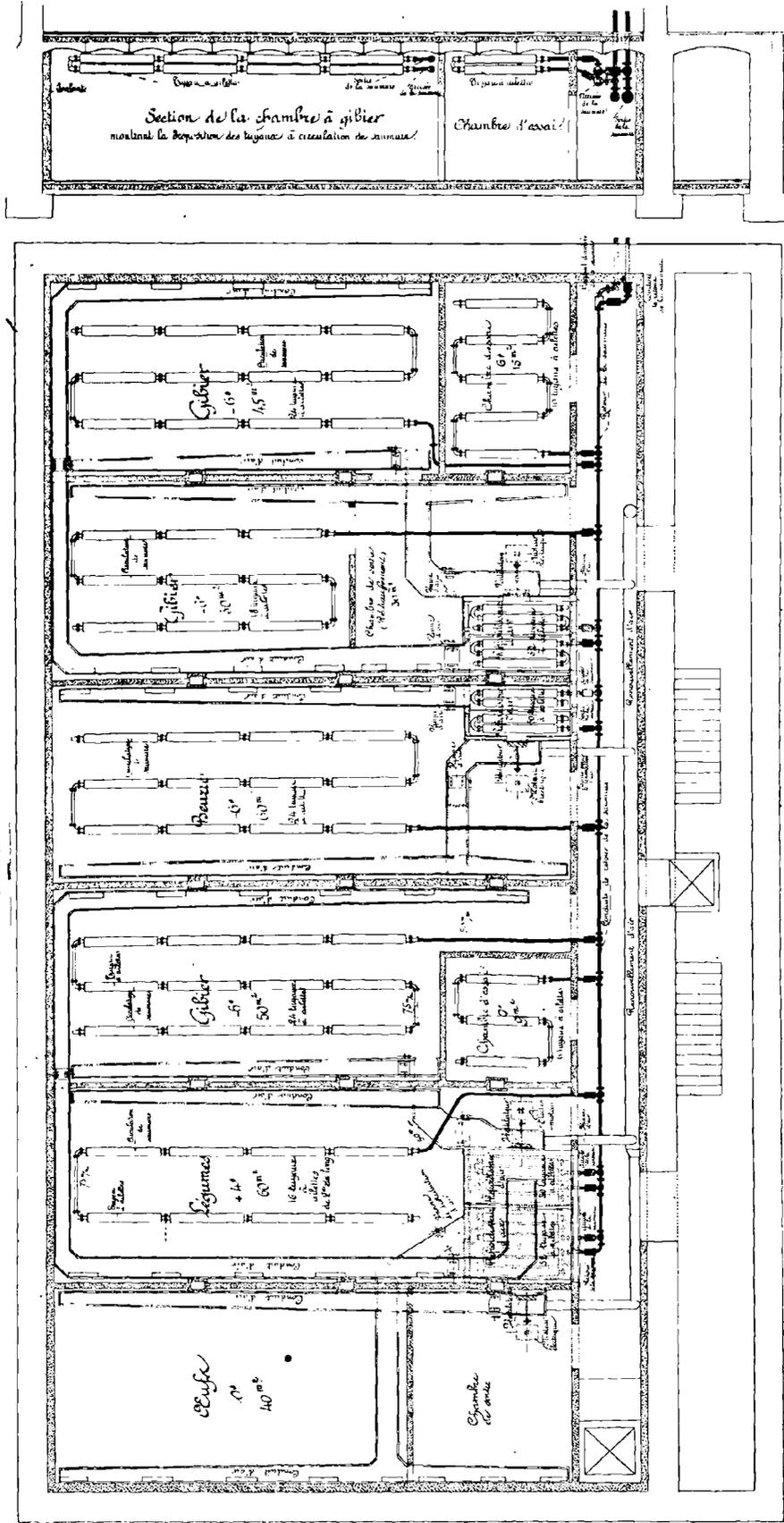


FIG. 235.

de frigories nécessaires pour refroidir une chambre, il convient de citer les dimensions des chambres, leur isolement, la température extérieure maxima et la température minima à l'intérieur.

Supposons une température moyenne maxima extérieure de 30° C.

Siebel¹ a dressé des tables pratiques intéressantes qui permettent de connaître rapidement le nombre de frigories nécessaires pour refroidir une chambre de dimensions déterminées, placée dans certaines conditions d'isolement et dont la température minima présente diverses valeurs. Les nombres contenus dans ces tables sont plus élevés que ceux que l'on donne ordinairement, parce qu'on a voulu tenir compte des frigories nécessaires pour le refroidissement des denrées contenues dans les chambres et des frigories perdues par l'ouverture des portes.

Dans ces tableaux que nous reproduisons ci-après, Siebel désigne sous le nom d'*excellent isolement*, l'isolement de murs, plafonds, etc..., pour lequel la perte de chaleur n'excède pas, en vingt-quatre heures, 10 grandes calories par mètre carré pour une différence de température de 1° C. entre l'air intérieur à la chambre et l'air extérieur. L'expression *médiocre isolement* se dit d'un isolement pour lequel la perte de chaleur est, en vingt-quatre heures, de 20 grandes calories par mètre carré pour une différence de température de 1° C. entre l'air intérieur et l'air extérieur. En prenant des nombres sensiblement égaux aux moyennes des nombres contenus dans les tableaux XXXII et XXXIII et relatifs à un excellent isolement et à un médiocre isolement, on obtient, pour les conditions où sont considérés les deux isolements extrêmes, les nombres qui correspondent à un *bon isolement*.

TABLEAU XXXII

NOMBRE DE MÈTRES CUBES DE CHAMBRE FROIDE NÉCESSITANT LA PRODUCTION DE 3.000 FRIGORIES-HEURE
(1 TONNE DE PUISSANCE FRIGORIFIQUE DES ÉTATS-UNIS DURANT 24 HEURES)
(Température maxima extérieure : 30° C.)

DIMENSIONS des CHAMBRES	ISOLEMENT	TEMPÉRATURES MINIMA A L'INTÉRIEUR DES CHAMBRES					
		DEGRÉS CENTIGRADES.					
		- 18	- 12	- 7	- 1	+ 4	+ 10
mètres cubes							
3. . .	Excellent. . . .	4,2	16,8	22,4	28	44,8	84
	Médiocre. . . .	1,96	8,4	11,2	16,8	25,2	56
	Bon.	3,08	12,6	16,8	22,4	35	70
30. . .	Excellent. . . .	14	70	84	112	168	336
	Médiocre. . . .	7	42	50,4	70	140	280
	Bon.	10,5	56	67,2	91	154	308
300. . .	Excellent. . . .	19,6	84	112	168	252	504
	Médiocre. . . .	8,4	50,4	70	98	196	392
	Bon.	14	67,2	91	133	224	448
900. . .	Excellent. . . .	28	140	168	224	364	700
	Médiocre. . . .	14	84	98	140	308	560
	Bon.	21	112	133	182	336	630
3.000. . .	Excellent. . . .	42	210	252	392	560	1.120
	Médiocre. . . .	22,4	126	140	224	448	980
	Bon.	32,2	168	196	308	504	1.050

NOTA. — Si la température maxima extérieure est supérieure ou inférieure à 30° C. d'un nombre n de degrés, il faut multiplier les nombres contenus dans ce tableau par le facteur $\frac{1}{1 \pm n \times 0,04}$, le signe + correspondant au cas où la température est supérieure à 30° C., et le signe — au cas où elle est inférieure à 30° C.

1. SIEBEL, *Compend of Mechanical Refrigeration*, p. 174 (Tabulated refrigerating capacity).

TABLEAU XXXIII

NOMBRE DE FRIGORIES-HEURE NÉCESSAIRES POUR REFROIDIR

1 MÈTRE CUBE DE CHAMBRE D'ENTREPOT FRIGORIFIQUE (TEMPÉRATURE MAXIMA EXTÉRIEURE : 30° C.)

(Les nombres inscrits dans ce tableau

sont sensiblement égaux aux quotients obtenus en divisant 3.000 par chacun des nombres inscrits dans le tableau XXXII)

DIMENSIONS des CHAMBRES	ISOLEMENT	TEMPÉRATURE INTÉRIEURE MINIMA					
		DEGRÉS CENTIGRADES					
		- 18	- 12	- 7	- 1	+ 4	+ 10
mètres cubes							
3	Excellent.	714	478	434	407	67	36
	Médiocre.	1.530	357	268	178	120	50
	Bon.	1.000	238	178	134	94	43
30	Excellent.	214	43	36	27	18	10
	Médiocre.	428	71	60	43	22	11
	Bon.	285	54	45	33	20	11
300	Excellent.	153	36	27	18	12	6
	Médiocre.	357	60	43	31	16	8
	Bon.	214	45	33	23	13	7
900	Excellent.	107	22	18	13	8	4
	Médiocre.	214	36	31	22	11	5
	Bon.	143	27	23	16	10	5
3.000	Excellent.	71	14	12	8	5	3
	Médiocre.	134	24	22	13	7	3
	Bon.	93	18	15	11	6	3

NOTA. — Si la température maxima extérieure est supérieure ou inférieure à 30° C. d'un nombre n de degrés, il faut multiplier les nombres contenus dans ce tableau par le facteur $(1 \pm n \times 0,04)$, le signe + correspondant au cas où la température est supérieure à 30° C. et le signe — au cas où elle est inférieure à 30° C.

24. Refroidissement interne par détente directe avec des machines à AzH³. — Premières règles pratiques pour avant-projet donnant les longueurs de tuyaux lisses à employer. — Dans le refroidissement interne des chambres par détente directe, le diamètre des tuyaux lisses ordinairement employés varie généralement de 2,5 à 5 centimètres. La longueur de tuyaux nécessaire pour refroidir un espace déterminé varie suivant les circonstances, en particulier avec la température ou la pression du fluide frigorigène (AzH³ par exemple) dans le réfrigérant et avec la température à laquelle les chambres doivent être refroidies. Si une chambre doit être maintenue à une température de + 1° C. et si la température de l'AzH³ dans l'évaporateur est de — 12° C., il faudra beaucoup moins de tuyaux pour refroidir la chambre que si la température de l'AzH³ dans l'évaporateur était de — 5° à — 6° C. Toutefois, dans le premier cas [température de AzH³ = — 12°], le compresseur fonctionne dans des conditions moins économiques que dans le second cas [température de AzH³ = — 5°]. Aussi est-il préférable d'augmenter la surface des tuyaux afin de permettre au compresseur de fonctionner avec la plus grande pression possible à l'évaporateur.

Voici, d'après Siebel¹, quelques règles pratiques bonnes pour un avant-projet d'installation, règles relatives à la réfrigération par détente directe, avec des machines à AzH³, de chambres dont la capacité est comprise entre 1.000 et 1.500 mètres cubes.

Il faut de 1^m,50 à 1^m,75 d'un tuyau de 5 centimètres de diamètre intérieur pour refroidir

1. SIEBEL, *Compend of Mechanical Refrigeration*, p. 135 (*Practical Rule for piping*).

1 mètre cube d'une chambre qui doit être abaissée à des températures de congélation voisines de -12°C .

Il faut de 55 à 60 centimètres d'un tuyau de 5 centimètres de diamètre intérieur pour refroidir 1 mètre cube d'une chambre qui doit être maintenue à des températures voisines de 0°C .

Il faut environ de 25 à 30 centimètres d'un tuyau de 5 centimètres de diamètre intérieur pour refroidir 1 mètre cube d'une chambre qui doit être maintenue à $+10^{\circ}\text{C}$. environ, comme c'est le cas dans la conservation de l'ale.

25. Refroidissement interne avec des machines à AzH^3 . — Règles pratiques plus précises donnant les longueurs de tuyaux lisses à employer. — A ces règles pratiques, il convient d'en ajouter de plus précises donnant les longueurs de tuyaux lisses à employer en fonction de l'isolement des chambres, de la température maxima à l'extérieur, de la température moyenne minima à l'intérieur. Ce sont ces renseignements que fournissent, d'après Siebel¹, les tableaux XXXIV et XXXV. Comme nous l'avons dit plus haut, les données de ces tableaux représentent une estimation large, de manière à tenir compte non seulement des frigories nécessaires pour refroidir les substances conservées, mais encore des frigories perdues au moment de l'ouverture des portes.

TABLEAU XXXIV

LONGUEURS EN MÈTRES DES TUYAUX DE $2^{\text{cm}},5$ DE DIAMÈTRE INTÉRIEUR
NÉCESSAIRES POUR REFRROIDIR 1 MÈTRE CUBE DE CHAMBRE D'ENTREPOT FRIGORIFIQUE.

DÉTENTE DIRECTE

(Température maxima extérieure : 30°C .)

DIMENSIONS des CHAMBRES FROIDES	ISOLEMENT	TEMPÉRATURE INTÉRIEURE MINIMA					
		DEGRÉS CENTIGRADES					
		- 18	- 12	- 7	- 1	+ 4	+ 10
mètres cubes							
3 . . .	Excellent. . . .	33	8,5	5	4	2,6	1,6
	Médiocre. . . .	66	16,5	10	7	5	3
	Bon.	49,5	12,5	7,5	5,5	3,8	2,3
30 . . .	Excellent. . . .	41	3	2	1,5	1	0,55
	Médiocre. . . .	22	6	3,5	2,5	2	1,3
	Bon.	16,5	4,5	2,75	2	1,5	1,025
300 . . .	Excellent. . . .	6,6	2	1,5	0,85	0,55	0,40
	Médiocre. . . .	13	4	3	1,65	1,20	0,75
	Bon.	9,8	3	2,25	1,25	0,875	0,575
900 . . .	Excellent. . . .	6	1,5	1	0,65	0,45	0,30
	Médiocre. . . .	11	3	1,6	1,20	0,90	0,60
	Bon.	8,5	2,25	1,3	0,925	0,675	0,45
3.000 . . .	Excellent. . . .	4	1,5	0,65	0,45	0,35	0,10
	Médiocre. . . .	8	3	1,20	1	0,65	0,20
	Bon.	6	2,25	0,925	0,725	0,50	0,15

REMARQUES. — 1° Si on refroidit les chambres par *circulation de saumure*, il faut multiplier les nombres du tableau précédent par 1,75 ;
2° Si on emploie, pour la détente directe, des tuyaux de $3^{\text{cm}},125$ de diamètre intérieur, il faut diviser les nombres du tableau précédent par 1,25 ou les multiplier par 0,8 ;
3° Si on emploie, pour la détente directe, des tuyaux de 5 centimètres de diamètre intérieur, il faut diviser les nombres du tableau précédent par 1,8 ou les multiplier par 0,55 ;
4° Si la température maxima extérieure est *supérieure* ou *inférieure* de n degrés à 30°C ., il faut multiplier les nombres précédents par le facteur $[1 \pm n \times 0,04]$, le signe + correspondant au cas où la température est supérieure à 30° , et le signe - correspondant au cas où elle est inférieure à 30° .

1. SIEBEL, *Compend of Mechanical Refrigeration*, p. 176 (Tabulated amounts of piping).

TABLEAU XXXV

NOMBRE DE MÈTRES CUBES DE CHAMBRE D'ENTREPOT FRIGORIFIQUE REFRIGÉRIS PAR 1 MÈTRE
DE TUYAUX DE 2^{cm},5 DE DIAMÈTRE INTÉRIEUR. DÉTENTE DIRECTE.

(Les nombres de ce tableau sont les inverses des nombres du tableau précédent. Température maxima extérieure : 30° C.)

DIMENSIONS des CHAMBRES FROIDES	ISOLEMENT	TEMPÉRATURE INTÉRIEURE MINIMA					
		DEGRÉS CENTIGRADES					
		- 18	- 12	- 7	- 1	+ 4	+ 10
mètres cubes							
3	Excellent.	0,030	0,120	0,2	0,25	0,40	0,65
	Médiocre.	0,015	0,065	0,1	0,14	0,20	0,30
	Bon.	0,0225	0,0925	0,15	0,195	0,30	0,475
30.	Excellent.	0,090	0,30	0,5	0,65	1	1,80
	Médiocre.	0,045	0,15	0,30	0,40	0,50	0,65
	Bon.	0,0675	0,225	0,425	0,525	0,75	1,225
300.	Excellent.	0,15	0,5	0,65	1,20	1,80	2,50
	Médiocre.	0,075	0,25	0,30	0,60	0,85	1,35
	Bon.	0,1125	0,375	0,475	0,90	1,325	1,925
900.	Excellent.	0,17	0,65	1	1,50	2,25	3,50
	Médiocre.	0,09	0,30	0,60	0,85	1,10	1,70
	Bon.	0,125	0,475	0,80	1,165	1,675	2,60
3.000.	Excellent.	0,25	0,65	1,55	2,25	3	10
	Médiocre.	0,125	0,30	0,85	1	1,50	5
	Bon.	0,1875	0,475	1,20	1,625	2,25	7,5

REMARQUES. — 1° Si on refroidit les chambres par circulation de saumure, il faut multiplier les nombres précédents par 0,55 ;
2° Si on emploie, pour la détente directe, des tuyaux de 3^{cm},125 de diamètre intérieur, il faut multiplier les nombres précédents par 1,25 ou les diviser par 0,8 ;
3° Si on emploie, pour la détente directe, des tuyaux de 5 centimètres de diamètre intérieur, il faut multiplier les nombres précédents par 1,8 ou les diviser par 0,55 ;
4° Si la température maxima extérieure est supérieure ou inférieure de n degrés à 30° C., il faut multiplier les nombres précédents par le facteur $\frac{1}{1 \pm n \times 0,04}$, le signe + correspondant au cas où la température est supérieure à 30°, et le signe — correspondant au cas où la température est inférieure à 30°.

26. Calcul du nombre de frigories nécessaires pour refroidir le contenu des chambres frigorifiques. — On peut, au moyen de la formule (7) donnée au début du paragraphe I de ce chapitre, calculer le nombre de frigories nécessaires pour réparer les pertes de chaleur au travers des murs, fenêtres, plafonds, etc. Les tableaux XXV, XXVI, XXVII et XXVIII donnent les valeurs des coefficients de transmission K que l'on doit employer. Souvent même, lorsqu'on veut calculer largement une installation, on prend 0,7 comme valeur moyenne de ce coefficient de transmission.

Lorsque ce calcul est fait, il faut déterminer le nombre de frigories nécessaires pour refroidir les denrées conservées dans les chambres frigorifiques.

Soient p_1, p_2, p_3, \dots , les poids des denrées introduites au frigorifique ;

c_1, c_2, c_3, \dots , leurs chaleurs spécifiques ;

t , la température de ces denrées à l'entrée dans la chambre froide ;

t_1 , la température de la chambre froide.

Le nombre de frigories que l'on doit produire pour absorber la chaleur dégagée par toutes ces denrées qui passent de la température t à la température t_1 est, lorsque ces denrées ne sont pas congelées,

$$(7) \quad Q = (p_1 c_1 + p_2 c_2 + p_3 c_3 + \dots)(t - t_1).$$

Les chaleurs spécifiques c_1, c_2, c_3, \dots , sont mal connues. Siebel¹ propose de les calculer par la formule

$$(8) \quad c = \frac{a + 0,2b}{100},$$

dans laquelle a et b sont les poids pour 100 d'eau et de matière solide que contient le corps à étudier; 0,2 est la valeur qui a été uniformément adoptée pour représenter la chaleur spécifique des constituants solides des différentes substances considérées.

Si les denrées sont *refroidies au-dessous de leur point de congélation* (température toujours inférieure à 0°C.), le nombre de frigories que l'on doit produire est donné par la formule

$$(9) \quad Q_1 = (p_1c_1 + p_2c_2 + p_3c_3 + \dots) t + \frac{a}{100} (p_1 + p_2 + p_3 + \dots) 80 - (p_1c'_1 + p_2c'_2 + p_3c'_3 + \dots) \theta_1$$

(θ_1 ayant une valeur négative égale à $-\theta'_1$). Cette formule suppose que l'eau contenue dans les canaux capillaires de la substance étudiée se congèle à 0°C., ce qui n'a pas lieu en général.

Siebel propose de calculer les chaleurs spécifiques c'_1, c'_2, c'_3, \dots , des denrées congelées, au moyen de la formule

$$(10) \quad c' = \frac{0,5a + 0,2b}{100},$$

0,5 étant la chaleur spécifique de la glace.

Le tableau XXXVI contient, d'après Siebel, les chaleurs spécifiques et les compositions de diverses denrées alimentaires ordinairement conservées dans les entrepôts frigorifiques.

TABLEAU XXXVI
CHALEURS SPÉCIFIQUES ET COMPOSITIONS DE DENRÉES ALIMENTAIRES SOUVENT CONSERVÉES
DANS LES ENTREPOTS FRIGORIFIQUES

NOMS DES DENRÉES	EAU pour cent a	MATIÈRES SOLIDES pour cent b	CHALEUR SPÉCIFIQUE c	CHALEUR SPÉCIFIQUE c'	$\frac{a}{100} \times 80$
Bœuf maigre	72	28	0,77	0,41	58
Bœuf gras	51	49	0,60	0,34	41
Veau	63	37	0,70	0,39	50,5
Porc gras	39	61	0,51	0,30	31
Œufs	70	30	0,76	0,40	56
Pommes de terre	74	26	0,80	0,42	59
Choux	91	9	0,93	0,48	72
Carottes	83	17	0,87	0,45	66,5
Crème	59,25	30,75	0,68	0,38	47
Lait	87,50	12,50	0,90	0,47	70
Pigeon	72,40	27,60	0,78	0,41	58
Poulet	73,70	26,30	0,80	0,42	59

Comme le montre le tableau XXXVI, on peut, pour une détermination approchée du nombre de frigories à produire pour amener les denrées introduites au frigorifique de la

1. SIEBEL, *Compend of Mechanical Refrigeration*, p. 133 (*Calculation of specific heats of victuals*).

température qu'elles ont à leur entrée, à la température des chambres froides, prendre pour la chaleur spécifique c la valeur 0,8 et pour la chaleur spécifique c' la valeur 0,4.

Si la denrée n'est pas congelée, le nombre de frigories à produire est donné par la formule

$$(11) \quad Q' = P(t - t_1) 0,8,$$

P , poids total des denrées introduites.

Si les denrées doivent être congelées, il faut se servir de la formule

$$(12) \quad Q' = P \left[t - \frac{\theta_1}{2} \right] 0,8 + \frac{a}{100} P \times 80,$$

dans laquelle θ_1 a une valeur négative égale à $-\theta'_1$.

27. Comparaison entre le refroidissement par détente directe et le refroidissement par circulation de saumure. — Il nous reste, pour terminer cette question du refroidissement des chambres d'un entrepôt frigorifique, à dire quelques mots sur la comparaison entre le refroidissement par détente directe et le refroidissement par circulation de saumure.

Le second mode de refroidissement a été longtemps préféré à l'autre; mais, à l'époque actuelle, sous l'impulsion des Américains et de quelques firmes européennes (notamment la firme Lebrun), le refroidissement interne par détente directe est de plus en plus appliqué.

28. Rapidité de l'abaissement de température des locaux au moyen de la détente directe. — La détente directe présente, sur la circulation de saumure, l'avantage de pouvoir amener *rapidement les locaux à basse température*, ce qui est important là surtout où les marches sont intermittentes et où il faut *obtenir très vite* la température voulue; il n'est pas en effet nécessaire de refroidir d'abord une grande masse de saumure. Cet avantage est d'ailleurs plus marqué dans le refroidissement interne que dans le refroidissement externe.

29. Variations de température des locaux dans l'emploi de la détente directe. — On reproche au refroidissement interne par détente directe de produire dans les locaux des variations notables de température, l'action frigorifique cessant avec l'arrêt de la machine et se modifiant avec les variations de sa puissance; au contraire, dans la circulation de la saumure, celle-ci ne se refroidit que lentement et constitue une sorte de volant de froid qui empêche un réchauffement trop rapide. D'après M. Lebrun, ce reproche n'est pas fondé; le volant de froid constitué par la saumure est insignifiant par rapport au volant frigorifique que représentent les murs et matériaux des locaux; ce sont ces derniers qui agissent réellement pour maintenir la température des chambres froides lorsqu'on arrête le compresseur. La firme *Lebrun* installe actuellement le refroidissement interne par détente directe, même dans le cas où la constance de la température est une des conditions de la bonne marche d'une installation, par exemple dans les cas de conservation des denrées alimentaires; les résultats obtenus sont très satisfaisants. Nous verrons plus loin les détails d'une installation frigorifique fonctionnant par détente directe de l'anhydride carbonique; ces chambres frigorifiques, installées à Paris par la maison *Eug. Clar* dans une maison de vente en gros des porcs, fonctionnent dans de bonnes conditions.

30. Danger de dégagement des gaz nuisibles à la conservation des denrées. — Au point de vue de cette conservation des denrées alimentaires, le refroidisse-

ment interne par détente directe est d'une application délicate à cause des fuites susceptibles de dégager des gaz capables d'avarier les denrées périssables et de rendre dangereux l'accès des chambres. A ce point de vue, l'anhydride carbonique ne mérite pas ce reproche; il a, par contre, l'inconvénient de circuler dans l'évaporateur sous une pression de 25 à 30 atmosphères. Il résulte de là que, si la longueur de la tuyauterie a quelque importance, les chances de fuite sont plus grandes; or celles-ci sont difficiles à découvrir en raison précisément du manque d'odeur de ce gaz, et le rendement de la machine baisse très rapidement. On diminue ces chances de fuites à l'intérieur des chambres en faisant un tuyautage ne présentant pas de joints dans les chambres. C'est ainsi que, dans l'installation faite par la maison *Eug. Clar*, les faisceaux de tuyaux réfrigérants sont tels que l'un d'eux atteint une longueur de 250 mètres en une seule pièce; il n'a de brides qu'à l'entrée et à la sortie de la chambre froide.

Le refroidissement interne par détente directe est surtout employé dans les installations à ammoniac et à anhydride sulfureux et, autant que possible, comme dans le cas précédent, dans des conditions telles que le serpentin de l'évaporateur n'ait pas de joints à l'intérieur des chambres frigorifiques.

31. La simplicité du mode d'installation fait souvent préférer le refroidissement par détente directe. — Souvent la simplicité du mode d'installation de la détente directe conduit à l'employer, surtout lorsque des fuites d'ammoniac et d'anhydride sulfureux ne peuvent avoir d'inconvénients. C'est le cas, par exemple, des caves de brasseries; beaucoup de brasseries de Bruxelles ont, depuis quelque temps, remplacé les installations à saumure par la détente directe.

En général, dans les petites installations, lorsqu'on se propose seulement d'abaisser la température de l'air de chambres frigorifiques, on adopte la détente directe parce qu'elle est la plus simple. En effet, l'installation frigorifique se compose uniquement d'un compresseur, d'un condenseur, d'un réfrigérant qui sert en même temps d'appareil à refroidir l'air et d'un robinet de réglage. Il arrive rarement que l'on soit obligé de disposer, pour chaque chambre à refroidir, une valve de réglage particulière et de compliquer ainsi inutilement la régulation du fonctionnement du compresseur. Par suite de la suppression complète de la circulation de saumure, les frais d'installation sont un peu moindres que dans l'autre mode de refroidissement. Pour ces petites installations, la dépense de puissance est à peu près la même pour les deux modes de refroidissement, l'excès de dépense de puissance pour le fonctionnement du compresseur dans le cas de la détente directe compensant la suppression de la puissance nécessaire à la circulation de la saumure.

32. En général, dans les grandes installations de refroidissement d'air avec fabrication de glace, le système de refroidissement à saumure est préférable au système à refroidissement par détente directe. — Dans les grandes installations où une partie du froid produit est employé à fabriquer de la glace, le refroidissement par saumure est en général préférable au refroidissement par détente directe. La fabrication de la glace nécessite un réfrigérant à saumure particulier et dans la plupart des cas un robinet de régulation spécial; en effet la mise en série des réfrigérants employés pour le refroidissement de l'air et pour la fabrication de la glace accroît naturellement les résistances de la conduite et ne peut être employée que si la fabrication de la glace est peu importante. Le système de refroidissement par détente directe exige donc deux réfrigérants distincts avec deux robinets de réglage, tandis que le système de refroidissement par saumure nécessite seulement l'emploi d'un réfrigérant commun avec un seul robinet de réglage.

33. Développement en Europe du mode de réfrigération par détente directe. — Petites installations à SO_2 et à CO_2 . — Entrepôt frigorifique du marché de Feltre à Nantes. — Pendant longtemps les ingénieurs européens sont réfractaires à l'emploi du mode de réfrigération par détente directe et s'en tiennent exclusivement au mode de réfrigération par circulation de saumure. Aux États-Unis, au contraire, le refroidissement par détente directe ne tarde pas à se développer au détriment de l'autre ;

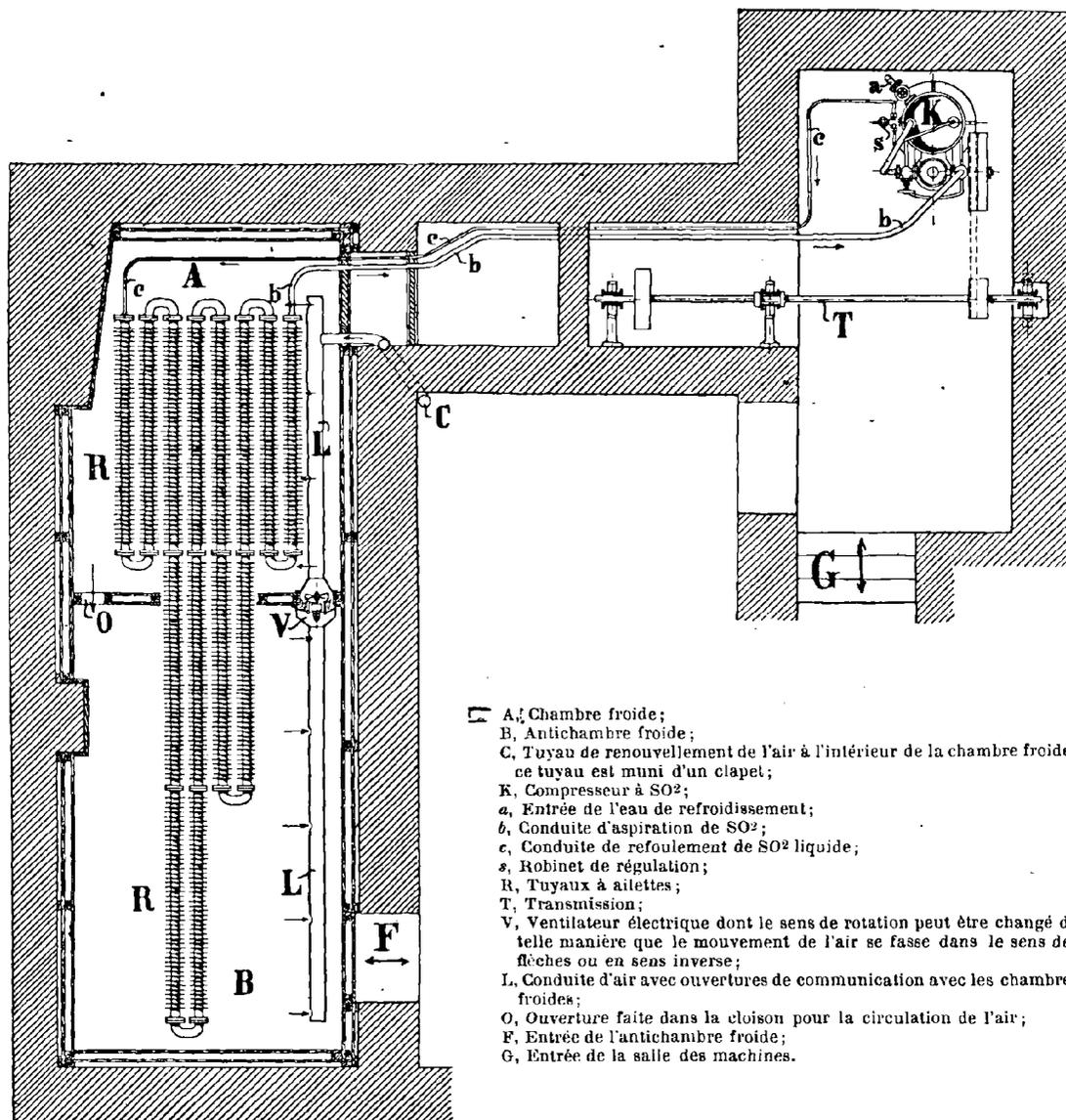
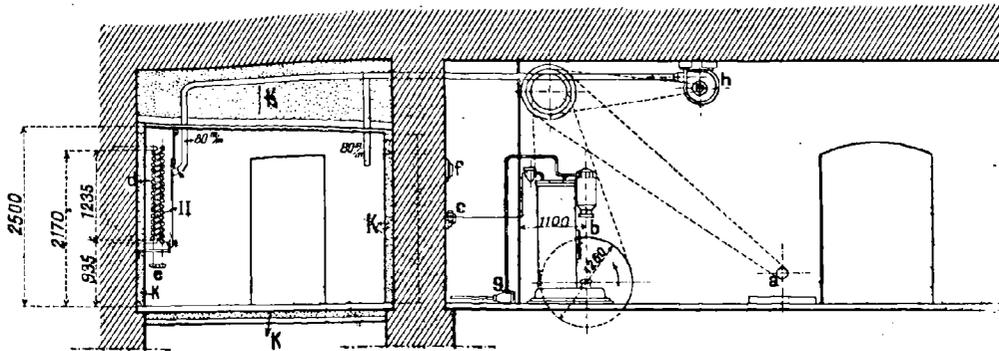


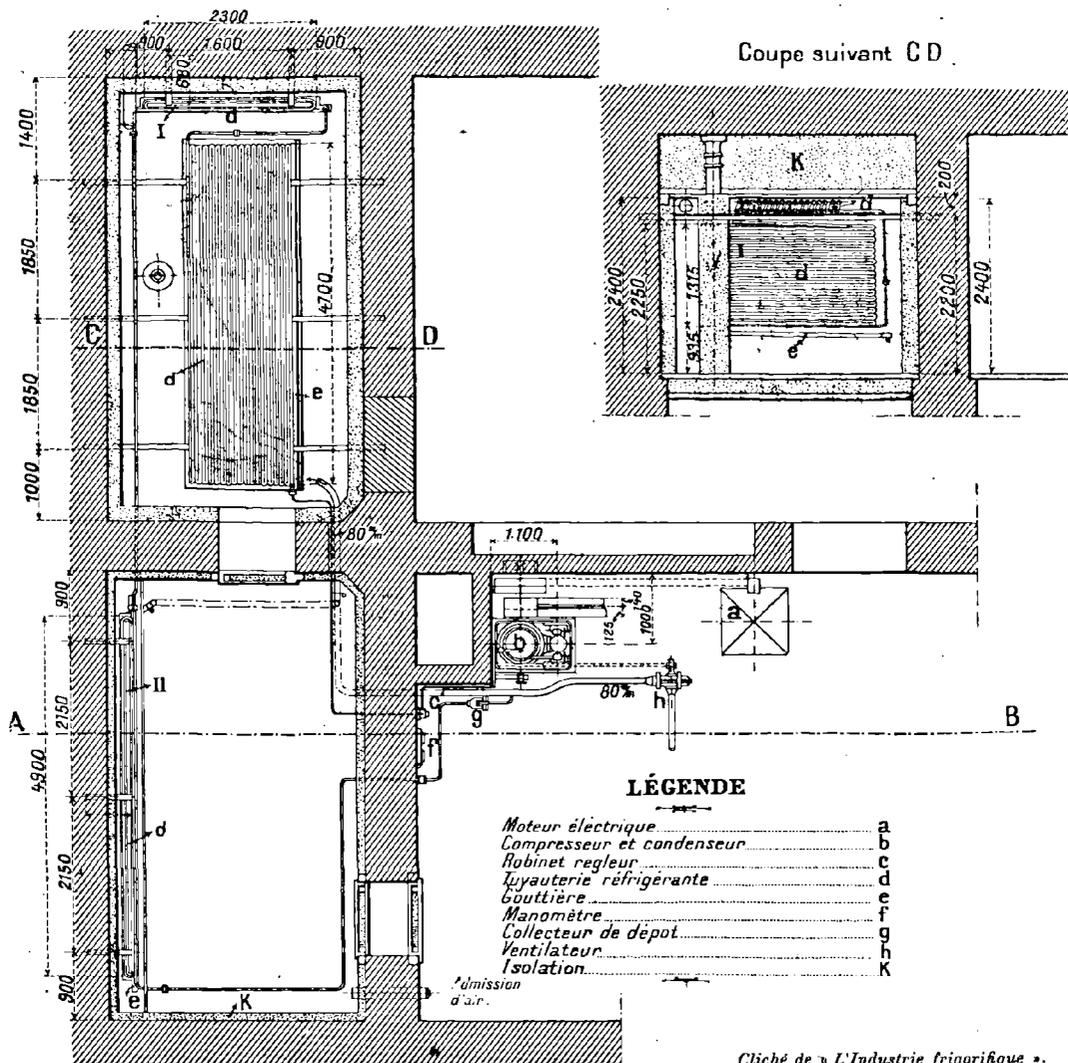
FIG. 236. — Petite installation de réfrigération de boucherie par détente directe de l'anhydride sulfureux.

il est d'abord employé dans les brasseries, puis dans les installations pour la réfrigération de la viande. C'est l'Exposition internationale de Chicago qui décide les Allemands, surpris des résultats obtenus par les Américains, à employer à leur tour la détente directe. Les premières installations de ce type sont faites pour des chambres frigorifiques à viande. La Compagnie *Linde* installe, en 1887, un refroidissement à ammoniacque par détente directe pour le frigorifique de Godfried Linde à Cologne, et un autre en 1890 dans le fondoir de l'abattoir de Leipzig. A cette même époque, l'usine *Humboldt* fait une installation analogue

Coupe suivant AB



Coupe suivant CD



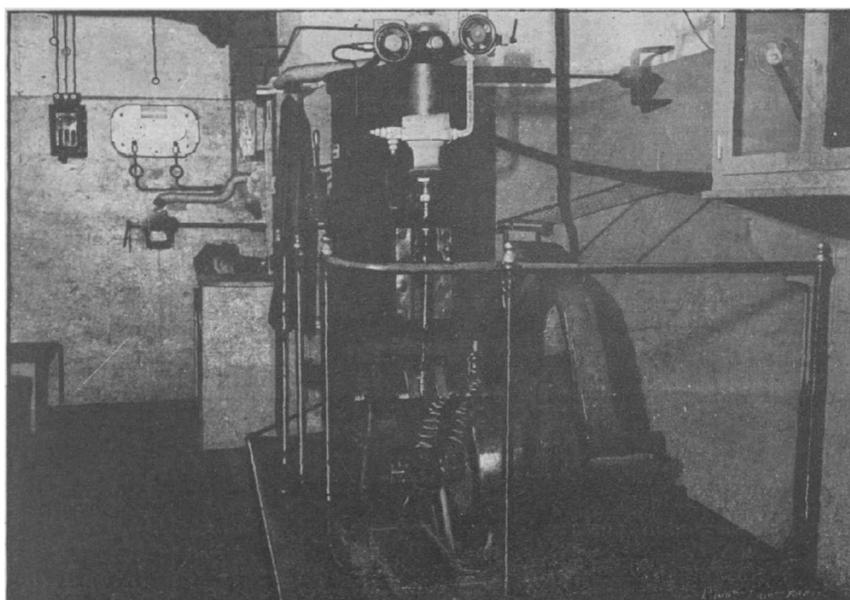
LÉGENDE

- Moteur électrique a
 - Compresseur et condenseur b
 - Robinet regulateur c
 - Tuyauterie réfrigérante d
 - Gouttière e
 - Manomètre f
 - Collecteur de dépôt g
 - Ventilateur h
 - Isolation k
- Admission d'air.

Cliché de « L'Industrie frigorifique ».

FIG. 237. — Plan des chambres frigorifiques pour la vente en gros des porcs (Réfrigération par détente directe de CO₂, installation Eug. Clar).

pour l'abattoir de Crefeld. En 1890, la maison *Seyboth*, de Munich, établit pour la première fois en Allemagne, dans une brasserie, un refroidissement par détente directe de l'ammoniac. En 1896, la fabrique *Quiri* fait la première installation de détente directe par l'anhydride sulfureux dans la boucherie Lix, à Strasbourg¹; ces sortes d'installations se sont assez développées, et il existe actuellement en Allemagne 300 petites installations (allant de 3.000 à 15.000 frigories) de détente directe fonctionnant avec l'anhydride sulfureux. Les fuites de ce gaz dans les chambres à refroidir ne semblent pas avoir des inconvénients aussi graves que les fuites de gaz ammoniac. L'anhydride sulfureux ne paraît pas exercer d'action sur les viandes : il a, au contraire, la propriété d'empêcher les microorganismes de provoquer la décomposition. Aussi le refroidissement par détente directe de l'anhydride sulfureux est-il souvent employé en Allemagne dans de petites installations de boucheries. La figure 236 représente le schéma d'une installation de ce type dans laquelle les chambres froides sont



Cliché de « L'Industrie frigorifique ».

FIG. 238. — Installation frigorifique par détente directe de CO². Vue du compresseur à CO² avec son moteur électrique.

refroidies au moyen de SO² liquide circulant dans des tuyaux à ailettes placés dans des chambres.

On a longtemps hésité à faire des installations à CO² par détente directe, à cause des grandes pressions exercées par ce fluide dans l'évaporateur. Cependant les avantages présentés par l'anhydride carbonique dans les installations frigorifiques qui doivent être faites dans les grandes villes au milieu des agglomérations, ont conduit certains constructeurs à utiliser, pour les petites installations à CO², la simplicité d'établissement de la réfrigération par détente directe. Les figures 237 à 240, représentent une installation à CO² (détente directe) faite à Paris par la maison *Eug. Clar*; elle est destinée au traitement de la viande des porcs pour la vente en gros².

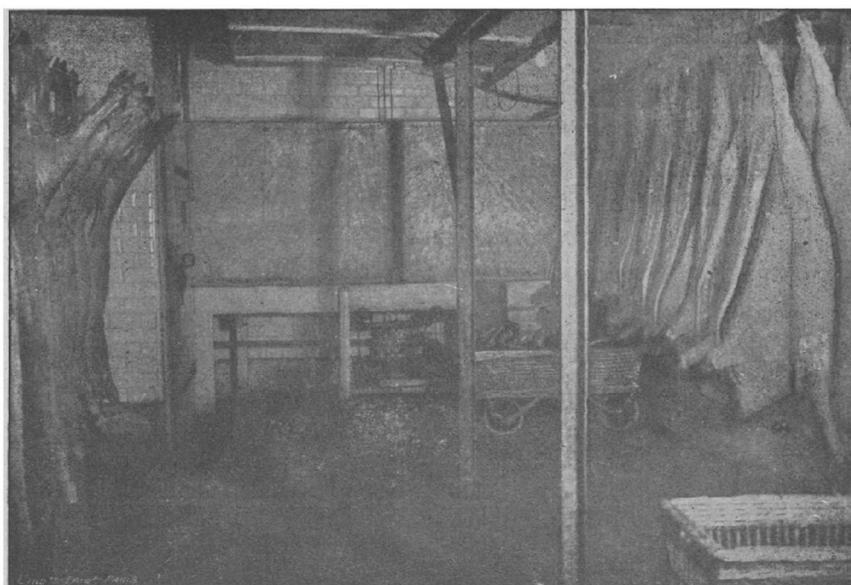
Un double but a été recherché : le refroidissement momentané de la marchandise et, en second lieu, sa conservation. De ce fait, deux chambres ont été construites : l'une peut être

1. E. MOOG, *Schwefeligsäure-Dampfkühlungen* (*Eis und Kälte-Industrie*, t. VI, n° 4, 5 juillet 1904).

2. E. MÉNALQUE, *Chambres frigorifiques pour la vente en gros des porcs* (*L'Industrie frigorifique*, 3^e année, n° 28, septembre 1905).

maintenue à une température de $+ 4^{\circ}\text{C}$. (*fig. 239*); l'autre, où se fait la conservation, est entretenue à 0° (*fig. 240*). Ces deux pièces sont d'égales dimensions intérieures : 6 mètres sur 3^m,50, avec une hauteur de 2^m,50. Elles sont disposées à la suite l'une de l'autre. L'entrée se fait par la chambre la moins froide où l'on accède par un tambour (*fig. 237*). Les deux pièces sont parcourues par des faisceaux de tuyaux réfrigérants d'une seule pièce avec brides à l'entrée et à la sortie de la chambre (*fig. 237 et 240*).

La partie mécanique comprend un compresseur à CO_2 de 8.000 frigories-heures conduit par un moteur électrique de 5 à 6 chevaux (*fig. 238*). Cette installation forme un groupe très compact; le compresseur du type vertical se trouve accolé à la bache en fonte du condenseur qui lui sert de bâti. Pour réduire encore l'espace occupé par l'ensemble, le moteur commande le compresseur au moyen d'un enrouleur *Leneveu*, ce qui permet de n'avoir



Cliché de « *L'Industrie frigorifique* ».

FIG. 239. — Installation de chambres frigorifiques pour la vente en gros des porcs. Vue de l'antichambre destinée au refroidissement des viandes. Au fond, le bac pour le refroidissement du sang avec sa pompe en-dessous.

qu'une distance de 15 centimètres entre jantes pour les poulies motrice et réceptrice. Pour éviter toute trépidation dans les locaux attenants à l'installation, moteur et compresseur sont montés sur un châssis en chêne reposant sur le sol par l'intermédiaire de fondations isolantes en carreaux de liège spéciaux.

A l'installation frigorifique proprement dite s'ajoutent : 1° un dispositif pour le refroidissement et la conservation du sang de porc ; — 2° un dispositif pour amener de l'eau froide dans les cuves où se conservent les boyaux.

Pour refroidir le sang, on a disposé dans la première chambre frigorifique (*fig. 239*) deux bacs en tôle galvanisée qui reçoivent le sang du rez-de-chaussée par une tuyauterie établie à cet effet. Ces deux bacs communiquent entre eux, et le tuyau de communication se greffe sur l'aspiration d'une pompe rotative actionnée directement par un moteur électrique. Quand le sang est suffisamment refroidi, la pompe le refoule au rez-de-chaussée où il est mis en brocs pour la vente. Pendant que le sang est soumis à l'action du froid, la pompe dont nous venons de parler en opère l'agitation dans les bacs.

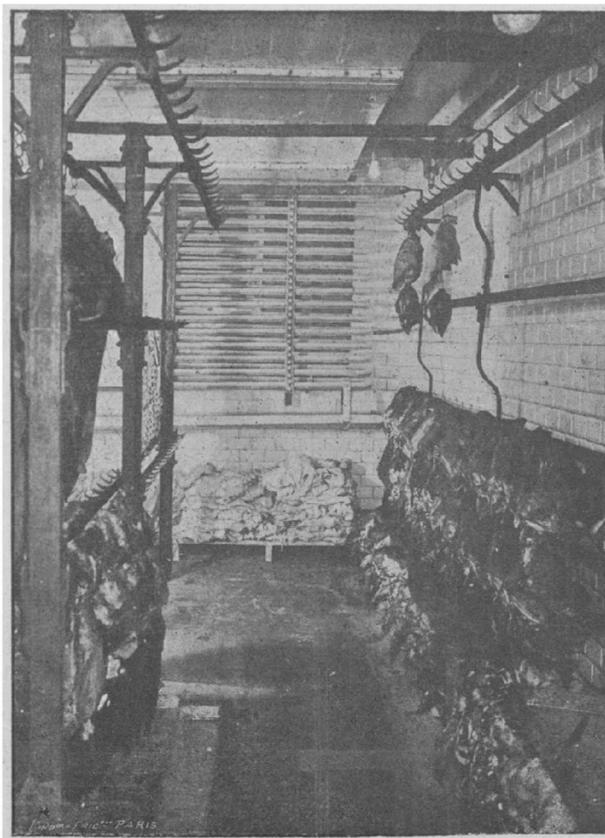
La figure 241 représente le plan de l'installation générale de l'entrepôt frigorifi-

fique de la *Société Nantaise de glaciers et entrepôts frigorifiques du marché de Feltre*¹.

La salle des machines A a 5^m,50 de largeur sur 11 mètres de longueur et une hauteur, sous plafond, de 5 mètres. Cette dernière dimension est d'ailleurs la même pour toutes les salles du sous-sol du marché de Feltre ; un peu faible pour la salle des machines, elle est beaucoup trop grande pour les chambres de conservation, et l'on a dû y remédier par la construction d'un plafond ramenant la hauteur à 4 mètres. Les compresseurs à AzH³, ventilateurs, pompes, etc., sont mis en mouvement au moyen de deux moteurs électriques. Les compresseurs du type *Lebrun* ont chacun une puissance frigorifique de 75.000 frigories-heures. La salle des machines est complétée par l'annexe que constituent les chambres I et I' contiguës ; dans la première I se trouvent deux condenseurs à ruissellement pour la condensation du gaz AzH³ ; dans la seconde I' sont installées deux pompes assurant la circulation de l'eau de refroidissement : on remarquera aussi dans cette chambre une petite dynamo-moteur permettant de maintenir en mouvement les pompes et les agitateurs du bac à glace dans le cas d'arrêt de la transmission principale.

Les deux chambres de la boucherie et celle de la charcuterie sont maintenues à la température de + 2° à + 4° C. par une circulation d'air froid réalisée par un ventilateur situé en *b* ; le ventilateur aspire l'air chaud des chambres et le refoule autour d'un faisceau tubulaire en acier dans lequel s'opère la détente de l'AzH³ ; ce faisceau tubulaire est disposé dans une chambre spéciale *a* où règne une température inférieure à 0°. L'air refroidi autour des serpentins revient aux chambres de conservation par des canaux en bois munis de place en place de vannettes à coulisses permettant de régler l'arrivée de l'air froid et, par suite, la température de la chambre.

Les salles de conservation des produits tels que les œufs, la volaille, les légumes, les fruits, dans lesquelles la température doit être maintenue entre 0° et + 2° C., ainsi que les trois dernières chambres qui peuvent être abaissées à - 6° C., sont refroidies par des serpentins à détente directe d'AzH³ dont le réglage se fait par un système convenable de soupapes et de robinets. Le renouvellement de l'air de ces salles est obtenu par tout un système de conduits prenant l'air à l'extérieur et aspirant l'air vicié à l'aide d'un ventilateur spécial ; l'air pur extérieur est amené d'abord sur les serpentins producteurs de froid de façon à n'arriver que purifié et refroidi dans les salles.



Cliché de « *L'Industrie frigorifique* ».

FIG. 240. — Installation frigorifique (détente directe à CO²) pour la vente en gros des porcs. Vue de la chambre froide ; le réfrigérant à tuyaux est installé au fond.

1. F. COTTAREL, *L'Usine frigorifique de la Société Nantaise de glaciers et entrepôts frigorifiques du marché de Feltre à Nantes* (*L'Industrie frigorifique*, 3^e année, n° 29, octobre 1905).

34. Distribution du froid par conduites dans quelques villes des États-

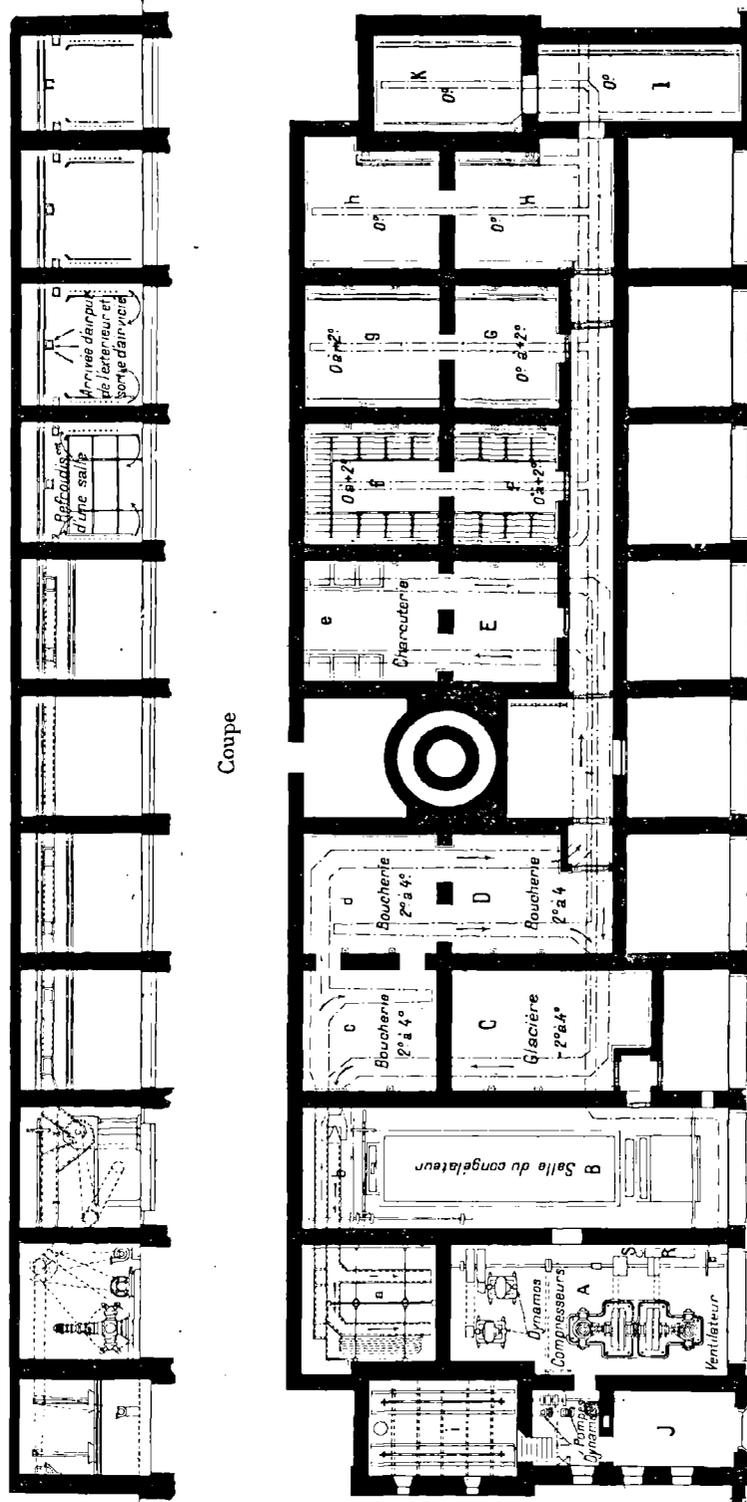


Fig. 241. — Plan de l'installation générale de l'entrepôt frigorifique du marché de Feltre à Nantes (Réfrigération par détente directe de AzH³. Installation faite par la firme Lebrun).
Cliché de « L'Industrie frigorifique ».

Unis. — Jusqu'ici nous n'avons étudié que la distribution du froid dans les entrepôts frigorifiques. Aujourd'hui dans quelques villes américaines, il y a dans les rues des conduites de

froid, comme il y a des conduites de gaz et des conduites d'eau ou d'électricité. Les Américains désignent ce mode de distribution sous le nom de *Pipe Line Refrigeration*¹.

Deux méthodes ont, jusqu'à présent, été employées :

- 1° La circulation de saumure;
- 2° La détente directe.

Boston, New-York et Philadelphie ont, toutes les trois, un important service municipal de réfrigération, obtenu par circulation de saumure.

La détente directe est employée à Boston, New-York, Saint-Louis, Atlantic-City, Baltimore, Norfolk, Los-Angeles, etc.

Les installations exécutées ont des réseaux de tuyaux dont le développement varie de 1^{km},5 à 27^{km},5.

Sauf dans une ville où il y a beaucoup de demandes d'abonnement, comme à Boston, la dépense d'installation moyenne par mille est de 12.000 dollars (37.267 francs par kilomètre).

Les distributions à *circulation de liquide incongelable* sont, en général, établies, d'après le système à deux lignes de tuyaux : une pour l'aller, l'autre pour le retour. Les appareils réfrigérants sont branchés en quantité sur ces deux lignes principales. La circulation de la saumure est commandée par des pompes à piston; elle est refroidie dans de grands réfrigérants à ruissellement.

La puissance nécessaire pour faire fonctionner ces pompes dépend :

- a) De la longueur du réseau;
- b) Du diamètre des tuyaux du réseau;
- c) De la masse de saumure qui doit circuler, masse qui varie avec les différences de température qui existent entre la saumure au départ et au retour.

Toutes choses égales d'ailleurs, si la différence de température entre le départ et le retour de la saumure est égale à 3° C., et si la résistance produite par la circulation dans les tuyaux est de 36 mètres d'eau, il faut compter une puissance dépensée aux pompes de 0,7 à 0,9 cheval pour une fourniture de 10.000 frigories-heure utiles.

Pour les isoler, les tuyaux sont placés dans des coffres en bois recouverts d'un isolant hydrofuge, tel que du feutre imprégné d'huile de résine ou de paraffine, ou encore du liège imprégné de poix, le tout enseveli dans des caniveaux appropriés. On ne sait rien de précis sur les pertes par rayonnement dans ces caniveaux, sinon qu'elles sont en général très faibles. Au *Quincy Market* de Boston, d'après *M. Voorhes*, elles seraient pratiquement nulles sur une longueur de 450 mètres.

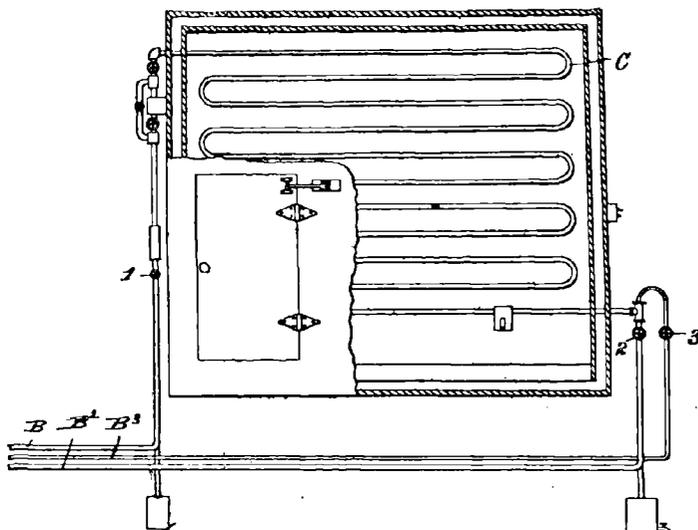
Jusqu'ici les tuyaux employés sont en fer forgé ou en fonte avec brides. Dans l'installation la plus récente, à Philadelphie, une nouvelle forme de tuyau en fonte a été adoptée. Chaque tuyau présente à une de ses extrémités une partie mâle légèrement conique qui vient s'engager dans un renflement femelle de l'extrémité correspondante du tuyau qui lui est contigu. Ces deux emboîtements mâle et femelle sont travaillés avec soin. Il suffit d'introduire l'un dans l'autre ces deux emmanchements et de serrer les tuyaux au moyen de brides. L'étanchéité est ainsi obtenue par le contact métal sur métal. Toutefois, pour éviter les retraits considérables qui se produisent au moment où l'on fait circuler la saumure froide, il est nécessaire d'établir tous les 50 mètres environ des joints de dilatation.

1. Communication de *J. E. Starr* au dernier meeting de l'*American Society of refrigerating Engineers* tenu à New-York en décembre 1905 (Voir les périodiques suivants : *Eis und Kälte-Industrie*, t. VII, n° 15, 5 février 1906; — *la Glace et les industries du froid*, 3^e année, n° 4, avril 1906; — *Revue de mécanique*, t. XVIII, n° 3, 31 mars 1906, p. 276; — *Engineering News*, décembre 1905, p. 619 et 640).

Avec la *circulation directe de l'AzH³*, on emploie presque toujours le système à trois lignes de tuyaux : la ligne d'aller B (fig. 242) ; la ligne de retour B² ; la ligne dite de *vide* B³. Ce système à trois lignes a été breveté, en 1893, par

MM. Branson, Thorburg et Starr.

Cette ligne de vide B³ est constamment reliée à une pompe qui y entretient le vide. Les appareils réfrigérants C sont, comme l'indique la figure 242, montés en dérivation sur B et B². S'il arrive un accident à l'un d'eux, on isole C de B et de B², en fermant les robinets 1 et 2, et on le met en rapport avec B³ en ouvrant le robinet 3. On voit que cette ligne du vide permet de faire aux appareils de réfrigération branchés sur les conduites d'aller et de retour toutes

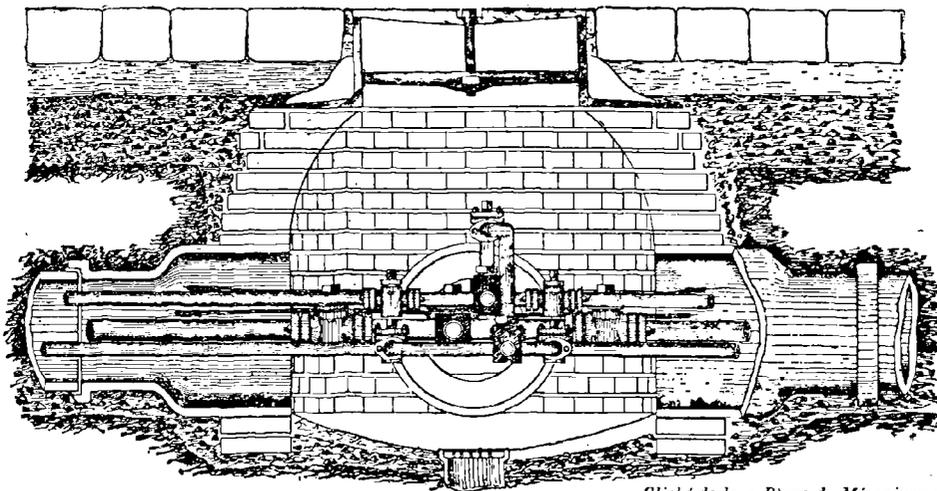


Cliché de la « Revue de Mécanique ».

FIG. 242. — Distribution de froid Branson.

les réparations sans en troubler la circulation. Elle permet aussi de faire le pont entre deux sections B de la distribution principale séparées par une section en réparation ; il suffit pour cela d'utiliser la section de B³ correspondante pour faire passer l'AzH³ liquide de l'une à l'autre des sections valides, pendant qu'on répare la section intermédiaire.

Ces canalisations sont disposées dans des conduites en poteries vitrifiées et en deux



Cliché de la « Revue de Mécanique ».

FIG. 243. — Distribution de froid de Saint-Louis.

pièces. On pose d'abord la moitié inférieure de ces conduites dans du ciment ; on vérifie l'étanchéité des tuyaux d'AzH³, et on pose la seconde moitié de la conduite en poterie. Des regards permettent, comme le montre la figure 243, d'accéder à ces canalisations. La détente de l'AzH³ liquide dans les différents réfrigérants de la distribution est réglée par tâtonnements de manière que le gaz détendu s'y surchauffe au point de ne pas donner lieu à des

condensations dans la ligne de retour. Lorsqu'il s'agit d'un grand établissement, comme un hôtel, on préfère, pour simplifier ce réglage, le desservir par une canalisation locale de liquide incongelable refroidie par une dérivation unique de la distribution d' AzH^3 .

La question des joints des tuyaux est absolument capitale. Après bien des essais, on a adopté le principe de fixer les tuyaux par sections ancrées à des intervalles réguliers et de relier ces sections fixes les unes aux autres par des tubes en V formant joints de dilatation. Sur toute la longueur d'une section, les tuyaux sont soudés les uns aux autres, et, le plus possible, en place par l'aluminothermie.



CHAPITRE VI

LES TRANSPORTS FRIGORIFIQUES

I

LES WAGONS FRIGORIFIQUES

1. Historique du développement aux États-Unis de l'emploi des wagons frigorifiques. — Wagons ventilés. — La nécessité de pouvoir transporter intactes diverses denrées alimentaires depuis les lieux de production jusqu'aux lieux de consommation se pose d'abord aux États-Unis où les centres de culture des fruits et des légumes sont à de grandes distances des villes importantes. Dès 1869 on recourt à l'emploi de wagons ventilés de divers systèmes et, pendant de longues années, ce sont des wagons de ce type qui sont employés pour toutes les expéditions de fruits de la Californie vers Chicago ou diverses autres villes.

L'usage des wagons ventilés se propage très rapidement; par contre, celui des wagons réfrigérants met beaucoup plus de temps à se généraliser.

2. Wagon J.-B. Lutherland de Détroit (Michigan). — Le premier brevet relatif à l'invention d'un wagon réfrigérant est pris, à la date du 26 novembre 1867, par *J.-B. Lutherland*, de Détroit (Michigan)¹. Les parois simples des wagons sont remplacées par des doubles parois dont l'intervalle est rempli de sciure de bois; à chaque extrémité du wagon on établit des plates-formes sur lesquelles on dispose de la glace; cette glace est maintenue en place par de solides portes mobiles suspendues au plafond du wagon et ne peut être renouvelée que lorsque le wagon est vide; une ouverture pratiquée dans le plancher permet l'écoulement à l'extérieur de l'eau provenant de la fusion de la glace.

Beemer tente d'expédier des pêches au moyen de ces wagons de Chicago à New-York; mais, en arrivant à Suspension Bridge (État de New-York), trente-trois heures après le départ de Chicago, on constate, en ouvrant les wagons, que la glace a fondu et que les fruits ne sont plus vendables. Cet insuccès, dû à la température élevée des pêches au moment de leur embarquement, cause aux expéditeurs une perte sèche de 5.000 francs par wagon.

3. Wagon Davis de Détroit (Michigan). — **Succès obtenus dans le transport des fraises et de la viande de bœuf.** — En 1868, Davis de Détroit (Michigan) ima-

1. *Les Transports en wagons frigorifiques* (Note du service technique du Ministère de l'Agriculture) [*L'Industrie frigorifique*, 1^{re} année, n° 7, décembre 1903, p. 9].

gine un nouveau système de wagon réfrigérant. Dans ce wagon, soigneusement isolé, il dispose le long des parois, des réservoirs de fer galvanisé contenant un mélange réfrigérant de glace et de sel : la construction est d'ailleurs faite de telle sorte que ces réservoirs peuvent être réapprovisionnés de glace par le haut, sans qu'il soit nécessaire d'entrer dans le wagon. Des fraises sont transportées dans ce wagon de Cobden (Illinois) à Buffalo (New-York) et des pêches de Dayton (Ohio) à New-York City; dans les deux cas, les fruits arrivent en bon état après un voyage qui n'a pas duré moins de dix jours. D'autre part, une expédition de viande de bœuf, au moyen de ce même wagon, est regardée comme marquant l'origine de l'industrie de la viande de bœuf préparée, qui prend bientôt une grande importance aux États-Unis.

4. Parker Earle. Ses essais de transport de fraises au moyen de caisses réfrigérantes. — Mais celui qui contribue le plus au développement des wagons frigorifiques aux États-Unis est certainement Parker Earle de Cobden (Illinois). Dès 1866, il construit des caisses réfrigérantes destinées à l'expédition des fraises par trains express sur Chicago, Pittsburg, New-York, Memphis et New-Orléans. Lorsque les Compagnies procèdent au renouvellement de la glace en cours de route, les fruits arrivent en bon état au lieu de la destination; mais les tarifs des trains express sont si élevés, la négligence des employés de chemin de fer à suivre les instructions relatives au réapprovisionnement est si grande que Earle doit abandonner son entreprise.

Il la reprend l'année suivante (1867). Après un essai infructueux, il construit un petit dépôt réfrigérant sous un hangar à Anna (Illinois) et y maintient les fraises pendant vingt-quatre heures, dans le but de les refroidir avant de les expédier. Il constate qu'après ce traitement elles arrivent à Chicago en meilleur état que celles qui viennent d'être cueillies. Il perfectionne son mode opératoire et, en 1872, parvient à un succès complet; jamais des fraises en aussi bon état n'ont été vues sur le marché de Chicago.

5. Wagon Tiffany. — Transport des viandes. — Malgré ces bons résultats, le service des wagons refroidis par de la glace est surtout employé dans le transport des viandes; le meilleur système de ces wagons est le système Tiffany qui contient un réservoir à glace en forme de V suspendu au plafond et occupant toute la longueur du wagon; la capacité de ce réservoir ne dépasse pas une tonne et demie de glace.

6. Le transport des fruits et légumes prend de l'extension en 1877. — C'est en 1877 que ce service des wagons réfrigérés est étendu à l'expédition des fruits et légumes dans la vallée du Mississipi par la *Transcontinental Transportation Company*, qui s'appelle aujourd'hui *American Refrigerator Transit Company*. Mais les wagons ne sont pas construits dans les meilleures conditions; les Compagnies de chemins de fer ne sont pas en mesure de procéder elles-mêmes au renouvellement de la glace en cours de route. Enfin les fruits que l'on veut conserver sont trop mûrs et se gâtent rapidement dès qu'on les ramène à la température ordinaire.

7. Compagnie fondée par Earle et Thomas. — Son développement. — Earle fonde alors avec Thomas de Chicago une Compagnie ayant pour but le transport des fruits par wagons réfrigérés. Elle construit des wagons bien conditionnés et bien isolés qui peuvent contenir jusqu'à 5 tonnes de glace; elle établit le long des lignes de chemin de fer des stations-glacières destinées au renouvellement de la glace pendant les transports. Après quelques expériences concluantes, la cause des wagons réfrigérants est gagnée.

La Compagnie organisée par Thomas et Earle, qui n'a que 60 wagons en service en 1888, en a déjà plus de 600 en 1891. Les wagons voyagent sur les lignes de différentes Compagnies. Ils servent, en hiver, au transport des fruits de la Floride; au printemps, à celui des fraises de la Louisiane et du Mississipi; puis, à mesure que la saison s'avance, ils desservent les contrées situées de plus en plus vers le Nord et font enfin de longs voyages jusqu'à la côte du Pacifique, en juillet, août et septembre. Leur utilité ne cesse pas à l'approche de l'hiver, car, étant bien isolés, il suffit de les chauffer pour protéger leur contenu contre la gelée.

8. Les transports actuels de fruits et légumes. — Aujourd'hui beaucoup de Compagnies de chemins de fer ont commencé à mettre des wagons réfrigérants à la disposition des expéditeurs. Dans beaucoup de régions, les fruits sont chargés directement de l'entrepôt, où ils sont garantis de la chaleur solaire, dans le wagon réfrigérant, qu'ils ne quittent pas avant d'avoir atteint leur point de destination, situé quelquefois à 1.000, 2.000 ou 3.000 kilomètres de distance. Des trains spéciaux transportent même les fruits des grandes régions productrices vers les principaux marchés, et de vastes stations glacières, établies le long des principales lignes, permettent d'effectuer le renouvellement de la glace avec la plus grande rapidité.

On estime qu'en Californie 95 0/0 des fruits frais de conservation difficile sont maintenant expédiés par wagons réfrigérés; sous l'influence de ce service, la culture des arbres fruitiers occupe dans cet État une surface dix fois plus considérable qu'il y a vingt ans.

9. Durée de séjour maximum des fruits d'été dans les wagons-glacières. — La période pendant laquelle les fruits d'été peuvent être conservés en bon état dans les wagons-glacières varie beaucoup suivant les conditions dans lesquelles le fruit a été cultivé, suivant la qualité, l'état de maturité, le mode d'emballage, les manipulations, etc... Mais, pour les fruits des États de l'Est, on admet généralement que *les fraises restent toujours en bon état pendant trois à cinq jours et les pêches pendant six à huit jours. Cette période de huit jours est considérée par les expéditeurs américains comme la durée maximum du séjour dans les wagons-glacières des fruits délicats, tels que les pêches et les fraises, si l'on veut être assuré d'une bonne conservation*; dans certains cas, on a obtenu de bons résultats même après un séjour beaucoup plus considérable; mais il n'est pas en général prudent de dépasser la limite indiquée plus haut.

10. Tarifs de transport des fruits à partir de Jacksonville (Floride). — Quelques chiffres indiquant les tarifs de transport par wagon réfrigérant de diverses régions productrices des États-Unis jusqu'aux principaux centres de consommation montrent que, grâce à ce service, les fruits peuvent parcourir de grandes distances à des prix relativement faibles.

La Floride, par exemple, est pourvue, comme tous les États du Sud, d'un service rapide de trains de marchandises pour le transport des fruits et légumes. Ces trains font le trajet de Jacksonville à New-York en cinquante-huit heures environ, ce qui, pour une distance de près de 1.600 kilomètres, correspond à une vitesse de 28 kilomètres à l'heure environ, en y comprenant tous les délais qui accompagnent nécessairement la circulation des trains de marchandises. Le transport par ce service jusqu'aux marchés du Nord et de l'Ouest revient à environ 1 franc par caisse de 22 kilogrammes ou 2 francs par baril ou double caisse, à condition que le prix de transport atteigne au moins 300 francs, ce qui correspond à 300 caisses ou à 150 barils ou doubles caisses. Le tarif par caisse séparée du wagon non complet est

naturellement plus élevé; il est de 2 francs par caisse, si le wagon contient 200 caisses, et de 4 francs par caisse, s'il en contient 100. Voici d'ailleurs les distances de Jacksonville aux principaux marchés du Nord et de l'Ouest.

Washington	1.137 kilomètres	Philadelphie	1.454 kilomètres
New-York	1.600 —	Cincinnati	1.491 —
Chicago	1.746 —		

11. Tarifs de transport des fruits à partir de l'Arkansas et du territoire indien. — Le tableau suivant donne les tarifs de transport par wagon complet de l'Arkansas et du territoire indien à différents marchés des États-Unis et du Canada.

	francs		francs
Boston	475	Chicago	325
Buffalo	400	Saint-Louis	250
New-York	475	Toronto	475
Philadelphie	475	Montréal	475
Détroit	400		

12. Tarifs de transport des fruits à partir de Tyler (Texas). — Voici les tarifs correspondants de Tyler (Texas).

VILLES	PRIX DU TRAJET	DISTANCES	DURÉE DU TRAJET
	francs	kilomètres	
Boston	475	»	»
Buffalo	425	»	»
New-York	475	2.450	5 jours et demi
Philadelphie	475	»	»
New-Orléans	250	»	»
Cincinnati	400	»	»
Détroit	400	»	»
Chicago	325	1.490	2 jours et demi
Saint-Paul	400	1.802	3 jours et demi
Saint-Louis	300	1.034	36 heures
Toronto	475	»	»
Montréal	475	»	»

Ces tarifs comprennent, outre le transport, le chargement et le déchargement effectués par des employés expérimentés et tous les frais de réfrigération depuis le point de départ jusqu'au point d'arrivée. On voit donc que, pour des distances supérieures à 1.500 kilomètres, le prix de transport par wagon-glaçière ne dépasse pas 0 fr. 05 par kilogramme de produit transporté.

13. Les wagons frigorifiques au Canada. — Dans ces dernières années, le Canada a considérablement développé ses transports frigorifiques par wagons, dans le but d'amener, dans les ports d'exportation, les produits de laiterie de l'intérieur.

Voici, d'après le Rapport du Ministère de l'Agriculture du Canada, comment ce service a fonctionné en 1903¹.

1. *Le Froid artificiel et l'Industrie laitière au Canada.* Rapport du Ministère de l'Agriculture [Industrie frigorifique, 3^e année, n° 25, juin 1905].

Les wagons frigorifiques sont partis de 49 points et ont reçu des consignations de beurre tout le long de la route jusqu'à Montréal. Ils ont circulé toutes les semaines ou toutes les deux semaines, selon que le besoin s'en faisait sentir, d'après un horaire déterminé d'avance, afin que les expéditeurs pussent apporter leur beurre aux gares avec le moins de risques possibles d'exposition à la chaleur.

Les expéditeurs utilisant ces wagons frigorifiques n'ont payé que le tarif ordinaire sans frais supplémentaires pour le service frigorifique.

Ce service a fonctionné, en 1903, du 15 mai au 15 octobre. Le Ministère de l'Agriculture garantissait aux Compagnies les 2/3 de ce que pouvait rapporter au tarif ordinaire un wagon chargeant 20.000 livres (environ 9.100 kilogrammes) et en plus 4 dollars (20 francs) par wagon pour le service frigorifique. Quand la recette dépassait la garantie, les Compagnies ne demandaient rien au Ministère; chaque fois que le trafic sur une ligne quelconque dépassait un chargement de wagon, on en concluait que tout le service sur cette route était suffisamment rémunérateur; la Compagnie en question ne pouvait alors rien réclamer au Ministère, même dans le cas où les wagons supplémentaires ne recevaient pas un chargement suffisant pour égaler le montant de la garantie qui eût été payée pour ces wagons s'ils eussent été les seuls employés. Ces règles ne s'appliquaient pas aux wagons tout spécialement commandés pour être dirigés sur un endroit quelconque, afin d'y prendre de pleins chargements. Comme on le voit, cette subvention ou garantie était accordée, afin d'assurer aux expéditeurs un service régulier pour les envois de beurre relativement peu considérables. Sans cela, ces expéditeurs auraient eu à payer pour un wagon entier ou auraient dû attendre qu'il y eût un chargement complet de wagon, ce qui eût exposé leurs produits à des risques sérieux de détérioration.

Pendant toute la durée du service de transport du beurre, des inspecteurs ont parcouru les différentes lignes pour se rendre compte du fonctionnement du service et pour rechercher les moyens de faire disparaître tout ce qu'ils pourraient trouver de défectueux dans les beureries mêmes, aux gares ou en cours de transport.

En outre, un inspecteur spécial était chargé, à Montréal, de surveiller les arrivages de beurre et de fromage.

En ce qui concerne le transport de cette dernière denrée, le Ministère de l'Agriculture s'était, en 1903, engagé à payer chaque semaine les frais pour le service frigorifique de 105 wagons du 1^{er} juillet au 15 septembre. De leur côté, les Compagnies de chemin de fer fournissaient les wagons, bien approvisionnés de glace, sur demande des expéditeurs, pour le transport de pleins chargements de fromage jusqu'à concurrence du nombre de wagons stipulé pour chaque ligne.

Ces services ont fonctionné dans les meilleures conditions.

14. Les wagons réfrigérants en Russie. — En Europe, les wagons réfrigérants sont beaucoup moins nombreux qu'en Amérique. Le pays qui en possède vraisemblablement le plus est la Russie (environ 1.000). Avant la guerre russo-japonaise (en 1902, notamment¹), un train express de marchandises composé de wagons réfrigérants partait tous les jeudis et effectuait en trois semaines le parcours Kainsk, Tatarskaja, Omsk, Pétropawlosk, Kurgan, Tcheljabinsk, Batraki, Rusajewka, Moscou, Bologge, Riga. D'autres trains aboutissaient d'ailleurs à Saint-Petersbourg, Reval, Libau, Nowy Port et Windau. Ces trains étaient composés de 25 wagons réfrigérants dont chacun était chargé d'environ 7.500 kilo-

1. MSTA, *Kühlwaggons in Russland* (Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie, 9^e année, fascicule 11, novembre 1902, p. 212).

grammes de beurre contenu dans des caisses de 58 à 66 kilogrammes. Tous les ans, avant le commencement de la campagne du beurre, les représentants de l'Administration du chemin de fer sibérien, les exportateurs et les autres personnes intéressées dans le commerce du beurre se réunissaient en un conseil, dans lequel était établi un plan des transports, dans lequel était fixé le début de la production et du transport du beurre, enfin dans lequel étaient répartis les wagons entre les divers embranchements et les différentes stations. Un tableau hebdomadaire des trains était établi pour toute la campagne, et le nombre des wagons à fournir à chaque exportateur était déterminé.

Nous ne savons pas si ce service a été complètement interrompu par la guerre et s'il est repris à l'époque actuelle.

Dans tous les cas, des chambres à glace sont établies dans les stations de chemin de fer, où les wagons doivent être garnis de glace. La distance moyenne de ces stations est de 160 verstes (170^{km},72); la vitesse moyenne des trains (en comprenant les arrêts) est de 13 verstes (13^{km},87) à l'heure, ce qui fait que les wagons sont regarnis de glace deux fois par vingt-quatre heures.

Le tableau XXXVII montre, d'après le *Wjestnik Finanzow*, le développement continu des chambres à glace dans les stations du chemin de fer sibérien. En outre, dans six stations de la partie occidentale de ce chemin de fer, il existe des entrepôts avec caves à glace pour la conservation et le refroidissement du beurre. Ces entrepôts peuvent contenir jusqu'à 1.400 tonnes de beurre.

Les trains frigorifiques dont nous avons parlé plus haut ont aussi transporté dans la Russie d'Europe du gibier et de la viande sibériennes. En novembre 1901, par exemple, 180.000 kilogrammes de viande ont été importés de Tomsk.

TABLEAU XXXVII

DÉVELOPPEMENT DES CHAMBRES A GLACE DANS LES STATIONS DU CHEMIN DE FER SIBÉRIEN

ANNÉES	NOMBRE DE CAVES A GLACE	PROVISION DE GLACE EN TONNES
1899	12	660
1900	15	1.315
1901	16	3.745
1902	21	4.938
1903	23	6.000
1904	31	8.500

15. Les wagons glacières en Grande-Bretagne. — La Grande-Bretagne possède également une assez grande quantité de wagons-glacières; nous en verrons plus loin des types.

En Irlande, la Compagnie du *Great Southern and Western Railway of Ireland* met à la disposition des producteurs irlandais des wagons-glacières de 6 tonnes. On est parvenu à y maintenir une température de + 4° à + 5° C. pendant douze heures; ils exigent environ 1 tonne de glace; celle-ci y est placée sous forme de blocs de 35 kilogrammes. La glace fond à raison de 3^{kg},5 à l'heure. Les wagons sont chargés sur un seul point pour chaque parcours. Ces wagons servent au transport du beurre, de la crème, du lait et des œufs. La Compagnie ne demande aucune taxe supplémentaire pour le transport en wagons réfrigérants.

16. Les wagons-glacières et les transports des produits de laiterie en Allemagne. — Depuis quelques années des transports de beurre par wagons frigorifiques sont faits dans l'été à partir de divers centres vers Berlin. Pendant l'été de 1905, du 15 mai au 15 septembre, un tel service d'expédition de beurre a été de nouveau mis en pratique¹.

Les wagons installés dans ce but contiennent des récipients en fer dans lesquels on peut mettre 700 kilogrammes de glace. Les parois et le toit de chaque wagon sont soigneusement isolés. Les wagons sont en stationnement à Königsberg, Insterburg, Lyck ; ils sont dirigés sur Berlin

de Königsberg	deux fois par semaine
de Lyck	—
d'Insterburg	une fois par semaine

Les expéditions sur les lignes secondaires doivent se faire à la station la plus proche de la ligne principale parcourue par les wagons frigorifiques. Les moments les plus convenables pour l'expédition sont affichés dans toutes les gares et dans tous les bureaux de la Compagnie. Les frais de glace faits par la Compagnie sont payés par le destinataire ou l'expéditeur et se montent à 0fr.19 jusqu'à 30 kilogrammes et 0fr. 25 pour chaque fraction de 60 kilogrammes.

Un essai intéressant de transport du lait danois à Berlin a été fait récemment². Le Syndicat des marchands de lait de Berlin a, par l'intermédiaire d'une firme de Hambourg, passé un contrat avec des cultivateurs danois pour amener à Berlin par trains express plus de 100.000 litres de lait par jour. Jusqu'ici il n'arrivait dans cette ville que quelques centaines de litres de lait danois ; l'expédition avait lieu dans des récipients séparés construits et arrimés dans les wagons d'une manière convenable. Depuis le 1^{er} octobre 1905 un certain nombre de wagons-bassins ou de wagons-citernes contenant du lait circulent tous les jours entre l'île de Laaland et Berlin ; les expéditions journalières atteignent déjà 60.000 litres. Le 20 septembre 1905, le premier wagon d'essai est arrivé à la gare des marchandises de la station de Stettin à Berlin ; il a été reçu et examiné par un certain nombre de marchands de lait et par quelques employés de la laiterie Bolle. Après que le lait apporté dans des bassins eut été reconnu sain et de très bon goût, il fut réparti dans les pots à lait se trouvant dans les voitures amenées par les marchands ; la laiterie Bolle en prit pour sa part 3.000 litres. Cette expérience était d'autant plus concluante que, par suite d'une erreur de manœuvre, le wagon avait été d'abord dirigé sur la gare du Nord et était resté quinze heures en route.

Les wagons à lait viennent directement de Maribo, ville principale de l'île Laaland ; ils arrivent à Berlin en passant par Falster, Gedser et Warnemünde. A Maribo, se trouve la laiterie centrale dans laquelle est ramassé tout le lait de l'île ; ce lait est pasteurisé, puis refroidi à + 3° C. Il est ensuite placé dans de grands bassins en bois garnis à l'intérieur de tôle galvanisée et ayant une capacité de 50.000 litres. Dans chaque wagon-citerne il y a deux de ces bassins dont le fond est en pente vers le milieu du véhicule. Les parois de ces wagons sont isolées. A la partie inférieure de chaque réservoir se trouve un tuyau par lequel on fait couler le lait. D'un côté du véhicule auprès de la porte se trouvent cinq tuyaux, par lesquels on fait écouler le lait dans des pots placés devant le wagon.

Nous signalons d'ailleurs, dans le chapitre consacré aux *Applications du froid en laiterie*, un autre mode de transport du lait traité d'abord par le procédé Helm.

17. Les wagons-glacières en France. — Les wagons du réseau de l'État, de la Société anonyme des Magasins et Transports frigorifiques de France, de

1. *Eis und Kälte-Industrie*, t. VI, n° 23, 5 juin 1905.

2. *Der erste Bassinwagen mit dänischer Milch in Berlin* [*Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie*, 12^e année, fasc. 10, octobre 1905, p. 194].

la Société des Wagons et Entrepôts frigorifiques de France, des Laiteries coopératives des Charentes et du Poitou. — Nous avons déjà signalé dans l'*Introduction* les tentatives faites en France pour créer des transports frigorifiques.

Seule, l'Administration des chemins de fer de l'État possède en propre des wagons-glacières qu'elle a fait construire à ses frais et dans lesquels les expéditeurs de denrées quelconques peuvent demander l'admission de leurs marchandises. Chaque jour, trois wagons de ce genre circulent en service régulier sur les lignes de l'État pour recevoir les différentes denrées à destination de Paris.

Les autres Compagnies ont considéré que, mieux qu'elles-mêmes, les expéditeurs intéressés ou des sociétés spéciales, comme il en existe depuis longtemps pour le transport des liquides, étaient en mesure de créer un matériel adapté aux besoins de chacun.

Parmi ces sociétés, il convient de citer la *Société anonyme des Magasins et Transports frigorifiques de France* dont nous avons déjà parlé. Pendant la dernière campagne d'été, elle s'est efforcée de se développer plus particulièrement sur les lignes du Midi et de l'Orléans.

Sur le premier de ces réseaux, elle a fait circuler 12 wagons transportant le poisson d'Arcachon et de Saint-Jean-de-Luz à destination de Marseille et de Port-Bou (Pyrénées-Orientales).

Sur le réseau d'Orléans, la Compagnie a eu, du 1^{er} mai au 30 septembre, un service régulier partant chaque jour de tous les points de jonction avec le Midi et desservant toutes les gares des lignes convergeant vers Paris. Par ces divers services, la Compagnie a transporté toutes les denrées destinées aux Halles Centrales, notamment la viande, les volailles, le beurre, les fruits et les primeurs. La Compagnie d'Orléans a d'ailleurs été un puissant auxiliaire pour la circulation de ces wagons frigorifiques; elle a fait tout ce qui dépendait d'elle pour faciliter et développer ce service. Il en est d'ailleurs résulté, cette année, pour elle une augmentation de près de 90 0/0 sur le tonnage expédié des régions desservies au cours des années précédentes.

La Compagnie des *Wagons et Entrepôts frigorifiques de France* (précédemment *Société des Transports frigorifiques de France*) fait des transports en wagons frigorifiques circulant surtout sur la ligne de l'Ouest. Créée à Rennes, elle a su trouver un trafic rémunérateur en facilitant le transport des poissons des côtes de l'Atlantique, des beurres, volailles et viandes de la Bretagne et de la Normandie. Les wagons de cette Compagnie, qui servent au transport de la marée ou des beurres, sont des wagons modèle J de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest convenablement aménagés; les autres wagons destinés au transport des fruits et de la viande ont une construction spéciale que nous indiquerons plus loin.

Ce sont aussi des wagons prêtés par l'Administration des chemins de fer de l'État que les *Laiteries Coopératives des Charentes et du Poitou* utilisent, après les avoir aménagés, pour leurs transports à destination de Paris¹.

Le développement de la fabrication du beurre dans les Charentes et le Poitou a été merveilleux dans ces dernières années. La première coopérative fondée en 1888 avait fabriqué 31 tonnes de beurre dans sa première année d'exploitation; cinq ans après, en 1893, il existait 50 coopératives qui produisaient 2.589 tonnes; en 1899, les coopératives étaient au nombre de 97 qui jetaient sur le marché 7.358 tonnes de beurre.

Dès cette époque, grâce à l'impulsion donnée par l'Association Centrale fondée quelques années auparavant pour réunir en une sorte de fédération toutes les coopératives de la

1. N. Dugit-Chesal, inspecteur des services commerciaux au chemin de fer du Nord, *Transport des produits de laiterie à longues distances par voie ferrée et par eau*. (Rapport présenté au Congrès International de Laiterie, tenu à Paris en octobre 1905.)

région, l'utilisation du froid industriel dans la fabrication du beurre avait fait des progrès considérables. Aussi, par suite de la nécessité d'amener sur le marché parisien des beurres bien conservés, aussi durs que possible, pouvant atteindre des prix voisins de ceux des beurres d'Isigny et de Gournay, une douzaine de laiteries de la Charente-Inférieure résolurent-elles d'étendre l'application du froid au transport de leurs produits. Elles tentèrent l'essai avec 3 wagons mis par l'Administration des chemins de fer de l'État à la disposition de l'Association Centrale qui les fit aménager en wagons-glacières.

Les résultats furent tels que toutes les coopératives voulurent user du même procédé, et qu'en 1904 il ne fallut pas moins de 14 wagons pour assurer le service régulier des beurres charentais, dont la production a atteint, l'année dernière, près de 9.000 tonnes.

Ces wagons, isolés au moyen de plaques de liège de 0^m,05 d'épaisseur pour les parois verticales et le plafond et de 0^m,075 d'épaisseur pour le plancher, sont refroidis au moyen de glace contenue dans des bacs en tôle d'une capacité de 800 kilogrammes. Les parois longitudinales des cloisons antérieures sont garnies de trois rangs de tasseaux destinés à recevoir des planches mobiles de 0^m,04 d'épaisseur et de 0^m,10 de largeur. Sur ces planchers les paniers sont disposés à la main un à un au moment du chargement. Les véhicules ainsi aménagés pèsent à vide 7.400 kilogrammes environ et peuvent contenir 550 paniers pesant 11 kilogrammes chacun, soit 6.000 kilogrammes, sans qu'aucun puisse faire pression sur les autres. Le coût de l'installation du wagon varie entre 1.200 et 1.400 francs. Les dépenses d'entretien annuel peuvent être évaluées à 100 francs, dont 80 francs pour la peinture extérieure au ripolin blanc et intérieure à la chaux, et 20 francs pour les petites réparations, le lavage, etc.

En hiver, les wagons voyagent sans glace. En été, il faut compter pour la glace une dépense d'environ 18 à 20 francs par jour et par wagon.

L'amortissement des 1.400 francs de premier établissement, la dépense d'entretien annuel et les frais de fourniture de glace sont couverts et bien au-delà par un prélèvement de 0 fr. 01 par kilogramme de beurre expédié.

Les wagons aménagés par les *Laiteries Charentaises* sont prêtés gratuitement par le Chemin de fer de l'État.

Sur d'autres réseaux, une redevance de parcours est allouée au propriétaire ou locataire du wagon frigorifique pour le dédommager de l'usure du véhicule; cette redevance vient en déduction du prix de transport.

Sur le réseau d'Orléans, elle est de 2 centimes par wagon réfrigérant et par kilomètre pour la distance correspondant à la taxe appliquée aux wagons réfrigérants circulant à charge; jusqu'au 1^{er} novembre 1906, cette redevance est portée à 45 millimes.

Certains réseaux admettent que le wagon, s'il n'est pas entièrement utilisé au point initial de départ, soit complété dans les gares de passage avec des colis chargés dans ces gares ou venant des gares d'embranchement. Le minimum de 3.000 kilogrammes exigé par le nouveau tarif de la Compagnie d'Orléans peut être constitué par des chargements effectués en cours de route au départ des gares situées sur un parcours de 100 kilomètres, comptés à partir du point de départ du wagon sur la Compagnie d'Orléans. Cette disposition récente facilitera l'union entre producteurs pour l'achat ou la en prise location d'un seul et même véhicule servant à plusieurs groupements de sociétés.

La glace contenue dans les réservoirs à glace est généralement transportée gratuitement.

La Compagnie d'Orléans limite à 9.000 kilogrammes par essieu le poids sur rail des wagons réfrigérants chargés.

Quelques Compagnies délivrent des billets à quart de tarif aux agents voyageant dans les wagons frigorifiques sur tout ou partie du parcours pour recueillir et charger les colis en cours de route.

La *Société des Magasins et Transports frigorifiques de France* paie le tarif ordinaire pour ses transports par wagons frigorifiques sur les réseaux de l'Orléans, du Midi et du Paris-Lyon-Méditerranée. Toutefois, une clause lui impose, au point de départ, un minimum de tonnage de 2.000 kilogrammes sur l'Orléans¹ et de 3.000 sur le Midi et le Paris-Lyon-Méditerranée. Aux expéditeurs elle perçoit une majoration sur le prix de transport variant suivant l'importance de leurs envois et des engagements qu'ils ont pris avec elle; mais cette majoration ne dépasse jamais, pour les points les plus éloignés, 1 centime par kilogramme.

18. Différentes sortes de wagons frigorifiques. — Il existe plusieurs types de wagons employés pour le transport des produits maintenus à basse température. On distingue :

- 1° Les *wagons isolants* ;
- 2° Les *wagons-glacières* ;
- 3° Les *wagons réfrigérants proprement dits*.

19. Isolement des wagons. Wagon Hall construit par la Société Dyle et Bacalan. — Il importe d'abord que tous ces wagons soient bien isolés.

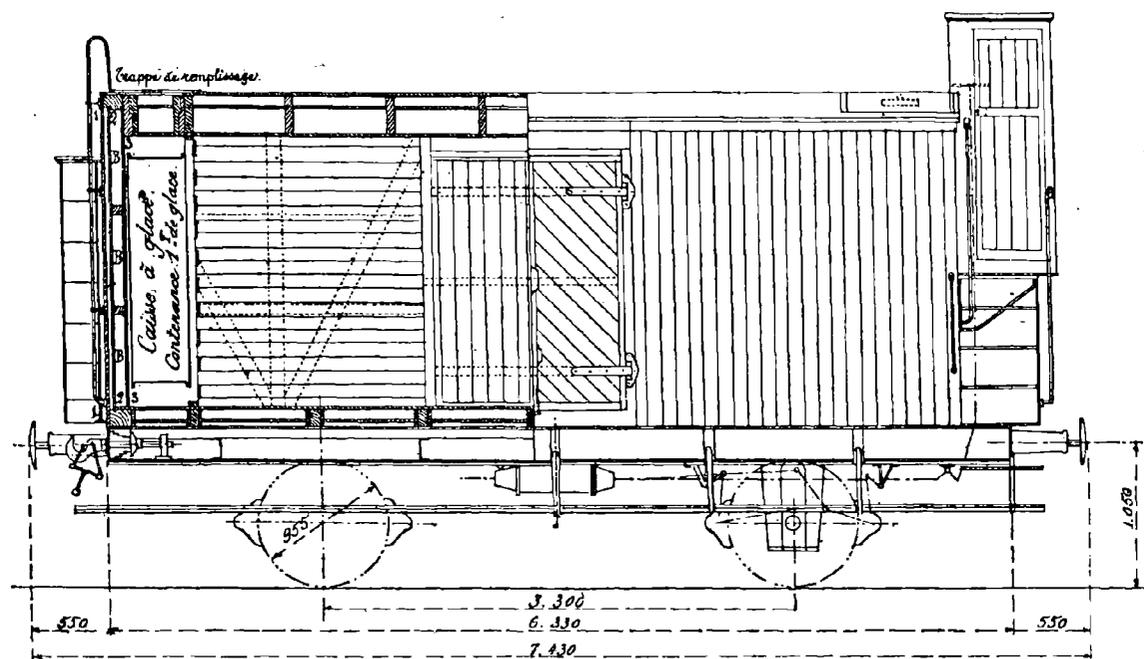


FIG. 244. — Wagon Hall construit par la Société Dyle et Bacalan; coupe longitudinale.

Les figures 244 et 245 représentent un wagon isolant Hall construit par la Société Dyle et Bacalan. L'isolement est effectué de la manière suivante.

1. Dans le nouveau tarif de l'Orléans (Modifications des articles 11 et 12 du tarif spécial G. V. n° 21) le minimum exigé est de 3.000 kilogrammes, mais ce chargement n'est plus, comme nous l'avons dit, exigible dès le point de départ.

Parois verticales (fig. 244). — Plan extérieur 11 de sapin bouveté ayant une épaisseur de 23 millimètres. — Matelas d'air 1122 de 25 millimètres. — Plan de sapin bouveté de 12 millimètres d'épaisseur. — Deux couches de papier isolant P. B. Géant. — Plan de sapin bouveté de 12 millimètres d'épaisseur. — Briques de liège BBB de 60 millimètres d'épaisseur¹. — Plan de sapin bouveté de 12 millimètres d'épaisseur. — Deux couches de papier isolant P. B. Géant. — Plan de sapin bouveté de 16 millimètres d'épaisseur.

Plafond (fig. 245). — Toile imperméable *tt*. — Plan de sapin bouveté ayant une épaisseur de 16 millimètres. — Deux couches de papier isolant P. B. Géant. — Plan de sapin bouveté de 12 millimètres d'épaisseur. — Matelas d'air de 60 millimètres d'épaisseur. — Plan de sapin bouveté de 12 millimètres d'épaisseur. — Poudre de Liège. — Plan de sapin bouveté de 12 millimètres d'épaisseur. — Deux couches de papier P. B. Géant. — Plan de sapin bouveté de 16 millimètres d'épaisseur.

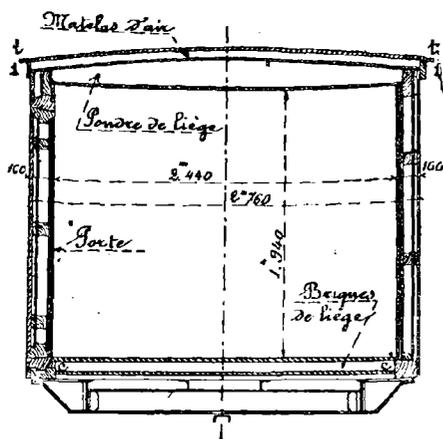


FIG. 245. — Wagon Hall construit par la Société Dyle et Bacalan; coupe perpendiculaire à l'axe du wagon.

Plancher (fig. 245). — Plancher en chêne CC' de 40 millimètres d'épaisseur. — Briques de liège ayant 60 millimètres d'épaisseur. — Plan de sapin bouveté ayant 15 millimètres d'épaisseur. — Deux couches de papier isolant P. B. Géant. — Plan de sapin bouveté de 15 millimètres d'épaisseur.

Les épaisseurs totales des cloisons calorifuges sont donc, pour ce wagon, les suivantes :

- Pour les parois verticales, 160 millimètres ;
- Pour le plancher, 130 millimètres ;
- En moyenne pour le plafond, 220 millimètres.

Il est inutile d'ajouter que dans ce wagon, comme dans tous les wagons similaires, la porte étanche de la chambre frigorifique et la porte roulante sont distinctes.

20. Autres modes de construction de wagons isolés. — La figure 246 représente l'isolement d'un wagon constitué de la manière suivante.

Parois verticales. — De *a* vers *b* (fig. 246) : Plan intérieur en tilleul : épaisseur 20 millimètres. — Matelas d'air : épaisseur 15 millimètres. — Une épaisseur de feutre². — Une couche de papier P. B. (trois plis). — Pin blanc : épaisseur 13 millimètres. — Matelas d'air : épaisseur 50 millimètres. — Sapin blanc : épaisseur 13 millimètres. — Deux épaisseurs de feutre. — Une épaisseur de papier P. B. (trois plis). — Matelas d'air : épaisseur 15 millimètres. — Panneautage extérieur : épaisseur 22 millimètres.

Plancher. — De *c* vers *d* (fig. 246). — Plancher : épaisseur 22 millimètres. — Une épaisseur de feutre. — Une épaisseur de papier P. B. (trois plis). — Matelas d'air : épaisseur 38 millimètres. — Plancher : épaisseur 22 millimètres. — Une épaisseur de feutre. — Ma-

1. On doit employer dans la construction des wagons une matière isolante qui, tout en étant aussi légère et aussi mauvaise conductrice que possible, ne se tasse pas à la suite des trépidations. Le liège plastique paraît tout désigné.

Les briques portent des rainures horizontales dans lesquelles on vient placer des clés en bois.

2. On remplace avantageusement le feutre par un tissu ou par du carton d'amiante, comme dans les wagons de la Wickes Refrigerator Car, Co. de Chicago.

telas d'air : épaisseur 38 millimètres. — Plancher : épaisseur 22 millimètres. — Matelas d'air : épaisseur 38 millimètres. — Plancher : épaisseur 22 millimètres. — Peinture ou papier isolant. — Plancher : épaisseur 45 millimètres.

Plafond. — De *e* vers *f* (*fig.* 246). — Une épaisseur de feutre. — Une épaisseur de papier P. B. (trois plis). — Sapin blanc : épaisseur 13 millimètres. — Matelas d'air : épaisseur 40 millimètres. — Une épaisseur de feutre. — Sapin blanc : épaisseur 13 millimètres.

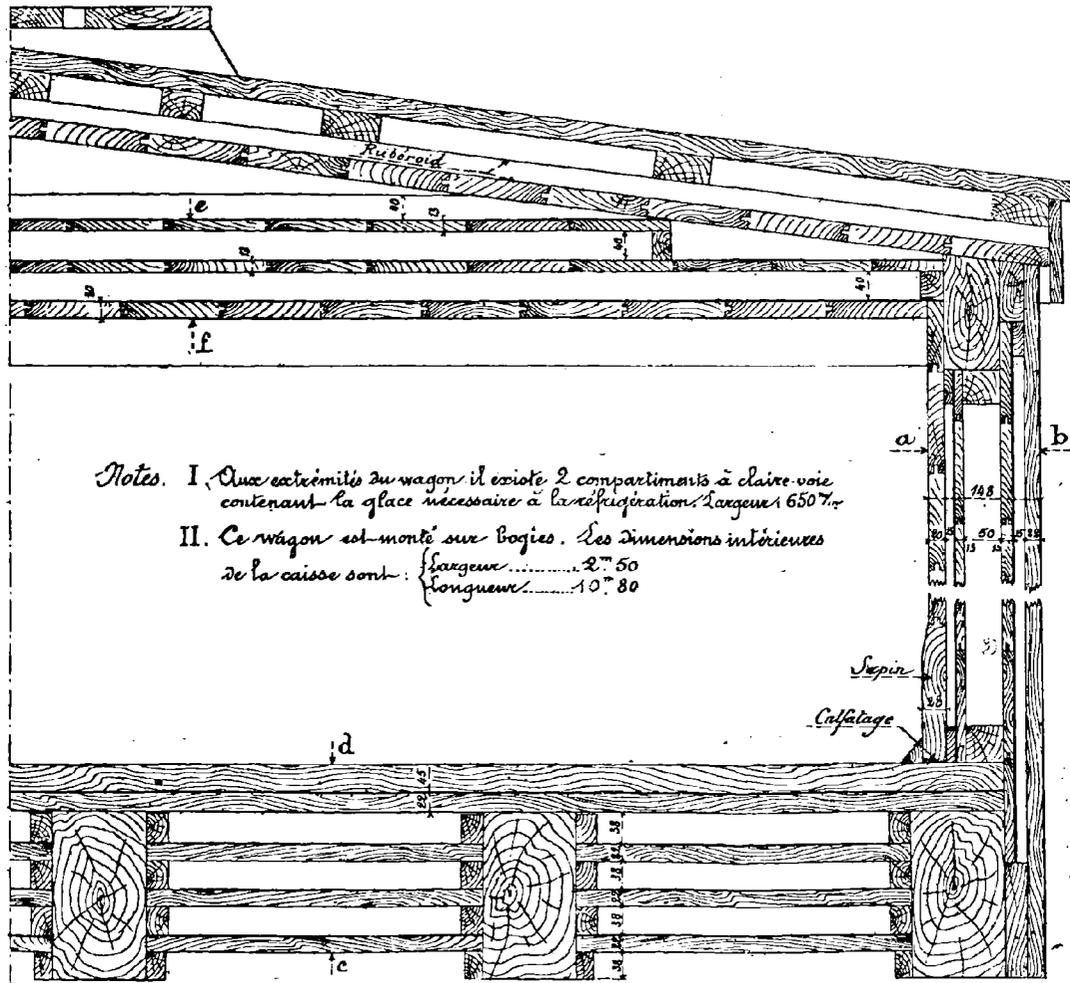


FIG. 246. — Détails de l'isolement d'un wagon.

— Matelas d'air : épaisseur 40 millimètres. — Une épaisseur de feutre. — Une épaisseur de papier P. B. (trois plis). — Plan de tilleul : épaisseur 20 millimètres.

La figure 247 représente l'isolement d'un autre wagon. Cet isolement est établi de la manière suivante.

Parois verticales. — De *g* vers *h* (*fig.* 247). — Plan de pitchpin : épaisseur 10 millimètres. — Une épaisseur de papier Néponset (papier analogue au papier P. B.) (trois plis). — Matelas d'air. — Une épaisseur de feutre : épaisseur 25 millimètres. — Une épaisseur de papier Néponset (trois plis). — Sapin de Norwège (isolant) : épaisseur 10 millimètres. — Montant ou encadrement : épaisseur 60 millimètres. — Sapin de Norwège (isolant) : épais-

seur 10 millimètres. — Deux épaisseurs de papier Néponset (trois plis). — Panneautage en sapin blanc ; épaisseur 22 millimètres.

Plancher. — De *k* vers *l* (fig. 247). — Plancher : épaisseur 22 millimètres. — Une épaisseur de papier Néponset (trois plis). — Feutre : épaisseur 13 millimètres. — Une épaisseur de papier Néponset (trois plis). — Matelas d'air : épaisseur de près de 45 millimètres. — Plancher : épaisseur 22 millimètres. — Une épaisseur de papier Néponset (trois plis). —

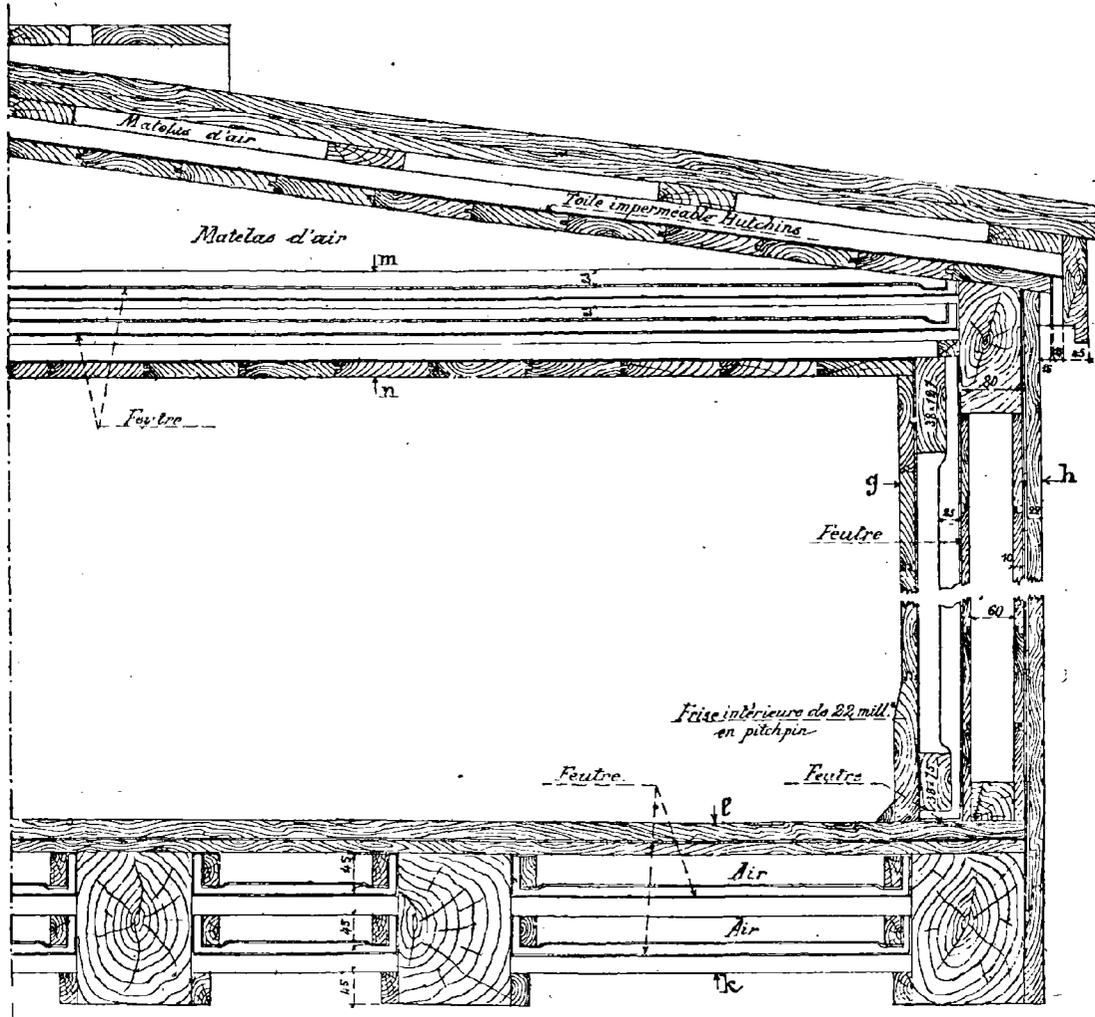


FIG. 247. — Détails de l'isolement d'un wagon.

Feutre : épaisseur 13 millimètres. — Une épaisseur de papier Néponset (3 plis). — Matelas d'air : épaisseur de près de 45 millimètres. — Plancher en sapin de Norwège : épaisseur 16 millimètres. — Une épaisseur de papier Néponset (3 plis). — Plancher en pitchpin : épaisseur 28 millimètres.

Plafond. — De *m* vers *n* (fig. 247). — Matelas d'air : épaisseur 23 millimètres. — Une épaisseur de papier Néponset (trois plis). — Feutre : épaisseur 13 millimètres. — Une épaisseur de papier Néponset (trois plis). — Sapin de Norwège (isolant), 10 millimètres. — Matelas d'air. — Une épaisseur de papier Néponset (trois plis). — Feutre : épaisseur 13 millimètres. — Une épaisseur de papier Néponset (trois plis). — Sapin de Norwège

(isolant), 10 millimètres. — Matelas d'air. — Une épaisseur de papier Néponsot (trois plis). — Plafond pitchpin, 22 millimètres.

D'autres modes d'isolement de wagons sont réalisés. A la firme *P. Herbrand* d'Ehrenfeld près de Cologne, les wagons frigorifiques ont des parois latérales et antérieures doubles; le toit en est également double et recouvert de toile goudronnée, suivant le système en usage pour les wagons de l'État prussien. Entre les deux parois se trouve une couche de paille hachée. Cet isolant est d'ailleurs loin de valoir le liège.

En Amérique le *S and S Sales Car* a ses murs isolés par trois épaisseurs de planches, deux épaisseurs de laine minérale et cinq de papier. L'intérieur est en sapin jaune verni et poli.

Souvent les parois latérales sont formées simplement d'une triple cloison en bois avec deux matelas d'air; le toit et le plancher sont construits avec deux cloisons en bois présentant un matelas d'air interposé. C'est le cas des wagons-citernes pour le transport du lait dont nous avons parlé plus haut.

Dans tous ces wagons on diminue l'absorption des rayons solaires par la surface extérieure en revêtant cette surface d'une couche de ripolin blanc; il est même bon d'enduire la surface intérieure avec un lait de chaux.

21. Wagon isolant. — Réfrigération de trains entiers avec leur chargement. — Nous savons isoler les parois d'un wagon. Comment allons-nous le refroidir? Pour cela nous allons étudier les divers types de wagons.

Le wagon isolant fonctionne sans glace; mais son exploitation demande l'intervention d'une machine frigorifique au point de départ. Il faut donc que le wagon puisse avoir un arrêt près d'une usine frigorifique, à l'aide d'une ligne de raccordement.

Une machine frigorifique est installée pour abaisser la température d'une petite pièce et pour refouler par un dispositif spécial de l'air froid dans les wagons.

Les produits à expédier sont groupés dans la pièce froide: ils y séjournent pendant quelques heures de façon à ce que leur température descende jusqu'à $+2$ ou $+3$ au-dessus de zéro; ils sont ensuite chargés dans le wagon préalablement refroidi à une température analogue. D'après M. de Loverdo¹, si le wagon est bien isolé, les produits ainsi traités peuvent faire en général un trajet de *un ou deux jours* sans trop s'échauffer.

Ce système est très employé en Angleterre; il a été appliqué avec succès pour le transport des viandes congelées du Havre à Genève par la Compagnie Sansinena. Le wagon isolant, grâce à un raccordement de rails qui longeait l'usine du Havre, venait se placer à côté de celle-ci. La viande congelée sortant des chambres de conservation pouvait être immédiatement chargée dans le wagon. Une trappe se trouvant sur le toit de celui-ci permettait d'insuffler de l'air froid venant du frigorifique. La température du wagon était ainsi descendue à -10 . Après trois jours de trajet par des températures de $+18$ à $+20$, quand ce wagon arrivait à Genève, il possédait encore une température inférieure à 0°C .²

Avec de tels wagons non préalablement refroidis, en disposant en vrac les quartiers de viande congelés, on peut conserver sans qu'ils se décongèlent les quartiers de bœuf pendant soixante heures en été et quatre-vingts heures en hiver, les moutons entiers pendant trente-six heures en été et cent heures en hiver. L'été, pendant les vingt-quatre heures qui suivent, la viande se décongèlera légèrement, mais sans rien perdre de ses qualités; elle arrivera au contraire dans les meilleures conditions pour pouvoir être distribuée à l'ouverture du wagon.

1. DE LOVERDO, *le Froid artificiel*, p. 601.

2. DE LOVERDO, *le Froid artificiel*, p. 602; — E. MARCHAL, *les Viandes de boucherie conservées par le froid* (Paris, Asselin et Houzeau, 1895).

En Allemagne, on se sert parfois des wagons isolants pour transporter jusqu'aux lieux de consommation le lait et le beurre préalablement refroidis à une basse température. Nous avons plus haut donné un exemple de ce mode de transport.

Souvent même, pour le transport du *lait dit réfrigéré*, c'est-à-dire du lait refroidi par une masse de lait solide plongée à son intérieur, on se sert de wagons ordinaires; on a seulement soin d'enfermer dans une enveloppe isolante le bloc formé par les récipients à lait; la forme prismatique donnée par Helm à ces récipients facilite l'arrimage et limite au minimum la perte de place. Dans un wagon de 10 tonnes, on peut transporter dans les récipients de cette forme 7.400 litres de lait, et dans un wagon de 15 tonnes, 11.100 litres de lait¹.

On a essayé, au Canada, d'employer au transport des fruits les wagons à parois isolantes *non refroidis*. On a constaté que les fruits transportés dans ces wagons n'étaient pas plus frais que ceux qui étaient transportés en wagons ordinaires. Il a même été remarqué qu'il

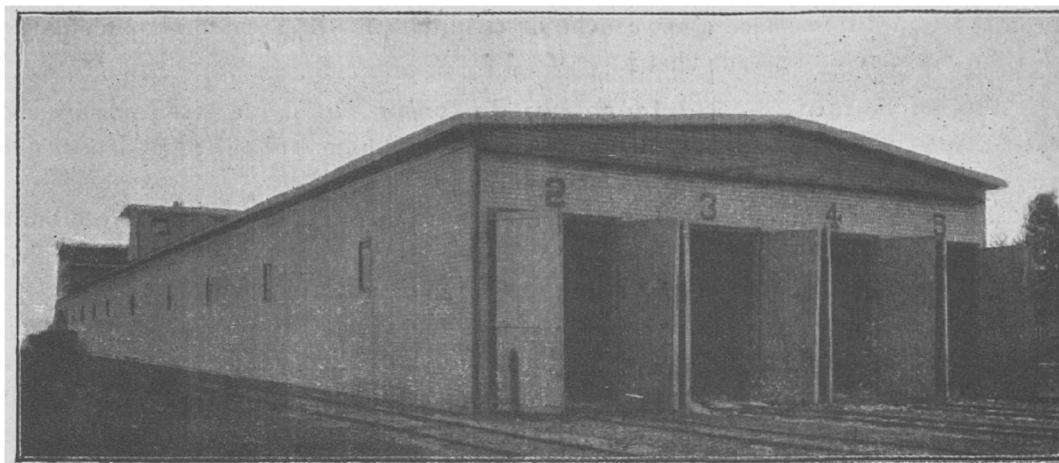


FIG. 248. — Réfrigération des trains de bananes; vue extérieure du bâtiment isolé et refroidi dans lequel on introduit les trains en état complet de chargement. (*Cold Storage and Ice Trade Journal*, septembre 1905.)

il y avait à l'intérieur de ces wagons une température de 10° plus élevée qu'au dehors, ce qui était dû sans doute à la chaleur produite par la maturation des fruits, chaleur retenue par les parois isolantes des wagons.

Le transport des fruits, notamment des *bananes*, vient d'être réalisé avec succès aux États-Unis, en employant des *wagons isolants réfrigérés*. Toutefois, au lieu de refroidir d'abord les bananes et de les introduire froides dans le wagon isolant réfrigéré, on refroidit le chargement dans le wagon en plaçant celui-ci dans une enceinte isolée à basse température, et en faisant circuler de l'air sec et froid à l'intérieur du wagon au travers du chargement. Les figures 248 à 255 représentent une installation faite à *Springfield* (Missouri) par *The Fruit Despatch Company* pour refroidir dans une même opération 40 wagons de bananes à la température de 15° C.²

La chambre frigorifique dans laquelle on introduit les wagons chargés a 122 mètres de longueur, 20 mètres de largeur; elle contient 4 voies (*fig. 248*) sur chacune desquelles on

1. Voir la figure représentant cet arrimage dans l'ouvrage d'OTTO KASDORF, *Eis und Kälte im Molkebetrieb*, p. 237.

2. *The Cooling of Banana Trains* (*Cold Storage and Ice Trade Journal*, septembre 1905). — STETEFELD, *Neuerungen in Obstkühlanlagen. Kühlung ganzer Eisenbahnzüge* (*Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie*, t. XIII, fasc. 1, janvier 1906).

peut placer 10 wagons. Les murs, le toit, le sol de cette chambre sont convenablement isolés, afin de pouvoir abaisser suffisamment la température avant l'introduction des wagons.

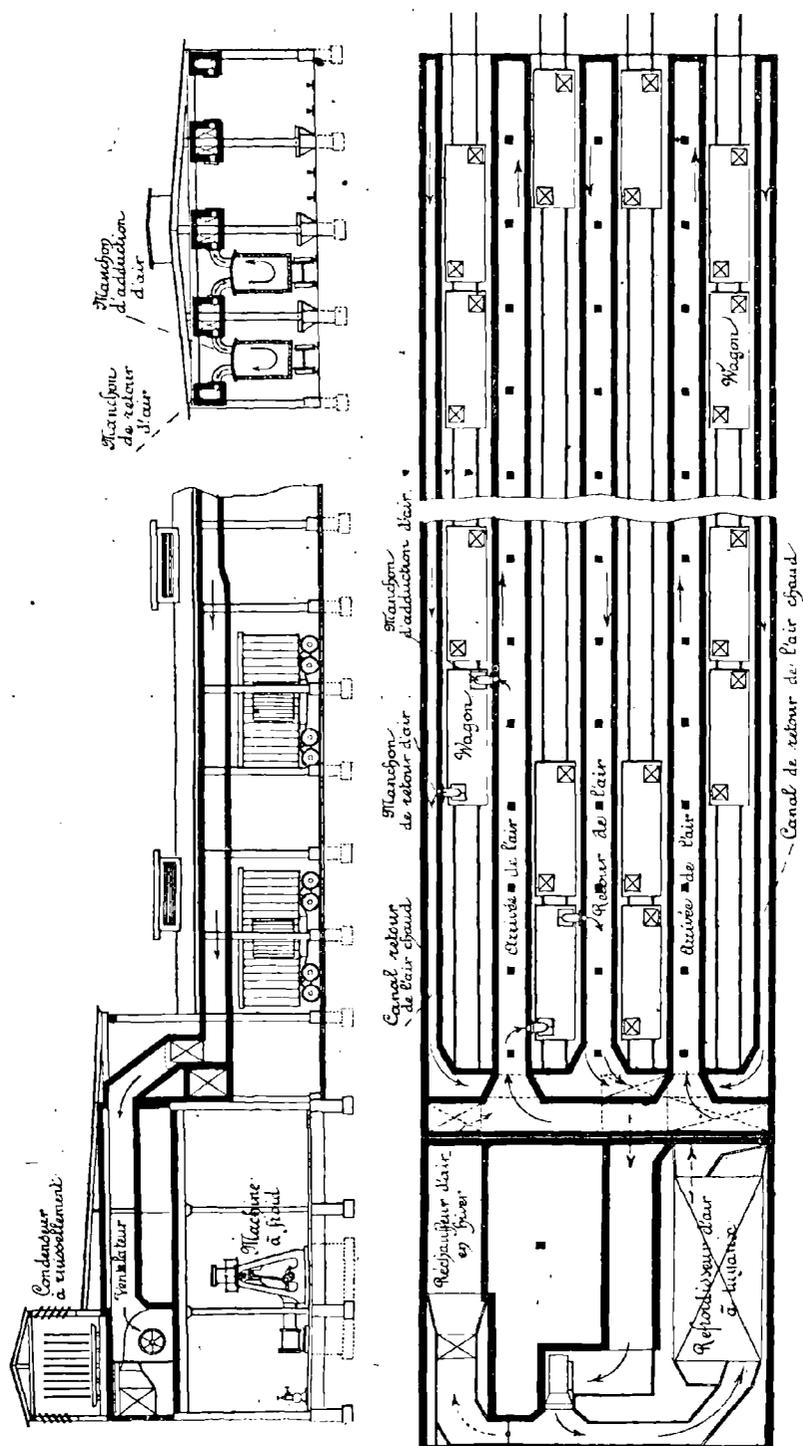


Fig. 249 à 251. — Schéma de l'installation de Springfield pour la réfrigération des trains de bananes en état complet de chargement.

Ceux-ci sont introduits tout chargés dans la chambre. On fait alors circuler de l'air sec et froid dans l'intérieur de ces wagons au moyen de manches en toile qui pénètrent dans

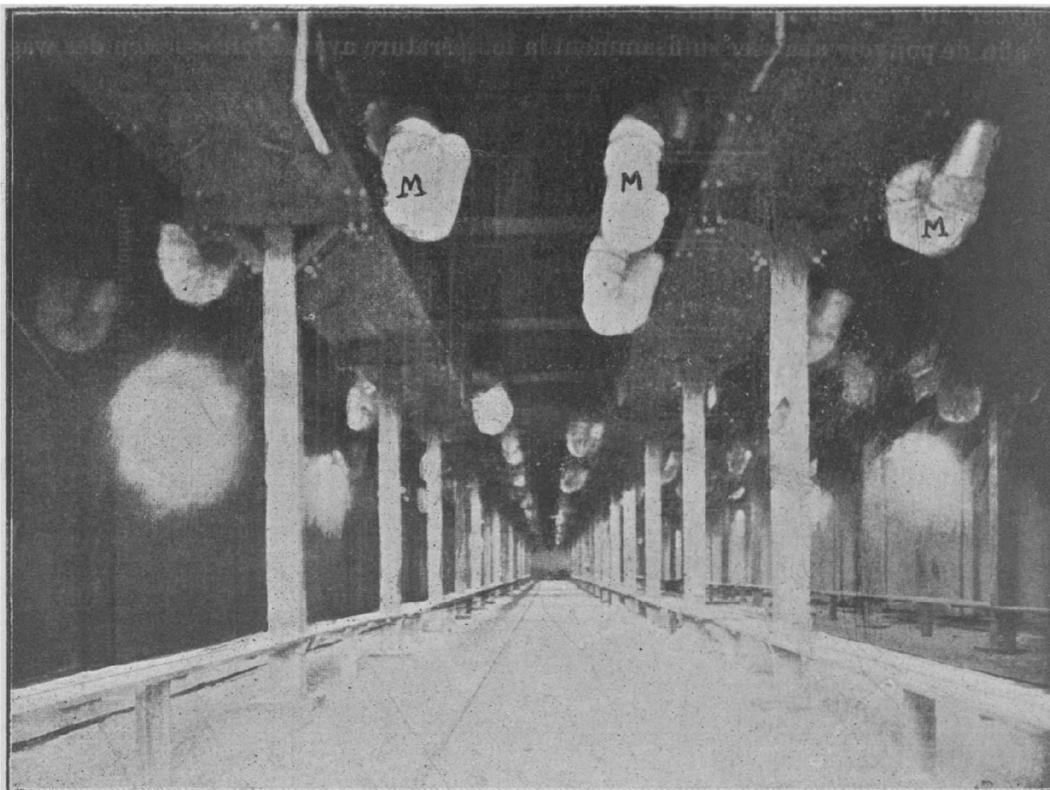


FIG. 252. — Vue de l'intérieur du bâtiment isolé et refroidi dans lequel sont introduits les trains de bananes en état complet de chargement.
[M désigne les manches en toile servant à la circulation de l'air sec et froid à l'intérieur des wagons.]
(*Cold Storage and Ice Trade Journal*, septembre 1905).

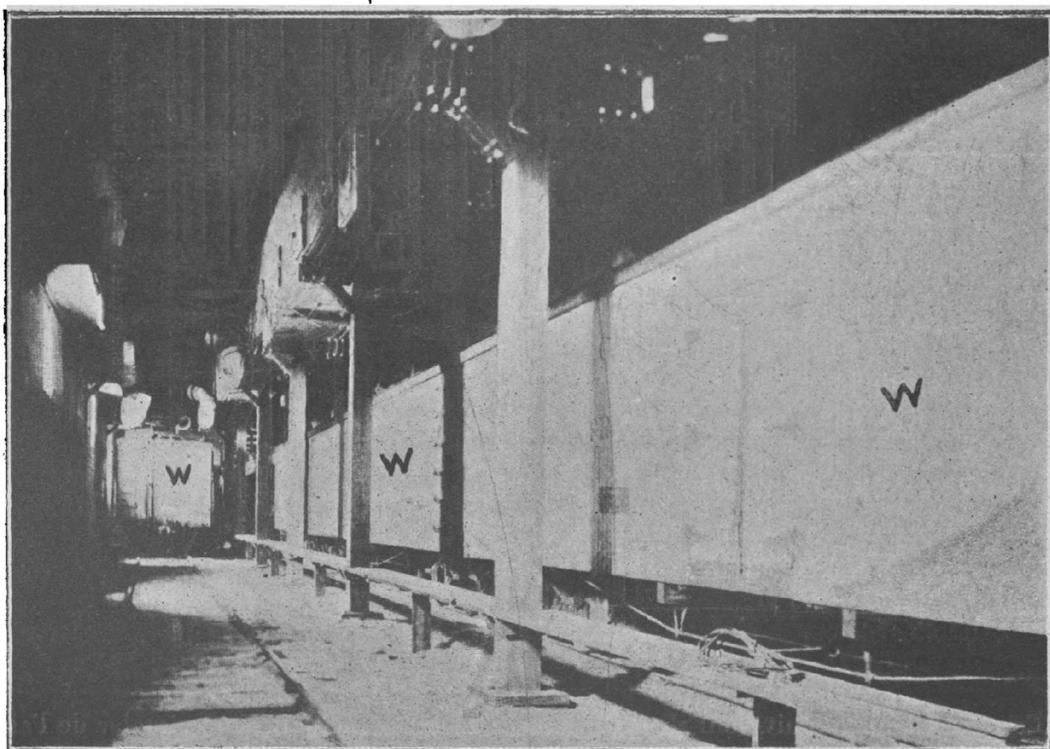


FIG. 253. — Vue intérieure du bâtiment isolé et refroidi dans lequel ont été introduits les wagons W.
(*Cold Storage and Ice Trade Journal*, septembre 1905).

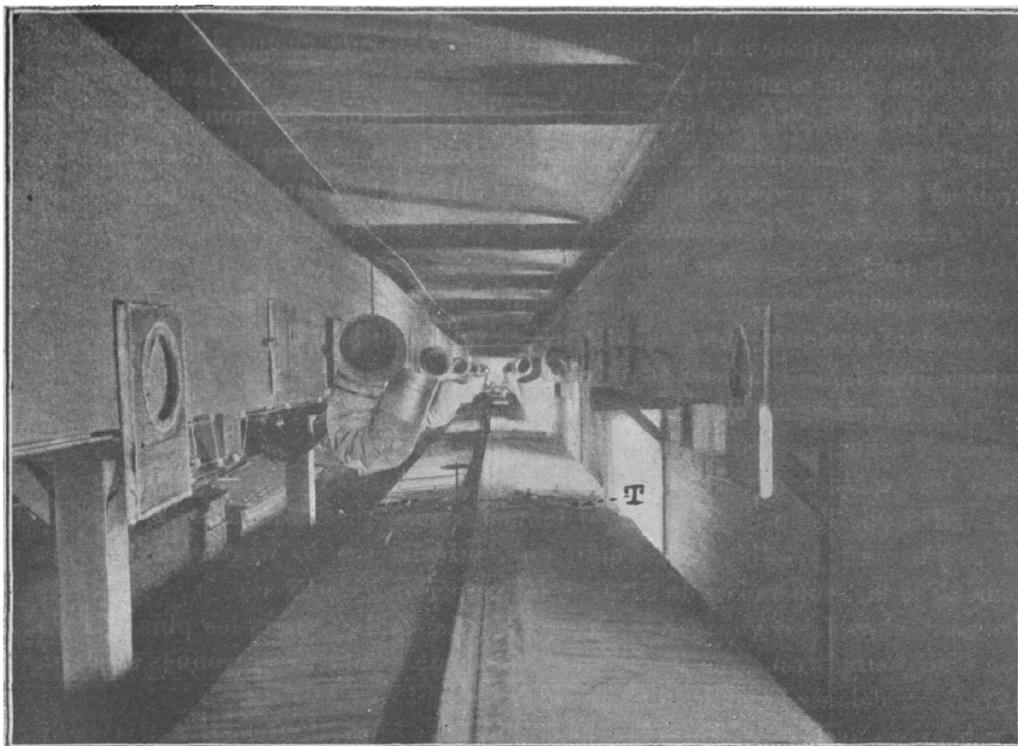


FIG. 254. — Installation de Springfield pour la réfrigération des trains de bananes.
[Position des manches de circulation d'air sec et froid avant leur introduction dans les wagons par les trappes T.]
(*Cold Storage and Ice Trade Journal*, septembre 1905).

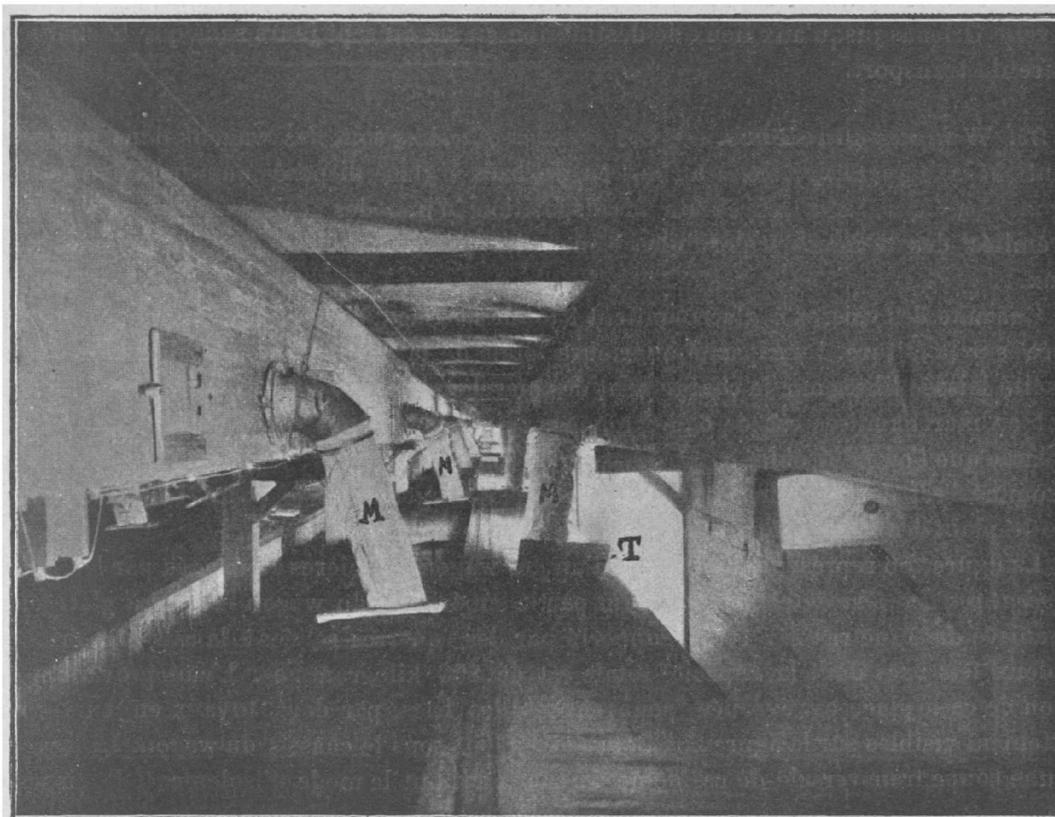


FIG. 255. — Installation de Springfield pour la réfrigération des trains de bananes.
[Les manches M de circulation d'air sont en place et pénètrent dans les wagons par les trappes T soulevées.]
(*Cold Storage and Ice Trade Journal*, septembre 1905.)

des trappes disposées sur le toit des wagons; l'une de ces manches est le conduit d'amenée de l'air froid, l'autre manche est le conduit de sortie de l'air chaud. Les figures 249 à 251 sont des schémas qui montrent bien les détails de l'installation. Sur la figure 252, les voies sont vides et les manches sont relevées et fermées; la figure 253 montre les wagons introduits dans la chambre froide; la figure 254 représente la position des manches d'adduction d'air froid et de retour d'air chaud avant leur introduction dans les wagons; la figure 255 montre les manches en fonctionnement, alors qu'elles ont été introduites dans les trappes ouvertes à la partie supérieure des wagons.

Une fois que les wagons ont été ainsi refroidis avec leur chargement, on peut les faire circuler pendant quelques jours avant que l'élévation de la température du chargement ne devienne préjudiciable pour sa conservation.

Ce mode de réfrigération a l'avantage de placer dans une atmosphère sèche et suffisamment froide des denrées qui ne supportent pas l'humidité.

Dans des expériences faites à Springfield en juillet 1905, on a constaté qu'avec une machine à AzH^3 (type Éclipse-Frick) de 80 tonnes frigorifiques des États-Unis (240.000 frigories-heures) il était possible de refroidir en douze heures 40 wagons de bananes à plein chargement de la température de 27° C. à la température de 15° C.

On peut alors faire voyager ce chargement pendant les mois les plus chauds, durant deux ou trois jours, avant que les bananes ne soient de nouveau revenues à la température de + 27° C. au delà de laquelle elles ne se conservent pas.

Les bananes arrivent en bateaux frigorifiques à la Nouvelle-Orléans; elles sont immédiatement chargées dans des wagons et dirigées en grande vitesse sur la station d'embranchement de Springfield; là les wagons sont refroidis comme nous venons de le dire, puis dirigés sur les lieux de vente. Il est alors en général possible de faire voyager ces fruits depuis la Nouvelle-Orléans jusqu'aux lieux de destination en six ou sept jours sans que le chargement souffre du transport.

22. Wagons-glacières. — Les *wagons-glacières* sont des wagons dans lesquels on maintient la température basse au moyen de bacs à glace disposés aux deux extrémités du wagon. La figure 244 représente la disposition d'une des caisses à glace à l'une des extrémités des wagons frigorifiques construits par la Société *Dyle et Bacalan* à Bordeaux.

Chacune des caisses à glace contient 1 tonne de glace; celle-ci se charge par des trappes situées sur la toiture. La capacité intérieure totale de la caisse étant de 26 mètres cubes, la capacité laissée libre pour le chargement des marchandises est de 20 mètres cubes. Le chargement en marchandises est de 6 à 8 tonnes, suivant la nature du produit. La température moyenne que l'on peut obtenir est de + 6° C. (minimum + 4°; maximum + 8°). La glace consommée est de 400 kilogrammes environ par vingt-quatre heures. Il est nécessaire de faire le plein des caisses à glace toutes les quarante-huit heures.

La figure 256 représente l'intérieur d'un des wagons-glacières aménagés par les *Laiteries Coopératives des Charentes*: on voit à la partie supérieure du wagon un bac à glace en tôle galvanisée de 2 mètres sur 1^m,48, supporté par des équerres reliées à la caisse intérieure. Il y a deux tels bacs dont la capacité totale est de 800 kilogrammes. L'eau provenant de la fusion de cette glace est évacuée, pour chacun des bacs, par deux tuyaux en cuivre rouge (nettement visibles sur la figure 256), qui descendent sous le châssis du wagon. La figure 257 est une coupe transversale de ce même wagon montrant le mode d'isolement, la disposition

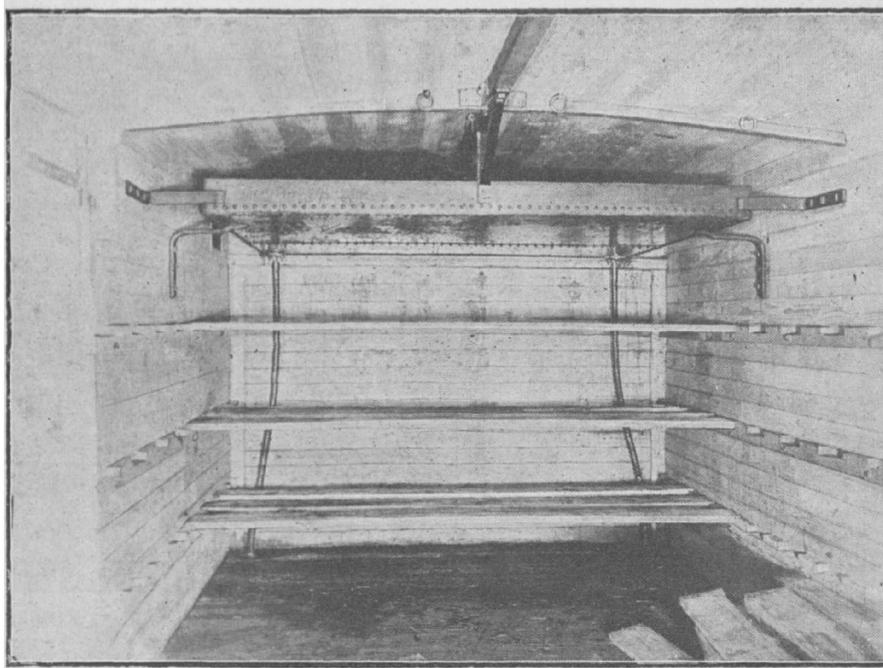


Fig. 256. — Intérieur d'un wagon-glacière (Laiteries coopératives des Charentes, État français). *Cliché de « L'Industrie frigorifique ».*

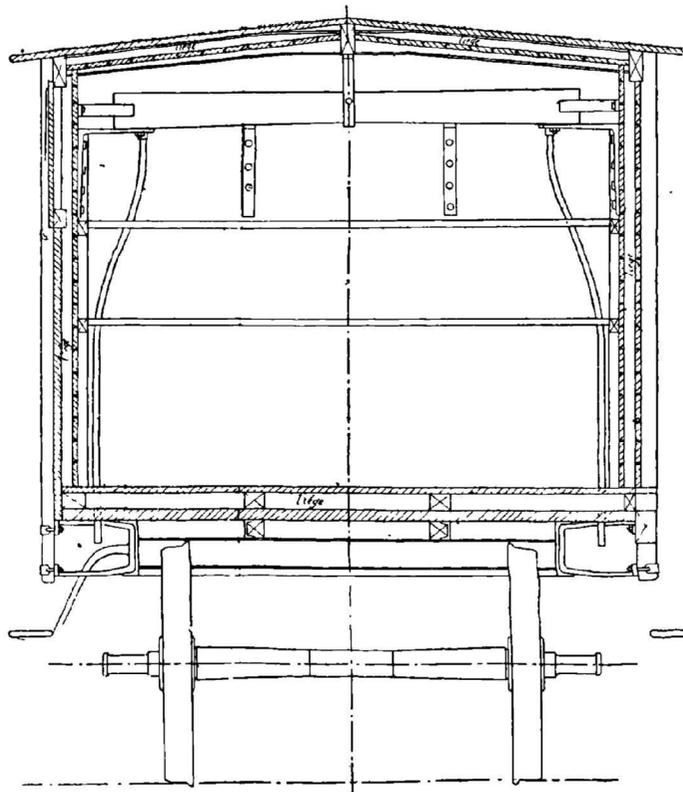


Fig. 257. — Coupe transversale d'un wagon-glacière (Laiteries coopératives des Charentes, État français). *Cliché de « L'Industrie frigorifique ».*

du bac à glace et des tuyaux d'écoulement de l'eau. La figure 258 montre le même wagon avec sa porte roulante ouverte et la porte étanche fermée¹.

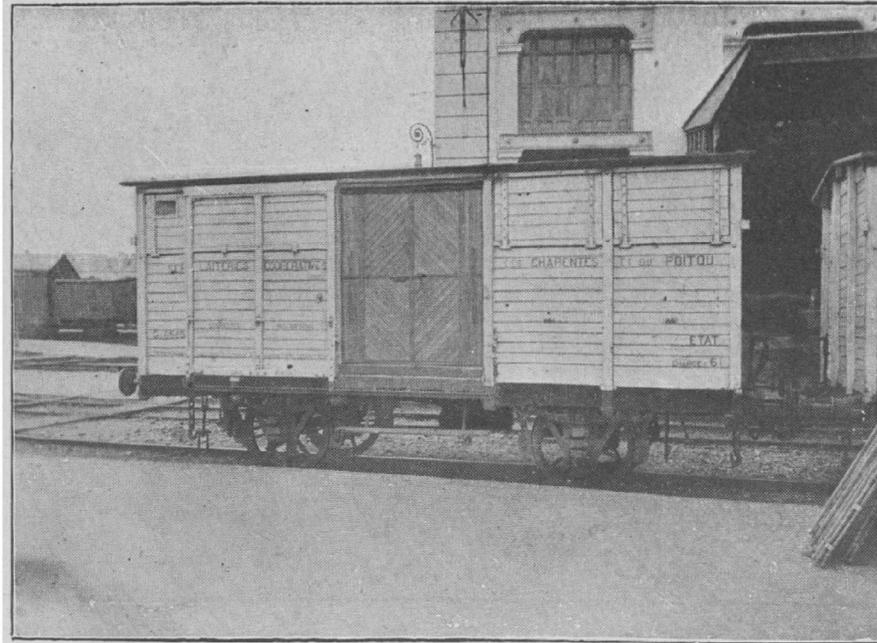
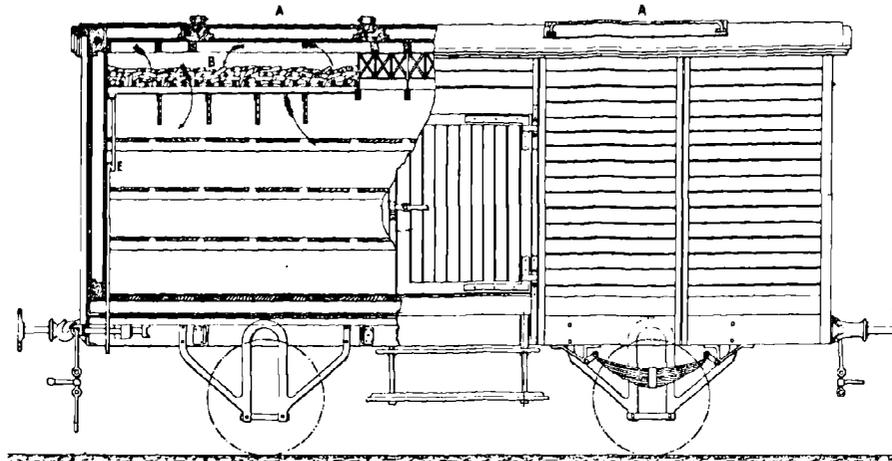


FIG. 258. — Wagon-glacière des Laiteries coopératives des Charentes.
La porte roulante est ouverte.
Cliché de « L'Industrie frigorifique ».



FIG. 259. — Wagon-glacière de la Société des wagons et entrepôts frigorifiques de France (Wagon de l'Ouest aménagé).
Cliché de « L'Industrie frigorifique ».

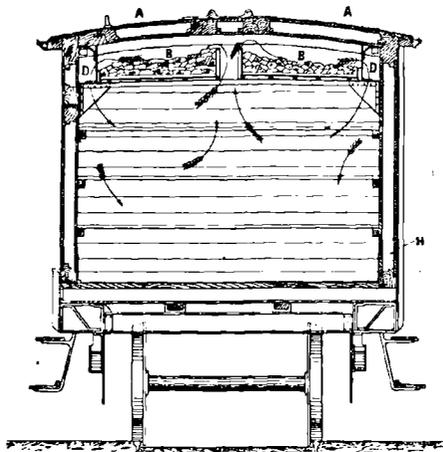
Les figures 259 à 262 représentent le type des wagons-glacières de la *Société des wagons*
A. L. NERDEUX, *Les transports frigorifiques* (*L'Industrie frigorifique*, 1^{re} année, n° 2, p. 3).



Cliché de « L'Industrie frigorifique ».

FIG. 260. — Wagon-glacière de la Société des wagons et entrepôts frigorifiques de France.
Coupe longitudinale du wagon montrant la disposition du bac à glace.

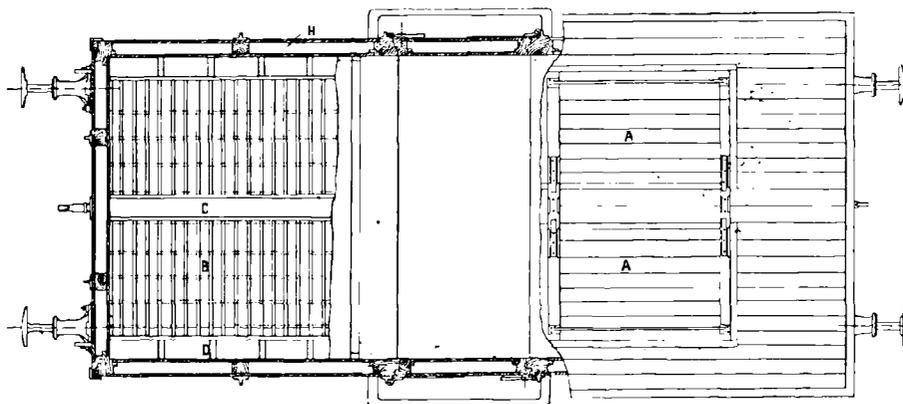
A, Trappe permettant d'introduire la glace; — B, Bac à glace; — E, Tuyau syphoïde d'écoulement de l'eau de fusion de la glace.



Cliché de « L'Industrie frigorifique ».

Fig. 261. — Wagon-glacière de la Société des wagons et entrepôts frigorifiques de France.
Coupe transversale avec indication de la circulation d'air.

A, Trappes de chargement de la glace; — B, Bacs à glace; — D, Sortie de l'air qui est venu au contact de la glace; — H, Isolement.



Cliché de « L'Industrie frigorifique ».

FIG. 262. — Wagon-glacière de la Société des wagons et entrepôts frigorifiques de France.
Plan du wagon avec disposition des bacs à glace B et des trappes de chargement A.

C, Partie comprise entre les bacs par où l'air arrive au contact de la glace; — D, Sortie de l'air après son passage sur la glace.

et entrepôts frigorifiques de France destinés au transport des beurres et de la marée¹.

L'isolement est obtenu au moyen de plusieurs lames de bois à joints croisés entre lesquelles sont interposés du carton, du papier et du liège granulé convenablement disposés.

L'accès intérieur a lieu au moyen de portes à un seul vantail. Ces portes sont garnies de feutre pour en assurer l'étanchéité; un levier à demi-circonférence, portant un coin progressif qui roule sur galet, permet une fermeture rapide avec pression continue.

La réfrigération s'obtient au moyen de glace disposée dans deux bacs fixés au plafond et ayant une capacité de 500 kilogrammes chacun. Ces bacs se chargent soit de l'intérieur même du wagon, soit de l'extérieur au moyen de trappes placées sur le toit du wagon. L'écoulement de l'eau de fusion se fait par un système de tuyauterie allant de l'intérieur à l'extérieur. Les rentrées d'air extérieur sont rendues impossibles par un système siphonide.

Des étagères mobiles, disposées sur trois rangs superposés, permettent d'éviter le foulage des colis si préjudiciable aux denrées.

Le parquet est recouvert de zinc pour permettre le nettoyage des wagons. Des bondes siphonides placées dans différentes parties permettent l'écoulement de l'eau. Un caillebotis protège le zinc et permet de disposer entre les lames une matière absorbante.

On peut diviser les wagons-glacières en deux classes, suivant qu'ils sont entièrement fermés ou pourvus d'une circulation d'air réglable à volonté et renouvelant leur atmosphère.

23. Wagons-glacières entièrement fermés. — Circulation d'air par différence de densités. — Les wagons fermés sont de beaucoup les plus répandus, et ils peuvent se diviser eux-mêmes en deux variétés, suivant que l'air y est mis en circulation par différence de densités ou suivant qu'un ventilateur le fait passer et repasser sur la glace.

Le wagon *Dyle et Bacalan* est à circulation d'air fermée s'effectuant par différence de densités. Tel est aussi le cas des wagons de l'État danois employés pour le transport de la viande et du beurre (Voir O. Kasdorf, fig. 161 et 162 de la page 239), et celui des wagons de l'État français.

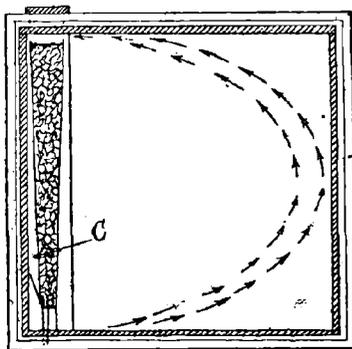


FIG. 263. — Wagon Davis.

Dans les anciens wagons de *Davis*, les bacs à glace (fig. 263) placés au bout des wagons sont tronconiques de manière à réserver, entre eux et les parois du fond, un espace mince C très froid, où l'air descend en provoquant une circulation suivant les flèches. Ce dispositif est très employé par *Armour de Chicago*.

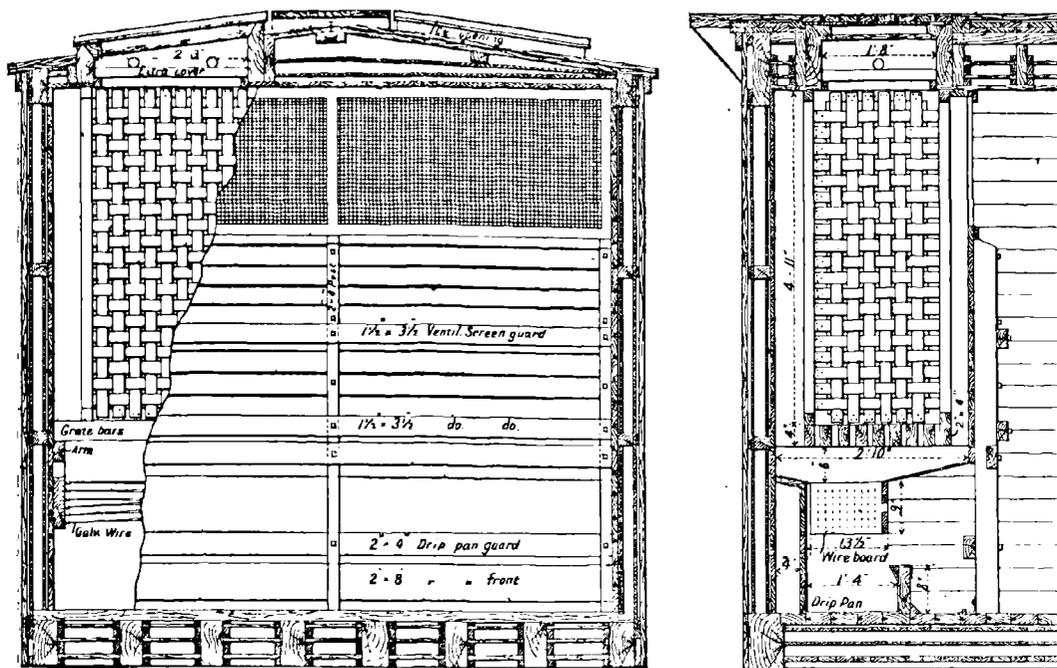
Les wagons de la *Compagnie Wickes Refrigerator Car* de *Chicago* possèdent quatre bacs à glace, deux à chaque bout d'environ 1^m,50 de haut et de 0^m,60 de côté, en bois, avec parois en treillis de bandes de fer galvanisé de 50 millimètres de large.

La figure 264 montre ce treillis. L'eau provenant de la fusion de la glace s'écoule par une trémie à mailles métalliques; on voit cette trémie désignée sous le nom de *Wire Board* sur la figure 265; le bassin, destiné à recueillir l'eau de fusion, est désigné sur cette même figure par l'indication *Drip Pan*. Les compartiments de glace communiquent avec l'intérieur du wagon par une cloison ouverte en bas et pourvue en haut d'un châssis à toile métallique; cette cloison est visible au premier plan sur la figure 264. L'air chaud monte dans le wagon,

1. E. MÉNALQUE, *Les transports frigorifiques. Note sur les différents wagons frigorifiques actuellement en service et sur les Sociétés françaises de transports frigorifiques* (*L'Industrie frigorifique*, 4^e année, n° 34, mars 1906).

traverse le châssis à toile métallique de la cloison, vient lécher la glace dans les compartiments froids et revient au wagon par le bas des cloisons ; c'est une circulation par différence de densités.

Ces wagons ont $10^m,50 \times 2^m,50 \times 2^m,40$; ils sont isolés au moyen de matelas d'air, d'amiante et de papier isolant. Ils peuvent contenir environ 8 bœufs ; on en rencontre un très grand nombre aux États-Unis¹.



Cliché de la « Revue de Mécanique ».

FIG. 264 et 265. — Wagon de la Compagnie Wickes Refrigerator Car. Détails d'un bac à glace.

Ice opening, ouverture pour l'introduction de la glace ; — Grate bars, barreaux de grille ; — Arm, bras ; — Galv. wire, fil galvanisé ; — Ventil. screen guard, barreau de protection de la cloison de ventilation ; — Drip pan guard, barreau de protection du bassin recevant l'eau de fusion ; — Drip pan front, partie avant du bassin recevant l'eau de fusion ; — Wire board, trémie à mailles métalliques ; — Drip pan, bassin recevant l'eau de fusion ; — Post, montant.

NOTA. — Une cote marquée n'm* indique les dimensions : n pieds (n × 305 millimètres, m pouces (m × 25 millimètres).

Dans les wagons *Eastman* (fig. 266 et 267), l'air arrive par CC sur les glacières BD, sort à la partie inférieure en I et revient par EE dans la partie centrale du wagon. La caractéristique de ces véhicules est l'emploi d'un thermostat destiné à maintenir la température à un degré fixé à l'avance. Ce thermostat consiste en un tube de bronze K (fig. 268) fixé au toit dans l'intérieur du wagon, et dont l'autre extrémité libre agit en se dilatant sur une tige L reliée à K par des ressorts. Cette tige actionne par le renvoi *kmo* les volets C qui règlent la circulation de l'air descendant sur les compartiments à glace. La longueur de la tige oo peut se régler par une vis P à vernier M, qui permet de déterminer la température à partir de laquelle la dilatation du tube K commence à ouvrir les volets C, de manière à activer la circulation de l'air froid et à abaisser la température du wagon ; on peut ainsi limiter, dans une certaine mesure, l'élévation de température à l'intérieur du wagon. D'autre part, lorsque la température baisse de nouveau, le retrait du tube K fait fermer les volets C en diminuant l'intensité de la circulation de l'air et, par suite, en limitant l'abaissement de température. Par ces ouvertures et fermetures successives des volets C, on peut faire osciller la

1. G. RICHARD, *les Machines frigorifiques* (Revue de Mécanique, t. V, 1899, p. 182).

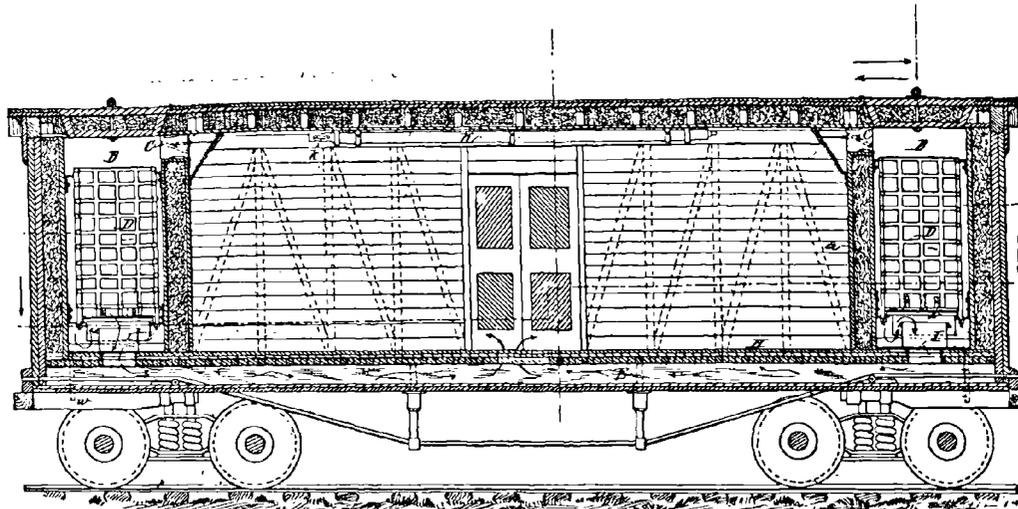


FIG. 266. — Wagon frigorifique Eastman (Coupe longitudinale).

Cliché de la « Revue de Mécanique ».

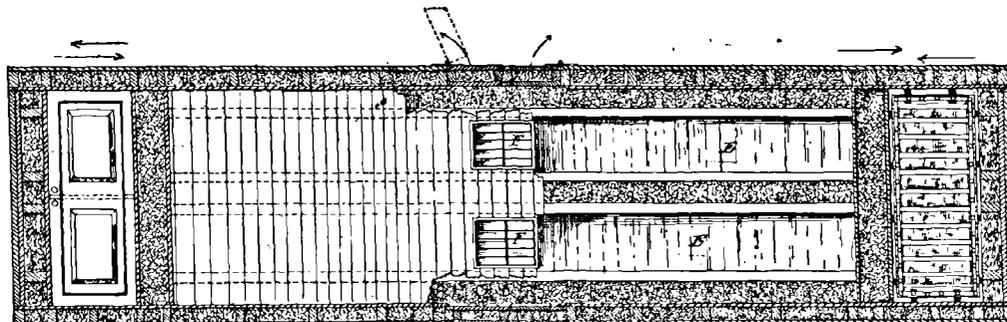


FIG. 267. — Wagon frigorifique Eastman (Plan).

Cliché de la « Revue de Mécanique ».

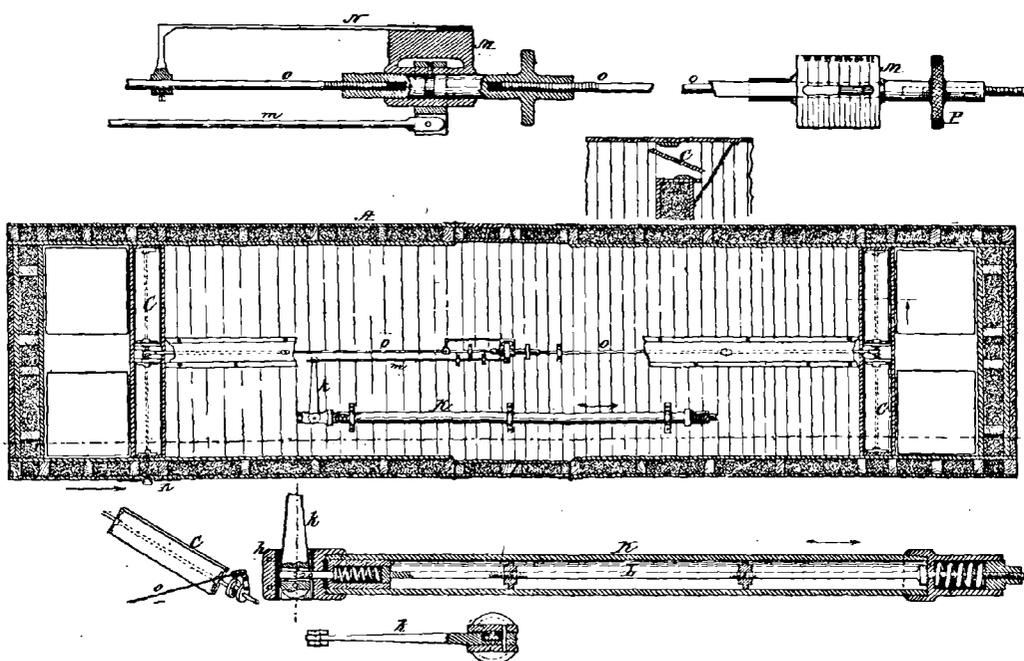
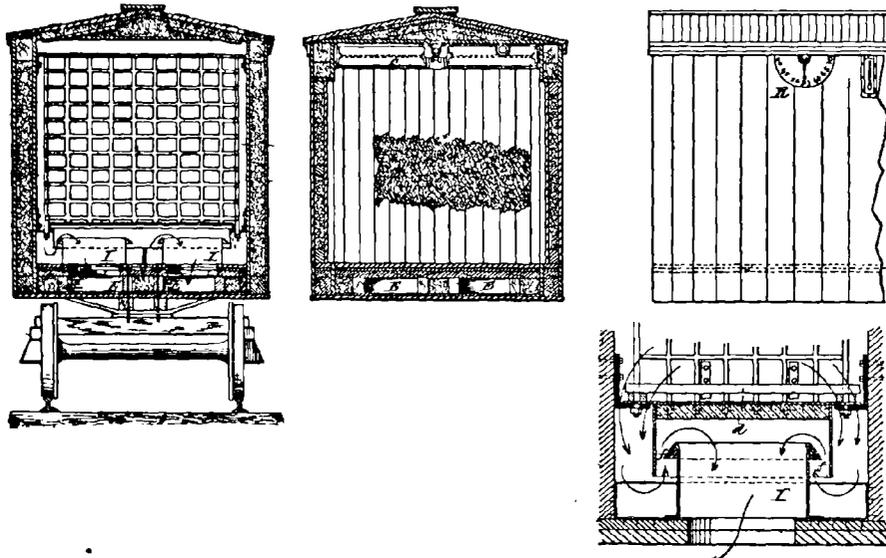


FIG. 268. — Wagon Eastman. Détails du thermostat.

Cliché de la « Revue de Mécanique ».

température de l'intérieur du wagon de petites quantités autour d'une valeur moyenne.



Cliché de la « Revue de Mécanique ».

FIG. 269 et 270. — Wagon Eastman. Coupes transversales, indicateur R et détails de la vidange des bacs.

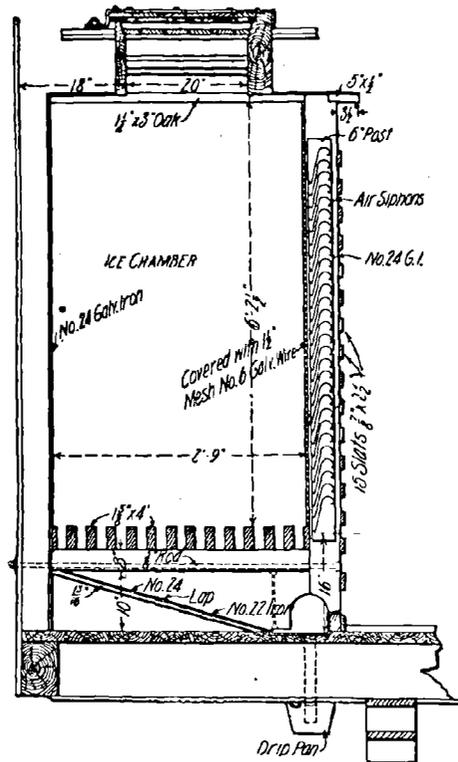


FIG. 271. — Wagon de la firme Bohn Siphon Refrigerator Car.

Oak, chêne; — Post, montant; — Air siphons, siphons à air; — Stats, barreaux horizontaux; — Covered with $1\frac{1}{2}$ \"/>

L'élévation ou l'abaissement de la température du wagon ne se produisent pas instantanément avec le jeu des volets C; aussi, pour éviter des accidents, la tige L est-elle reliée au tube K

par des ressorts qui permettent à la dilatation ou à la contraction du tube K de se produire, même après que, les volets C étant entièrement fermés ou entièrement ouverts, le renvoi K est à fond de course. Une aiguille R (fig. 269) indique à l'extérieur l'ouverture des volets et permet de les manœuvrer en cas d'accident au mécanisme.

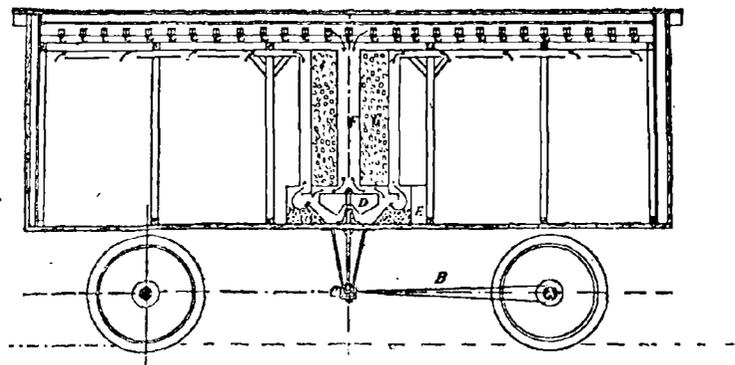
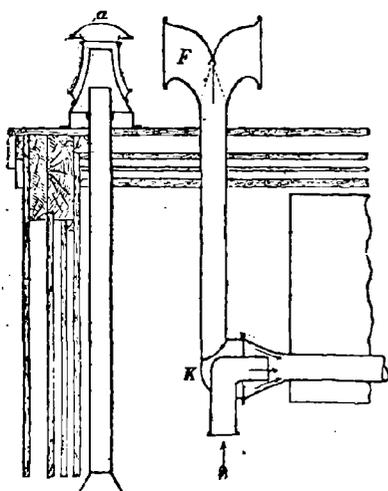


FIG. 272. — Wagon frigorifique Trapp.

Le fond *d* des glacières (fig. 270) est vernissé de manière à empêcher les condensations de l'eau.

L'eau entraînée par l'air froid se dépose sur les bords *f* (fig. 270) des tubes I contre lesquels le courant d'air vient frapper avant l'entrée de l'air froid en EE.

La firme qui construit le *Bohn Siphon Refrigerator Car* a fourni depuis ces dernières années 6 ou 7.000 wagons pour différentes voies ferrées américaines. Ce système a son originalité dans la manière dont circule l'air entre l'intérieur du wagon et les chambres à glace. Cette circulation a lieu à l'aide d'une série de plaques métalliques courbées en forme d'S (tubes de siphons¹) (fig. 271).



Cliché de la « Revue de Mécanique ».
FIG. 273. — Renouvellement de l'air dans le wagon frigorifique de Görlitz.

24. Wagons-glacières entièrement fermés. — Circulation d'air par ventilateurs. — Parmi les types de wagons à circulation fermée par ventilateurs on peut citer en Amérique :

Les *Fugazzi's temperable Cars* et les *Johnson Refrigerators Cars*.

Dans les premiers, des ventilateurs sont installés dans les coins du wagon ; dans les derniers, le ventilateur est fixé au-dessous du wagon et il est manœuvré par le moyen de la roue.

Dans le wagon *Trapp* (de Strasbourg) (fig. 272), la circulation de l'air est produite sur les glacières G par un ventilateur central D avec passage sur du chlorure de calcium desséchant.

25. Wagons-glacières à renouvellement d'air. — Dans les wagons de la fabrique de *Görlitz*, le renouvellement de l'air se fait comme le montre la figure 273. L'air appelé

1. A. PERRET, *Trains et wagons frigorifiques* (*La Glace et les Industries du froid*, 1^{re} année, n° 12, décembre 1904, p. 137); — *New Types of Refrigerator Cars* (*Ice and Refrigeration*, t. XXVII, n° 6, décembre 1904).

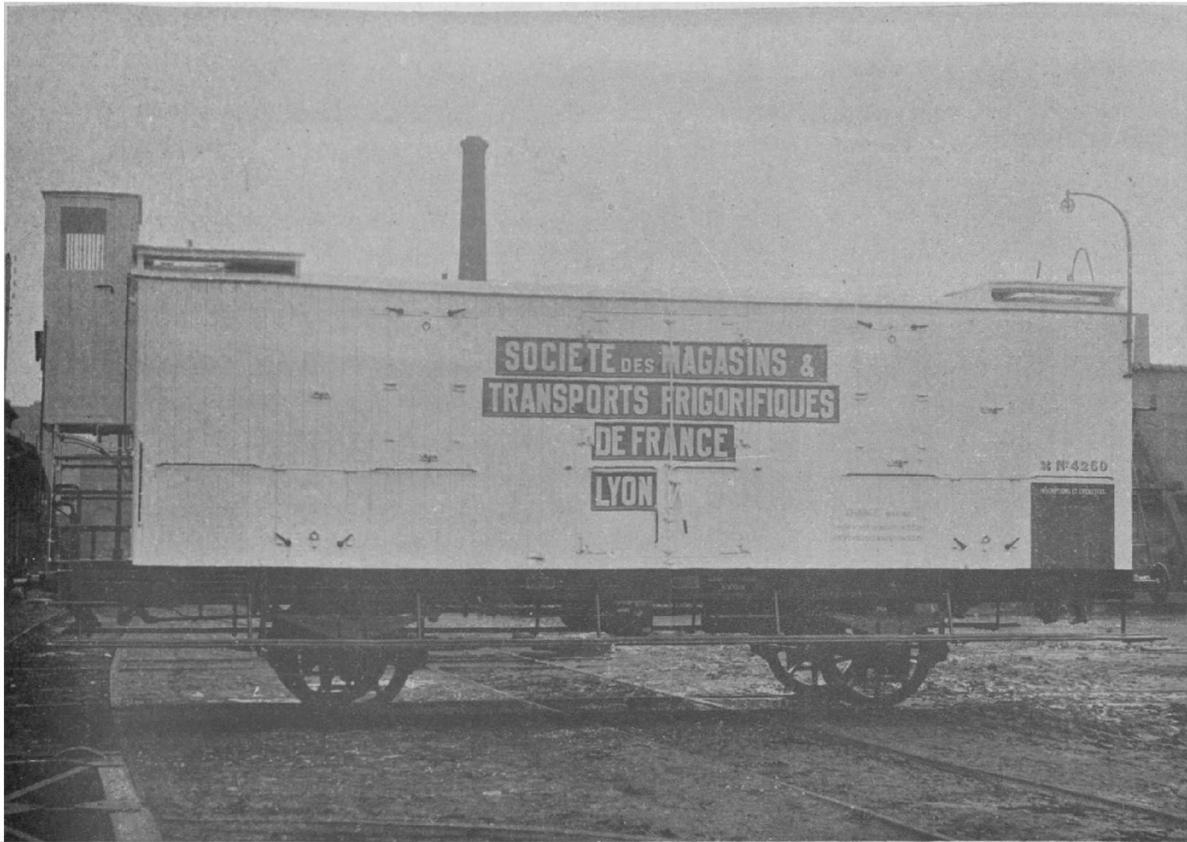


FIG. 274. — Wagon frigorifique de la Société des magasins et transports frigorifiques de France.
(Les appareils de ventilation ne sont pas visibles.)

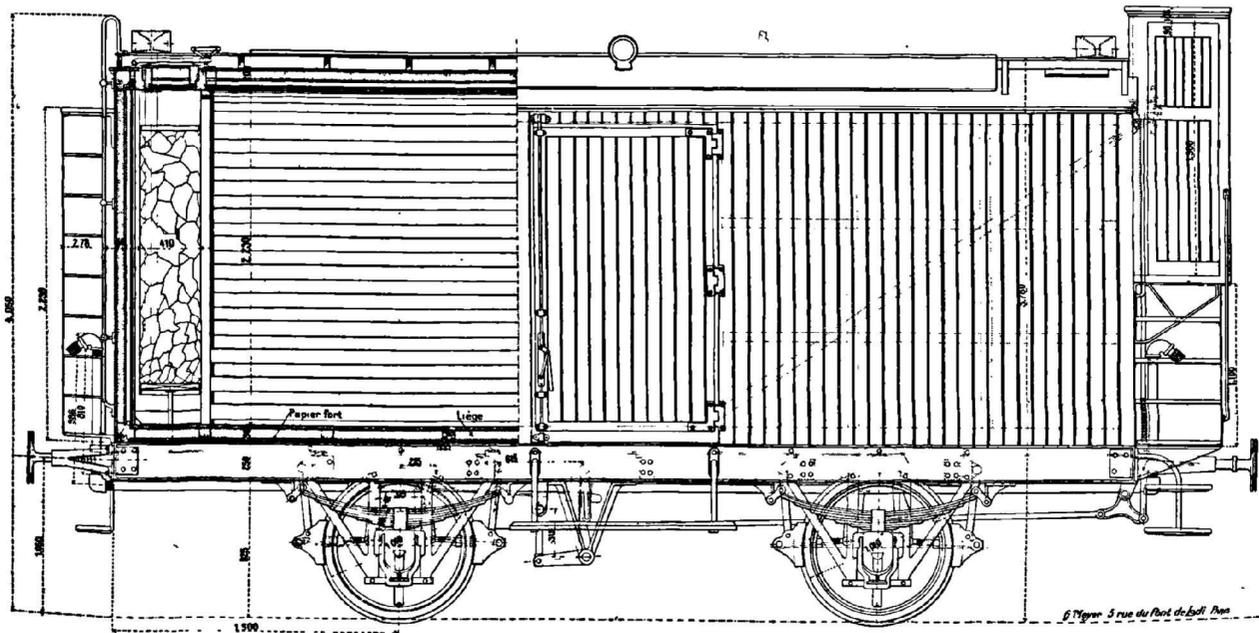


FIG. 275. — Wagon de la Société des magasins et transports frigorifiques de France.
Coupe longitudinale et vue extérieure (Cotes en millimètres).

aspirateurs sont symétriques par rapport au plan vertical passant par l'axe du wagon. Ils sont destinés à déterminer, par le fait de la marche, une aspiration de l'air intérieur du wagon vers l'extérieur (*fig. 278*). Au-dessus des bacs à glace se trouvent quatre manches à air (deux sur chaque bac et à l'angle extérieur) qui se prolongent dans les bacs par un tuyau assez large. Ces manches à air sont symétriques et munies de soupapes de façon à fonctionner, quel que soit le sens de la marche (*fig. 279*).

Les wagons de cette Société, qui sont représentés sur les figures 274 à 279, sont d'ailleurs isolés avec soin au moyen de liège granulé placé entre des cloisons de bois (*fig. 275, 276 et 277*). Les deux bacs à glace (contenant chacun une tonne de glace) sont placés aux extrémités du wagon; l'air extérieur, qui s'est refroidi au contact de la glace, vient, comme dans le cas précédent, lécher la paroi métallique du bac avant de pénétrer dans le wagon. On évite avec soin l'accumulation dans les bacs à glace de l'eau de fusion en facilitant l'écoulement de cette eau à l'extérieur au moyen de trous percés à la base de chaque bac et de siphons disposés pour éviter la rentrée des poussières extérieures et l'engorgement par les matières étrangères provenant de la glace. Chacun de ces wagons pèse à vide environ 10 tonnes; sa charge maximum (y compris la glace) est de 6 tonnes pour la circulation par train de voyageurs et de 88 tonnes pour la circulation par trains mixtes et de marchandises.

L'expérience peut seule indiquer quel degré de circulation d'air il convient de réaliser pour chaque produit. Il est certain qu'il est bon de ventiler l'intérieur des wagons afin d'empêcher l'accumulation d'air chaud ou d'odeurs nuisibles. Mais une ventilation trop énergique peut être défavorable au point de vue de la production et de la constance des basses températures à réaliser; elle est alors susceptible de produire plus d'inconvénients que d'avantages.

26. Wagons réfrigérants proprement dits. — Les wagons réfrigérants proprement dits sont ceux dans lesquels le froid est obtenu au moyen de machines frigorifiques. On distingue :

- a) *Les wagons réfrigérants portant une machine frigorifique;*
- b) *Les wagons réfrigérants faisant partie d'un train frigorifique;*
- c) *Les wagons réfrigérants portant des accumulateurs de froid.*

27. Wagons réfrigérants portant individuellement une machine frigorifique. — Les wagons réfrigérants peuvent porter chacun les appareils nécessaires pour produire le froid, c'est-à-dire un compresseur, un condenseur et un réfrigérant. Il va sans dire que ces appareils doivent être installés dans une partie du wagon séparée de l'espace à refroidir.

Le refroidissement du wagon se fait d'ailleurs par l'une des méthodes que nous avons indiquées plus haut pour la réfrigération des chambres d'un entrepôt.

La partie la plus délicate de l'installation consiste dans l'établissement de la machine susceptible d'actionner le compresseur. L'emploi d'un moteur spécial demande beaucoup de place et rend l'installation trop chère. *Ehrenbrod* se sert de la chaleur dégagée dans la condensation pour vaporiser un carbure d'hydrogène (essence) qui, mélangé avec de l'air, alimente un moteur spécial. Un grand nombre de brevets ont été pris pour des moteurs actionnant le compresseur ou pour des mécanismes permettant de prendre sur les arbres des roues la puissance nécessaire au fonctionnement de ce compresseur.

La figure 280 représente un de ces wagons qui a été utilisé pour le transport du lait¹.

1. HERBERT WALLACE, *The Mechanical Refrigerator Car* (*Cold Storage and Ice Trade Journal*, janvier 1906).

C'est un wagon isolé à l'une des extrémités duquel se trouve une chambre de machines dans laquelle se trouvent :

- a) Un compresseur rotatif C (fig. 281);
- b) Une petite machine à pétrole M.

Un condenseur formé de tuyaux de cuivre placés verticalement est disposé dans un petit compartiment attenant à la chambre des machines; l'eau s'écoule d'une rigole supérieure; elle est rencontrée par un courant d'air marchant en sens inverse. Ce courant d'air est produit par un ventilateur placé au-dessous du condenseur et disposé de telle façon que le courant d'air soit distribué aussi uniformément que possible sur la surface entière du condenseur. Ce ventilateur est mis en mouvement par l'arbre du compresseur; sa vitesse de rotation est donc liée à celle de celui-ci.

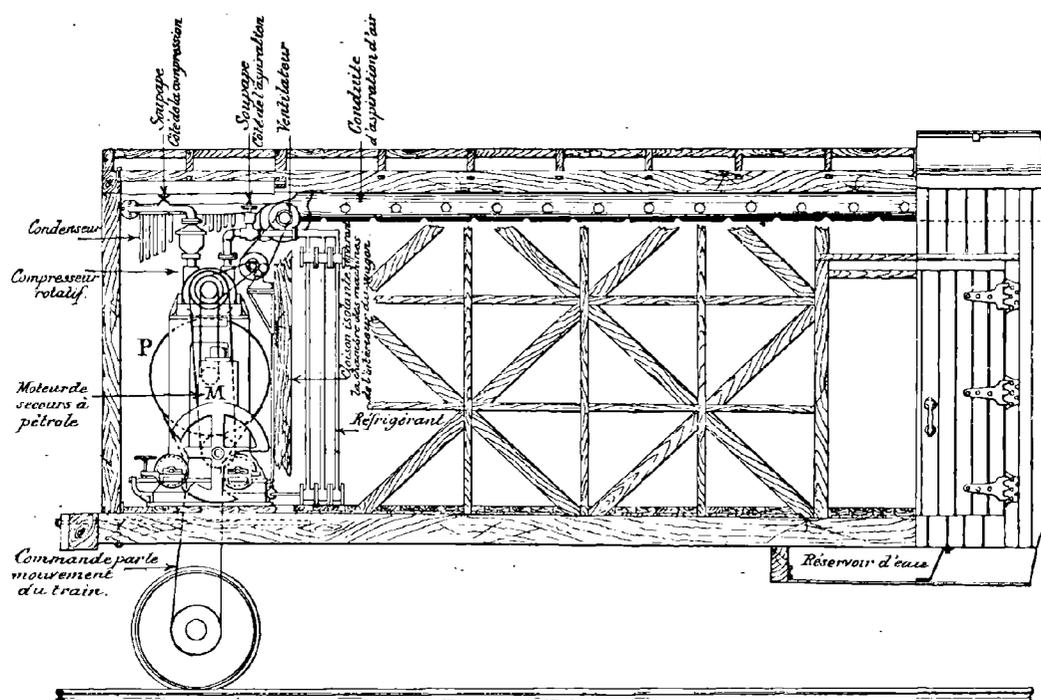


FIG. 280. — Wagon réfrigérant portant une machine frigorifique.

La chambre des machines est séparée du reste du wagon par une cloison isolante. De l'autre côté de cette cloison, dans un réduit en communication avec le wagon, se trouve le réfrigérant. Un ventilateur en connexion avec le compresseur aspire l'air du wagon à la partie supérieure de celui-ci et le renvoie dans le wagon à la partie inférieure après que cet air a passé sur les tuyaux du réfrigérant.

Comme le montrent les figures 280 et 281, le compresseur rotatif est mis en mouvement par le wagon lui-même; au moyen d'une courroie, le mouvement de rotation de l'un des essieux se transmet au compresseur.

Le moteur à pétrole M ne sert qu'en cas d'accident ou d'arrêt prolongé du wagon, alors qu'il faut maintenir à l'intérieur la température à une valeur suffisamment basse.

Le fluide frigorifique employé est le *chlorure d'éthyle* qui n'attaque pas le cuivre.

L'installation comprend deux réservoirs d'eau. Le premier, au-dessous du wagon, contient l'eau nécessaire au fonctionnement du condenseur; cette eau est aspirée par une pompe

rotative en connexion avec l'arbre du compresseur, de telle sorte que la vitesse de la pompe varie comme celle du compresseur. Le second réservoir plus petit est placé sur le toit du wagon et sert pour le refroidissement du moteur M.

Enfin un appareil de chauffage à l'huile de kérosène placé dans la chambre des machines permet de maintenir pendant l'hiver la température du wagon à une valeur supérieure à zéro.

Malgré cette tentative, il semble qu'au point de vue pratique l'appareil de commande le plus simple semble être un électromoteur mis en marche par une dynamo placée sur la locomotive.

Enfin dans ce type de wagons on peut comprendre le wagon-usine à glace qui a été fourni par la maison *Douane* au Gouvernement Russe pour le service des ambulances pendant la guerre russo-japonaise¹.

28. Trains frigorifiques. — Dans un train frigorifique, les divers wagons ne contiennent pas chacun une machine frigorifique; l'ensemble des appareils producteurs de froid (y compris la machine susceptible d'actionner le compresseur) est contenu dans un fourgon spécial d'où partent les tuyaux susceptibles de refroidir les divers wagons.

Un train frigorifique est donc composé : α) D'une locomotive et de son tender ;
 β) D'un réservoir renfermant 10 tonnes d'eau et devant servir au refroidissement du compresseur de la machine frigorifique ;

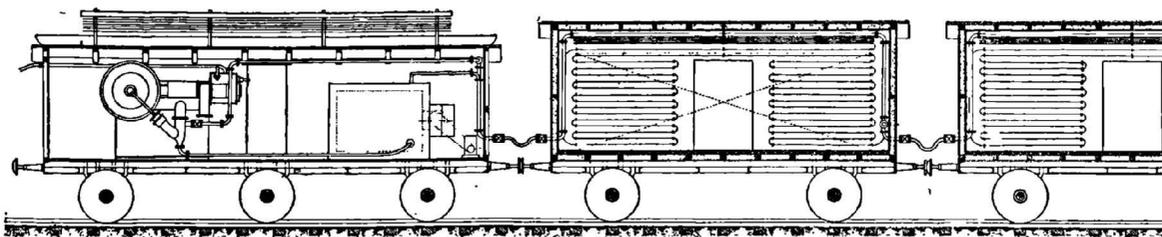


Fig. 282. — Train frigorifique Linde (coupe longitudinale).

γ) D'un wagon-machine qui comprend :

- 1° Un appareil moteur à vapeur, à alcool ou à pétrole ;
- 2° Une machine à froid (machine à détente d'air ou à gaz liquéfié).

1. Voir les photographies de cette installation dans la publication : *la Glace et les Industries du froid*, 1^{re} année, n° 12, décembre 1904.

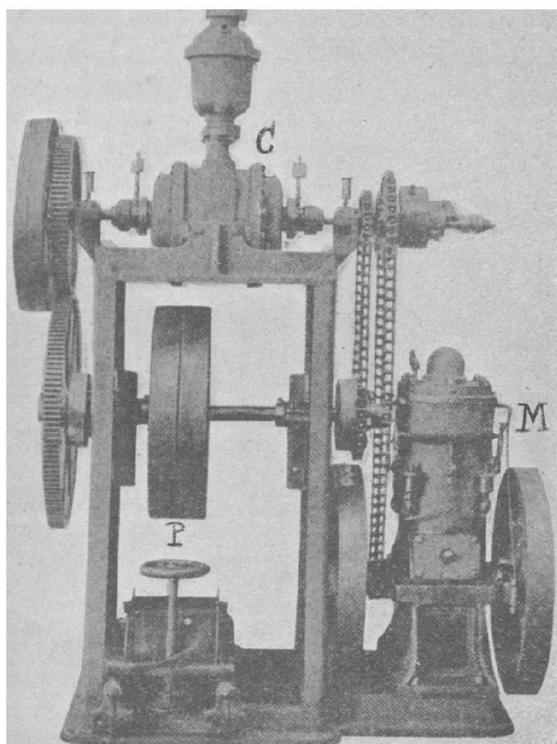


Fig. 281. — Wagon portant une machine frigorifique. Détails de la commande du compresseur rotatif C et du moteur à pétrole M.

P, poulie de commande par la marche du train.

La machine à froid est reliée au réservoir d'eau au moyen de tubes télescopiques à joint instantané¹.

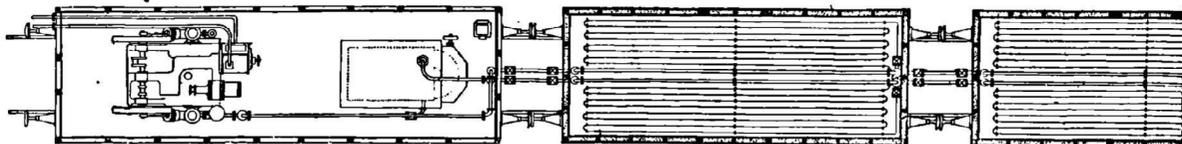
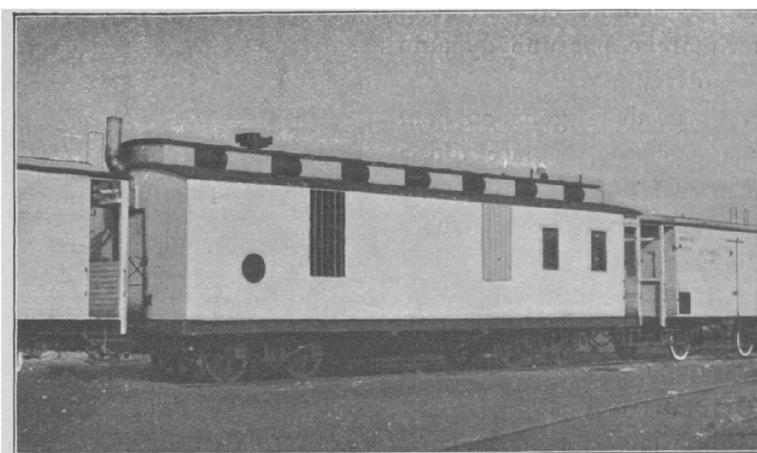


FIG. 283. — Train frigorifique Linde. Plan.

La Société *Linde* a construit pour le Gouvernement Russe un train frigorifique destiné au transport des beurres de Sibérie; la température maintenue dans les wagons est de 2



Cliché de la Société Linde.

FIG. 284. — Train frigorifique Linde. Vue extérieure du wagon portant la machine frigorifique.

à 3° C. Ce train est représenté sur les figures 282 à 286. Le refroidissement des wagons se fait par circulation de saumure; le condenseur est à ruissellement; il est disposé sous un toit au-dessus du wagon portant la machine frigorifique.

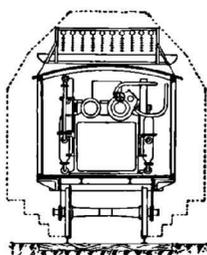


FIG. 285. — Train frigorifique Linde.
Coupe transversale du wagon portant
la machine frigorifique.
On voit le condenseur
à la partie supérieure au-dessus du wagon.

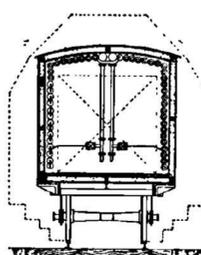


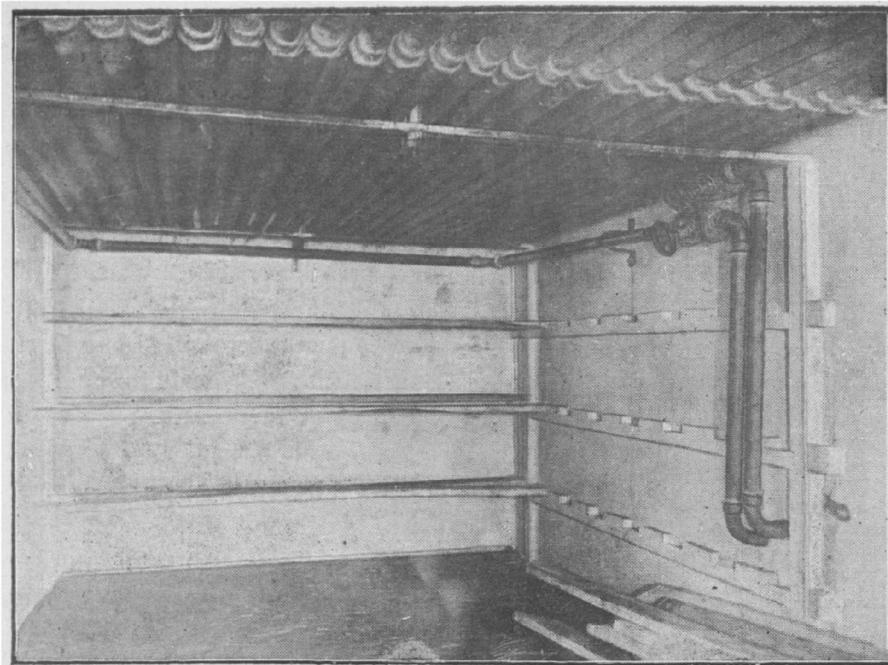
FIG. 286. — Train frigorifique Linde.
Coupe transversale d'un wagon
refroidi par des tuyaux dans lesquels
circule de la saumure.

29. Wagons réfrigérants à accumulateur de froid. — Wagons à refroidissement par saumure. — Les usages auxquels doivent servir les trains frigorifiques sont très limités, et il est préférable d'avoir des wagons réfrigérants séparés.

1. On trouvera, dans l'ouvrage de M. A. Perrel sur *les Machines à Glace*, le plan complet d'un train frigorifique Durand. — Voir aussi CH. LAMBERT, *Note sur le ravitaillement des places fortes et l'approvisionnement des armées en campagne.*

Les plus pratiques de ces wagons sont les wagons dits à *accumulateurs de froid*.

Dans ces wagons, les caisses à glace sont remplacées par un tuyautage en serpentin situé soit sous le plafond seul, soit sur toutes les parois verticales (à part les parois des portes), soit à la fois sous le plafond et sur les parois. La figure 287 représente un wagon de ce type circulant sur le réseau de l'État Français; la saumure est refroidie au moyen d'une installation frigorifique faite à la gare de Thouars. Pour le wagon représenté sur la figure 244, la Société *Dyle et Bacalan* compte, pour garnir le plafond et les parois verticales, sur 300 mètres de tuyaux de 50 à 60 millimètres. L'ensemble de ces tuyaux contient alors 650 litres de saumure, qui est refroidie au départ au moyen d'une machine frigorifique.



Cliché de « *L'Industrie frigorifique* ».

FIG. 287. — Intérieur d'un wagon réfrigérant à accumulateur de froid (Thouars).

On coupe alors la communication de la tuyauterie avec la machine en laissant cette tuyauterie pleine de la saumure refroidie. En refroidissant la saumure à -15° , on compte que l'on peut maintenir pendant vingt-quatre heures la température de l'intérieur du wagon à une valeur moyenne de -4° C. (minimum -6° ; maximum -2°), lorsque ce wagon contient 6 tonnes de viande congelée ou 8 tonnes de poisson congelé. Comme, toutes les vingt-quatre heures, la température intérieure doit être ramenée à -6° C., des usines frigorifiques doivent être installées sur le parcours. Il est alors avantageux d'avoir une installation pour traiter plusieurs wagons à la fois; on peut, par exemple, refroidir 10 wagons à -6° en six heures (saumure ramenée à -15° C.).

Comme on le voit, ce type de wagon réfrigérant possède l'avantage de refroidir l'intérieur à une température inférieure à 0° C. que l'on peut se donner à l'avance, tandis que, dans les wagons-glacières, la température est toujours supérieure à 0° C., et l'état hygrométrique est certainement plus élevé que dans les wagons à saumure.

La *The Intercontinental Railway Company Limited* a pris un brevet pour un wagon réfrigérant à refroidissement par saumure qui peut circuler sur les voies françaises et

étrangères (Angleterre comprise) et qui par suite peut être embarqué sur un paquebot traversant le Pas-de-Calais¹.

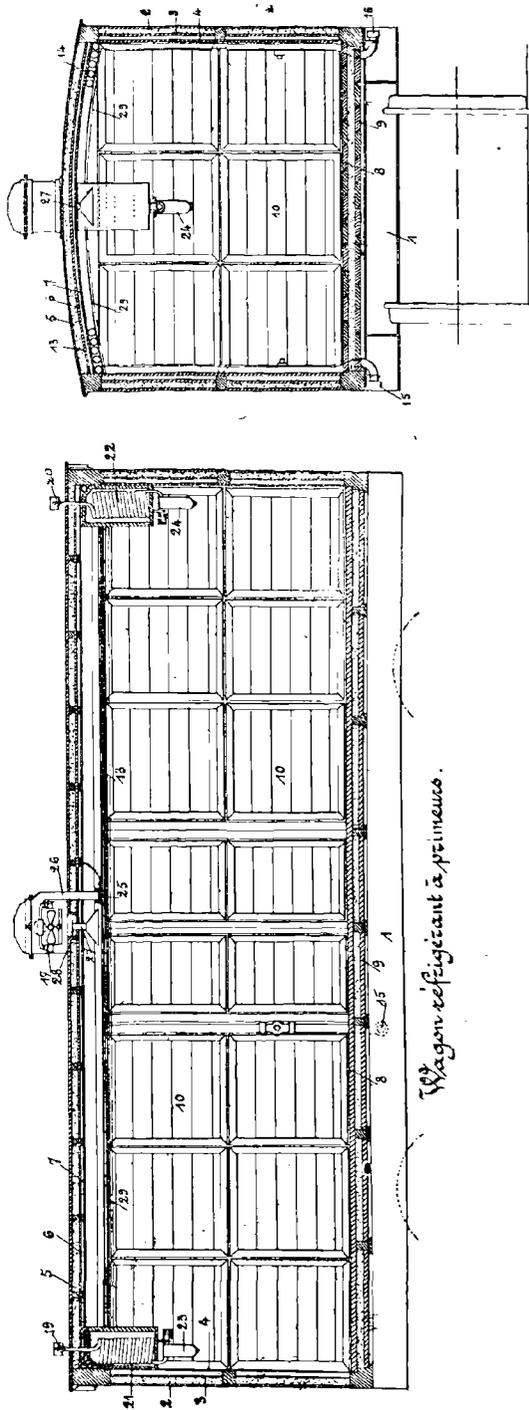


Fig. 288, 289. — Wagon Aéro-Thermic de The Intercontinental Railway Company Limited.

L'Aéro-Thermic wagon est composé d'une charpente en fer dont la longueur est de 5^m,50 et dont l'empattement (distance des essieux) est de 3^m,50. Il est muni d'un frein Westinghouse, d'une triple valve à action rapide, d'un frein modérateur Paris-Lyon-Méditerranée et de tout le mécanisme nécessaire pour permettre l'incorporation dans les trains de grande et de petite vitesse.

Les panneaux latéraux et le toit sont à triples parois *démontables et interchangeables* notées 2, 3, 4; 5, 6, 7 sur la figure 288; le plancher est à doubles parois 8, 9 (*fig. 288*); les intervalles situés entre les parois extérieures et intermédiaires sont garnis de matière calorifuge. Les tuyaux 13, 14 placés au plafond du wagon (*fig. 289*) sont à circulation de saumure; on les met en relation avec une machine frigorifique par leurs extrémités 15 et 16.

Ce wagon peut être à renouvellement d'air ou être entièrement fermé.

Au sommet du wagon est installé un aspirateur 17 recevant son mouvement d'une source d'énergie mécanique à vitesse variable et facilement réglable. Ce ventilateur a pour objet d'expulser par le couvercle ajouré 18 l'air intérieur réchauffé ou chargé d'humidité; l'air extérieur rentre alors par les tuyaux 19, 20. Cet air, avant d'être admis dans l'intérieur du wagon, passe dans un appareil réfrigérant 21, 22, noyé dans un liquide incongelable préalablement refroidi; il traverse ensuite un tampon de ouate ou d'autre matière filtrante convenable qui le débarrasse des poussières. La vapeur d'eau condensée pendant le passage de l'air dans le serpentin peut s'accumuler dans un séparateur 23, 24.

Pour certaines denrées qui n'ont pas besoin d'un renouvellement d'air, on se borne à effectuer une sorte de brassage de

l'air intérieur en fermant le couvercle ajouré 18 et en levant le bouchon vissé 25 qui ferme

1. Wagons frigorifiques pour baleau traversant le détroit (*Cold Storage*, 1905, VIII, 35; — *la Glace et les Industries du froid*, 2^e année, n° 3, mars 1905, p. 32, — 2^e année, n° 8, août 1905, p. 93).

le tuyau 26. L'air aspiré est refoulé dans ce tuyau et ramené par une tuyauterie convenable au contact du réfrigérant. Dans le cas du simple brassage de l'air, on ferme les orifices 19 et 20 par des bouchons convenablement disposés.

Lorsque l'aspirateur 17 ne fonctionne pas, la prise d'air centrale 27 est obturée automatiquement par un clapet équilibré 28 qui retombe par son propre poids quand il n'y a pas appel d'air. L'intérieur du wagon se trouve dans ce cas complètement à l'abri des rentrées d'air non refroidi.

30. Wagens à refroidissement par détente directe d'ammoniaque. — Au type de wagons que nous venons de décrire appartiennent les wagons réfrigérants construits par les usines *Atlas* de Copenhague.

Ces wagons portent à l'extérieur deux récipients cylindriques remplis d'ammoniaque liquide; ce fluide est envoyé au moyen de robinets de régulation dans des serpentins disposés aux deux extrémités intérieures du wagon. L'ammoniaque passe à l'état gazeux en absorbant de la chaleur. Le gaz ammoniac produit se dissout dans de l'eau contenue dans un récipient placé sous le wagon. Si, par suite d'un afflux considérable de gaz, l'eau contenue dans ce récipient vient à s'échauffer, on peut la refroidir au moyen d'eau contenue dans un réfrigérant à ruissellement disposé sur le toit du wagon. Pour un wagon de 10 tonnes (maximum de charge) (hauteur, 2^m,05; largeur, 2^m,38; longueur, 7^m,28), il faut 80 kilogrammes d'ammoniaque et 400 kilogrammes d'eau pour les récipients à eau d'absorption et pour le récipient à eau de réfrigération situé sur le toit du wagon. En ordre de marche, un tel wagon vide pèse 13.840 kilogrammes.

Des expériences ont été faites en Danemark pour comparer la réfrigération des wagons de chemin de fer par la glace et par l'ammoniaque¹. Trois wagons du type précédent ont été construits; deux à glace et un à ammoniaque. La température était amenée à une même valeur dans l'intérieur des wagons. On constata :

- 1° Que la consommation de la glace en poids était triple de celle de l'ammoniaque;
- 2° Que la réfrigération par l'ammoniaque produisait une température plus constante;
- 3° Que la réfrigération par l'ammoniaque avait sur l'air du wagon une action plus desséchante que la réfrigération par la glace.

II

NAVIRES FRIGORIFIQUES

Nous avons montré, dans l'*Introduction*, le grand développement pris en Angleterre par les navires frigorifiques chargés d'importer les viandes congelées de l'Australie, les fruits du Cap, des Indes, de la Tasmanie, etc.

Nous allons étudier, d'après un travail remarquable de M. R. Balfour, ingénieur-inspecteur du *Lloyd's Register*², les aménagements de ces transports.

1. Les détails de ces expériences sont exposés dans les publications suivantes : O. KASDORF, *Eis und Kälte im Molke-reibetrieb*, p. 342; — *Les Transports frigorifiques en Danemark* (*L'Industrie frigorifique*, 1^{re} année, n° 2, juillet 1903).

2. Ces détails sur l'aménagement des navires frigorifiques sont empruntés au Mémoire suivant : R. BALFOUR, *Installation pour le transport des cargaisons de produits réfrigérés* (*L'Industrie frigorifique*, 2^e année, n° 13, août 1904; — *Installation of Naval Architects*, 3 avril 1903; — *Bulletin de la Société d'Encouragement à l'Industrie nationale*, t. CII, juin 1903, p. 898).

1. Difficultés que l'on rencontre dans l'installation des cales de navires frigorifiques. — Parois unies des chambres frigorifiques. — L'installation des chambres ou cales dans lesquelles la cargaison frigorifiée doit être transportée est très délicate à réaliser.

La chambre la mieux établie pour la réception des produits congelés est celle qui présente une surface de cloisons ou de parois parfaitement unie ; en effet, tout obstacle sur le trajet de l'air sur les côtés, rend non seulement défectueuse la circulation de l'air froid, mais encore augmente la surface de transmission de la chaleur de l'extérieur à l'intérieur des cales. Cette condition est facile à réaliser dans les entrepôts frigorifiques à terre ; mais, lorsqu'il s'agit d'aménager une cale de navire, on se trouve en face de détails de construction tels que serres de bouchains¹, serres de renfort de côté, serres, consoles et renforts horizontaux des cloisons, qui sont une source de grosses difficultés.

2. Inconvénients que présente une grande profondeur de cale. — A côté de la question des cloisons qui doivent présenter une surface unie, il faut tenir compte aussi de la profondeur des cales, lorsque l'on recherche les conditions qui peuvent permettre d'assurer au chargement un transport dans le meilleur conditionnement.

A ce point de vue une grande profondeur de cale n'est pas à recommander. En effet, dans une cale isolée ayant une profondeur anormale, si, pour une cause quelconque, les produits placés au fond ont une tendance à s'amollir, le grand poids qu'ils ont à supporter les écrasera contre les parois. L'air ne pourra plus circuler au milieu de ces produits écrasés ; ceux qui, encore sains, seront mis par le fait du tassement en contact immédiat et complet avec ces produits écrasés et souvent avariés, s'amolliront et s'avarieront à leur tour. Le mal se propagera, et les pertes subies seront d'autant plus grandes que l'écrasement et la profondeur de la cale seront plus considérables.

3. Le rivetage de la coque doit être effectué avec le plus grand soin. — En troisième lieu, il importe que le rivetage des tôles d'acier de la coque soit effectué avec le plus grand soin de manière à assurer l'étanchéité. Il faut, de plus, que la peinture de toute cette partie du navire soit complètement terminée avant de commencer l'aménagement de l'isolement. En effet, d'une part, l'installation de l'isolement est généralement très avancée avant le lancement du navire ; d'autre part, l'isolement une fois terminé empêche tout travail et tout examen de la coque du bateau qui se trouve derrière les parois isolantes. Dès lors, si le rivetage n'est pas absolument étanche, il est possible qu'on ne s'en aperçoive pas au moment du lancement, ce qui peut arriver surtout dans les navires où les matériaux d'isolement sont appliqués directement contre les parois de la coque ; mais ces défauts se mettent souvent en évidence lorsque le navire est complètement chargé ; il est alors trop tard, l'isolement est endommagé, et les produits transportés (viande congelée, par exemple) deviennent invendables.

4. Conditions particulières que doit remplir l'isolement d'une coque de navire. — Comme nous l'avons fait remarquer plusieurs fois, c'est en effet de la valeur de

¹ Comme un certain nombre de termes de construction de navires sont employés dans ce paragraphe, nous nous efforcerons de les définir nettement afin de faciliter la lecture aux personnes peu familiarisées avec ces termes.

Serre (en anglais et en allemand : *Stringer*) ; pièces longitudinales qui croisent intérieurement les couples et en assurent la liaison.

Serre de bouchains (en anglais : *Bilge Stringer* ; en allemand : *Kimmstringer*). (Voir sur la fig. 290.)

Serre de renfort de côté (en anglais : *Side Stringer* ; en allemand : *Seitenstringer*), serre qui se trouve sur les côtés du navire.

l'isolement que dépend en grande partie la réussite d'une installation frigorifique, quelle qu'elle soit.

Or, cet isolement doit remplir ici un certain nombre de conditions particulières, en outre des conditions de mauvaise conductibilité, de durée et des autres conditions générales énoncées au début du chapitre v.

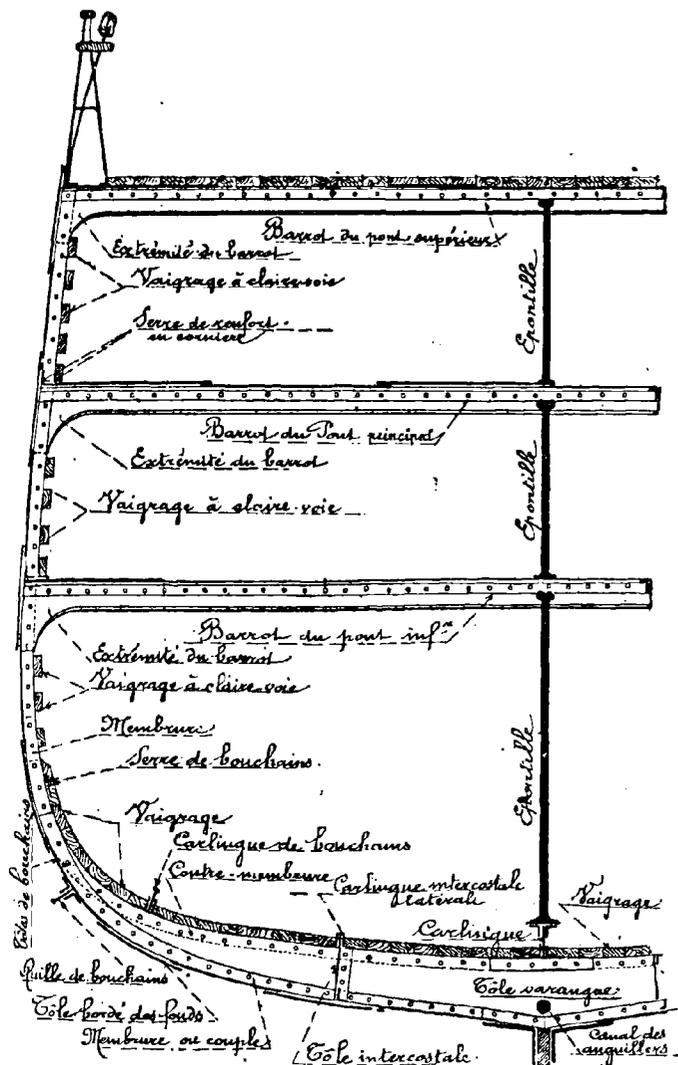


FIG. 290. — Coupe au maître d'un navire en fer.

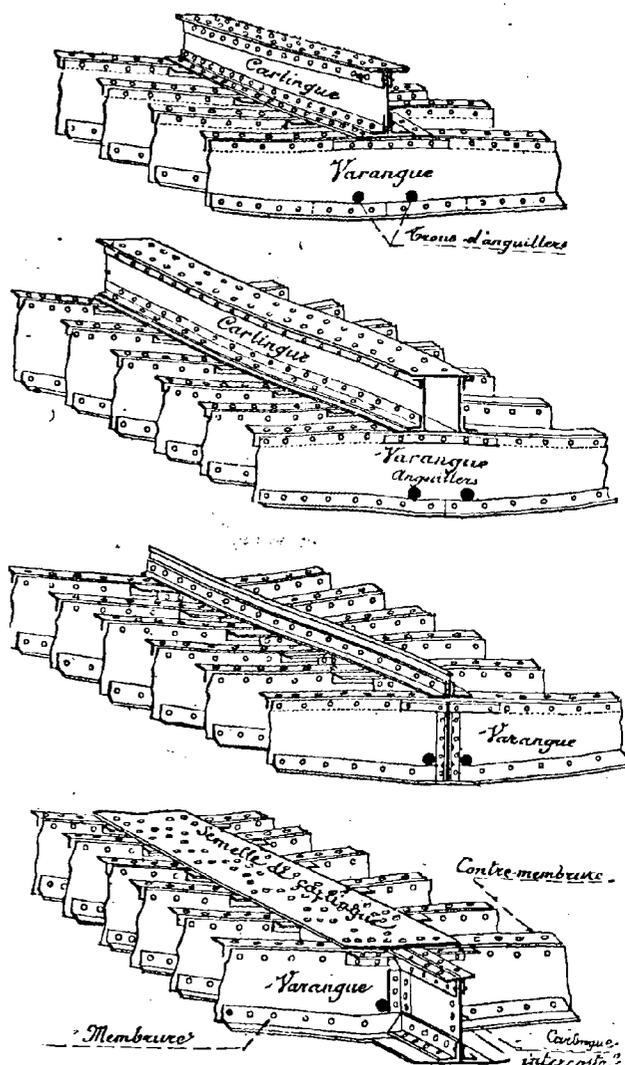


FIG. 291. — Carlingues et varangues.

Cet isolement doit :

- 1° Être assez solide pour supporter une cargaison ordinaire aussi bien qu'un chargement de produits congelés ;
- 2° Être installé de façon à permettre l'accès au canal des anquillers¹ et aux trous d'homme des soutes à lest d'eau ;

1. Anquiller ou trou d'anquiller (en anglais, *Limber-hole*; en allemand, *Nüsteergatt*), petits conduits pratiqués tribord et bâbord de la carlingue au travers des varangues; ils servent à conduire les eaux de la cale au pied des pompes (Voir fig. 291).

Canal des anquillers (en anglais *Watercourse*; en allemand : *Wassertauf*) (Voir fig. 290).

Varangue (en anglais : *floor*; en allemand : *Bodenwange*), partie inférieure et sensiblement horizontale, d'un couple (Voir fig. 290 et 291).

Carlingue (en anglais : *Keelson*; en allemand : *Kielschwein* ou *Kohlschwin*) (Voir fig. 290 et 291).

3° *Être bien adapté à sa position.* Par exemple, sous les ponts où l'isolement n'est pas sujet à être endommagé par la cargaison, il n'est pas nécessaire qu'il soit de même construction qu'à fond de cale ou sur les côtés : de même sur les côtés et sur les cloisons, il n'est pas nécessaire qu'il soit aussi fort que sur les plafonds des waterballasts.

Ce n'est pas seulement la coque qu'il faut isoler, ce sont les tuyaux à air, les conduits de sonde¹, les tuyaux d'aspiration de cale, qu'il faut avoir la précaution de protéger contre le froid ; en effet l'humidité qui s'y trouve intérieurement formerait de la glace et produirait un engorgement.

Avant de commencer les travaux d'isolement, il est très important de faire avec soin des essais d'étanchéité des ponts des cales à réfrigérer, des manches de conduite d'air, des tuyaux de sonde, des conduites de dalots².

L'isolement d'une coque consiste en somme à disposer deux coques intérieures l'une à l'autre ; la coque intérieure est constituée par l'isolant.

5. La coque intérieure d'isolement peut être en contact ou non avec la coque en fer. — Parfois, il y a contact immédiat entre la coque isolante et la coque en

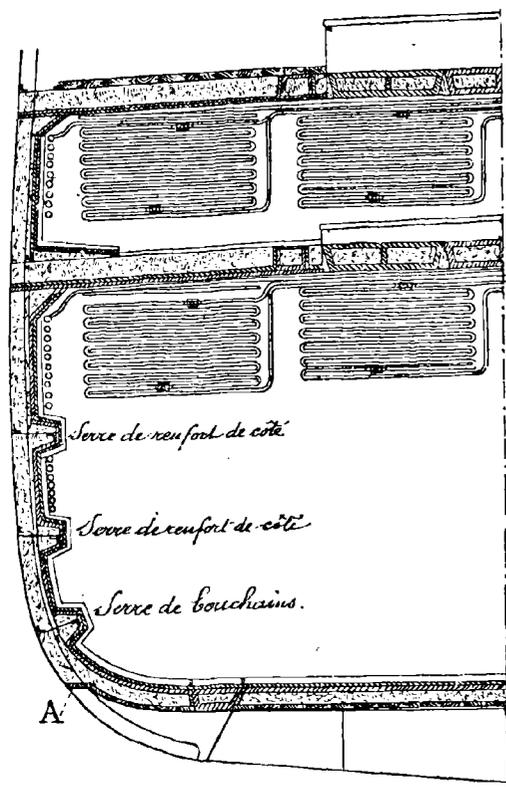


FIG. 292.
Coque isolante en contact avec la coque en fer.

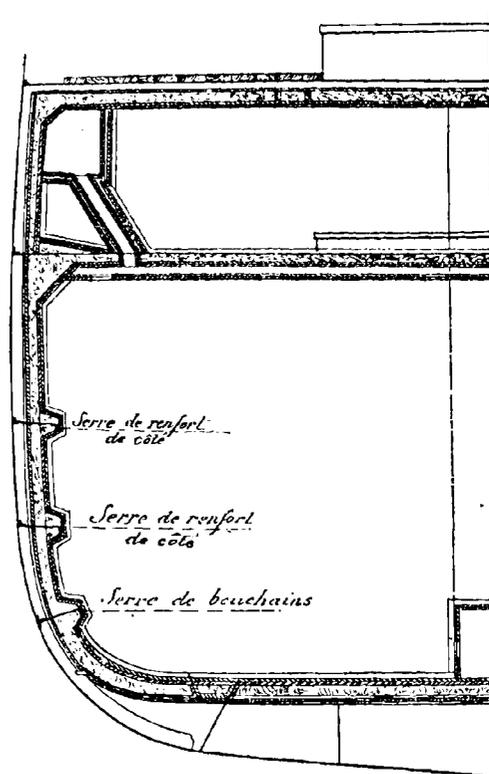


FIG. 293.
Coque isolante non en contact avec la coque en fer.

fer (Voir *fig. 292*) ; parfois un intervalle d'air est ménagé entre les deux coques (Voir *fig. 293*).

1. *Sonde de pompe* (en anglais : *Gauge rod*), verge de fer plate tenue avec une menue ligne pour la filer le long du corps extérieur d'une pompe en suivant un conduit (*conduit de sonde*) ménagé sous une petite jumelle. Cette sonde descend ainsi jusqu'au vaigrage et permet de connaître la quantité d'eau qui est dans la cale.

2. *Conduit de dalot* (en anglais : *Scupper* ; en allemand : *Speigat*). Le dalot est un canal à section carrée ou circulaire, destiné à permettre l'écoulement à l'extérieur des eaux de lavage ou des eaux de pluie. Ce canal est logé dans la membrure elle-même ; on le garnit d'un tuyau métallique qui débouche dans les environs de la flottaison. Les dalots de mer sont des ouvertures pratiquées dans les parois pour laisser écouler les paquets de mer pendant les mauvais temps.

Lorsque la matière isolante est disposée au contact de la coque en fer, on installe de la manière suivante la base de l'isolement latéral. De solides madriers sont fixés entre les membrures à l'alignement du vaigrage¹ ordinaire et au tournant supérieur des bouchains. Ils sont rendus complètement étanches avec du ciment de façon à empêcher les matières isolantes de l'isolement latéral de passer dans les bouchains. Ce mode de construction est indiqué en A sur la figure 292. La grande objection qui est faite à ce mode de construction est que, dans le cas d'un accident survenant par collision ou toute autre cause à la coque du navire du côté où se trouve l'isolement, l'eau de mer ne peut s'écouler le long des bouchains au fond de la cale et traverse l'isolement qu'elle détériore. En outre, il n'est pas facile d'aveugler une voie d'eau sans avoir à changer une partie considérable de l'isolement, ce qui occasionne une dépense supplémentaire.

Voyons maintenant comment on isole les différentes parties de la cale d'un navire.

6. Isolement du fond d'un navire. — Le fond est isolé sur le vaigrage ordinaire de la cale qui est habituellement recouvert avec un parquetage peu épais ou une feuille de zinc (fig. 294).

Des semelles ou lambourdes sont posées dans le sens du travers du navire et fixées sur le vaigrage à l'alignement des varangues. L'espace laissé libre entre ces lambourdes, espace qui a une hauteur d'environ 0^m,125 (5 inches), est rempli de matériaux mauvais conducteurs (laine minérale, charcoai, liège granulé, etc...). Sur les lambourdes on cloue une double épaisseur de fortes planches languetées et rainées (plancher bouveté), en ayant soin de placer entre les deux planchers une assise de papier isolant P et B (trois plis).

Dans quelques navires récemment construits, le vaigrage habituel a été supprimé et les matières isolantes placées en contact avec la coque. En outre, de la place gagnée par ce moyen, il a été constaté que le charcoai, mis en contact avec le fer ou l'acier, agit comme préservatif contre l'oxydation.

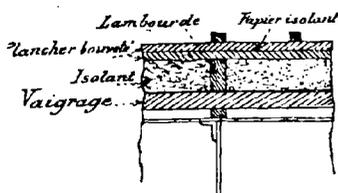


FIG. 294.
Détails d'isolement de fond de cale.

Sur les anguillers et le long de chaque côté du double fond, des panneaux d'écouille² sont ménagés

dans l'isolant (fig. 295). Ils sont en pitchpin de forme trapézoïdale venant fermer hermétiquement sur les charpentes d'encadrement. Ces panneaux d'écouilles sont sur la même ligne, dessus et dessous, que le double plancher, et viennent affleurer avec le fond de l'isolement.

Des panneaux isolés de même construction sont aménagés au-dessus des portes de trou d'homme des soutes à lest d'eau sous les écouilles de chargement : le fond de l'isolement est protégé ici par un doublage d'orme ou de pitchpin d'environ 0^m,05 (2 inches) d'épaisseur.

7. Isolement des côtés d'un navire. — Dans les navires isolés directement sur les tôles de la coque (fig. 296), des semelles d'environ 0^m,05 d'épaisseur (2 inches) sont chevill-

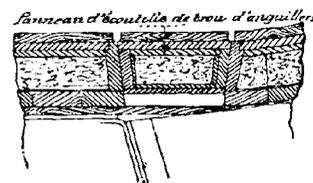


FIG. 295. — Détails d'isolement du trou d'accès au canal des anguillers.

1. Vaigrage, vaigres (en anglais : Ceiling ; en allemand : Wegerung ou Waigerung) : les vaigres sont des bordages qui recouvrent intérieurement les couples d'un navire (Voir fig. 290).

2. Ecouille (en anglais : Katchway ; en allemand : Luke), ouverture grande ou petite, généralement de forme quadrangulaire, faite au pont d'un navire pour établir une communication entre deux étages et pour faciliter le chargement et le déchargement du navire.

Panneau d'écouille (en anglais : Hatch ; en allemand : Lukendeckel), couverture qui sert à fermer les écouilles. Ici le mot écouille est étendu à une ouverture pratiquée dans le double fond.

lées sur la contre-membrure¹. Sur ces semelles sont clouées deux épaisseurs de planches languetées et rainées; entre ces deux épaisseurs, il y a une assise de papier P et B (trois plis). Entre ce double plancher et la coque, on a bourré des matériaux isolants.

Dans les bateaux ayant des espaces d'air entre la tôle de la coque et la partie arrière de l'isolant, les solives sont chevillées de chaque côté de la membrure de façon à dépasser d'environ 0^m,05 (2 inches) la contre-membrure (fig. 297). Le plancher arrière de l'isolement est fixé sur ces solives; il est formé d'une épaisseur de planches languetées et rainées avec une garniture de zinc en

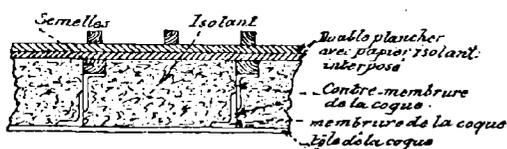


FIG. 296. — Isolement des côtés d'un navire. (Isolement en contact avec la coque).

feuilles. Le plan-

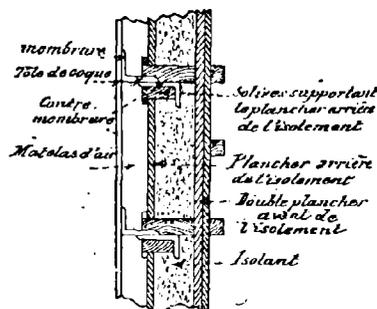


FIG. 297. — Isolement des côtés d'un navire. — Matelas d'air entre l'isolant et la coque.

cher avant de l'isolement consiste en deux épaisseurs de planches languetées et rainées entre lesquelles se trouve une épaisseur de papier isolant P. et B. (trois plis) : l'espace compris entre les deux planchers de l'isolement a une épaisseur d'environ 0^m,178 (7 inches); il est garni de matières isolantes.

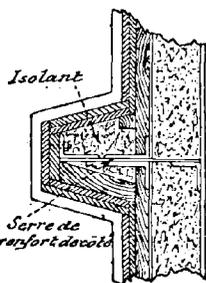


FIG. 298. — Isolement d'une serre de renfort de côté.

8. Isolement des serres de renfort de côté. — Des semelles ou solives sont chevillées sur le côté, le dessus et le fond des serres de renfort (fig. 298). Elles sont entourées par une double fourrure de planchers, le dessous étant disposé en talus de façon à éviter des poches d'air. Les espaces libres autour des serres de renfort sont remplis de matériaux mauvais conducteurs.

9. Isolement des dessous des ponts. — Les semelles sont fixées aux barrots² et dépassent un peu le boudin (fig. 299); une double fourrure de planchers (avec papier isolant entre chaque fourrure) est fixée sur les semelles. L'espace qui se trouve entre le dessous du pont et les fourrures des planchers est rempli de matières isolantes.

Dans quelques bateaux, des espaces d'air sont laissés entre le dessous du pont et l'isolement; la construction se fait de la même façon que l'isolement sur les côtés de la coque.

Souvent une ligne de tampons spéciaux portatifs est ménagée de façon à pouvoir examiner l'isolement et le regarnir, si cela est nécessaire.

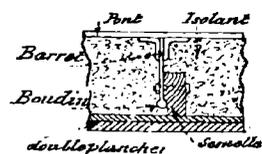


FIG. 299. — Isolement de dessous de pont.

10. Isolement du côté supérieur du pont. — Une lisse d'encadrement d'environ 1^m,52 de large (7 feet) est placée le long de chaque côté et au-dessus des cloisons transver-

1. Contre-membrure (en anglais : *Reversed Frame*; en allemand : *Umgekehrtes Spant* ou *Verkehrtes Spant*) (Voir fig. 290).

2. Beau ou barrot (en anglais *Beam*; en allemand : *Balken* ou *Deckbalken*). Les ponts d'un navire sont supportés par des poutres transversales en fer nommées baux ou barrots, dont les extrémités sont fixées à la membrure, et qui sont soutenus par des montants verticaux nommés épontilles (en anglais : *Pillar* ou *Stanchion*; en allemand *Stütze*). Les baux agissent comme tirants ou comme entretoises pour s'opposer à tout mouvement d'écartement ou de rapprochement des murailles du navire. Ils sont formés par des fers à T ou à boudins et, lorsqu'ils sont de petites dimensions, par des cornières. Les baux sont réunis par des bandes longitudinales de tôle posées à plat et rivées sur eux. (Voir fig. 290).

sales. Elle est constituée par 0^m,10 (4 inches) de matières isolantes et une fourrure de parquetage.

11. Isolement des cloisons. — Les *cloisons extrêmes* sont isolées à l'intérieur seulement avec environ 0^m,25 (10 inches) de matériaux non conducteurs et une couche de double parquet avec papier P. et B. (trois plis) entre chaque parquet (*fig. 300*).

Les *cloisons intermédiaires* sont isolées des deux côtés de l'épaisseur des piliers (*fig. 301*).

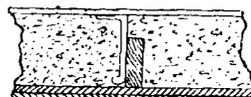
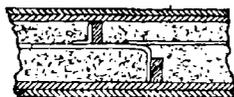


FIG. 300. — Isolement des cloisons extrêmes.

FIG. 301. — Isolement des cloisons intermédiaires.

Lorsque des consoles dépassent la paroi vers l'intérieur, on les entoure de matières isolantes avec une double couche de parquet.

12. Isolement du tunnel. — Sur les bateaux qui sont isolés, dans les arrière-cales, aux cornières de soutien du tunnel sont boulonnées des semelles sur lesquelles sont clouées deux épaisseurs de fort parquetage; l'espace libre, qui est d'environ 0^m,23 (9 inches), est alors rempli de matériaux isolants. Le dessus est démontable pour refaire le garnissage, quand cela est nécessaire. Aux écoutilles une garniture extra-forte en pitchpin ou orme américain est fixée pour protéger l'isolement sur le dessus du tunnel.

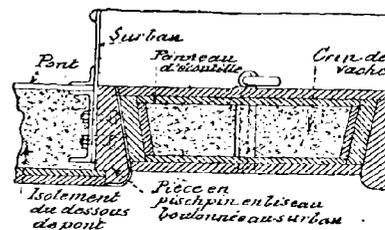


FIG. 302. — Isolement d'un panneau d'écouille principale.

13. Isolement des écoutilles. — Les surbaux et les barrots-frontaux d'écoutilles¹ sont garnis avec de fortes pièces de pitchpin taillées en biseau, soigneusement boulonnées aux surbaux en acier et recouverts d'une feuille de tôle galvanisée (*fig. 302*).

Les panneaux d'écoutilles sont faits d'un châssis en pitchpin de 0^m,05 (2 inches), avec une garniture dessus et dessous, l'espace intermédiaire étant habituellement rempli de poil de vache (*fig. 302*).

14. Isolement des mâts et ventilateurs. — Les *mâts* et *ventilateurs* sont isolés par une couche d'environ 152 millimètres (6 inches) de matières isolantes, recouverte d'un double parquetage.

15. Isolement des épontilles et échelles de cale. — Les *épontilles* et *échelles de cale* sont habituellement recouvertes de feutre et entourées de cordes serrées sur toute leur longueur.

16. Garnissage du fond des cales et des côtés. — Le fond de toutes les cales isolées est garni d'une sorte de claie faite de lattes de 0^m,05 sur 0^m,05 placées à 0^m,30 d'écartement (2 × 2 inches, placées à 12 inches d'écartement). Les côtés sont de même garnis de ces lattes.

1. *Surbeau* ou *hiloire* (en anglais: *Coming* ou *Coaming*; en allemand: *Sill* ou *Süll*), encadrement des écoutilles de pont. — *Barrot-fronteau d'écouille* (en anglais: *Katchwaybeam*; en allemand: *Lukbalken* ou *Lukenbalken*), barrot qui supporte le surbeau.

Elles ont pour effet d'assurer la circulation de l'air entre les carcasses (transport de viande congelée) et le fond ou les côtés des cales.

17. Tubes à thermomètres destinés à prendre la température des cales.

— Des tubes contenant des thermomètres sont fixés dans des endroits convenablement choisis des cales. Ces tubes sont ordinairement en fer galvanisé renforcé d'environ 0^m,063 (2,5 inches) d'épaisseur; ils sont fixés au pont supérieur dans une douille en cuivre avec chapeau. Ceux qui conduisent dans la cale inférieure sont isolés dans leur passage au travers des ponts intermédiaires et descendent un peu au-dessous du plafond de la plus basse cale. De ce plafond partent des conduites de section carrée en bois épais. Ces conduites sont divisées par moitié et des ouvertures sont ménagées de distance en distance de façon à permettre de prendre la température à n'importe quelle profondeur de la cale.

Dans les cales de grandeur ordinaire, il doit y avoir au moins six tubes à thermomètre, deux de chaque côté, deux dans la ligne du milieu, un à l'avant, un à l'arrière.

Dans aucun cas ces tubes ne doivent être fixés tout près ou en face des ouvertures des conduites d'arrivée d'air froid, afin de ne pas être exposés au courant froid, ce qui ferait enregistrer une fausse indication de la température des cales.

18. Ventilation des cales et des bouchains. — Il est important de prévoir une installation permettant de ventiler complètement toutes les chambres avant qu'elles soient refroidies ou après le déchargement des marchandises congelées. On peut ainsi non seulement renouveler l'air, mais encore sécher les boiseries de l'isolement lorsque les cales sont vides. Des tampons garnis d'isolants devront être prévus dans les ouvertures des conduites de ventilation et construits facilement amovibles.

Il est aussi d'une égale importance d'être pourvu des moyens de ventiler les bouchains. En effet, dans les installations où l'on n'a pas laissé d'espace d'air sur les parois des bateaux, les anguillers forment en pratique des endroits enclos bien fermés. Dès lors, malgré les soins extrêmes pris pour extraire l'eau des bouchains, la présence d'une certaine quantité d'eau est toujours à craindre. Dans ces conditions des gaz viciés se produisent, pénètrent dans les cales et déposent de l'humidité susceptible d'endommager l'isolement.

19. Des isolants à employer à bord des bateaux. — M. Balfour, à qui nous avons emprunté toute cette étude, conseille l'emploi comme isolants du Flake Charcoal et du Silicate Cotton; nous croyons qu'il convient d'y ajouter le liège sous forme de plaques, de briques, de boîtes, etc..., tel qu'on le fabrique à la *Société des Lièges plastiques de Ravannes*, par exemple. En effet l'isolant employé dans les navires doit remplir toutes les conditions que nous avons indiquées au début du chapitre v, mais en particulier il doit être léger et ne pas se tasser; or le liège répond bien à ces conditions. La *Société Dyle et Bacalan* l'emploie pour l'isolement de ses navires frigorifiques; elle vient de s'en servir dans la construction du *Saint-Simon* (Société navale de l'Ouest) destiné au transport de moutons congelés des ports de l'Algérie au Havre. Cet isolant est également utilisé sur les navires *Saint-Louis* et *Saint-Paul* de l'*International Mercantile Marine Co* qui transportent du bœuf et des fruits de New-York à Southampton; il sert également à l'isolement des chambres froides du *Prinz-Adalbert* de la *Hamburg American Line*, qui fait le service entre l'Italie et New-York; enfin on l'emploie concurremment avec le charcoal sur le *Star of Scotland* de la Compagnie J.-P. Corry, qui transporte du mouton congelé de la Nouvelle-Zélande à Londres.

Le *silicate cotton* est un isolant assez souvent employé sur les divers navires de la flotte frigorifique. Sur 460 navires dont elle se compose, il y en a environ 10 0/0 dont l'isolement est constitué soit avec du silicate cotton seul, soit plus rarement avec ce corps et du charcoal, du feutre ou de la sciure de bois. Le silicate cotton est d'ailleurs employé à raison de 150 à 190 kilogrammes par mètre cube, suivant le degré de tassement que l'on réalise.

Mais le *charcoal* est certainement l'isolant le plus employé : les 4/5 des navires de la flotte frigorifique sont isolés avec cette substance (Voir le tableau V). On l'utilise à raison de 224 kilogrammes par mètre cube. On a fait parfois l'objection de la possibilité de la combustion spontanée du charbon. M. Balfour pense qu'il n'y a aucun danger à craindre de ce chef; lorsque des incendies se sont déclarés, on a trouvé qu'ils étaient dus à des circonstances étrangères, telles que courts-circuits dans les canalisations électriques, lumières ayant été laissées à trop grande proximité des boiseries, etc...

Le *feutre* est employé surtout sur les navires de la *Leyland Line* (*Bohemian, Caledonian, Devonian, Georgian, Lancastrian, Philadelphian*), qui font le service entre Liverpool et New-York, Boston ou Baltimore; l'installation frigorifique de ces steamers a été faite par la *Liverpool Refrigeration Company*. Cette firme a également isolé soit avec du feutre seul, soit avec du feutre et du charcoal, du feutre et du silicate cotton, ou du feutre et de la sciure de bois, le *Canadian* de la *Fredk. Leyland C^o*; le *Cretic* (feutre et sciure de bois), le *Cufic* (feutre et silicate cotton), le *Tropic* (feutre et silicate cotton), de la *White Star Line*, qui transportent du mouton congelé de la Nouvelle-Zélande à Londres et à Liverpool; l'*Ultonia*, de la *Cunard Shipping C^o*, qui amène du bœuf réfrigéré de Boston à Liverpool.

La Société *Linde* a isolé avec de la *pierre ponce* le *Buteshire* de la *Turnbull Martin and C^o* qui amène de l'Australie, de la Nouvelle-Zélande et de l'Amérique du Sud au Royaume-Uni de la viande congelée et des produits de laiterie; le *Banffshire*, de la même Compagnie et de la même ligne, est isolé avec de la pierre ponce, du charcoal et du silicate cotton.

Le *poil de vache* a également servi à isoler l'*Ariosto* de la *R. Mac Andrew and C^o*; l'*Ariosto* de la *Thos. Wilson Sons and C^o Ld.*, qui fait le service entre Gothenburg et Hull; le *Dago*, le *Novo* et le *Runo* de la même Compagnie, qui vont de Riga à Hull; le *Romeo* de la même Compagnie, qui va de Pétersbourg à Londres; le *Thorsa* de la *Leith, Hull and Hamburg Shipping C^o Ld.*, qui transporte du beurre et du lait de Copenhague à Leith. C'est la firme *Hall* qui a fait ces installations.

Nous venons de voir l'emploi de la *sciure de bois*.

La *balle de riz* a servi à la Société *Linde* pour isoler le *Merrimac* de l'*African Shipping C^o*.

20. Machines frigorifiques. — Anhydride carbonique. — Les machines frigorifiques les plus employées actuellement à bord des navires sont les machines à anhydride carbonique. Sur les 460 steamers de la flotte frigorifique, il y a environ 50 0/0 de machines à anhydride carbonique; cette proportion est d'ailleurs beaucoup plus élevée si on ne considère que les machines frigorifiques construites depuis 1900; la firme *Hall* a construit la grande majorité des machines installées. Enfin, la Marine allemande a spécifié l'emploi unique de ce gaz pour les appareils admis à concourir pour les installations frigorifiques des navires de guerre.

L'anhydride carbonique permet, en effet, l'emploi du cuivre dans la fabrication du condenseur; celui-ci n'est pas attaqué par l'eau de mer. Avec l'ammoniaque, les tubes en fer même galvanisés n'ont qu'une durée éphémère sous l'influence de la salure de l'eau de mer. De plus, le volume d'un compresseur à anhydride carbonique est beaucoup plus petit que celui d'un compresseur à ammoniaque ou à anhydride sulfureux : l'encombrement

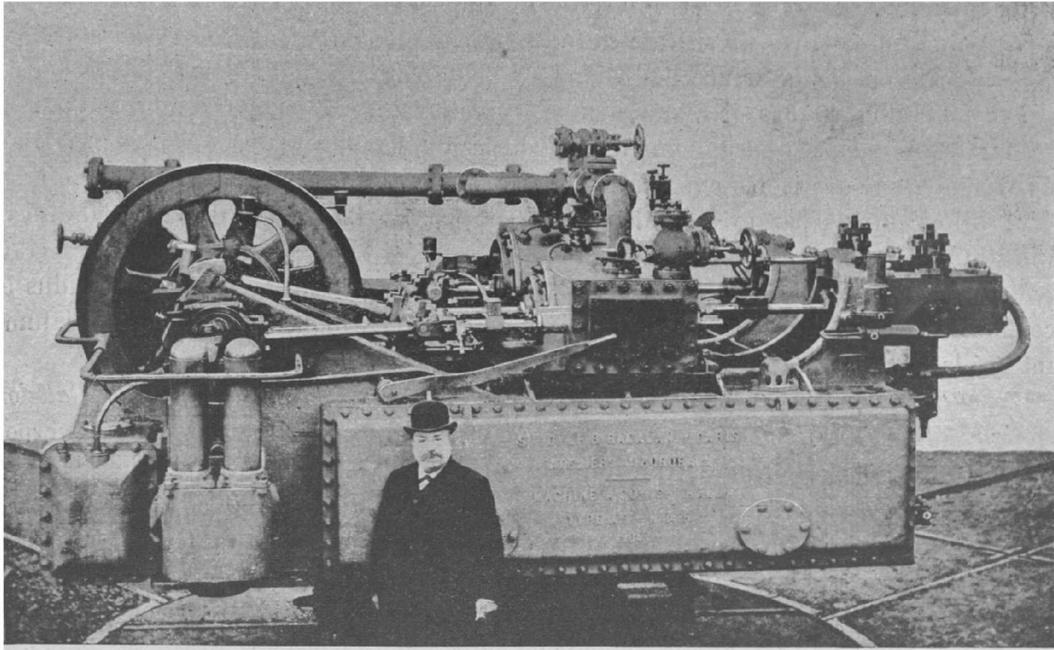


Fig. 303. — Machine frigorifique Duplex marine Hall de 200.000 frigories-heure.

Caractéristiques : Moteur à vapeur compound à condensation par surface de 52 chevaux effectifs :
 Diamètre du cylindre..... HP = 360 millimètres
 Diamètre du cylindre..... BP = 580 —
 Course des pistons..... = 381 —
 Nombre de tours..... = 80 à 85 à la minute

Les deux compresseurs sont attaqués chacun par un des pistons moteurs. Ils sont alésés à 111 millimètres (Diamètre des tiges = 51 millimètres).

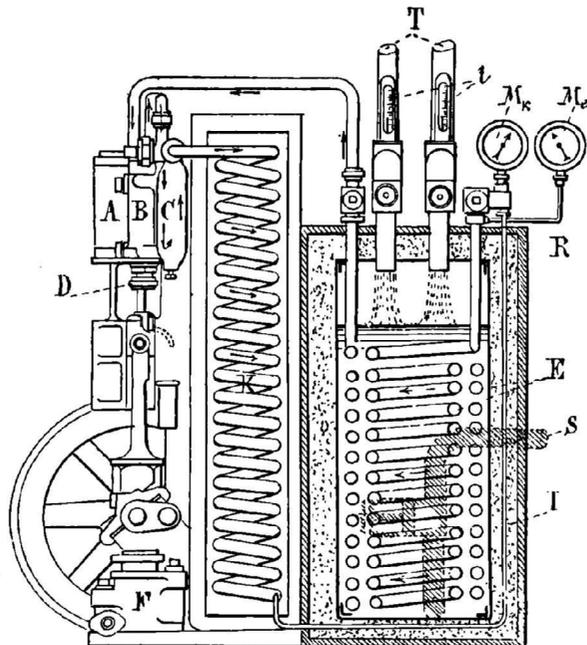


Fig. 304. — Machine frigorifique marine Hall, type vertical.

A, Cylindre à vapeur; — B, Compresseur; — C, Séparateur d'huile; — F, Pompe pour l'eau de circulation au condenseur; — K, Condenseur; — E, Évaporateur; — I, Isolant; — R, Robinet de régulation; — M_K , Manomètre du condenseur; — M_E , Manomètre de l'évaporateur; — T, Tuyaux de retour de la saumure; — Z, Thermomètres; — S, Tuyau de départ de la saumure.

d'une machine à anhydride carbonique est donc beaucoup moindre que celui des autres machines à compression de même puissance frigorifique. Enfin, les fuites d'anhydride carbonique ne peuvent avoir aucun inconvénient soit pour les denrées transportées, soit pour la sécurité du navire, soit pour la santé de l'équipage ou des passagers; on ne peut en dire autant de l'ammoniaque, de l'anhydride sulfureux et du chlorure de méthyle.

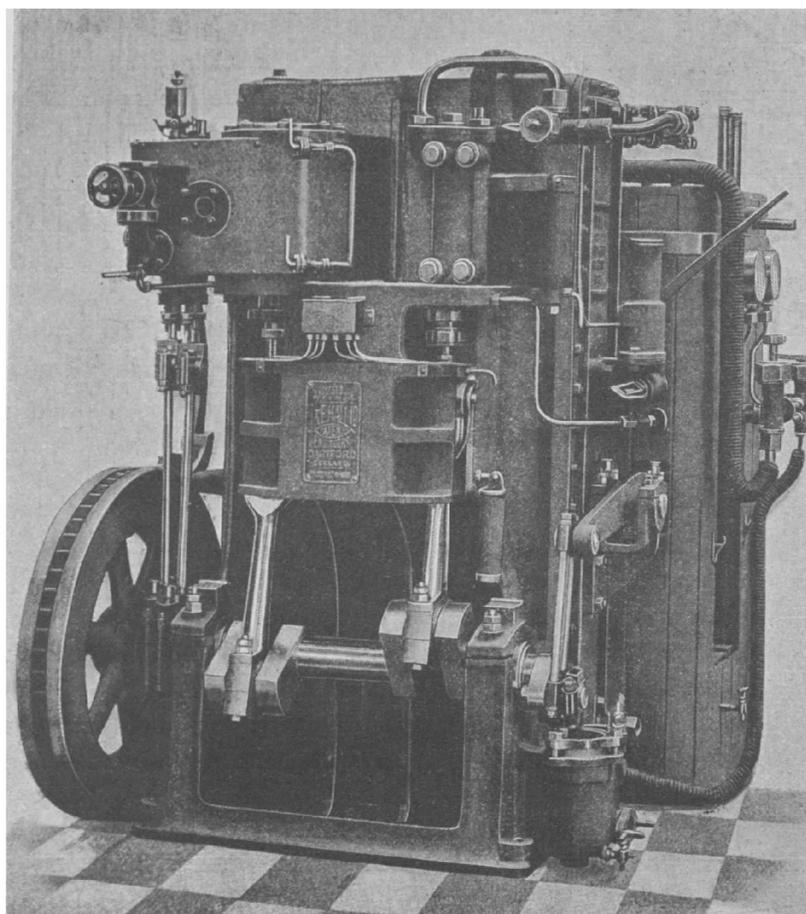


FIG. 303. — Machine marine Hall, type vertical à un seul compresseur.

Encombrement : Hauteur	2 ^m ,08
Largeur	1 ^m ,70
Profondeur	1 ^m ,88
Poids approximatif	5 tonnes

Le rendement thermique des machines à anhydride carbonique ne diminue pas beaucoup lorsque la température de l'eau du condenseur atteint ou dépasse le point critique; ces machines peuvent très bien être employées dans les mers les plus chaudes et notamment dans la mer Rouge, dont la température atteint parfois de 30 à 35° C. Les figures 303 et 305 représentent deux machines marines à CO² construites par la maison Hall, l'une de grande puissance frigorifique¹ (fig. 303), l'autre de puissance frigorifique moyenne (fig. 305). On voit, en particulier, sur ces dernières figures comment ont été groupées les diverses parties de la machine de manière à réduire le plus possible l'encombrement.

1. Cette machine frigorifique de 200.000 frigories-heure est le type de machines installées par la Société Dyle et Bacalan à bord des cargos des Chargeurs Réunis, *Amiral-Troude*, *Amiral-Rigault-de-Genouilly*, *Amiral-Sallandrouze-de-Larmornaix*, qui transportent des viandes congelées de Buenos-Ayres à Londres.

21. Machines frigorifiques. — Ammoniaque. — Les machines à ammoniaque se rencontrent cependant dans un grand nombre d'installations. C'est ainsi que la *Liverpool Refrigeration Company* a employé cet agent frigorifique sur les navires de la *Leyland Line*, de la *Fredk Leyland Co* et de la *White Star Line* que nous avons cités plus haut.

La *Pulsometer Engineering Co* a installé des machines à ammoniaque pour refroidir les chambres de conservation de quelques-uns des paquebots de *The Ellerman Lines Ld.* (*The City Line Ld*) qui font le service entre l'Inde et Glasgow : ce sont le *City of Athens*, *City of Benarès*, *City of Bombay*, *City of Calcutta*, *City of Vienna*, *City of York*.

La Société *Linde* a muni de telles machines quelques transports qui amènent de Montréal en Angleterre des produits de laiterie et des fruits. Parmi eux il faut citer le *Cynthina* de la *British Maritime Trust Ld.*; le *Devona*, le *Hurona*, l'*Iona*, de la *W. Thomson and Son*; le *Montcalm*, le *Monteagle*, le *Monterey*, le *Montezuma*, le *Montfort*, le *Montrose*, le *Mont-*

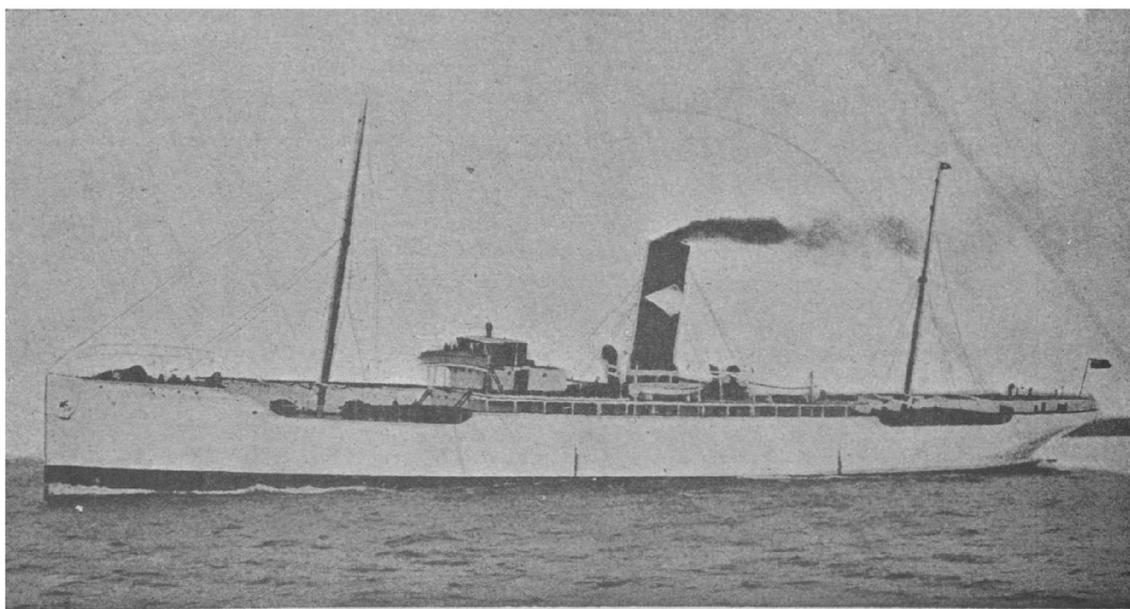


FIG. 306. — Bateau pour le transport des bananes (type *San José*, *Limon*, *Esparta*).

réal de la *Canadian Pacific Railway Co.* Le *Fifeshire*, le *Morayshire*, le *Nairnshire*, le *Perthshire*, de la *Turnbull Martin and Co.*, qui transportent du mouton congelé et des produits de laiterie, de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande au Royaume-Uni, portent également des machines frigorifiques à ammoniaque. Il en est de même des paquebots des *Chargeurs-Réunis*, *Amiral-de-Kersaint*, *Amiral-Latouche-Tréville*, *Amiral-Magon*, *Amiral-Nielly*, *Amiral-Olry*, *Amiral-Ponty*; des paquebots de la *Compagnie générale Transatlantique*, *Savoie* (2 machines *Linde* de 25.000 frigories-heure chacune), *Provence* (2 machines *Linde* de 30.000 frigories-heure chacune), dont les chambres de conservation sont refroidies au moyen de machines à ammoniaque. En résumé, on peut dire que, soit sur des paquebots à passagers, soit sur des steamers transportant des denrées alimentaires quelconques, le nombre des installations à ammoniaque atteint à peu près 35 0/0 du nombre total des navires frigorifiques.

Il convient ici de décrire l'installation de réfrigération par l'ammoniaque que vient de faire la Compagnie américaine *Linde* à bord des steamers *San José*, *Limon*, *Esparta*, appartenant à la *United Fruit Company* de New York; ils sont destinés à transporter des fruits

et plus particulièrement des *bananes*¹ des ports de l'Amérique Centrale à Boston et à New-York. L'un de ces navires est représenté sur la figure 306.

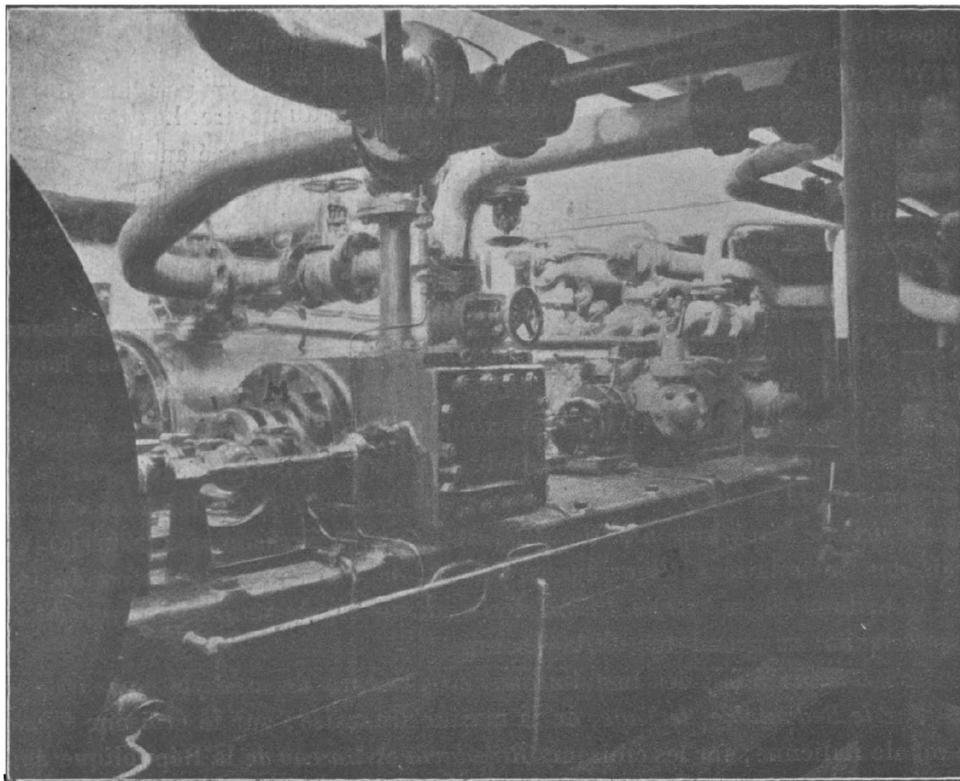


FIG. 307. — Compresseur horizontal à AzH³ Linde, type marine.
C, Compresseur; — B, Condenseur à immersion; — M, Machine à vapeur.

Le compresseur Linde à ammoniac C (fig. 307) du type marine est en tandem avec une machine à vapeur; il est monté sur une plaque en fonte formant le couvercle supérieur du bac du condenseur à immersion B; l'évaporateur est plongé dans de la saumure qu'il refroidit. Des pompes, dont l'une est représentée en P sur la figure 308, aspirent la saumure froide; une partie de celle-ci circule dans des serpents contenus dans une chambre spéciale; une autre partie ruisselle sur ces mêmes serpents; le réfrigérant est donc du type *Grimault et Le Soufaché* représenté sur la figure 233. L'air chaud des cales arrive dans cette chambre, s'y dessèche, s'y purifie et s'y refroidit; il est alors renvoyé dans les cales. Ce mode de réfrigération a l'avantage de bien purifier l'air qui vient des chambres (ce qui est important surtout

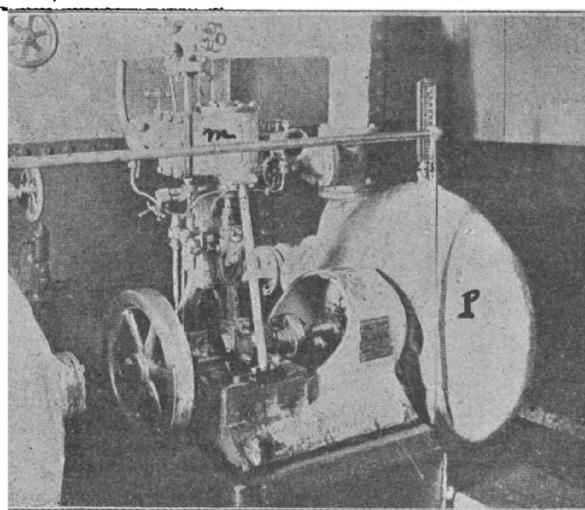


FIG. 308. — Vue de l'une des pompes à saumure de l'installation frigorifique pour bateau transporteur de fruits.
P, Pompe à saumure; — m, machine à vapeur pour la commande de la pompe à saumure.

1. *Refrigeration on Fruit Steamers* (*Cold Storage and Ice Trade Journal*, avril 1905) (*Eis und Kälte-Industrie*, t. VII, n° 4, 5 juillet 1905, p. 9).

au début, lorsque des fruits frais emplissent les cales) et d'absorber par la saumure les grandes quantités d'anhydride carbonique que les fruits dégagent surtout au commencement de leur emmagasinage. Enfin, on peut obtenir un dessèchement plus complet de l'air, quand cela est nécessaire, en le faisant passer sur du chlorure de calcium.

Ces navires ont 105 mètres de long, 21 mètres de haut et 17 mètres de large : ils possèdent 3 ponts en fer qui s'étendent sur toute la longueur du navire. Les cales à marchandises sont divisées en compartiments séparés par des cloisons en fer étanches qui s'étendent jusqu'au pont supérieur. Il y a quatre cales isolées à l'avant et trois à l'arrière.

L'isolement est obtenu au moyen de deux cloisons en planches bouvetées entre lesquelles se trouve du *feutre de poil de vache*.

22. Machines frigorifiques. — Anhydride sulfureux. — Chlorure de méthyle. — Nous connaissons très peu d'installations frigorifiques marines fonctionnant à l'anhydride sulfureux et au chlorure de méthyle.

Toutefois il convient de citer les machines à SO_2 d'une puissance frigorifique de 160.000 frigories-heure installées par la Société *A. Borsig* de Berlin-Tegel pour la congélation du poisson à bord du *Refrigerator* de la Société sibérienne pour la pêche et la vente du poisson [*Die sibirische Fischfang- und Handelsgesellschaft*] à Krassnojarsk (Sibérie). La même firme a fait des installations frigorifiques à bord du vaisseau-école *Océan* de la marine impériale russe, du croiseur *Vittore Pisani* de la marine royale italienne, du yacht à vapeur *Lensahn* appartenant au grand-duc d'Oldenbourg.

La maison *Douane* a fait des installations au chlorure de méthyle pour la production de la glace sur le *Redoutable*, le *Tage*, de la marine française ; sur le croiseur *Piemonte*, de la marine royale italienne ; sur les croiseurs *Rivadavia* et *Moreno* de la République Argentine.

23. Place des machines frigorifiques. — Sur les steamers *San-José*, *Limon*, *Esparta*, dont nous avons parlé plus haut, la machinerie frigorifique est placée sur le pont supérieur au-dessous du faux pont en fer qui porte les cabines des passagers, etc... La figure 309 représente le mode d'agencement de cette installation frigorifique.

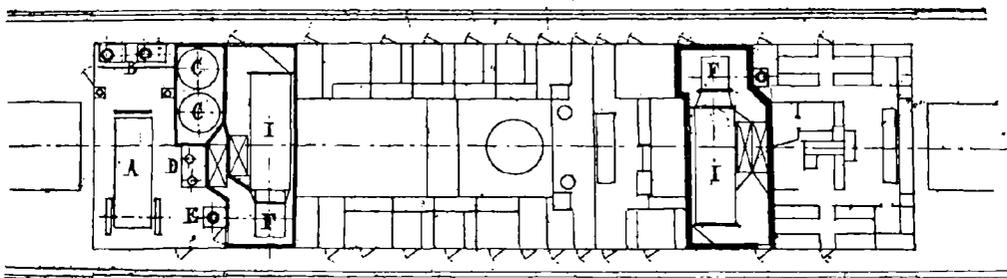


FIG. 309. — Steamers *San José*, *Limon*, *Esparta*. — Plan du pont supérieur montrant l'installation des machines frigorifiques.

A, Machine frigorifique ; — B, Pompes à saumure ; — C, Réfrigérants de la saumure ; — D, Pompes pour le ruissellement de la saumure ; — E, Machine de commande des ventilateurs ; — F, Ventilateur ; — I, Chambre pour le refroidissement de l'air par ruissellement de saumure sur des tuyaux à circulation de saumure.

Dans la plupart des bateaux munis de grandes installations pour des cales d'une capacité de 100 à 130 milliers de carcasses, les machines frigorifiques sont ainsi installées dans l'entrepont le plus élevé. Ce poids de 120 à 160 tonnes exige que l'on prête une attention spéciale dans l'aménagement de la structure des bâtiments. La figure 310 est le schéma d'une telle installation de machine frigorifique dans l'entrepont.

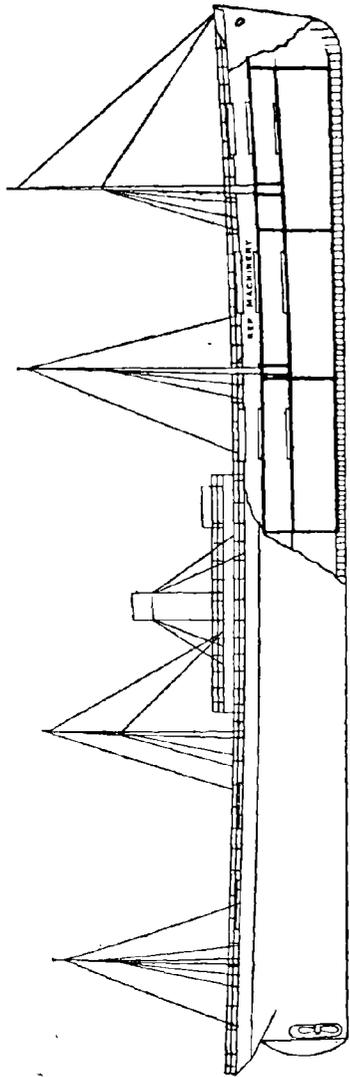
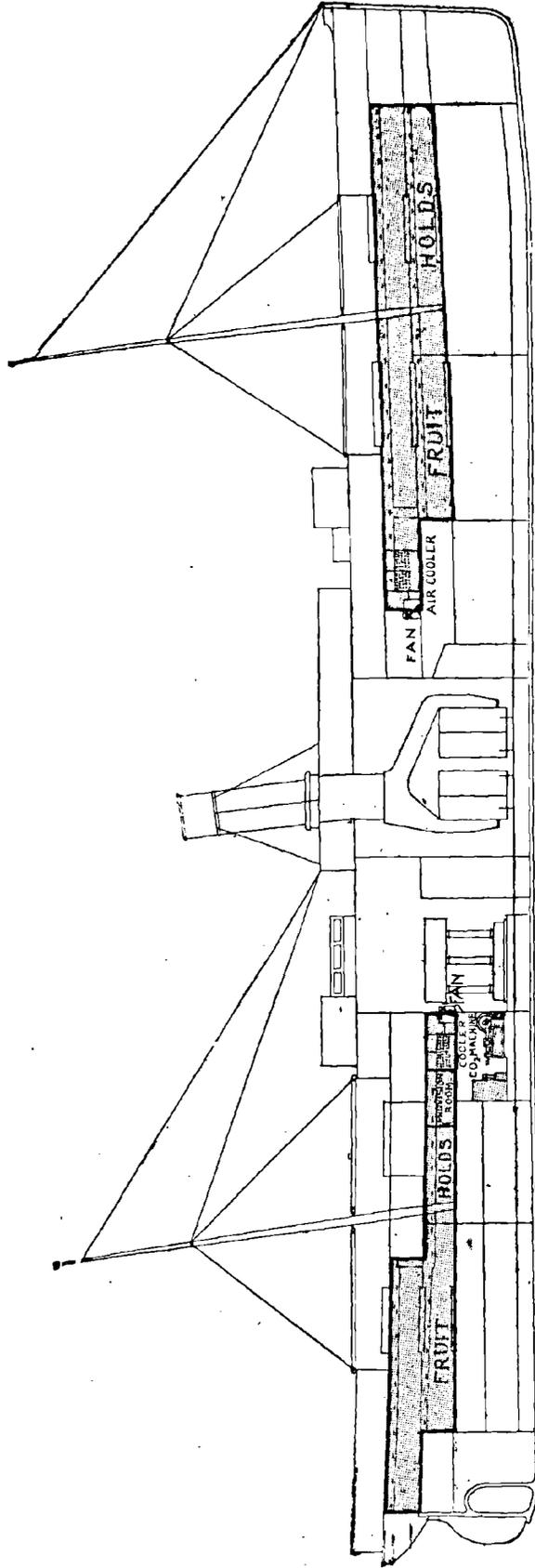


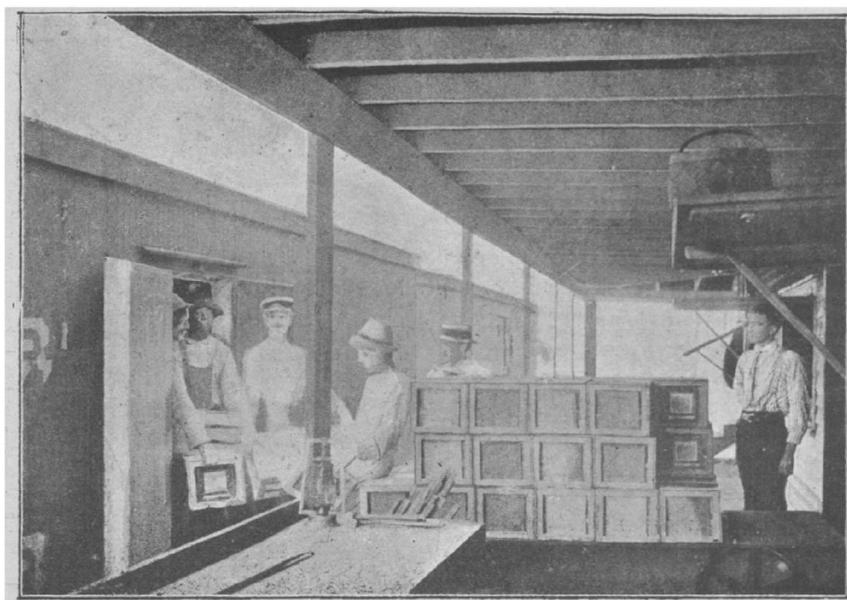
Fig. 310. — Schéma d'une installation frigorifique de navire avec machine frigorifique dans l'entrepont.



« Cliché de L'Industrie frigorifique. »
 Fig. 310 bis. — Coupe d'un navire aménagé pour le transport des fruits coloniaux. — (La machine frigorifique est à fond de cale.)
 Fruits holds, cales de conservation pour les fruits; — Provisions room, chambre à provisions; — Fan, ventilateur; — Air Cooler, Refroidisseur d'air; — CO₂ Machine; Machine frigorifique à CO₂.

Aussi, dans la plupart des cas, installe-t-on les machines frigorifiques à fond de cale, comme le représente la figure 310 *bis*, qui donne en même temps l'aménagement d'un navire pour le transport des fruits coloniaux¹.

24. Précautions à prendre pendant l'embarquement et le débarquement des denrées. — Il ne suffit pas d'avoir un navire muni d'une installation réfrigérante excellente pour arriver avec une cargaison qui soit non seulement en excellent état de conservation, mais qui soit telle que l'aspect extérieur, la contexture, voire même les ornements naturels qui accompagnent le produit (feuillage, tige adhérente au fruit, quand il s'agit du



Cliché de « L'Industrie frigorifique ».

FIG. 311. — Chargement d'un train frigorifique en Géorgie.

transport de ces marchandises) soient conservés et présentés dans l'état le plus parfait. Il faut que non seulement le produit transporté arrive sur le marché bien *conservé*, mais encore qu'il ait l'apparence extérieure habituelle du produit frais².

La réalisation de cette condition commerciale nécessite des précautions spéciales pendant le transport des produits conservés par le froid, et en particulier au moment de l'embarquement et du débarquement de ces denrées.

1° En premier lieu, quand il s'agit de transports maritimes, *il est essentiel d'avoir complètement cessé d'embarquer le charbon au moment de l'introduction des produits dans les chambres froides.*

On sait en effet combien la poussière noire produite au moment de l'embarquement du charbon pénètre dans les diverses parties du navire qui ne sont pas parfaitement closes.

1. On trouvera d'autres renseignements sur les installations frigorifiques à bord des navires dans les publications suivantes :

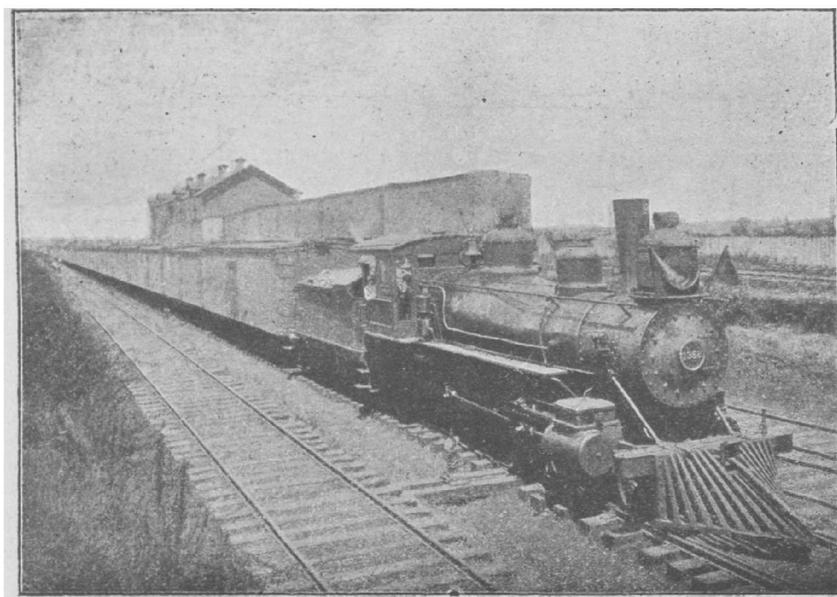
A. PERRET, *les Machines à glace*, p. 417 ; — DE LOVERDO, *le Froid artificiel*, p. 574, schéma de l'installation de la Savoie (Compagnie générale Transatlantique) ; — F. KRAMER, *Ueber den Import überseeischen Fleisches und die hierzu nötigen Einrichtungen (Eis und Kälte-Industrie*, t. VI, n° 3, 4, 5 ; 5 août, 20 août, 5 septembre 1904) ; — R. STETEFELD, *Uebersee Fleischeinfuhr (Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie*, avril 1903). — Voir aussi le schéma de l'installation du *Grosser Kurfürst*, paquebot du Lloyd de l'Allemagne du Nord (*Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, t. XLVII, 1903, p. 1196).

2. Ch. LAMBERT, *L'Industrie frigorifique appliquée à la conservation et au transport des fruits des pays chauds (L'Industrie frigorifique*, 3^e année, n° 26, juillet 1905 ; — *La Glace et les Industries du froid*, 2^e année, n° 8 et 9, août et septembre 1905).

2° *Les produits doivent, avant d'être embarqués, être préalablement refroidis dans toute leur masse, à l'intérieur d'entrepôts convenables.*

Il faut, en effet, que l'action réfrigérante ait été poussée assez loin pour que les produits soient *refroidis à cœur*; une réfrigération superficielle n'empêcherait pas les denrées de se décomposer à l'intérieur. Si on introduisait les denrées dans les cales de paquebots frigorifiques sans les avoir d'abord refroidies, il se pourrait que celles qui sont placées à fond de cale ne subissent qu'une réfrigération superficielle tout à fait insuffisante pour la conservation.

3° *Les transports frigorifiques doivent pouvoir être amenés le plus près possible des chambres froides où les denrées sont préalablement refroidies.*



Cliché de « *L'Industrie frigorifique* ».

FIG. 312. — Train frigorifique arrêté devant un Cold Store spécialement affecté aux fruits en Georgie.

Quand il s'agit de transports par chemin de fer, des lignes de raccordement doivent permettre d'amener les trains ou les wagons frigorifiques tout auprès des chambres froides comme le montrent les figures 311 et 312. Il en est de même pour les navires frigorifiques; des quais d'embarquement doivent leur permettre d'accoster le plus près possible des entrepôts frigorifiques.

4° *Le transport des produits au sortir d'un entrepôt frigorifique ou d'un transport frigorifique doit être effectué avec des précautions spéciales, lorsque le navire ou wagon ne peut pas être amené dans le voisinage de l'entrepôt.*

Il convient notamment d'amener les produits en prenant des soins de propreté tels que la poussière et les germes de toutes sortes ne se trouvent pas en contact avec eux.

Il ne faut pas, d'autre part, que les véhicules qui amènent les denrées refroidies attendent trop longtemps le moment d'être déchargés. La température monte en effet à l'intérieur des voitures qui ne sont pas construites dans des conditions particulières.

Aussi est-il bon d'employer des camions bien isolés dans lesquels on injecte de l'air froid avant et après le chargement des voitures. Lorsque celles-ci doivent stationner à l'embarque-

ment, on doit pouvoir les abriter (au nombre de 10 par exemple), sous un hangar possédant

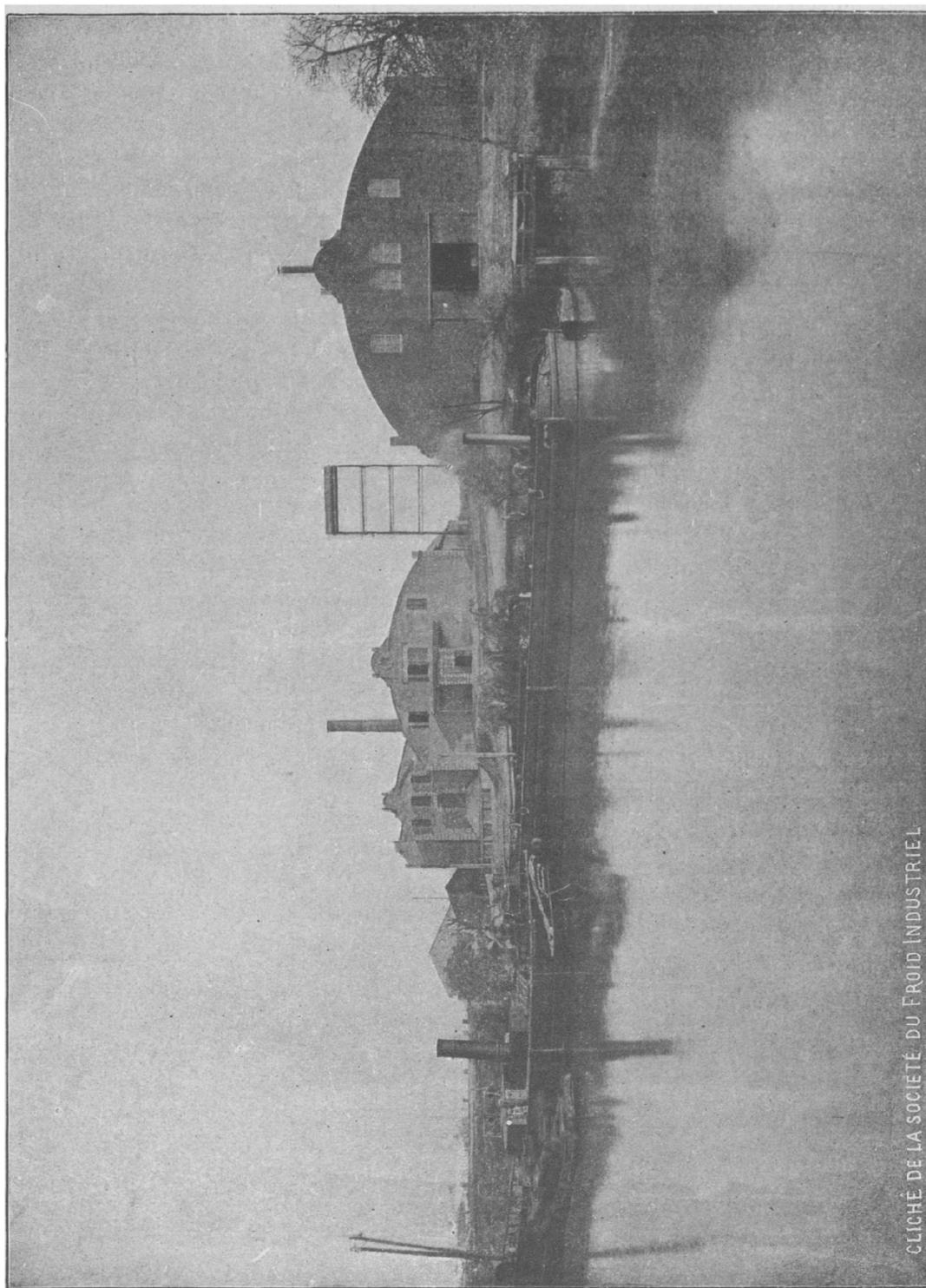


FIG. 312 bis. — Magasinage des denrées et transport par chaland frigorifique

une prise d'eau permettant de les arroser extérieurement. Enfin, ces camions doivent être peints extérieurement en blanc, non seulement pour les garantir contre l'absorption de la

chaleur des rayons solaires, mais encore parce que leur extérieur blanc force à les maintenir dans un grand état de propreté ; quand ils sont peints en couleur foncée, on ne les lave que très rarement.

D'autre part, dans les grands ports comme Londres, les steamers ne peuvent aborder auprès des grands entrepôts frigorifiques étagés sur les rives de la Tamise. Les marchandises sont alors déchargées des navires frigorifiques sur des chalands qui les transportent dans les entrepôts (*fig. 312 bis*). Il ne suffit pas que ces chalands soient simplement isolés. Ils doivent être munis de cales isolées à la manière ordinaire, dans lesquelles des tuyaux réfrigérants sont disposés sous le pont ou contre les parois latérales. Ces tuyaux aboutissent à deux raccords placés contre le bord extérieur, raccords qui, au moyen de tuyaux, peuvent être mis en relation avec les machines frigorifiques installées à bord d'un vapeur du port aménagé à cet effet. Les tuyaux sont remplis avec de la saumure refroidie et, quand l'isolement est bon, la température des cales peut se maintenir plusieurs jours à une température suffisamment basse pour que les denrées puissent attendre le débarquement.

5° *Il faut éviter l'embarquement ou le débarquement par des temps humides ou dans des enveloppes mouillées.*

Quand de la viande congelée, par exemple, est embarquée par un temps pluvieux à l'aide d'élingues, l'enveloppe de toile qui la protège se mouille forcément ; comme la viande n'en est pas débarrassée immédiatement et qu'on ne l'essuie pas avant de la placer dans les chambres froides, il en résulte des détériorations fréquentes.

6° *Il faut que les denrées emmagasinées dans les cales ne soient pas trop pressées les unes contre les autres et contre le plancher.*

Il faut que l'air puisse circuler entre ces produits, et qu'une charge trop considérable n'écrase pas ceux qui sont placés à la partie inférieure. Nous avons déjà signalé cette condition à propos des inconvénients que présentent les cales trop profondes.

7° *Les cales doivent être refroidies pendant un temps suffisamment long avant d'y introduire les produits.*

Il est en effet nécessaire d'amener les parois isolantes de la structure à être à la température nécessaire pour la conservation, sans quoi les produits, se trouvant en contact avec ces parois, seraient exposés à être à une température trop élevée. Pendant le déchargement et le nettoyage des cales, les parois isolantes s'échauffent ; il est donc nécessaire, avant d'y introduire de nouveau des denrées, de refroidir ces cales pendant un temps suffisamment long.

On a parfois l'habitude de réintroduire de la viande congelée dans des cales douze à dix-huit heures après que la cargaison précédente en a été enlevée. Le *Captain Steward Willis*¹ trouve ce temps insuffisant : en douze ou dix-huit heures, il est possible de ramener la température de la chambre à 0° C., mais il est tout à fait impossible d'éliminer la chaleur absorbée par les parois isolantes de la structure.

La règle suivie par la *New Zealand Shipping Co* et par la Compagnie *Shaw, Sawill and Albion* est la suivante :

Vingt-quatre heures de refroidissement pour une chambre qui contiendra 5.000 carcasses de mouton ;

Trente-six heures de refroidissement pour une chambre qui contiendra 10.000 carcasses de mouton ;

1. CAPTAIN STEWARD-WILLIS, extrait d'un mémoire lu devant l'Insurance Institute of New-Zealand (*Cold Storage and Ice Trade Journal*, 1905, VIII, 40 ; — *la Glace et les industries du froid*, 2^e année, n° 4, avril 1905, p. 46).

Quarante-huit heures de refroidissement pour une chambre qui contiendra plus de 10.000 carcasses de mouton.

8° *Il faut éviter autant que possible les fluctuations trop nombreuses de température pendant l'embarquement ou le débarquement.*

Il arrive que le travail commencé à six heures du matin avec une température de 5 à 10° C. est continué tout le jour à la température de 25° C., et le soir à une température qui est parfois inférieure à celle du matin.

Dans ces conditions, les marchandises perdent leur velouté, indice de la fraîcheur et de la bonne qualité.

CHAPITRE VII

FABRICATION DE LA GLACE¹

I

PROCÉDÉS DE FABRICATION DE LA GLACE

1. Différentes sortes de glace artificielle. — Par opposition avec la *glace naturelle* (*natureis*, dans les auteurs allemands), on désigne sous le nom de *glace artificielle* (*kunsteis* ou *maschineneis*, dans les auteurs allemands) la glace qui est obtenue en abaissant la température de l'eau, au moyen de machines frigorifiques.

L'Association allemande des marchands et fabricants de glace² (*Verband deutscher Eishändler und Fabrikanten*) distingue trois sortes de glace artificielle :

1° La *glace d'eau de source* (*brunneneis*) : c'est la glace artificielle faite avec de l'eau de puits, de source, de fontaine ou d'eau provenant des canalisations des villes, sans autre préparation spéciale. Cette glace est opaque, d'aspect mat, trouble, blanc ou laiteux. On lui donne souvent le nom de *glace opaque* ;

2° La *glace translucide* (*klareis*) : c'est la glace artificielle faite avec de l'eau de puits, de source ou de conduite des eaux de ville, pour laquelle l'eau a été agitée pendant sa solidification. Elle est transparente dans toute son épaisseur, à l'exception d'un noyau opaque plus ou moins grand ; ce noyau n'existe pas dans certains modes de préparation. On donne parfois à cette glace le nom de *glace demi-transparente*.

3° La *glace cristal* ou la *glace d'eau distillée* (*krystalleis* ou *destillateis*) : c'est la glace artificielle préparée avec de l'eau distillée privée d'air ; elle a la transparence du cristal dans toute son épaisseur.

On lui donne aussi le nom de *glace transparente*.

Cette dernière sorte de glace est seule stérile ; les deux autres sortes contiennent des bactéries qui ne sont pas tuées par l'action de la basse température.

2. Opacité de la glace. — Expériences de MM. Cottarel et Papin³. — Les dénominations de glace opaque, glace demi-transparente ne servent qu'à caractériser l'emploi

1. Pour la rédaction de ce chapitre, nous avons fait des emprunts aux ouvrages suivants :

DE LOVERDO, *le Froid artificiel* ; — A. PERRÉ, *les Machines à glace* ; — H. LORENZ, *Machines frigorifiques*, traduction P. Petit ; — R. STETEFELD, *Compendium der gesamten Kälte-Industrie* ; — GEORG. GÖTTSCHE, *Die Kältemaschinen* ; — SIEBEL, *Compend of Mechanical Refrigeration* ; — HALL WILLIAMS, *Mechanical Refrigeration* ; — A.-J. WALLIS-TAYLER, *Refrigeration Cold Storage and Ice-Making* ; — *Id.*, *The Pocket Book of Refrigeration* ; — MADISON COOPER, *Practical Cold Storage* ; — JOHN LEVEY, *Refrigeration Memoranda*, Chicago, Nickerson and Collins Co, 1904.

2. *Zeitschrift für Eishandel und Fabrikation*, Lubeck, 1901, n° 5.

3. F. COTTAREL, *Fabrication industrielle de la glace* (*Génie civil*, t. XLV, n° 6, 11 juin 1904) ; — A. PAPIN, *Fabrication de la glace transparente au moyen de l'air comprimé* (*L'Industrie frigorifique*, 2^e année, n° 11, avril 1904, p. 122). C'est dans ce mémoire (p. 124 et 125) que sont relatées les expériences intéressantes que nous signalons ici.

de procédés spéciaux dans la fabrication de la glace. En réalité, la *glace artificielle est toujours opaque, si l'on n'emploie aucun artifice pour la rendre transparente.*

Les causes de l'opacité de la glace sont mal définies. Nombre d'auteurs, pour plus de simplicité, incriminent, sans autre justification, la présence de l'air emprisonné par les cristaux de glace pendant leur formation. Or MM. Cottarel et Papin ont obtenu de la glace opaque avec de l'eau distillée parfaitement privée d'air et de la glace parfaitement transparente en insufflant dans de l'eau ordinaire en train de se congeler de l'air sous une pression convenable.

Les études entreprises par ces ingénieurs les ont conduits aux conclusions suivantes.

3. Circonstances qui influent sur l'aspect de la glace au moment de sa formation. — Parmi les circonstances qui influent sur l'aspect de la glace au moment de sa formation, il semble qu'il faille attribuer le plus fréquemment aux suivantes une action prépondérante :

1° *Stagnation de l'eau* ; 2° *rapidité du gel* ; 3° *présence de l'air* ; 4° *présence des sels ou matières étrangères.*

4. Circonstances favorables ou défavorables à l'obtention de la glace transparente. — Ces diverses circonstances constituent, pour l'obtention de la glace transparente, ce que l'on peut appeler les *circonstances défavorables.*

Inversement : 1° *l'agitation de l'eau*, — 2° *la lenteur du gel*, — 3° *l'absence d'air*, — 4° *l'absence de sels*, constituent les circonstances *favorables* à l'obtention de la glace transparente¹.

Pour obtenir de la glace opaque ou de la glace transparente, il n'est pas nécessaire que toutes les circonstances du premier ou du second type se trouvent réunies ; il suffit que l'une des circonstances favorables ou défavorables l'emporte sur les autres ; c'est ainsi que la pratique a reconnu que les deux meilleurs procédés pour obtenir de la *glace transparente* sont d'une part *l'agitation de l'eau à congeler pendant la plus grande partie de l'opération*, et d'autre part *la congélation lente de l'eau préalablement distillée.*

5. Tous les microorganismes contenus dans de l'eau se retrouvent dans la glace préparée au moyen de cette eau. — La glace faite avec de l'eau ordinaire vaut, au point de vue de la consommation, ce que vaut cette eau elle-même, qui a servi à la fabriquer.

Si l'eau est bonne à boire, la glace n'est pas nuisible à l'alimentation ; mais, si l'eau contient des microbes pathogènes, tels que celui de la fièvre typhoïde, la glace opaque faite avec cette eau contient les mêmes microbes pathogènes dont le degré de virulence n'est pas atténué². Or, les fabricants de glace ne font pas toujours analyser l'eau dont ils se servent.

1. A ces circonstances favorables, il faut ajouter l'effet de la pression. On connaît en effet l'expérience classique qui consiste à fabriquer des lentilles de glace transparentes en exerçant une pression sur de la glace pilée placée dans un moule ayant la forme de la lentille. Mais cette influence de la pression n'est pas à envisager dans la préparation industrielle de la glace.

2. Dans divers échantillons de glace naturelle pris à Berlin et dans les environs, Heyroth a trouvé dans 1 centimètre cube d'eau provenant de la fonte de la glace de 2.000 à 14.000 germes capables de reproduction. Bishop a également trouvé dans 1 centimètre cube d'eau provenant de la fonte de la glace naturelle de 150.000 à 880.000 microorganismes susceptibles de vie. Bordoni-Uffreduzzi a montré qu'en congelant de l'eau dans des conditions voisines de celles qui se présentent dans la nature, la glace contient au bout de six mois un moins grand nombre de germes susceptibles de vivre que l'eau primitive. Mais, à partir de cette époque, le nombre de ces germes ne va plus en diminuant ; les germes les moins résistants ont disparu, les autres ne sont pas tués et sont susceptibles de se développer aussitôt que l'on fait fondre la glace et que l'on ramène l'eau à la température ordinaire [O. SCHWARZ, *Bau öffentlicher Schlachthöfe*, p. 367 ; — SKINNER, *Natural Ice from ponds and streams*. Mémoire lu à l'*Annual Convention of the Southern Ice Exchange* (*Ice and Refrigeration*, t. XXX, n° 4, avril 1906, p. 240)].

Il est donc prudent de ne jamais employer pour l'alimentation la glace opaque de l'industrie.

D'ailleurs, on reproche avec raison à cette glace opaque de fondre beaucoup plus vite que la glace transparente.

6. Les microorganismes sont concentrés dans le noyau opaque des blocs de glace translucide. — La glace translucide, ayant un noyau opaque, ne contient pas de bactéries dans la partie transparente; d'après les recherches d'un savant italien, le D^r Abba¹, les bactéries se rassemblent dans la partie centrale opaque, qui est très riche en microorganismes, ce qui n'a rien d'étonnant, puisque cette partie contient aussi la plupart des sels qui étaient dissous dans l'eau. *Dans la glace qui contient un noyau opaque, ce noyau est impropre à la consommation.*

7. Le noyau opaque des blocs de glace translucide peut être supprimé. — Il résulte de là une méthode pour obtenir de la glace transparente en n'employant qu'une petite quantité d'eau distillée. On commence par produire la congélation de l'eau ordinaire dans les moules (que nous décrirons tout à l'heure) en ayant soin d'agiter; la congélation s'effectue de la périphérie vers le centre. Lorsque les deux tiers environ de cette eau sont à l'état solide, on aspire l'eau qui se trouve non congelée dans la partie centrale et qui contient tous les microbes; on la remplace par de l'eau distillée et privée d'air qu'on laisse se congeler à l'état de repos. Ce système, qui fournit d'excellente glace transparente, est appliqué aux *Glacières de l'Alimentation*, à Paris.

On peut encore plus simplement éliminer le noyau central d'eau non congelée, en produisant une chasse automatique de cette eau au moyen d'un jet d'air comprimé. Dans ce cas, le bloc de glace possède une cavité centrale; on dit qu'il est *ouvert*. Ce bloc de glace qui ne contient qu'une très minime quantité de bactéries est tout à fait propre à la consommation.

8. Fabrication de la glace en blocs ou en plaques. — La glace artificielle est préparée sous forme de *blocs* (*Blockeis*) ou sous forme de *plaques* (*Platteneis*).

9. Mouleaux (en allemand : *Eiszelle*; en anglais : *Ice-mould* ou *Ice-can*). — Les blocs de glace sont obtenus au moyen de *mouleaux*.

Les mouleaux sont des récipients métalliques affectant la forme d'une pyramide tronquée (*fig. 313*). Il y en a de plusieurs modèles. Les plus petits donnent des blocs de 14 à 20 kilogrammes; ils ont une épaisseur de 8 à 10 centimètres, une profondeur de 45 à 60 centimètres et une longueur de 60 à 70 centimètres; ils sont constitués par une feuille de tôle galvanisée. Les moyens donnent des blocs de 25 à 50 kilogrammes; ils sont construits au moyen d'une tôle plus forte. Pour de plus grands modèles, on emploie des feuilles de fer forgé dont les différentes faces sont réunies à l'aide de collerettes rivées. Ainsi, à la *Compagnie générale de la Glace hygiénique de Paris-Billancourt*, chacun des mouleaux produit 136 kilogrammes de glace et a pour dimensions 280 × 560 × 1120 millimètres.



FIG. 313.

Mouleau pour la fabrication de la glace.

1. *Die Bakterien im Eis* (*Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie*, 10^e année, fasc. 5, mai 1903, p. 100).

Ces mouleaux remplis d'eau sont disposés dans un bac contenant un liquide incongelable refroidi. La congélation se produit d'abord à la base du mouleau, puis sur les faces latérales qui s'épaississent graduellement.

La durée de la congélation de l'eau contenue dans un de ces mouleaux dépend :

1° De la température à laquelle est porté le bain incongelable dans lequel ils sont plongés ;

2° Du rapport qui existe entre la surface du mouleau exposé au refroidissement et son volume ;

3° De l'agitation de l'eau contenue dans le mouleau.

10. Les gros blocs de glace coûtent plus cher à produire que les petits. —

La durée de la congélation est d'autant plus courte que la surface du bloc de glace exposée à l'action réfrigérante est plus grande par rapport au volume de ce dernier. Le fabricant de glace a donc intérêt à fabriquer des blocs minces et plats qui se congèlent rapidement sous l'action d'une réfrigération extérieure. Cette congélation rapide lui permet de renouveler souvent le liquide à congeler et empêche la température du bain incongelable de s'abaisser. Si, au contraire, le fabricant de glace fait de gros blocs épais et longs à se congeler, la température de son bain incongelable que la machine refroidit constamment s'abaisse et le rendement thermique de la machine diminue ; pour éviter un trop grand abaissement de température, le fabricant est obligé d'augmenter les dimensions du bac dans lequel plongent les mouleaux et de multiplier le nombre de ceux-ci.

De plus, pour que la durée de la congélation ne soit pas trop considérable, il abaisse la température du liquide incongelable à -10° C. et même à -15° C., au lieu de la laisser à -5° comme pour les petits blocs. Il résulte immédiatement de là que *les gros blocs épais de glace coûtent plus cher à produire que les petits.*

Mais, si le fabricant n'a pas intérêt à produire des blocs épais, le consommateur ou l'entrepositaire a tout intérêt à les demander, car la fonte de la glace, pendant le transport et le magasinage, est d'autant moindre que les blocs sont plus épais. Un bloc de 25 kilogrammes ayant à peu près 8 centimètres de côté subit une fonte de 6 à 8 0/0, alors que, dans les mêmes conditions, la fonte d'un bloc de 12⁵⁰⁰ ayant à peu près 4 centimètres de côté, atteint 9 et 12 0/0.

En général, dans la pratique, pour concilier les intérêts du fabricant et du consommateur, on prend compris entre 29 et 35 le rapport entre la surface exposée au refroidissement (exprimée en mètres carrés) et le volume des blocs (exprimé en mètres cubes).

11. Quelques valeurs de la durée moyenne de la congélation de l'eau dans les mouleaux. — Voici quelques nombres indiquant la durée moyenne de la congélation de l'eau contenue dans les mouleaux¹ (température de la saumure comprise entre -10° et -8°).

1. On peut, à ce propos, donner la règle empirique suivante applicable aux valeurs ordinaires de la température de production de la glace. La durée en heures de la congélation d'un bloc de glace (méthode des mouleaux) est égale à la moitié du carré du nombre qui exprime en inches l'épaisseur du bloc ou la longueur du plus petit côté de la section de la grande base. Par exemple, si on a un bloc de 15 centimètres de côté (environ 6 inches) la durée en heures de la congélation est égale à $1/2 \times 6^2 = 18$ heures ; si le bloc a 25 centimètres de côté (environ 10 inches) la durée de la congélation est $1/2 \times 10^2 = 50$ heures.

S'il s'agit d'une plaque de glace (Voir plus loin) la durée de la congélation est le double du carré de l'épaisseur de la plaque exprimée en inches : ainsi une plaque de 15 centimètres d'épaisseur (environ 6 inches) met $2 \times 6^2 = 72$ heures à se former.

TABLEAU XXXVII

DURÉE MOYENNE DE CONGÉLATION DE L'EAU CONTENUE DANS DES MOULEAUX
[TEMPÉRATURE DE LA SAUMURE COMPRISE ENTRE — 10° ET — 8°]

DIMENSIONS D'UN MOULEAU	POIDS DU BLOC DE GLACE	DURÉE DE LA CONGÉLATION
centimètres	kilogrammes	heures
13 × 30,5 × 61	23 environ	20
20 × 46 × 81	46	36
20 × 40,50 × 101,5	69	36
28 × 56 × 81	92	55
28 × 56 × 112	140	60
28 × 56 × 145	185	60

TABLEAU XXXVIII

DURÉES EN HEURES, D'APRÈS SIEBERT, DE LA CONGÉLATION DES BLOCS DE GLACE
PRÉPARÉS DANS DES MOULEAUX, POUR DIVERSES TEMPÉRATURES
DE LA SAUMURE ET DIFFÉRENTES ÉPAISSEURS DE CES BLOCS

(On entend par épaisseur le plus petit côté de la section de la grande base du mouleau.)

ÉPAISSEURS	1 INCHES	2 INCHES	3 INCHES	4 INCHES	5 INCHES	6 INCHES	7 INCHES	8 INCHES	9 INCHES	10 INCHES	11 INCHES	12 INCHES
	2 ^{cm,5}	5 ^{cm,0}	7 ^{cm,5}	10 ^{cm,0}	12 ^{cm,5}	15 ^{cm,0}	17 ^{cm,5}	20 ^{cm,0}	22 ^{cm,5}	25 ^{cm,0}	27 ^{cm,5}	30 ^{cm,0}
Températures	heures											
— 12 . .	20 min.	1 1/4	3	5	8	11 1/2	15 1/2	20 1/2	26	32	38 1/2	46
— 11 . .	21 min.	1 1/2	3 1/4	5 1/2	9	12 1/2	17 1/2	22 1/2	28 1/2	35	42 1/2	50 1/2
— 10 . .	25 min.	1 3/4	3 1/2	6 1/4	10	14	19	25	31 1/2	39	47	56
— 9 . .	30 min.	2	4	7	11	16	21 1/2	28	35 1/2	44	53	63
— 8 . .	40 min.	2 1/4	4 1/2	8	12 1/2	18	24 1/2	32	40 1/2	50	60 1/2	72
— 7 . .	45 min.	2 1/2	5 1/4	9 1/4	14 1/2	21	28 1/2	37 1/4	47 1/4	58 1/4	70 1/2	84
— 5,5 .	50 min.	3	6 1/4	11 1/4	17 1/2	25 1/4	34 1/4	45	57	70	85	100
— 4,5 .	1 heure	3 1/2	8	14	21	31 1/2	43	56	71	87 1/2	106	126

12. Bacs à glace (en allemand : *Eisgenerator*; en anglais : *Tank*). — **Isolément.**
— Les mouleaux sont plongés dans de la saumure refroidie contenue dans une cuve étanche de tôle, de ciment armé ou de bois, que l'on nomme le *bac à glace*.

Le bac à glace est soigneusement isolé. Voici quelques méthodes d'isolement usitées en Angleterre et en Amérique.

Mode d'isolement n° 1

Isolément des côtés (de l'intérieur du bac vers l'extérieur, ou fig. 314, de a vers b). — Paroi métallique intérieure de la cuve. Cette paroi métallique est posée sur des traverses ayant une section de 5 × 10 centimètres.

Matelas d'air : épaisseur, 10 centimètres. — Plancher bouveté : épaisseur, 5 centi-

mètres. — Trois épaisseurs de papier isolant. — Plancher bouveté : épaisseur, 5 centimètres. — Matelas de liège : épaisseur, 10 centimètres. — Plancher bouveté : épaisseur, 5 centimètres. — Trois épaisseurs de papier isolant. — Plancher bouveté : épaisseur, 5 centimètres. — Matelas d'air : épaisseur, 5 centimètres. — Plancher bouveté : épaisseur, 5 centimètres. — Trois épaisseurs de papier isolant. — Plancher bouveté : épaisseur, 5 centimètres.

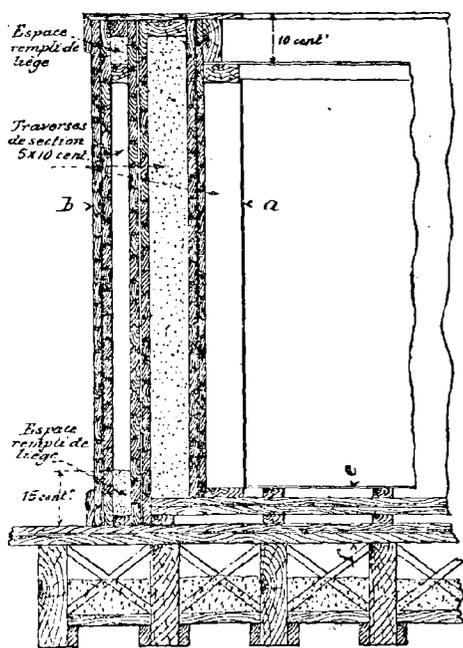


FIG. 314. — Isolement d'un bac à glace.

Isolement du fond (fig. 314, de e vers f). — Paroi métallique de la cuve : cette paroi est posée sur des traverses ayant une section de $2,5 \times 5$ centimètres ; ces traverses ont été bien goudronnées avant de placer la cuve.

Matelas d'air : épaisseur, $2^{\text{m}},5$. — Couche de goudron. — Plancher bouveté : épaisseur, $2^{\text{m}},5$. — Plancher bouveté : épaisseur, $2^{\text{m}},5$. — Trois couches de papier isolant. — Plancher bouveté : épaisseur, $2^{\text{m}},5$. — Matelas d'air entre les traverses de $2,5 \times 5$ centimètres. — Plancher bouveté : épaisseur, $2^{\text{m}},5$. — Trois couches de papier isolant. — Plancher bouveté : épaisseur, $2^{\text{m}},5$.

Ce plancher repose sur des solives ayant une section de 5×23 centimètres reposant sur un sol en béton ; l'espace libre entre les solives est rempli en partie de cendres (couche de 18 centimètres de cendres).

Le couvercle est fait d'une série de trappes en bois à double paroi entre lesquelles se trouve une couche de 10 centimètres d'air ou d'une matière isolante.

Mode d'isolement n° 2

Côtés et fond (de l'intérieur du bac vers l'extérieur). — Cuve métallique posée sur des traverses.

Matelas d'air : épaisseur, 5 centimètres. — Plancher bouveté : épaisseur, 2 centimètres. — Deux couches de papier isolant. — Plancher bouveté : épaisseur, 2 centimètres. — Silicate Cotton : épaisseur, 10 centimètres. — Plancher bouveté : épaisseur, 2 centimètres. — Deux couches de papier isolant. — Plancher bouveté : épaisseur, 2 centimètres. — Solives sur sol en béton.

Mode d'isolement n° 3

Côtés et fond (de l'intérieur du bac vers l'extérieur). — Cuve métallique posée sur des traverses.

Matelas d'air : épaisseur, 5 centimètres. — Une couche de papier isolant. — Plancher : épaisseur, 5 centimètres. — Deux couches de papier isolant. — Plancher bouveté : épaisseur, 2 centimètres. — Solives ; espaces libres entre les solives remplis aux trois quarts de charbon. — Plancher bouveté : épaisseur, 2 centimètres. — Deux couches de papier isolant. — Plancher bouveté : épaisseur, 2 centimètres. — Solives sur béton.

Les bacs faits en plaques d'acier font le meilleur usage quand ils sont de bonne construction. Ils peuvent durer de dix à douze ans.

Les bacs en bois sont faits de planches de 5 centimètres d'épaisseur sur 10 centimètres de largeur ou de 5 centimètres d'épaisseur sur 15 centimètres de largeur, suivant les dimensions du bac; elles sont fixées sur un plan de planches bouvetées ayant une épaisseur de 2^m,25. Avant d'être cloués l'un sur l'autre, le plan des planches bouvetées et les autres planches sont badigeonnées à chaud avec de l'asphalte. Le cèdre, le cyprès, le pin jaune sont recommandés.

Avant d'être mis en service les bacs en ciment doivent être badigeonnés à l'intérieur avec de l'asphalte chaud.

13. Position du serpentín réfrigérant dans le bac à glace. — Agitation de la saumure. — Mouvement d'avancement donné aux séries de mouleaux. —

Le liquide incongelable est refroidi par le serpentín du réfrigérant de la machine frigorifique.

Ce réfrigérant est placé soit au fond de la cuve, soit dans un compartiment voisin, soit entre les mouleaux.

Quand le réfrigérant est au fond, les couches inférieures du bain sont beaucoup plus froides que les autres, et les couches supérieures qui sont en contact avec les mouleaux sont les moins froides. Pour remédier à cet inconvénient, on place une petite turbine ou une petite hélice à l'une des extrémités du bac (fig. 315). D'après *John Levey (Refrigeration Memoranda, p. 30)* pour les bacs dont la production journalière est inférieure à 10 tonnes de glace, il convient d'employer des hélices de 300 millimètres de diamètre faisant 225 tours par minute; pour les bacs dont la production journalière est comprise entre 10 et 25 tonnes, il faut se servir d'hélices de 450 millimètres de diamètre faisant 200 tours par minute.

Ce dispositif présente l'inconvénient que les mouleaux les plus éloignés de la turbine, baignés par l'eau salée déjà fortement réchauffée, ne gèlent que très lentement. On corrige ce défaut de la manière suivante. Les mouleaux prêts à être sortis du bac (pour enlever la glace formée) sont les plus rapprochés de la turbine, tandis que les mouleaux fraîchement remplis d'eau sont mis dans le bain à l'extrémité opposée. Chaque fois que l'on retire la première série de mouleaux pour les vider, on fait avancer tous les autres d'un rang au moyen d'une crémaillère. Les mouleaux parcourent ainsi peu à peu toute la longueur du bac.

Actuellement, dans quelques grandes installations, notamment pour les bacs dont la production journalière est supérieure à 25 tonnes, le réfrigérant est placé dans un compartiment voisin du bac à glace, et une pompe fait circuler la saumure du bac dans ce compartiment et *vice versa*.

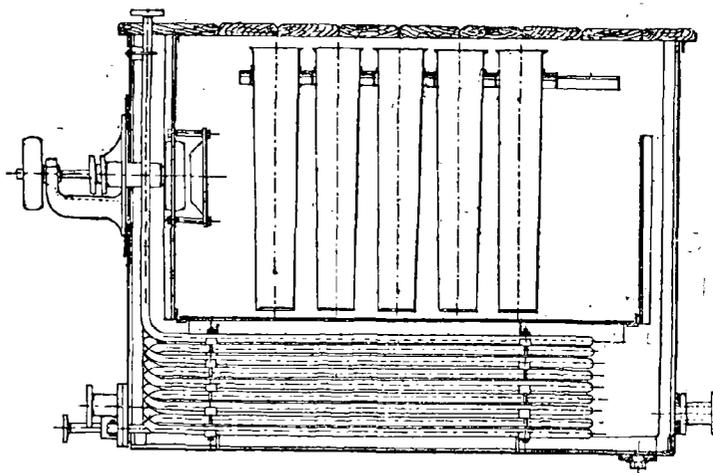


FIG. 315.

Bac à glace avec tuyauterie de réfrigération placée au fond du bac.

TABLEAU XXXIX
DIMENSIONS DE BACS A GLACE POUR PRODUCTION DE LA GLACE EN BLOCS (MOULEAUX) (TEMPÉRATURE DE RÉFRIGÉRATION : — 10° C.)
(D'après Siebel, *Compend of mechanical Refrigeration*, p. 145)
(Les serpents du réfrigérant sont placés entre les mouleaux)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
PRODUCTION de glace en 24 heures (short ton)	NOMBRE DE BACS	LONGUEUR DU BAC	LARGEUR DU BAC	PROFONDEUR DU BAC	NOMBRE DE SERPENTINS du réfrigérant	DIAMÈTRE D'UN TUYAU DE SERPENTIN	NOMBRE DES CIRCONVOLUTIONS des tuyaux de chaque serpent en hauteur	LONGUEUR DE CHAQUE CIRCONVOLUTION des tuyaux d'un serpent	LONGUEUR TOTALE DES TUYAUX DES SERPENTINS contenus dans le bac (Produit des chiffres des colonnes 8, 9)	LONGUEUR TOTALE DES TUYAUX DES SERPENTINS par petite tonne (907 kilogr.) en 24 heures	NOMBRE DE MOULEAUX DANS LE BAC	DIMENSIONS des MOULEAUX	POIDS RÉEL DE GLACE PRODUITE par mouleau	NOMBRE DE MOULEAUX PAR PETITE TONNE de glace (907 kilogr.)	NOMBRE D'HEURES NÉCESSAIRES à la congélation	REMARQUES
mètres	mètres	mètres	millim.	centim.	mètres	mètres	mètres	mètres	mètres	centimètres	kilog.					
2 »	1	5,18	1,88	900	7	2,5	6	4,63	196,5	98,25	60	20 » × 37,5 × 82,5	45	30 »	36	Les parois en acier du bac ont une épaisseur de 0 ^m ,5.
3 »	1	5,18	2,75	900	10	2,5	6	4,57	274,2	91,4	90	20 » × 37,5 × 82,5	45	30 »	36	
5 »	1	5,18	4,50	900	16	2,5	6	4,57	438,7	87,74	150	20 » × 37,5 × 82,5	45	30 »	36	
10 »	1	8,85	5,80	900	25	2,5	8	5,18	1036 »	103,6	192	27,5 × 55 » × 82,5	90	21,6	48	Les parois en acier de tous les autres bacs ont une épaisseur de 3/4 cent.
12,5 »	1	11,45	5,80	900	33	2,5	8	5,18	1367,5	109,4	256	27,5 × 55 » × 82,5	90	23 »	52	
15 »	1	13,12	5,80	900	37	2,5	8	5,18	1533,3	102,2	36	27,5 × 27,5 × 82,5	45	21,6	48	
20 »	2	8,85	5,80	900	25	2,5	8	5,18	1036 »	103,6	192	27,5 × 55 » × 82,5	90	21,6	48	Le bac de 20 tonnes est divisé en 2 bacs de 10 tonnes.
30 »	2	13,12	5,80	900	37	2,5	8	5,18	1533,3	102,2	36	27,5 × 27,5 × 82,5	45	21,6	48	Le bac de 30 tonnes est divisé en 2 bacs de 15 tonnes.
30 »	1	13,12	9,45	1.200	35	3,12	8	8,55	2394 »	79,8	480	27,55 × 55 » × 112,5	135	16 »	58	
60 »	2	17,40	6,40	1.200	49	3,12	10	5,50	2695 »	89,8	432	27,55 × 55 » × 112,5	135	14,4	52	
60 »	2	13,12	9,45	1.200	35	3,12	8	8,55	2394 »	79,8	480	27,55 × 55 » × 112,5	135	16 »	58	Le bac de 60 tonnes est divisé en 2 bacs de 30 tonnes.

Nota. — Longueur moyenne par petite tonne (907 kilogr.) du tuyau du serpent de 2^m,5 = 99^m,75. — Longueur moyenne par petite tonne (907 kilogr.) du serpent de 3^m,12 = 82^m,95.

TABLEAU XL

NOMBRE ET DIMENSIONS DES MOULEAUX QU'IL CONVIENT DE PLACER DANS UN BAC A GLACE
POUR PRODUIRE 907 KILOGR. DE GLACE (SHORT TON) PAR 24 HEURES

(Température de congélation : — 3° C. — D'après John Levey, *Refrigeration Memoranda*, p. 29)

NOMBRE DE MOULEAUX PAR PETITE TONNE DE GLACE (907 kilogrammes) produite en 24 heures	DIMENSIONS des MOULEAUX	POIDS DE GLACE produite par mouleau	DURÉE de la CONGÉLATION
26.....	10 × 40 × 80	22,5	12
34.....	15 × 30 × 80	22,5	20
33.....	20 × 40 × 90	45	40
40.....	25 × 25 × 90	45	48
33.....	20 × 45 × 80	45	40
24.....	25 × 50 × 90	90	54
25.....	27,50 × 55 × 90	90	58
30.....	35 × 35 × 90	90	70
16,5.....	27,50 × 55 × 110	135	60
12,5.....	27,50 × 55 × 142,50	180	60

TABLEAU XLI

NOMBRE ET DIMENSIONS DES MOULEAUX QU'IL CONVIENT DE PLACER DANS UN BAC A GLACE
POUR PRODUIRE 907 KILOGR. DE GLACE (SHORT TON) PAR 24 HEURES

(Température de congélation : — 13°,5 C.) (D'après John Levey, *Refrigeration Memoranda*, p. 30)

NOMBRE DE MOULEAUX PAR PETITE TONNE DE GLACE (907 kilogrammes) produite en 24 heures	DIMENSIONS des MOULEAUX	POIDS DE GLACE produite par mouleau	DURÉE de la CONGÉLATION
22.....	10 × 40 × 80	22,5	10
31.....	15 × 30 × 80	22,5	16
30.....	20 × 40 × 90	45	36
32.....	25 × 25 × 90	45	40
30.....	20 × 45 × 80	45	36
20.....	25 × 50 × 90	90	48
21.....	27,50 × 55 × 90	90	50
25.....	35 × 35 × 90	90	60
14.....	27,50 × 55 × 110	135	50
10,5.....	27,50 × 55 × 142,50	180	50

NOTA. — M. John Levey admet qu'il faut en moyenne, pour produire une petite tonne (907 kilogr.) de glace en 24 heures, des longueurs de serpentins égales à :

120 mètres avec des tuyaux de 2 ^{cm} ,50 de diamètre intérieur			
97 —	—	3 ,12	—
82 —	—	3 ,70	—
64 —	—	5 ,00	—

En Amérique, on place souvent les serpentins du réfrigérant entre les mouleaux, de préférence sur leur grand côté. Par cette disposition, on régularise la température de la masse liquide et on évite les déperditions de frigories par le fond du bac ; mais, d'un autre côté, on est obligé d'espacer les mouleaux pour loger les éléments réfrigérants, ce qui augmente un peu la longueur du bac. On laisse généralement un espace vide de 5 centimètres

entre les mouleaux quand le serpentin est disposé comme l'indique la figure 315; mais on porte cet espace à 7^{cm},5 quand les serpentins sont disposés entre les mouleaux. Pour placer l'agitateur on laisse une longueur de bac de 90 centimètres entre la dernière rangée de mouleaux et la paroi du bac. D'ailleurs, les dimensions du bac à saumure dépendent de celles des mouleaux.

Les tableaux XXXIX, XL et XLI donnent les conditions d'établissement de quelques types de bacs à glace.

Voici quelques autres indications.

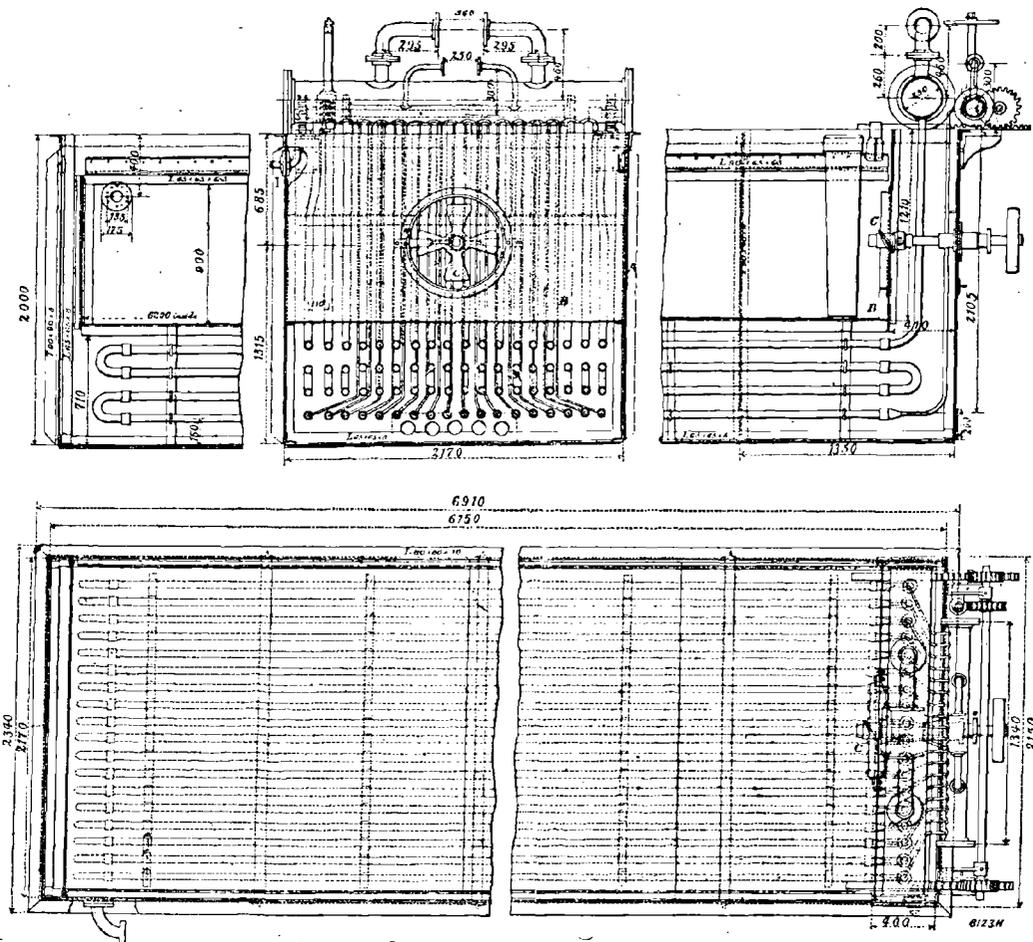


FIG. 316. — Bac à glace de 10 tonnes de l'abattoir de Berlin
(Les cotes sont indiquées en millimètres).

A l'usine à glace de Vérone (Italie), les bacs à glace sont de grandes cuves en tôle de fer de 10 millimètres d'épaisseur. Leurs dimensions sont :

Longueur : 17^m,90, — largeur : 4^m,40, — hauteur : 2^m,20, — hauteur du double fond contenant le réfrigérant : 0^m,90.

Ils renferment 1.100 mouleaux en tôle d'acier galvanisée de 2 millimètres d'épaisseur répartis sur 55 châssis en fer; la contenance d'un mouleau est de 40 litres donnant un bloc de glace de 35 kilogrammes.

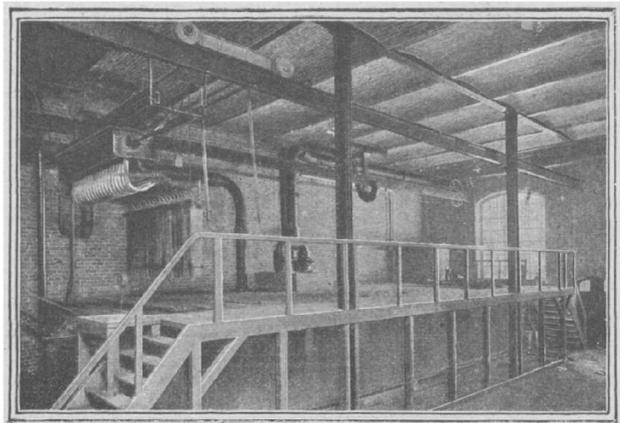
A l'abattoir de Berlin, le bac à glace est rectangulaire; ses dimensions sont 6^m,55 de

longueur, 2^m,17 de largeur et 2 mètres de profondeur (*fig.* 316). Il comprend quatre rangées de serpentins en cuivre [le fluide frigorifique est SO²] qui occupent le fond du bac et laissent une profondeur de 900 millimètres pour les mouleaux. Le bac est pourvu d'un agitateur-turbine en bronze; il peut produire par jour 10.000 kilogrammes de glace en blocs de 13 kilogrammes.

14. Glace translucide. — Production par agitation mécanique de l'eau à congeler. — Agitation de l'eau des mouleaux par le procédé des bouteilles de la Société Dyle et Bacalan. — Pour obtenir de la glace translucide ou demi-transparente, on munit souvent chacun des moules d'un agitateur.

Le plus simple et le plus pratique de ces agitateurs est celui de *Linde*. Il se compose de baguettes verticales, dont chacune plonge dans un mouleau et qui sont suspendues à un cadre, animé au moyen d'une manivelle d'un mouvement de va-et-vient. Comme l'extrémité du cadre opposée à celle où s'applique la manivelle est fixée sur des pivots verticaux, l'amplitude d'oscillation des baguettes diminue à mesure qu'on s'approche de cette extrémité. Si les différentes séries de mouleaux avancent vers cette extrémité, avec la congélation croissante des mouleaux, l'amplitude d'oscillation des baguettes diminuera en même temps que le volume du noyau liquide. Lorsque ce dernier n'est plus que les 10 à 12 0/0 du volume du mouleau, on retire les baguettes et on laisse congeler.

La Société *Dyle et Bacalan* agite l'eau des mouleaux par un procédé qui consiste à aspirer à l'aide d'une pompe à air une partie de l'eau contenue dans chaque mouleau et à la laisser revenir brusquement en arrière. L'aspiration se produit dans chaque mouleau à l'intérieur d'une sorte de *bouteille* ou plutôt de *pipette en verre*. Le piston de la pompe à air est relevé par une canne dans la période d'aspiration; après la demi-course ascendante, la canne abandonne le piston qui retombe par son propre poids et chasse l'eau aspirée dans les pipettes. En marche normale, les pipettes ne doivent se remplir qu'à moitié. Lorsqu'il ne reste plus qu'une petite quantité d'eau à congeler dans chaque mouleau, on enlève les pipettes avant qu'elles ne soient emprisonnées dans les pains de glace. Comme dans la méthode précédente, le cœur du pain de glace n'est pas transparent.



Cliché Borsig.

FIG. 317. — Bac à glace de la brasserie Gabriel et Richter à Neu-Weissensee près de Berlin.
(Construction A. Borsig de Berlin-Tegel.)

15. Sortie des mouleaux du bac à glace. — Transport au bac de démoulage. — Enregistreur automatique des démoulages. — Lorsque la glace est formée dans une série de mouleaux disposés sur un même châssis en fer, un treuil ou châssis roulant vient saisir au moyen de chaînes verticales les crochets du châssis porte-mouleaux (*fig.* 317). Les mouvements de déplacement horizontal et d'élévation du châssis sont souvent réalisés par une transmission funiculaire qui actionne les arbres portant les engrenages coniques dont l'embrayage et le débrayage produisent les mouvements désirés.

Le châssis portant les mouleaux que l'on veut démouler est amené par le treuil roulant

au-dessus du *bac de démoulage* et plongé dans l'eau chaude de ce bac. Quand les blocs de glace surnagent sur l'eau de fusion contenue dans le mouleau (au bout de trois ou quatre minutes), le treuil relève le châssis, l'amène sur la bascule où il est abandonné en donnant du mou aux chaînes. Sous l'influence du poids la bascule s'incline, les blocs de glace s'échappent des mouleaux et glissent sur la table de démoulage d'où on les dirige sur la glacière de service ou sur une des glacières de réserve (*fig. 318*). Les mouleaux vides sont soigneusement lavés par un fort jet d'eau froide ou par un jet de vapeur, si l'ouvrier

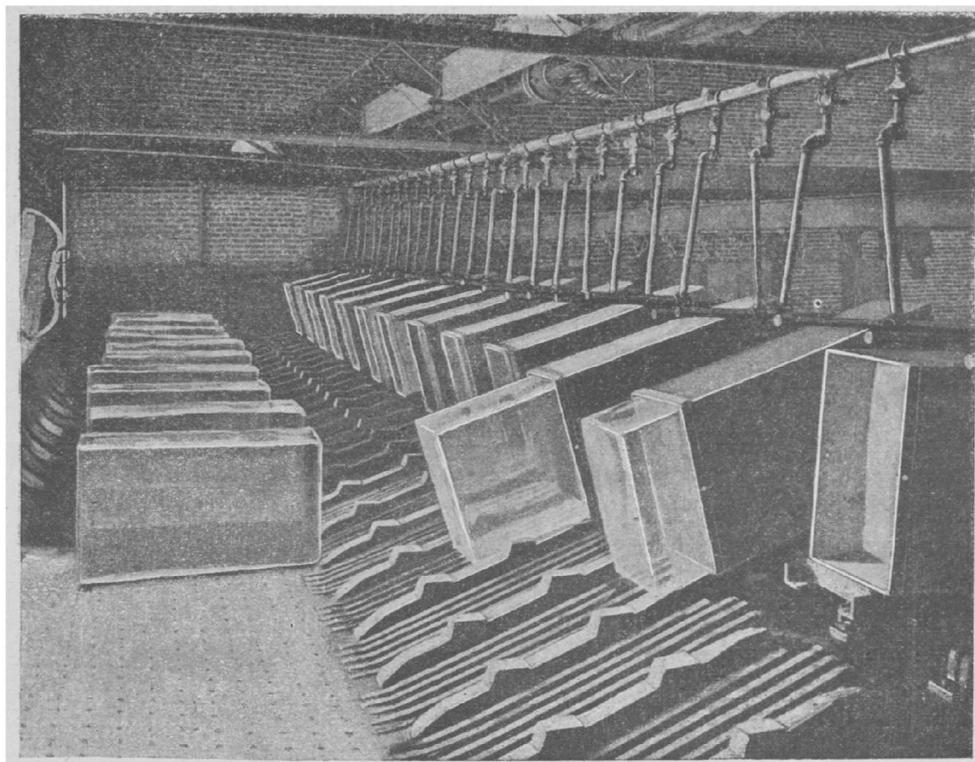


FIG. 318. — Sortie des blocs de glace des mouleaux.

préposé au démoulage a été obligé d'y toucher pour extraire la glace. Ils sont ensuite remplis d'eau tous à la fois au moyen d'appareils automatiques¹ (*fig. 317*).

Il est important, pour la bonne marche de l'usine, que le travail moteur soit constant ou ne subisse que de faibles variations; d'autre part, il est nécessaire, pour la bonne renommée du produit, que la glace soit toujours homogène, compacte et bien transparente. Ces deux conditions sont réalisées par une extraction très régulière; les châssis de mouleaux doivent être démoulés à intervalles égaux, scrupuleusement observés. Si l'on veut obtenir 1.000 kilogrammes de glace à l'heure avec un châssis portant 20 mouleaux contenant chacun 35 kilogrammes de glace, ce qui fait $20 \times 35 = 700$ kilogrammes par châssis, il faudra démouler un châssis toutes les quarante-deux minutes.

Cette régularité indispensable peut être facilement atteinte le jour, mais il n'en est pas de même la nuit où les hommes ont tendance à démouler successivement plusieurs châssis pour pouvoir se reposer ensuite deux ou trois heures consécutives. On remédie à cet incon-

1. Voir la description de ces appareils dans DE LOVERDO, *le Froid artificiel*, p. 229.

vénient en disposant un *enregistreur automatique* des démoulages mis en action à chaque passage du treuil mobile à hauteur de la bascule de renversement des mouleaux.

16. Fabrication de la glace en plaques (en anglais : *The Plate System*). — **Le mode de fabrication dit à cellules** (en anglais : *The Cell System*). — En Angleterre et surtout en Amérique, on produit la glace en grandes plaques par la méthode suivante.

Le bac en tôle, au lieu de contenir la saumure glacée, est, au contraire, rempli de l'eau à congeler. On cloisonne ce bac par des éléments de réfrigérants formés de caissons plats en tôle galvanisée H à l'intérieur desquels on fait circuler soit de la saumure froide, soit du liquide frigorigène (AzH_3 , SO_2 , CO_2 , ...) contenu dans le serpentin réfrigérant (fig. 319). Les cloisons ont de 2^m,45 à 3^m,65 de longueur et 1^m,80 de profondeur; deux cloisons consécutives sont séparées par une distance de 0^m,50 à 0^m,675¹. Des agitateurs plats C remuent doucement l'eau pendant la congélation.

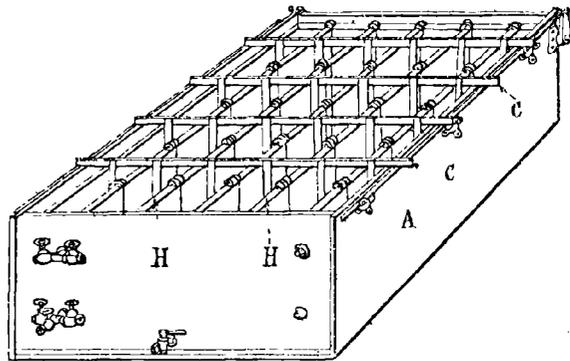


FIG. 319. — Fabrication de la glace en plaques.

Les cloisons creuses sont disposées de manière à ne pas s'étendre jusqu'au fond du bac de telle façon que les impuretés s'amassent dans cette partie inférieure.

On produit la congélation qui commence au contact des cloisons. Lorsque la glace formée a une épaisseur de 15 à 25 centimètres suivant la distance de deux cloisons consécutives, on fait en sorte de détacher les plaques de glace des cloisons réfrigérantes. Pour cela, si le refroidissement est fait par circulation de saumure, on interrompt la circulation de la saumure froide et, au moyen d'une petite pompe, on fait passer de la saumure chaude dans les caissons H. Si le refroidissement des caissons H se fait par détente directe, on ouvre un robinet qui met en communication ces caissons avec le condenseur après avoir interrompu leur communication avec le réfrigérant. On enlève alors la plaque formée au moyen de chaînes ou de crochets spéciaux préalablement immergés dans la masse. La figure 320 représente le schéma d'une fabrique de glace en plaques.

La glace ainsi obtenue est *parfaitement transparente*. On produit des plaques de 7.110 kilogrammes (7 tonnes anglaises) ayant 3^m,65 sur 6^m,40 et 0^m,30 d'épaisseur. Les dimensions normales des plaques sont 2^m,45 sur 4^m,25 avec un poids de 5 tonnes environ.

Enfin un autre mode de production de la glace est appliqué dans le système dit à *cellules* (*The Cell system*). Là encore, le bac en tôle contient l'eau à congeler. Dans cette eau, on plonge un système de caissons creux représenté en IJ sur la figure 321, et disposé de manière à réaliser une série de cellules ou d'alvéoles. Au milieu du bac et aux extrémités

1. On trouve aussi très souvent des cloisons ayant 4^m,25 de longueur sur 2^m,45 de profondeur; elles sont distantes d'axe en axe d'environ 80 centimètres. Ces cloisons ou plaques sont disposées dans un bac distribué en compartiments; la distance des axes des plaques extrêmes aux parois d'un compartiment est de 42^m,5.

Un appareil formé de 9 de ces compartiments avec 2 plaques (des dimensions indiquées) par compartiment est capable de produire par jour 10 tonnes de glace.

Un appareil formé de 9 compartiments avec 3 plaques par compartiment produit 13 tonnes de glace par jour; de 9 compartiments avec 4 plaques, 20 tonnes; de 18 compartiments avec 3 plaques, 30 tonnes; de 18 compartiments avec 4 plaques, 40 tonnes.

On suppose la température du réfrigérant égale de -8° à -10° C.

Ces indications sont empruntées à l'ouvrage suivant :

John LEVEY, *Refrigeration Memoranda*. Chicago, Nickerson and Collins C^e, 1904; Chicago, H. S. Rich and C^e.

se trouvent des agitateurs C. Ce système diffère du précédent en ce que la masse totale de l'eau contenue dans le bac A est solidifiée *en un seul bloc*; ce mode de production est donc

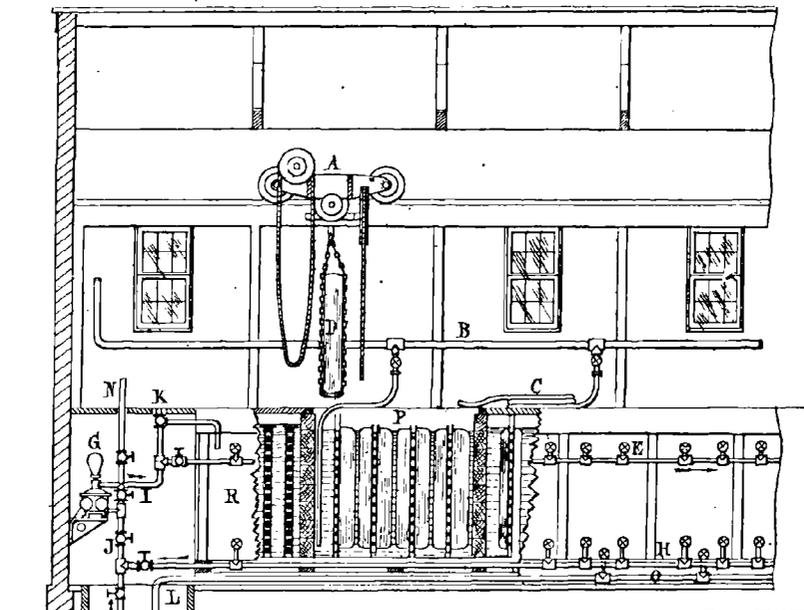


FIG. 320. — Fabrique de glace en plaques (Type Eclipse. Frick Company).

A, Pont roulant; — B, Approvisionnement d'eau froide; — C, Tuyau; — D, Glace en plaque; — E, Tuyau de circulation de la saumure — G, Pompe de circulation; — H, Canal d'écoulement de la saumure; — I, Refoulement de la saumure; — J, Aspiration de la saumure; — K, Soupape de sûreté; — L, Citerne pour les eaux résiduelles; — N, Eau de rebut venant du condenseur; — O, Canal d'écoulement de l'eau résiduelle; — P, Compartiments où la glace se congèle; — R, Réservoir à saumure.

intermédiaire entre le système des mouleaux et celui des plaques. On détache le bloc de glace par des manipulations identiques à celles que nous avons indiquées plus haut¹.

Enfin les plaques ou les blocs de glace ainsi produits sont sciés au moyen de machines spéciales.

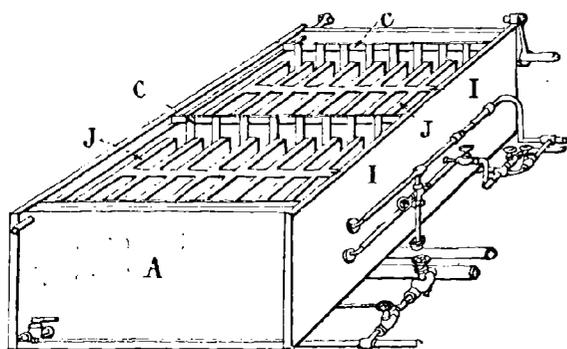


FIG. 321. — Solidification d'une masse d'eau en un seul bloc (The Cell System).

magasiner la glace pendant l'hiver pour la vendre au moment de la demande en été.

Les partisans de la première manière d'opérer prétendent que la glace fond et se détériore dans l'entrepôt, que le coût de l'emmagasinage de la glace est aussi grand, sinon plus grand

17. Emmagasiner et vente de la glace. — La fabrication de la glace est un travail qui ne dure qu'une saison. Aussi discute-t-on souvent pour savoir s'il est plus économique d'avoir un outillage suffisamment puissant pour satisfaire aux demandes de glace pendant toute la saison, ou bien s'il est préférable d'avoir un petit outillage marchant toute l'année et permettant d'em-

1. On trouvera des détails sur ce mode de fabrication de la glace en grandes plaques dans les ouvrages de Hall WILLIAMS et de WALLIS-TAYLER.

Donnons quelques renseignements sur ce que coûte en moyenne, aux États-Unis, une *fabrique de glace en plaques*. Le prix d'une installation pour une production journalière de 40 tonnes de glace en plaques est à peu près de

que l'intérêt du capital d'un grand outillage. La possibilité de pouvoir renvoyer des ouvriers pendant le chômage et de ne pas brûler de charbon compense le prix plus considérable de l'installation.

Les partisans de la seconde manière d'opérer pensent qu'il n'est pas bon de renvoyer les ouvriers qui connaissent le maniement de l'outillage pour les remplacer par des hommes nouveaux dont il faut faire l'apprentissage au moment où la commande exige qu'il n'y ait pas de perte de temps dans la fabrication. De plus, les machines peuvent se détériorer si elles restent longtemps inactives. Les frais que représente une fabrication continue de la glace et un emmagasinage dans des glaciers convenablement disposés ne sont pas aussi grands que l'intérêt du capital placé dans un outillage développé.

D'un autre côté, il est avantageux d'avoir une réserve de glace au moment où la demande est considérable et où les prix sont élevés. Enfin, on fait de la glace à meilleur compte dans l'hiver lorsque sont réunies toutes les circonstances naturelles favorables à la fabrication.

S'il s'agit de faire de la glace opaque pour des besoins industriels, par exemple pour fournir les bateaux de pêche, le premier système est préférable parce que la glace opaque fond plus facilement et est d'un prix moins élevé. Mais, dans la majorité des cas, le second système est préférable. Il est très supérieur à l'autre lorsque la fabrique de glace fait partie d'un entrepôt frigorifique et que les machines (ce qui arrive le plus souvent) sont employées à la fois pour faire de la glace et refroidir l'entrepôt.

Si l'entrepôt frigorifique sert à la conservation de produits envoyés par des marchands, ses chambres sont rarement pleines pendant l'hiver; si les planchers sont alors convenablement construits, il est possible d'y emmagasiner de la glace. Au printemps, la demande de glace commence en même temps que les produits destinés à la conservation arrivent à l'entrepôt.

18. Emplacement et disposition des glaciers. — Leur refroidissement. — Les glaciers doivent, autant que possible, être placés sous terre dans des caves spéciale-

175.000 francs; le prix d'une installation pour une production journalière de 50 tonnes est 220.000 francs, en comptant 10.000 francs pour les bâtiments et 15.000 francs pour le terrain.

Les dépenses d'exploitation pour un fonctionnement de 250 jours par an (production de 12.500 tonnes de glace) sont :

	francs
1.250 tonnes de houille à 10 francs.....	12.500
Personnel (ingénieur, mécaniciens, ouvriers pour la manutention du bac à glace).....	17.250
Huile.....	625
Eclairage.....	925
Ammoniaque.....	5.250
Usure et réparations (10 0/0 du prix des machines).....	19.500
Amortissement (5 0/0).....	11.000
Assurance et impôts.....	3.400
TOTAL.....	70.450

Si on ajoute à cela 7.500 francs pour les commis et les comptables, cela fait 6 fr. 25 par tonne de glace produite.

Pour un fonctionnement de toute l'année (340 jours, en comptant 3 semaines pour les réparations) les dépenses d'exploitation pour une production de 17.000 tonnes de glace sont :

	francs
1.700 tonnes de charbon à 10 francs.....	17.000
Personnel.....	21.000
Huile.....	850
Eclairage.....	1.275
Ammoniaque.....	6.800
Usure et réparations.....	19.500
Amortissement.....	11.000
Assurance et impôts.....	3.400
TOTAL.....	80.825

Si on compte 90.000 francs avec le personnel des employés, cela fait environ 5 fr. 30 par tonne de glace produite.

ment construites à cet effet. Le bac à glace étant au rez-de-chaussée, la glace peut être descendue directement par des monte-charges¹.

Les glacières doivent être disposées pour être *ventilées*, afin d'empêcher les moisissures de se déposer sur la glace. Elles doivent être construites de manière à présenter une antichambre d'un volume assez grand pour contenir la production de deux ou trois jours. De cette manière, on évite d'ouvrir trop souvent l'entrepôt principal. Celui-ci, ainsi que l'antichambre, doivent être soigneusement isolés et refroidis par des tuyaux à saumure ou à expansion directe du fluide frigorifique. En Angleterre, on maintient la température des glacières à -5° C.; en Amérique, à -9° C. Si la glace artificielle est en effet conservée dans une glacière non refroidie, elle se *pique*, c'est-à-dire se couvre à la surface, d'une multitude de petits trous qui sont les orifices par lesquels se sont dégagées, en creusant un petit canal dans le bloc de glace, les bulles d'air emprisonnées pendant la congélation. Cette glace piquée est très poreuse et peut absorber plus facilement que la glace compacte les germes microbiens de l'atmosphère.

D'après Siebel², il faut, pour refroidir une glacière, fournir par vingt-quatre heures et par mètre cube de 90 à 140 frigories.

Si on emploie une machine à AzH³, il faut, par mètre cube du volume de la chambre intérieure d'une glacière, employer de 65 à 70 centimètres de tuyaux de 5 centimètres de diamètre intérieur (ou une longueur équivalente de tuyaux de diamètre intérieur différent), quand on fonctionne par *détente directe*. Avec le refroidissement *par circulation de saumure*, la longueur des tuyaux doit être plus grande de 1/2 à 1/3.

Enfin, on compte pour le volume intérieur des glacières de 1^m3,4 à 1^m3,5 par tonne de glace emmagasinée.

19. Construction du sol des glacières. — L'isolement des glacières se fait comme celui des entrepôts frigorifiques en ce qui concerne l'isolement des parois latérales et du plafond. Mais le plancher doit faire l'objet d'une construction particulière, afin que la chaleur du sol ne vienne pas rendre poreux les blocs de glace formant la partie inférieure. Les figures 322 et 323 représentent deux modes de construction de ces planchers.

I (*fig. 322, de a vers b*). — Le plancher est incliné vers une rigole centrale.

Il est sillonné en travers par des pièces de bois équarries posées sur un plancher de 3^{cm},10 d'épaisseur.

Au-dessous de ce plancher se trouve une couche de ciment de 5 centimètres; une couche d'asphalte de 2^{cm},5; une base de béton de 15 centimètres; une couche de cendres de 10 centimètres, et enfin le sol.

II (*fig. 323, de c vers d*). — Le plancher est incliné vers une rigole centrale.

Il est formé de deux épaisseurs (de 2^{cm},5 chacune) de planches bouvetées entre lesquelles se trouvent trois couches de papier isolant. Ce plancher est posé sur des solives entre lesquelles il y a un espace d'air.

1. Lorsque le sous-sol est aquifère et que l'on se trouve à proximité d'une nappe d'eau souterraine, on ne peut pas établir les glacières en déblais; c'est ce qui est arrivé à la fabrique de glace de Vérone (Italie). Dans ce cas, les glacières sont construites en élévation et sont alors soigneusement isolées. On peut, pour l'isolement des parois extérieures, employer avec succès les modes de construction que nous avons indiqués et, en particulier, le liège ou la tourbe de la fabrique bavaroise d'Haspelmoor. [Voir les détails d'isolement d'une glacière au moyen de cette tourbe dans l'article suivant: *Die Isoliermulle des Bayerischen Torfstreu und Mullewerks Haspelmoor (Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie*, 9^e année, fasc. 9, septembre 1904.)]

On trouvera également de nombreux schémas de glacières dans l'ouvrage d'Otto KASDORF: *Eis und Kälte im Molkereibetrieb*, p. 33 et suiv.; — MADISON COOPER, *Practical Cold Storage (Ice Houses)*, p. 489.

2. SIEBEL, *Compend of Mechanical Refrigeration*, p. 250 (*Refrigerating Ice Houses*),

Au-dessous : Plancher bouveté de 2^m,5. — Solives de 10 centimètres entre lesquelles l'espace est rempli de matière isolante. — Plancher de 2^m,5. — Solives de 5 centimètres sur 22^m,5; les espaces entre les solives sont remplis de 10 centimètres de matières isolantes.

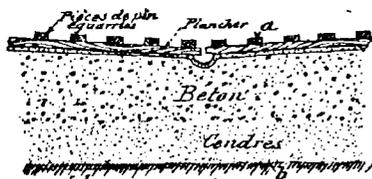


FIG. 322. — Mode de construction du sol d'une glacière.

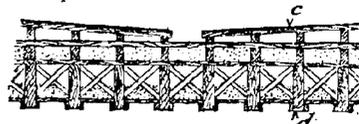


FIG. 323. — Mode de construction du sol d'une glacière.

Les solives sont maintenues par des planches de 2^m,5 assujetties aux solives par des taquets.

Les solives reposent généralement sur un sol en béton.

Enfin il est bon de *peindre en blanc les parois intérieures des glacières; la peinture à la chaux ou à la baryte convient bien.*

20. Transport de la glace. — Dans l'intérieur des villes la glace doit être transportée dans des voitures *fermées bien propres.*

Dans le transport par wagon il est bon d'avoir une voiture isolée.

La meilleure méthode pour expédier la glace par wagon ordinaire est la suivante.

Sur le plancher du wagon on étend une couche de paille bien propre; on place au-dessus des blocs de glace que l'on a soin de séparer les uns des autres par des lattes de bois. Il doit y avoir un espace de 15 à 30 centimètres entre les blocs et les parois ou le plafond du wagon: cet espace doit être rempli de copeaux de bois fins. Le dessus des blocs est recouvert de copeaux et d'une toile goudronnée.

En Amérique certaines fabriques emploient pour le transport de la glace un papier de paille spécial. Le papier est en rouleaux; lorsque la glace est arrimée dans le wagon, on couvre le dessus et les côtés avec ce papier. Cet emballage ne coûte que 1 fr. 80 par wagon.

21. Glace stérilisée. — Production d'eau distillée. — Pour obtenir de la glace stérilisée, il convient d'employer pour la congélation de l'eau distillée.

La préparation de cette eau distillée bien exempte d'air se fait dans l'industrie de la glace par deux méthodes :

1° *Méthode par distillation directe de l'eau;*

2° *Méthode par utilisation de la vapeur d'échappement de la machine à vapeur actionnant le compresseur de la machine frigorifique.*

22. Production d'eau distillée par distillation directe. — Le procédé par distillation nécessite les opérations suivantes ¹ :

1° Transformation de l'eau à congeler en vapeur ;

2° Condensation de cette vapeur ;

3° Épuration et écumage de la vapeur condensée ;

4° Ébullition de la vapeur condensée pour éliminer l'air en dissolution ;

5° Refroidissement de l'eau après son ébullition ;

1. A. MILLER, *Fabrication de la glace transparente* (*L'Industrie frigorifique*, 1^{re} année, n° 3, août 1903).

6° Filtration 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 de combustible nécessaire pour la vaporisation d'un litre d'eau est trop élevé pour qu'on puisse employer cette méthode de la vaporisation directe dans les fabriques de glace où le prix de revient de fabrication ne doit pas dépasser 7 à 8 francs par tonne de glace produite.

23. Appareil Montupet à distillation à triple effet : utilisation directe de la vapeur vive d'une chaudière. — Appareil utilisant indirectement la vapeur d'échappement d'une machine. —

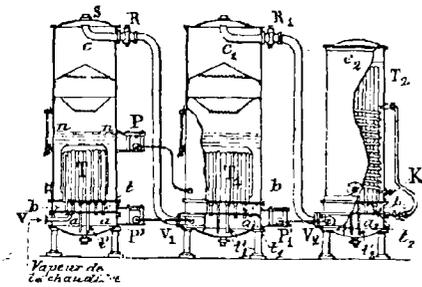


FIG. 324.

Appareil Montupet à double effet.

d'échappement d'une machine. — On a cherché à augmenter le rendement et à diminuer le prix de revient en employant 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.

La figure 324 représente un appareil fondé sur ce principe construit par M. Montupet.

C et C₁ sont deux bouilleurs ; C₂ est un condenseur. Chaque bouilleur est formé, ainsi que le condenseur, de deux caisses a et b, a₁ et b₁, a₂ et b₂, placées à la partie inférieure et surmontées de récipients C, C₁, C₂, recevant l'eau à évaporer ou l'eau de réfrigération. Les caisses b, b₁, b₂ portent les tubes fermés évaporateurs T, T₁ et les tubes de condensation T₂ ; les caisses a, a₁, a₂ portent de 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 d'une chaudière par la tubulure V dans la caisse a. Cette vapeur passe par les tubes t et T pour se rendre dans la caisse b ; en se condensant, elle chauffe et vaporise l'eau qui se trouve en C. La vapeur produite par cette eau se rend par le robinet R et le tuyau RV₁ dans la caisse a₁ du deuxième bouilleur.

Le bouilleur C est alimenté d'eau par une pompe ou un injecteur et, lorsque l'eau arrive au niveau *nn*, 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 en a₁ et qui passe par t₁ et T₁ pour venir en b₁. La vapeur produite dans C₁ se rend par le robinet R₁ et le tuyau R₁V₂ dans la caisse a₂ et les tuyaux t₂ et 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 ; elle se condense complètement dans les tubes T de telle sorte que les condensations se réunissent dans a et b.

On fait monter automatiquement dans la caisse b l'eau qui se trouve dans a au moyen de la différence de pression qui existe entre les deux caisses et des petits tubes t' prolongés jusqu'à une faible distance du fond de la caisse a. L'eau de condensation réunie en b passe au moyen du purgeur automatique P' dans la caisse a₁.

Les condensations réunies en a₁ sont élevées en b₁ par les tubes plongeurs t'₁. Celles qui sont réunies en b₁ sont 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 bouilleurs. 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 serpentin qui entoure les tubes T₂ de réfrigération.

Cet appareil s'installe à 3, 4 ou 5 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.

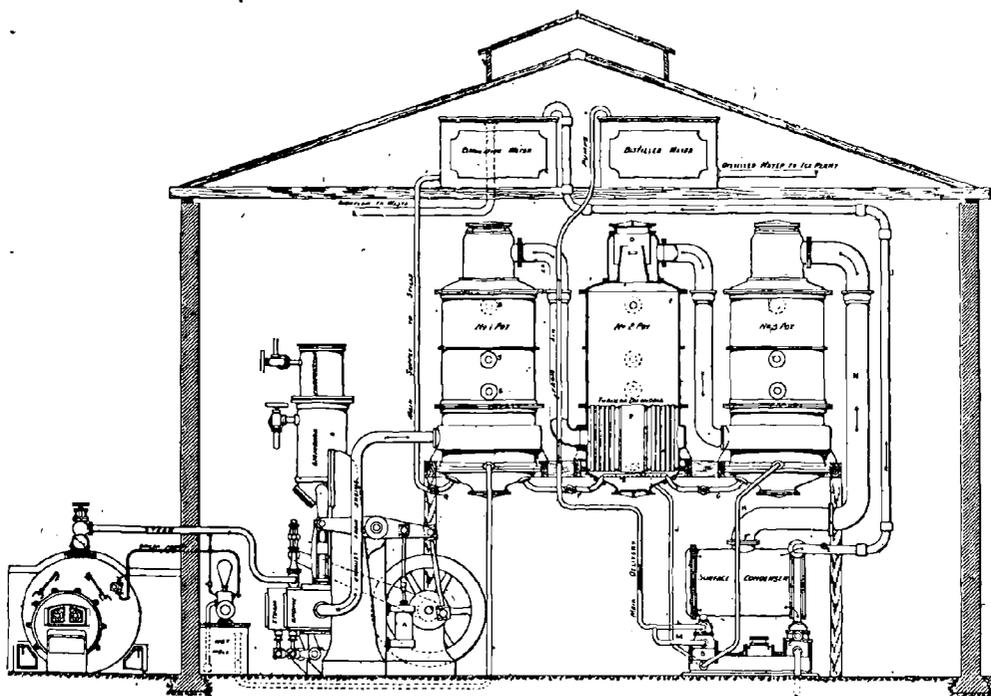


FIG. 325. — Appareil à production d'eau distillée utilisant indirectement la vapeur d'échappement d'une machine à vapeur (NORMAN SELFE, *Machinery for Refrigeration*, p. 252).

LÉGENDE

Steam, vapeur ; — Boiler feed, alimentation de la chaudière ; — Hot well, bache à eau chaude pour la pompe d'alimentation de la chaudière ; — Steam engine, machine à vapeur ; — Ammonia compressor, compresseur à AzH₃ ; — Exhaust from engine, échappement de la machine à vapeur ; — Main supply to stills, alimentation principale des appareils de distillation ; — Circulating water, eau de circulation ; — Overflow to waste, trop-plein pour l'eau destinée à produire la condensation ; — Tubular calandria, faisceau tubulaire ; — Surface condenser, condenseur à surface ; — Main delivery, tuyau de décharge principal ; — From air pumps, tuyau de conduite en relation avec les pompes à air ; — Distilled water, eau distillée ; — Distilled water to ice plant, eau distillée se rendant dans l'appareil à faire la glace.

N° 1 pot, N° 2 pot, N° 3 pot, chaudière n° 1, chaudière n° 2, chaudière n° 3 ; — Q, robinet de réglage pour l'alimentation des chaudières ; — F, tuyau de passage de l'eau d'alimentation passant de la chaudière n° 1 dans la chaudière n° 2 ; — R, tuyau percé de trous pour l'arrivée de l'eau d'alimentation dans la chaudière n° 3 ; — J, K, tuyaux d'écoulement de l'eau condensée [l'eau de condensation de la chaudière n° 1 se rend dans la bache de la pompe d'alimentation de la chaudière] ; — N, conduite de communication avec le condenseur à surface ; — O, entrée de l'eau de condensation ; elle circule d'abord autour du condenseur à surface, avant de se rendre dans le récipient supérieur.

Cet appareil donne environ 2^{kg},300 d'eau distillée par kilogramme de vapeur venant en V de la chaudière. Si on admet 7 kilogrammes de vapeur produits par 1 kilogramme de charbon, on voit que chaque kilogramme de charbon brûlé donne 16^{kg},100 d'eau distillée.

La figure 325 représente un appareil à trois bouilleurs fondé sur le même principe que le précédent ; toutefois, au lieu de recevoir la vapeur vive de la chaudière, le bouilleur n° 1 reçoit la vapeur d'échappement de la machine à vapeur. Celle-ci, en se condensant, chauffe l'eau contenue dans le bouilleur n° 1 ; la vapeur de cette eau se rend dans le bouilleur n° 2 ; et ainsi de suite. L'eau résultant de la condensation de la vapeur venant de la machine se rend du bouilleur n° 1 dans la bache de la pompe d'alimentation ; l'eau qui provient des condensations de la vapeur produite dans les bouilleurs n° 2 et n° 3 s'écoule par les

tuyaux J et K dans un récipient où se rassemble l'eau distillée; dans ce même récipient se rend l'eau provenant du condenseur à surface où se condense la vapeur produite par le bouilleur n° 3. Il convient de remarquer que, dans cet appareil, la vapeur d'échappement sert uniquement à vaporiser l'eau du bouilleur n° 1; l'eau qui résulte de sa condensation n'est pas utilisée pour la production de la glace.

24. Utilisation directe de la vapeur d'échappement. — Principe de l'installation. — Au contraire, dans la plupart des installations actuelles on emploie directement, pour produire la Glace-Cristal, l'eau distillée provenant de la condensation des vapeurs d'échappement de la machine qui commande le compresseur. Mais cette vapeur entraîne avec elle de l'huile de graissage qu'il est nécessaire d'éliminer de l'eau de condensation avant d'employer celle-ci à la production de la glace.

Au sortir du cylindre de la machine, la vapeur traverse un séparateur d'huile; puis elle se rend dans un condenseur à surface.

L'huile de graissage n'a pas été en général complètement éliminée par le premier séparateur d'huile; de plus, pendant la condensation de la vapeur, l'eau qui en provient absorbe de l'air et des gaz. Elle produirait de la glace laiteuse, si on s'en servait sans éliminer les gaz ainsi dissous par une nouvelle ébullition qui se produit dans un appareil appelé *Rebouilleur* (en anglais, *The Reboiler*). D'ailleurs, avant de porter à nouveau à l'ébullition l'eau de condensation de la vapeur, il convient de la débarrasser plus complètement de l'huile de graissage et des impuretés légères qui flottent à la surface en la faisant passer dans l'*écumeur* (en anglais, *the Skimmer*), qui n'est autre qu'un vase portant un trop-plein à sa partie supérieure; le courant d'eau est réglé de telle façon qu'une petite quantité d'eau coule toujours par le trop-plein hors de l'écumeur, entraînant avec elle les impuretés.

L'eau bouillie sortant du rebouilleur est refroidie, puis elle passe dans des filtres où elle abandonne toutes ses impuretés (matières solides en suspension, huile de graissage, etc.) pour arriver dans le bac de conservation où elle est maintenue à basse température. C'est cette eau que l'on introduit dans les mouleaux.

On a ainsi réalisé la série des opérations que nous avons indiquée plus haut (§ 22).

La figure 326 représente le schéma d'une telle installation. La vapeur d'échappement traverse d'abord un séparateur d'huile (*grease separator*); une conduite peut l'amener directement dans un condenseur à ruissellement ou lui faire traverser auparavant des appareils de purification (*steam purifier*). L'eau distillée provenant de la condensation de la vapeur se rend dans l'écumeur (*skimmer*) contenant à sa partie inférieure un serpentín traversé par de la vapeur dérivée directement de la conduite principale (*main steam pipe*) de la vapeur avant son arrivée à la machine à vapeur. L'eau commence donc à se réchauffer dans l'écumeur. De cet appareil elle passe dans le rebouilleur, où elle est portée à l'ébullition par le passage de la vapeur vive venant de la chaudière au travers d'un serpentín. Du rebouilleur, l'eau, débarrassée des gaz dissous passe dans un premier filtre (*hot filter*), dans le refroidisseur (*cooler*), dans un second filtre (*cold filter*), enfin dans un premier réfrigérant (*fore cooler*) où sa température est abaissée par une circulation de fluide frigorifique venant de l'évaporateur. C'est dans ce premier réfrigérant que l'eau est puisée pour le remplissage des mouleaux; cette eau froide traverse d'ailleurs, avant d'arriver dans les mouleaux, deux filtres.

La figure 327 représente un autre schéma d'une installation de ce type faite par la firme *Triumph* de Cincinnati pour la préparation de l'eau distillée; l'écumeur et le rebouilleur constituent un seul et même appareil.

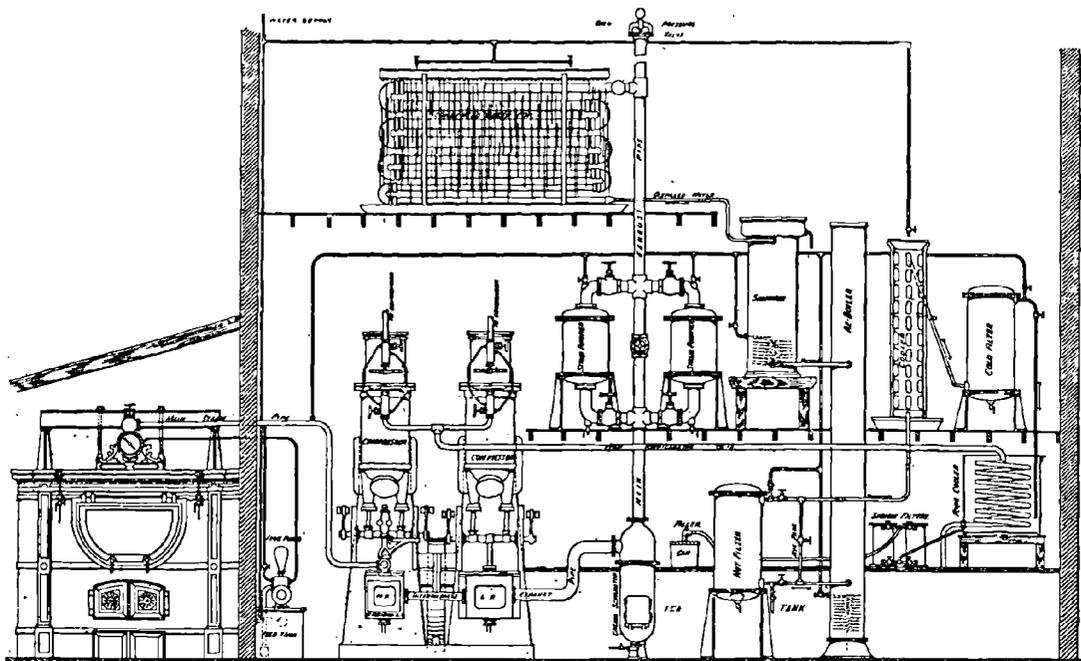


FIG. 326. — Production d'eau distillée pour la fabrication de la glace-cristal (Utilisation directe de la vapeur d'échappement) (NORMAN SELFE, *Machinery for Refrigeration*, p. 240).

LÉGENDE

Main steam pipe, conduite principale de vapeur; — *Feed pump*, pompe d'alimentation de la chaudière; — *Feed tank*, bache d'alimentation de la chaudière; — *H. P.*, cylindre à vapeur à haute pression; — *Intermediate*, réservoir intermédiaire de la machine à vapeur compound; — *L. P.*, cylindre à vapeur à basse pression; — *Compressor*, compresseur; — *To condenser*, conduite de communication avec le condenseur de la machine frigorifique; — *Exhaust pipe*, tuyau d'échappement de la vapeur; — *Grease separator*, séparateur des huiles et des graisses; — *Main exhaust pipe*, conduite principale de la vapeur d'échappement; — *Steam purifier*, appareil à purifier la vapeur; — *Condensed water coil*, serpentin pour la condensation de l'eau; — *Pressure valve*, soupape de sûreté; — *Distilled water*, eau distillée; — *Skimmer*, appareil pour l'écumage; — *Re-boiler*, rebouilleur; — *Hot filter*, filtre pour l'eau chaude; — *Cooler*, condenseur de vapeur et réfrigérant d'eau chaude; — *Cold filter*, filtre pour l'eau froide; — *Fore cooler*, premier réfrigérant; — *Sponge filters*, filtres à éponge; — *Filler*, appareil pour le remplissage des mouleaux; — *Can*, mouleau; — *Ice tank*, bac à glace; — *Water supply*, alimentation d'eau; — *From refrigerator coils*, tuyau venant de l'évaporateur.

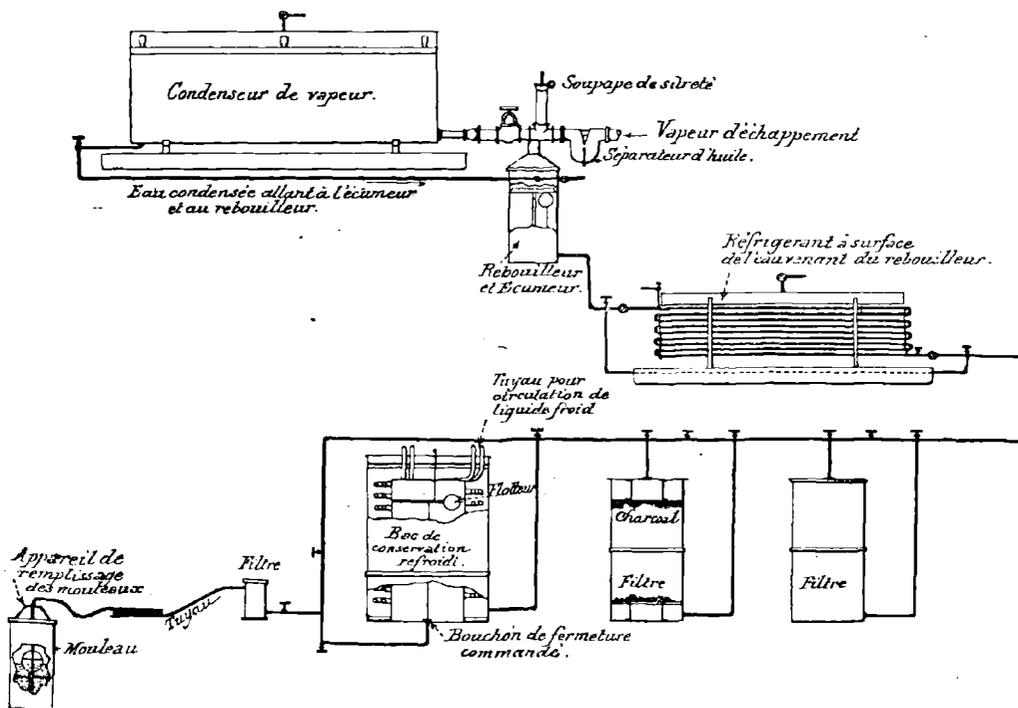


FIG. 327. — Production d'eau distillée pour la fabrication de la glace-cristal (Type de la firme Triumph, de Cincinnati).

25. Utilisation de la vapeur d'échappement. — Nécessité de produire dans certains cas de la vapeur additionnelle. — La quantité d'eau obtenue ainsi par la condensation des vapeurs d'échappement ne peut pas fournir une quantité de glace correspondant à la puissance de la machine. En effet, d'après Lorenz, la production de glace correspondant à un cheval-heure effectif, produit par la machine motrice, est de 15 à 20 kilogrammes, tandis que la consommation de vapeur correspondante n'est que de 9 kilogrammes pour les bonnes machines à un cylindre et de 7 kilogrammes pour les compound. Si, comme il arrive souvent, la fabrication de la glace ne constitue qu'une opération accessoire dans l'installation d'un entrepôt frigorifique, la vapeur d'échappement peut être amplement suffisante pour réaliser le but que l'on s'est proposé. Mais, quand il s'agit d'une fabrique de glace, il faut à la vapeur d'échappement ajouter de la vapeur additionnelle

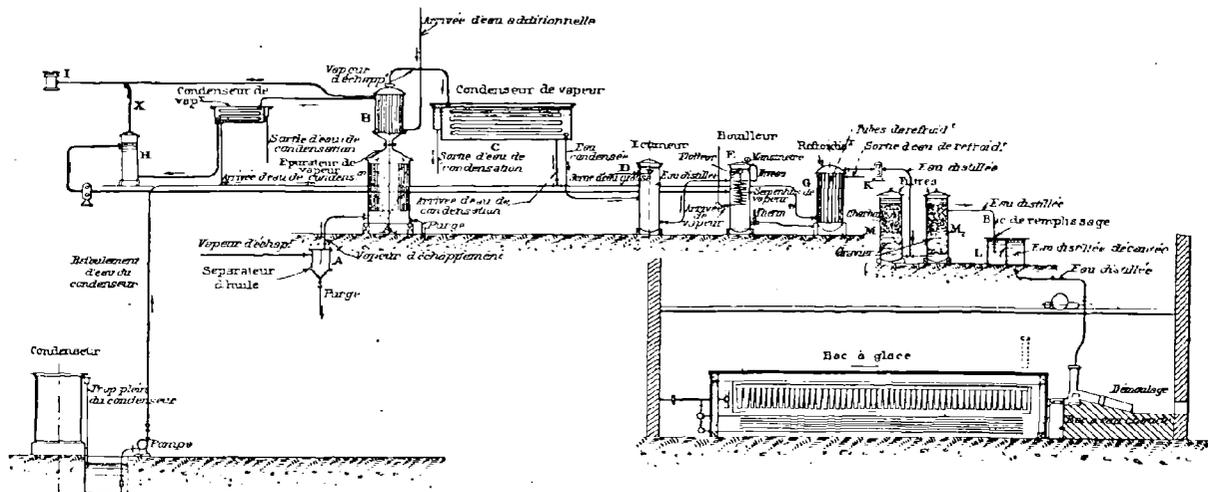


FIG. 328. — Ensemble schématique des appareils de distillation des vapeurs d'échappement (Système Fixary).

pour parfaire la quantité de glace correspondant à la puissance de production de la machine.

Dans certains cas on emprunte directement à la chaudière cette vapeur additionnelle. On peut alors, pour diminuer l'importance de cette consommation supplémentaire, se servir d'un bouilleur du type Montupet (fig. 324).

Mais on préfère souvent utiliser la vapeur qui sort de la chaudière pour produire à basse pression cette quantité de vapeur supplémentaire.

La figure 328 représente le schéma d'un appareil *Fixary* fondé sur ce principe. La vapeur d'échappement à sa sortie du moteur passe par un premier épurateur A, puis par un deuxième épurateur dégraisseur A₁ où elle est débarrassée de la majeure partie des corps gras provenant du graissage du moteur. De ces évaporateurs, la vapeur passe à travers l'évaporateur tubulaire B. C'est là qu'en se condensant partiellement cette vapeur produit l'évaporation de l'eau additionnelle destinée à être congelée. La vapeur d'échappement du moteur suit ensuite le cycle d'opérations que nous avons indiquées plus haut et qui sont nettement indiquées sur la figure 328. Quant à la vapeur additionnelle produite dans l'évaporateur, elle est condensée et recueillie dans un 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 d'y produire l'ébullition et la vaporisation de l'eau entre 55° et 60°. Du récipient H l'eau additionnelle est conduite au rebouilleur E où elle rencontre l'eau provenant de la condensation des vapeurs d'échappement.

26. Diverses formes adoptées pour l'écumeur et le rebouilleur. Conditions d'un bon fonctionnement de ces appareils. — Une des parties principales d'une telle installation pour la production d'eau distillée parfaitement pure est l'ensemble formé par l'écumeur et le rebouilleur. Il arrive souvent que les défauts de la glace tiennent à une mauvaise construction ou à une utilisation fautive de ces appareils. Aussi les constructeurs américains ont-ils porté toute leur attention sur cette partie de l'installation. Nous allons indiquer quelques-uns des types qu'ils ont proposés¹.

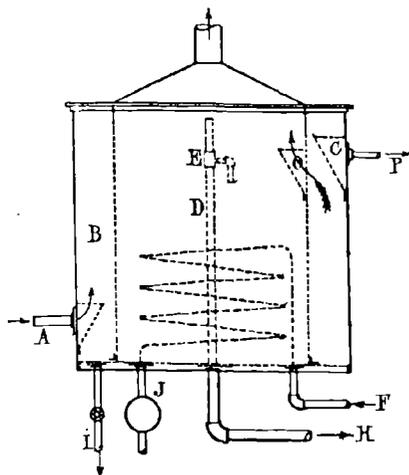


FIG. 329. — Rebouilleur et écumeur
De La Vergne.

A, entrée de l'eau de condensation de la vapeur d'échappement; — B, réservoir où se fait l'écumage; l'eau n'y est pas en ébullition; — C, écumeur; — D, bouilleur; — E, ouverture; — F, vapeur vive pour l'échauffement de l'eau; — H, vers le réservoir d'eau froide; — I, purgeur; J, conduite amenant au condenseur l'eau de condensation de la vapeur vive; — O, arrivée de l'eau après écumage; — P, sortie de l'eau grasse.

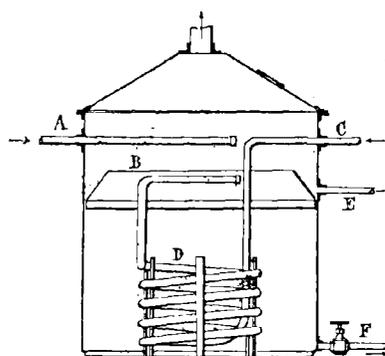


FIG. 330. — Ecumeur
et rebouilleur Triumph.

A, entrée de l'eau de condensation; — B, écumeur; — C, vapeur vive pour l'échauffement de l'eau; — D, serpentin d'amenée de la vapeur vive; serpentin ouvert; — E, sortie de l'eau grasse; — F, sortie de l'eau bouillie.

Il est important que, dans le rebouilleur, l'ébullition se fasse d'une manière bien constante et uniforme; il faut donc que *l'adduction et la sortie de l'eau se fassent d'une manière régulière et que cette eau arrive à une température constante aussi voisine que possible du point d'ébullition*. Si, en effet, l'arrivée de la vapeur destinée à échauffer le rebouilleur est réglée pour une petite circulation d'eau de condensation ou pour une telle eau portée à une température élevée, il y aura arrêt de l'ébullition dans le rebouilleur si la quantité d'eau de circulation augmente ou si elle est plus froide; inversement, si l'arrivée de la vapeur d'échauffement est réglée pour une grande circulation d'eau de condensation ou pour une telle eau portée à basse température, il y a gaspillage de cette vapeur si la quantité d'eau de circulation diminue ou si elle arrive à une température plus élevée. Toutefois, ces inconvénients ne sont véritablement marqués qu'avec les serpentins à vapeur ouverts, pour lesquels une régulation de la circulation de vapeur est nécessaire; ils n'existent pas avec les serpentins clos.

On peut, en effet, échauffer l'eau de condensation qui arrive dans le rebouilleur soit en faisant circuler de la vapeur dans un serpentin clos, soit en faisant arriver dans cette eau, par les trous de l'extrémité du serpentin, de la vapeur qui s'y condense complètement. Dans

1. BERTSCH, *The distilling Apparatus (Ice and Refrigeration, t. XXVIII, n° 3, mars 1905)*.

le premier cas la vapeur qui circule est à la pression de la chaudière, l'eau provenant de sa condensation est ramenée soit au fond du rebouilleur (fig. 335), soit au condenseur de la

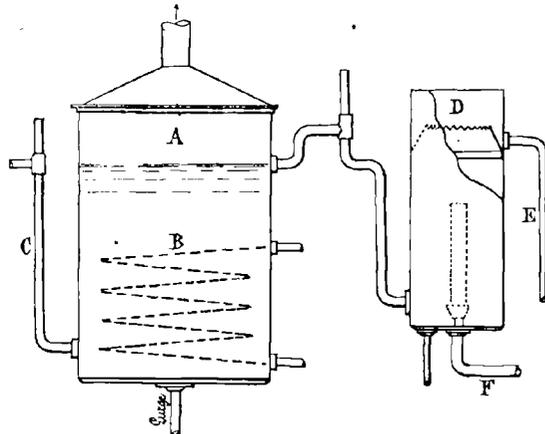


FIG. 331. — Rebouilleur *Fred. Wolf* avec écumeur indépendant.

A, bouilleur; — B, serpentín à vapeur ouvert; — C, vers le réfrigérant de l'eau bouillie; — D, écumeur; — E, sortie de l'eau grasse; — F, entrée de l'eau de condensation.

La forme cylindrique est d'une construction simple; elle contient une grande masse d'eau avec une base peu large; la forme rectangulaire présente l'avantage d'une surface large avec une faible profondeur de liquide, ce qui favorise le dégagement des gaz dissous.

Lorsque, c'est le cas le plus fréquent aux États-Unis, l'écumeur et le rebouilleur ne font qu'un seul et même appareil, l'écumeur doit être placé dans une partie où l'eau n'est pas en ébullition, afin qu'il n'y ait pas de trop grandes pertes de cette eau.

Les figures 329, 330 représentent les écumeurs-rebouilleurs cylindriques de *De La Vergne* et de *Triumph*; la sortie de l'eau est réglée par un régulateur automatique. Dans l'appareil *Fred. Wolf* (fig. 331), l'écumeur précède le rebouilleur comme dans l'appareil *Fixary* (fig. 328). Les écumeurs-rebouilleurs *York Manufacturing Co* (fig. 332), *Frick* (fig. 333), *Wingrove* (fig. 334) sont du type parallélépipédique; l'huile et les impuretés sont entraînés dans l'écumeur par le courant produit. L'appareil *Frick* est divisé en deux parties I et II parcourues en sens inverse par le courant de la vapeur d'échauffement: dans l'appareil *Wingrove* l'eau bouillie traverse un filtre avant de se rendre au réfrigérant.

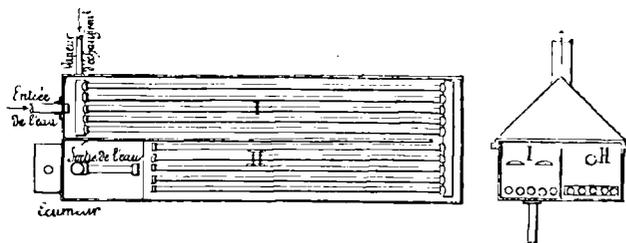


FIG. 333. — Écumeur et rebouilleur *Frick*.

Dans les bouilleurs précédents où l'eau entre en ébullition sous la pression atmosphérique, l'eau débarrassée des gaz dissous par l'ébullition sort du rebouilleur à la température

vapeur d'échappement; dans le second cas la vapeur n'arrive dans l'eau qu'avec une pression réduite. Le rebouilleur *De La Vergne* appartient au premier type à serpentín fermé; les rebouilleurs *Fred. Wolf*, *Triumph*, *York Manufacturing*, *Frick*, *Wingrove* appartiennent au second type à serpentín ouvert dans le bouilleur.

Afin que l'écumeur fonctionne dans de bonnes conditions il faut que le niveau de l'eau soit sensiblement constant à l'intérieur du rebouilleur. On obtient ce résultat en employant un régulateur automatique de la sortie de l'eau.

Le rebouilleur peut être cylindrique (*De La Vergne*, *Fred. Wolf*) ou affecter la forme d'une cuve à section rectangulaire (*York Manufacturing*, *Frick*, *Wingrove*).

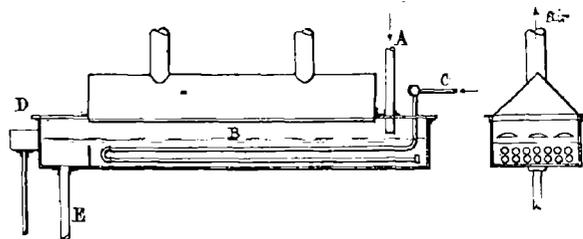


FIG. 332. — Écumeur et rebouilleur de la *York Manufacturing Co*.

A, entrée de l'eau de condensation; — B, bouilleur; — C, vapeur vive pour l'échauffement de l'eau; — D, écumeur; — E, au réfrigérant de l'eau froide.

de 100° C. et doit être refroidie avant d'arriver aux filtres. Pour diminuer la dépense de vapeur vive destinée à l'échauffement de l'eau dans le rebouilleur et celle de l'eau destinée à la réfrigération de l'eau bouillie, on a pensé faire bouillir l'eau dans le bouilleur sous une pression réduite de manière à la faire sortir de cet appareil à la température de 60° C. environ. Pour cela on met le rebouilleur en relation avec le condenseur de la vapeur d'échappement dans lequel on fait le vide au moyen d'une pompe à air.

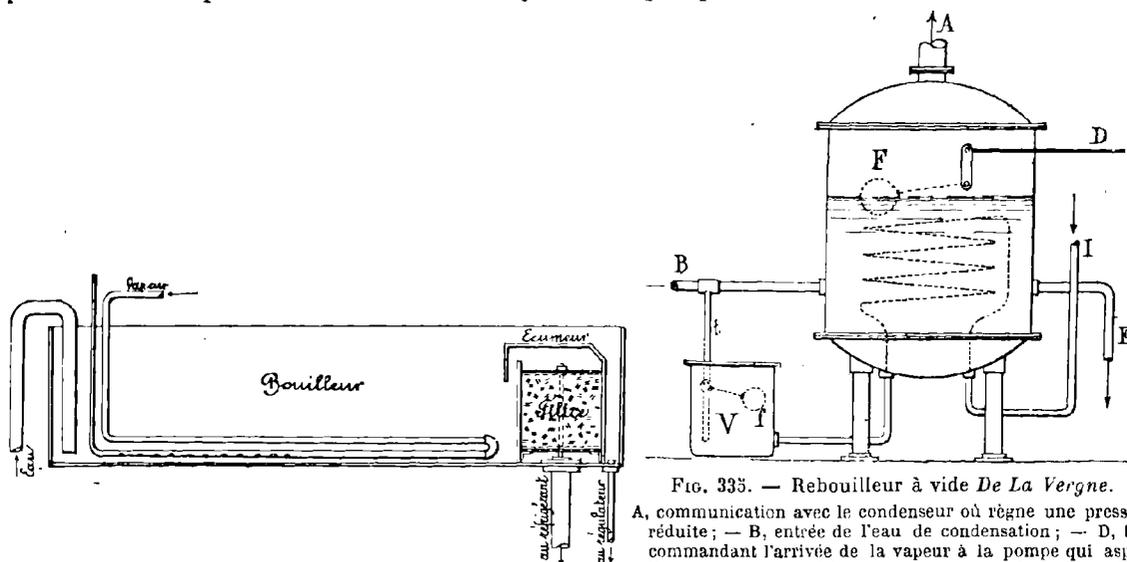


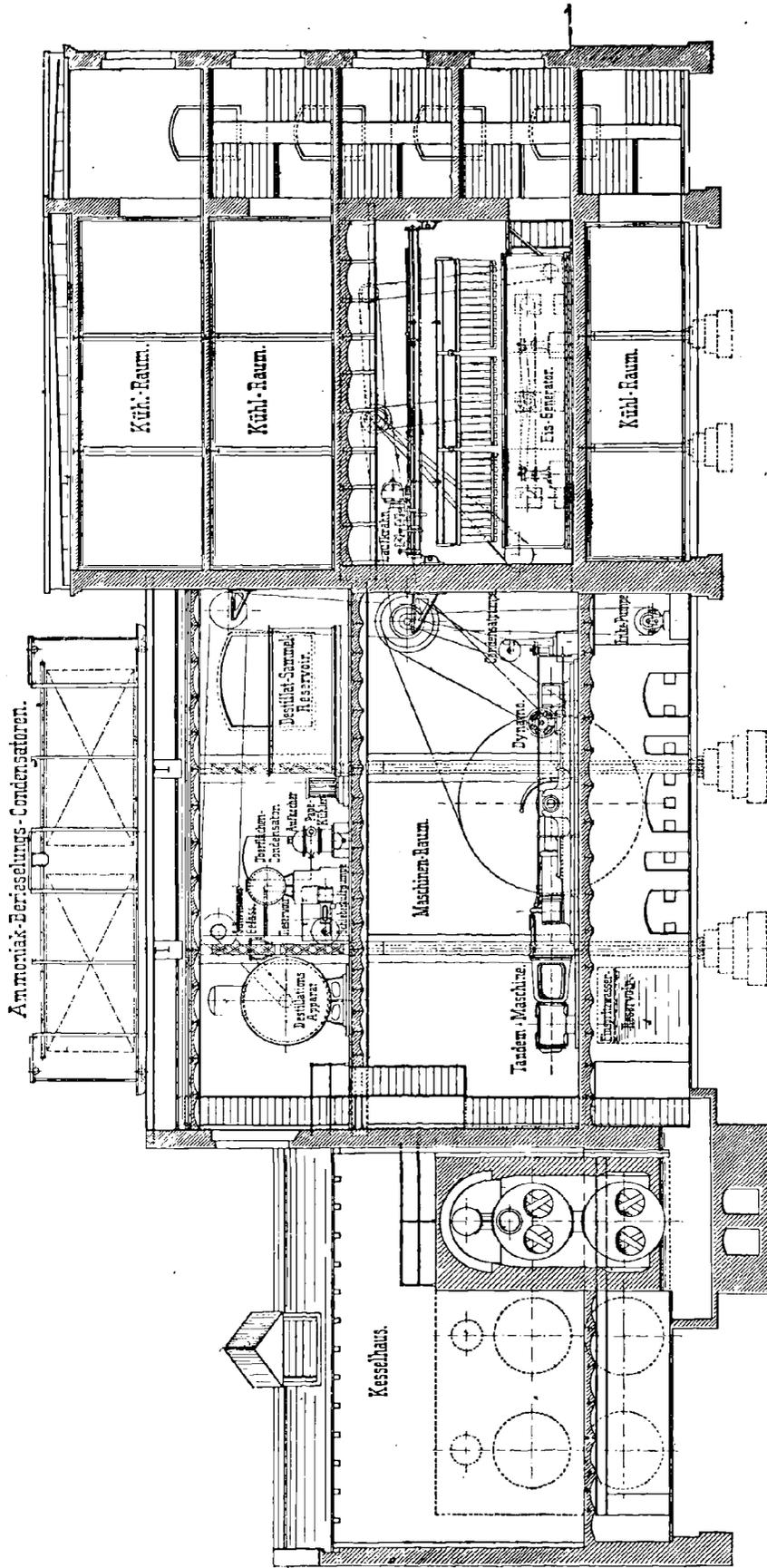
FIG. 334. — Écumeur-rebouilleur *Wingrove*.

FIG. 335. — Rebouilleur à vide *De La Vergne*.
A, communication avec le condenseur où règne une pression réduite; — B, entrée de l'eau de condensation; — D, tige commandant l'arrivée de la vapeur à la pompe qui aspire l'eau bouillie; — E, à la pompe d'aspiration de l'eau bouillie; I, vapeur vive pour l'échauffement de l'eau de condensation.

La figure 335 représente un de ces appareils construits par la firme *De La Vergne*. L'eau de condensation arrive à la base du bouilleur; une pompe à vapeur dont la valve est commandée par le flotteur *F* amène cette eau dans le réfrigérant. Le serpentín de la vapeur d'échauffement est fermé; l'eau de condensation de cette vapeur se rend dans un vase *V* d'où elle est siphonnée dans le bouilleur par le conduit *t* dont l'ouverture est commandée par un robinet solidaire du flotteur *f*.

27. Utilisation de la chaleur produite par la condensation de la vapeur d'échappement. — Pour éviter la présence des huiles de graissage si difficiles à éliminer, on utilise la chaleur dégagée par la condensation de la vapeur d'échappement pour vaporiser de l'eau sous une pression réduite. A cet effet une chaudière tubulaire à l'intérieur de laquelle on fait le vide au moyen d'une pompe à air est intercalée entre le moteur et son condenseur; la condensation de la vapeur d'échappement et l'évaporation de l'eau de la chaudière se font sous pression réduite. L'eau ainsi refroidie dans la chaudière est d'abord condensée, puis envoyée dans un rebouilleur, condensée et refroidie à nouveau, filtrée et amenée dans un réservoir d'où on l'emploie pour la fabrication de la glace. Les figures 336 et 337 représentent la fabrique de Glace-Cristal de l'entrepôt frigorifique de Leipzig installée par la *Société Linde*; la glace y est obtenue par le procédé dont nous venons de donner le principe.

On peut placer dans ce groupe d'appareils destinés à la production de la glace-cristal l'appareil à bouilleurs représenté sur la figure 325.



Cliché de la Société Linde.

Fig. 336. — Entrepôt frigorifique de Leipzig; coupe de la fabrique de glace et des chambres froides (Construction de la Société Linde).

Kesselhaus, bâtiment des chaudières ; — **Tandem-maschine**, machine à vapeur tandem ; — **Einspritzwasser-reservoir**, réservoir d'eau d'alimentation des chaudières ; — **Maschinenraum**, chambre des machines ; — **Condensat-pumpe**, pompe du condenseur de la machine à ammoniac ; — **Destillations-apparat**, appareil distillatoire ; — **Schieber-hilf-pumpe**, pompe à tiroir pour la raréfaction de l'air du condenseur à surface ; — **Schwimmer-gefäß**, récipient à flotteur ; — **Oberflächen-condensator**, condenseur à surface ; — **Aufkochen**, rebouilleur ; — **Pape-kühler**, réfrigérant Pape ; — **Ammoniak-berieselungs-condensatoren**, condenseurs à ruissellement à ammoniac ; — **Destillat-sammel-reservoir**, réservoir dans lequel arrive l'eau distillée ; — **Lau/krahn**, pont roulant ; — **Eis-generator**, bac à glace ; — **Kühl-raum**, chambre froide ; — **Enke-pumpe**, pompe Enke.

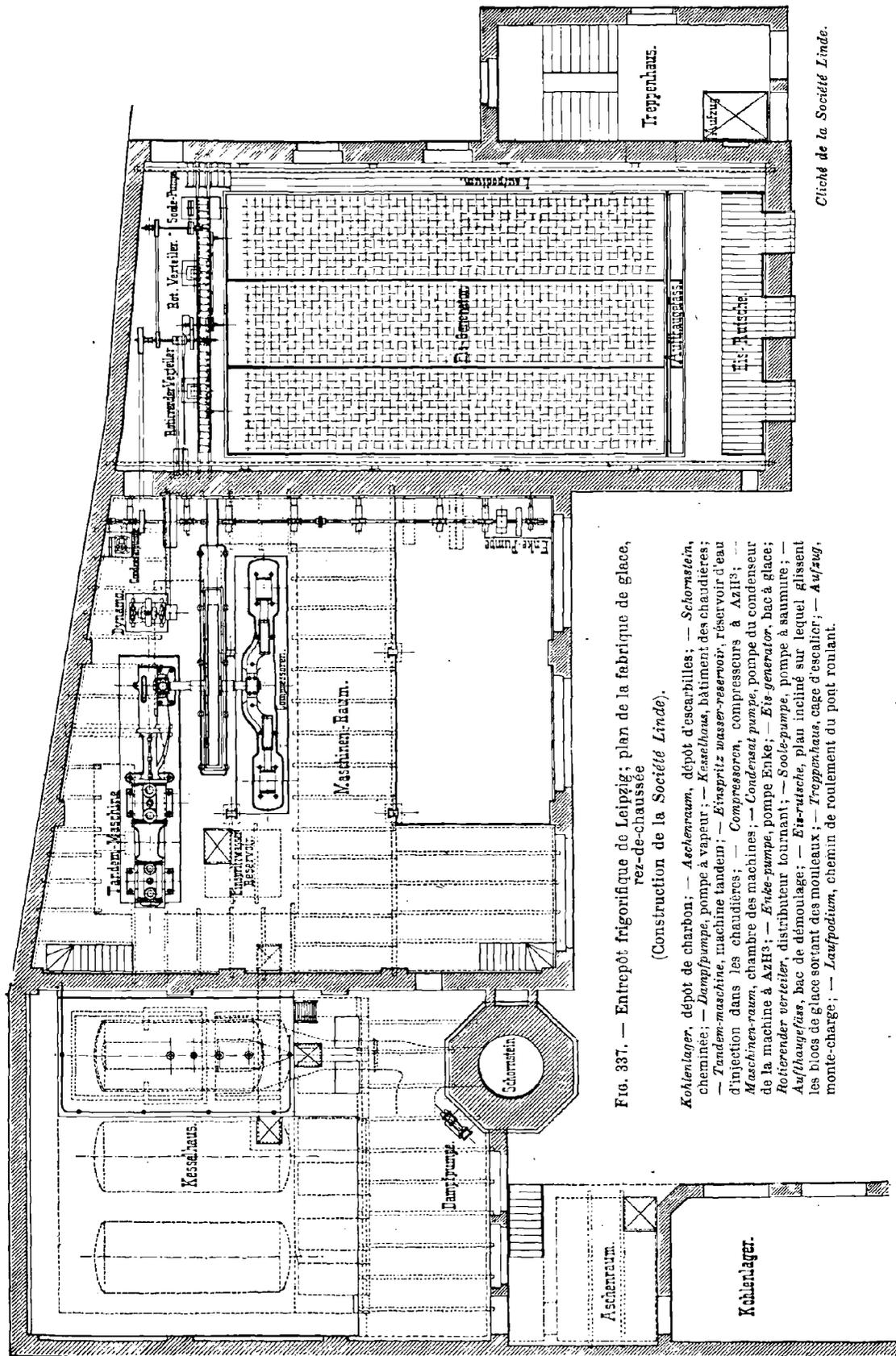


FIG. 337. — Entrepôt frigorifique de Leipzig; plan de la fabrique de glace, rez-de-chaussée (Construction de la Société Linde).

Kohlenlager, dépôt de charbon; — *Aschenraum*, dépôt d'escarbilles; — *Schmelztiegel*, cheminée; — *Dampf-pumpe*, pompe à vapeur; — *Kesselhaus*, bâtiment des chaudières; — *Tandem-maschine*, machine tandem; — *Einspritz wasser-reservoir*, réservoir d'eau d'injection dans les chaudières; — *Compressoren*, compresseurs à AZH; — *Maschinen-raum*, chambre des machines; — *Condensat-pumpe*, pompe du condenseur de la machine à AZH; — *Enke-pumpe*, pompe Enke; — *Eis-generator*, bac à glace; *Abtender verteiler*, distributeur tournant; — *Socle-pumpe*, pompe à saumure; — *Aufhängefuss*, bac de démouillage; — *Eis-rutsche*, plan incliné sur lequel glissent les blocs de glace sortant des mouleux; — *Treppenhaus*, cage d'escalier; — *Aufzug*, monte-charge; — *Laufpodium*, chemin de roulement du pont roulant.

Cliché de la Société Linde.

28. Utilisation de la vapeur d'échappement. — Sa condensation dans le vide. — Enfin dans l'appareil *Douane* on supprime le *rebouilleur* et on condense la vapeur d'échappement dans le vide. Cet appareil (*fig. 338*) comporte un condenseur par ruissellement B ; des pompes, pompes à air F, pompe à eau distillée G, pompe de circulation d'eau de ruissellement H ; des séparateurs et des filtres pour les huiles de graissage.

La vapeur d'échappement du moteur arrive par la tuyauterie 1 dans un séparateur d'huile A. Elle passe alors dans le condenseur à ruissellement B. L'eau ainsi condensée

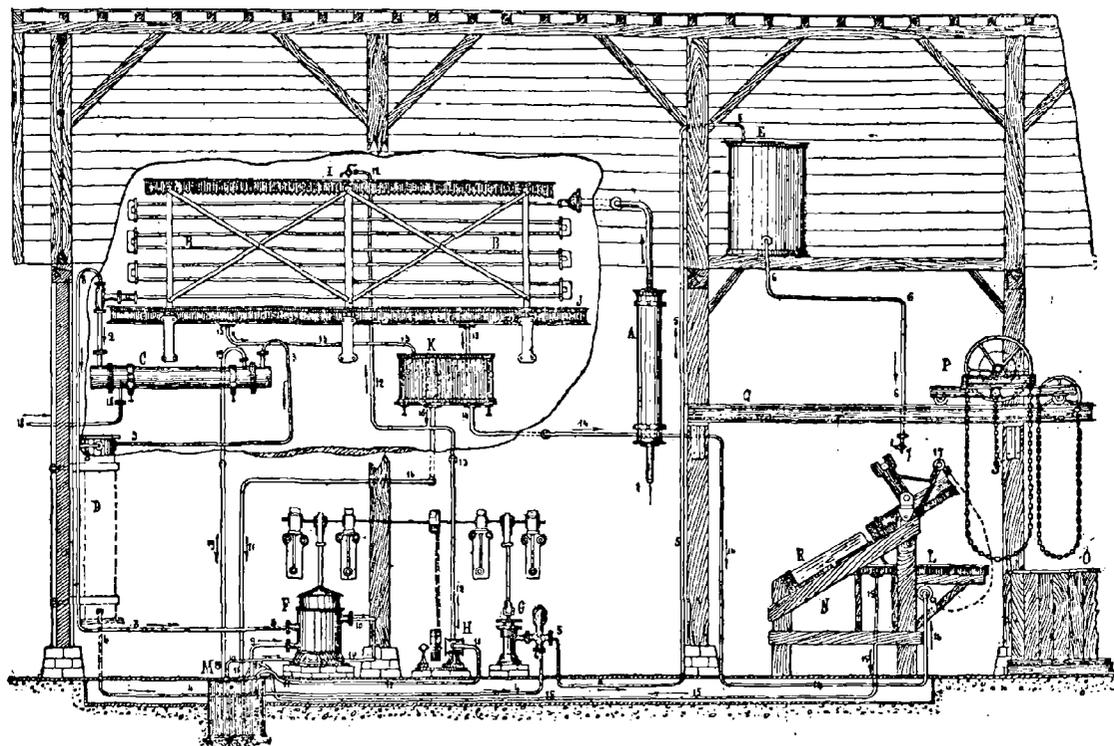


FIG. 338. — Appareil Douane condensant la vapeur d'échappement dans le vide.

A, séparateur d'huile; — B, condenseur par surface à ruissellement; — C, rafraîchisseur d'eau distillée; — D, filtre d'eau distillée; — E, réservoir d'eau distillée; — F, pompe à air faisant le vide; — G, pompe à eau distillée; — H, pompe à circulation d'eau de ruissellement; — I, bac égouttoir d'eau de ruissellement; — J, bac récepteur d'eau de ruissellement; — K, bac à eau chaude de démoulage; — 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, bloc 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 le remplissage des mouleaux; — 7, robinet d'eau distillée pour le remplissage des mouleaux; — 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 des mouleaux à l'eau chaude; — 18, arrivée d'eau ordinaire froide au rafraîchisseur; — 19, tuyau d'eau ordinaire allant du rafraîchisseur au bac M.

arrive par le tuyau 2 dans un rafraîchisseur d'eau distillée C. Elle est alors conduite par une tuyauterie 3 dans un filtre D, où elle se débarrasse des impuretés qu'elle tient encore en suspension. Au moyen des tuyauteries 4 et 5 et de la pompe G, l'eau distillée est accumulée dans le bac E d'où elle s'écoule dans les mouleaux à glace par la tuyauterie 6 et le robinet 7.

L'eau a été désaérée au moyen de la pompe à air F faisant le vide dans le condenseur et dans le filtre par un tuyau d'aspiration 8. Les conduites 9 et 10 représentent les tuyauteries d'injection et de déversement de la pompe à air.

La condensation est assurée par une circulation et un ruissellement d'eau froide aspirée

par la pompe H, par la tuyauterie 11 et envoyée par 12 dans un bac I d'où elle tombe en pluie sur le condenseur. L'eau qui se trouve échauffée par ce contact se rassemble dans un bac inférieur J; elle s'écoule par 13 dans un bac spécial K; elle peut alors servir au démoulage des blocs de glace.

Pour effectuer ce démoulage, les mouleaux à glace sont amenés au moyen d'un pont roulant P, glissant sur un chemin de roulement Q, au-dessus d'un basculeur-démouleur N.

L'eau chaude venant du bac K par la tuyauterie 14 vient s'écouler en 17 à la surface des mouleaux. L'eau, qui a ainsi servi au démoulage, se rassemble dans un bac L d'où elle s'écoule par 15 dans un bac M. Ce dernier appareil sert au retour des eaux de ruissellement, d'injection et de rafraîchissement.

29. Filtrés. — Comme nous venons de le voir, il faut en général, dans une installation de fabrication d'eau distillée pour la glace-cristal, trois séries de filtres :

- 1° Un ou plusieurs filtres à vapeur ;
- 2° Un ou plusieurs filtres à charcoale ou à sable, placés entre le réfrigérant de l'eau bouillie et le réservoir où on conserve l'eau purifiée employée pour la congélation ;
- 3° Un filtre placé entre le réservoir de conservation d'eau distillée et les mouleaux.

Ce dernier filtre, dont la présence est importante, peut être composé de deux disques perforés entre lesquels se trouvent des toiles spéciales.

Le charcoale peut être remplacé par le noir de fumée. Mais il faut que cette matière ait été traitée chimiquement.

30. Dimensions de quelques installations. — Voici, d'après Siebel¹, les dimensions des appareils de quelques installations.

I. *Fabrication de 10 tonnes par vingt-quatre heures.* — 1° *Condenseur à ruissellement* formé de 96 tuyaux ayant chacun 1^m,55 de longueur et 3^{cm},12 de diamètre intérieur.

2° *Rebouilleur* : 1^m,20 de diamètre ; 91^{cm},5 de hauteur. Il contient un serpentin à vapeur ayant environ 18^m,50 de longueur avec un tuyau de 1^{cm},25 de diamètre intérieur.

3° *Réfrigérant qui suit le rebouilleur.* Il a pour but d'abaisser à 25°C. l'eau rebouillie. Il est formé de 18 tuyaux de 3^{cm},12 de diamètre intérieur ayant chacun 3^m,70 de longueur.

4° *Filtre à charcoale.* Il a 76 centimètres de diamètre et 2^m,15 de hauteur ; la couche de charcoale a une hauteur de 1^m,50.

5° *Réservoir d'approvisionnement d'eau distillée.* L'eau y est en même temps refroidie.

Il a 91^{cm},5 de diamètre et 2^m,15 de haut. Il contient des tuyaux qui, si l'on se sert de la détente directe de l'ammoniaque, ont un diamètre intérieur de 3^{cm},12 et une longueur de 76^m,50.

Ces dimensions s'appliquent à des installations pouvant produire de 10 à 5 tonnes par jour.

II. *Fabrication de 30 tonnes par vingt-quatre heures.* — 1° *Filtre à vapeur pour arrêter les huiles de graissage* : 91^{cm},5 de diamètre ; 2^m,15 de haut ; 5 cloisons consécutives en fil de fer ayant 8 mailles par centimètre.

2° *Condenseur à ruissellement* : 100 tuyaux de laiton de 2^{cm},5 de diamètre intérieur, ayant chacun une longueur de 1^m,50.

3° *Rebouilleur.* Il a 80 centimètres de diamètre et 1^m,85 de hauteur. Il contient des tuyaux à circulation de vapeur ayant une longueur de 15 mètres et un diamètre intérieur de 2^{cm},5.

1. SIEBEL, *Compend of Mechanical Refrigeration*, p. 160.

4° *Réfrigérant qui suit le rebouilleur.* 32 tuyaux de 5 centimètres de diamètre intérieur ayant chacun 21^m,50 de longueur.

5° *Deux filtres à charcoals.* Chacun d'eux a 90 centimètres de diamètre et 2^m,15 de hauteur; la couche de charcoal a une hauteur de 1^m,70.

6° *Réservoir d'approvisionnement et de refroidissement d'eau distillée :* 2 mètres de diamètre et 2^m,50 de haut; il contient (détente directe de AzH³) des tuyaux ayant 3^{cm},12 de diamètre intérieur et 230 mètres de longueur.

7° *Filtre à sable :* 60 centimètres de diamètre et 1^m,25 de hauteur.

31. Défauts de la glace. — L'eau qui a été traitée comme nous venons de l'indiquer, c'est-à-dire qui a été distillée, condensée, rebouillie, écumée, etc., peut ne pas toujours donner une glace irréprochable, parfaitement transparente, sans aucun noyau, sans saveur ni odeur. Elle peut être pratiquement pure, saine et agréable au goût et cependant présenter certains défauts qui diminuent sa valeur commerciale.

Indiquons quelques-uns de ces défauts en même temps que les moyens de les éviter.

32. Glace à aspect laiteux. — L'aspect laiteux de la glace est généralement dû à la présence de l'air dans l'eau distillée. Les causes principales sont les suivantes :

a) *Une réébullition mal conduite,* soit que le rebouilleur fonctionne dans de mauvaises conditions, soit que le courant d'eau qui y circule n'y séjourne pas assez longtemps pour que l'air soit complètement enlevé par l'ébullition.

b) *L'arrivée au premier condenseur d'une quantité insuffisante de vapeur.* — Un vide se forme par suite de la rapide condensation de la vapeur, une plus grande quantité d'air vient de l'extérieur et se dissout dans le liquide résultant de la condensation de cette vapeur. Le rebouilleur est alors insuffisant pour éliminer tout cet air dissous. Si on ne peut pas accroître la production de vapeur, il faut réduire la quantité d'eau de réfrigération qui ruisselle sur le condenseur afin d'y maintenir la pression.

c) *Les fuites de la canalisation qui amènent l'eau froide aux mouleaux.* — Parfois l'aspect laiteux ou marbré de la glace est dû à des fuites se produisant dans les mouleaux, fuites qui permettent à la saumure de se mélanger légèrement avec l'eau distillée et qui causent des marbrures dans la glace.

33. Glace à noyau blanc. — Le noyau blanc est dû aux sels contenus dans les dernières portions de l'eau à congeler. Ces sels, principalement des carbonates de calcium et de magnésium, n'ont pas été enlevés complètement dans les opérations qui ont eu pour but d'avoir de l'eau distillée bien pure.

Dans un grand nombre de cas ce noyau est causé par le primage de la chaudière, c'est-à-dire par ce fait que la vapeur entraîne une certaine quantité de l'eau en ébullition. Ce primage se produit d'ailleurs quand on force la production de la chaudière par une ébullition trop tumultueuse ou quand on n'a pas la précaution de nettoyer assez souvent cette chaudière; l'accumulation dans la chaudière des sels de l'eau accroît en effet le danger du primage.

Le remède le plus rationnel consiste à avoir des chaudières assez larges pour qu'on puisse leur faire produire une grande quantité de vapeur sans qu'il soit nécessaire de faire bouillir trop violemment l'eau. Un autre remède, quand on a des eaux trop troubles, consiste à leur faire subir un premier filtrage au travers de charbon ou de noir de fumée avant de les introduire dans la chaudière.

Le noyau blanc tient aussi souvent à la nécessité de nettoyer les filtres qui ont servi depuis trop longtemps.

34. Glace à noyau couleur de rouille. — Le noyau couleur de rouille est produit dans la glace par la séparation à son intérieur d'oxyde de fer qui était contenu en solution dans l'eau à l'état de carbonate de fer. Ce dépôt est presque toujours produit par la circulation de l'eau au contact de surfaces en fer, particulièrement au contact de la surface intérieure en fer des serpentins. Ce défaut se produit fréquemment durant la seconde saison qui suit la marche de l'installation; il est dû à la rouille produite pendant les mois de chômage ou pendant de courtes interruptions. Pour éviter cet inconvénient, les tuyaux et réservoirs doivent, pendant ces arrêts, être maintenus remplis avec de l'eau distillée bouillie avec soin.

Lorsque du carbonate de fer existe ainsi en solution dans l'eau distillée, il se dépose lorsqu'on refroidit cette eau aux environs de 0° C. Le filtre intercalé entre le réservoir de conservation d'eau distillée et les mouleaux rend alors de grands services.

35. Couleur, goût et odeur de certaines glaces préparées au moyen d'eau distillée. — L'odeur et le goût que possèdent certaines variétés d'eau distillée, et par suite la glace qui en dérive, la couleur verdâtre affectée par certaine glace, sont dus à la présence de quantités très petites d'une ou de plusieurs matières volatiles (appartenant à la classe des matières hydrocarbonées); elles proviennent soit de l'eau naturelle employée, soit des huiles lubrifiantes.

Si leur présence est due à l'eau, ces défauts, comme d'ailleurs tous les autres défauts de la glace, seront plus apparents à mesure que les chaudières deviendront plus sales. Si les chaudières sont propres et nettoyées assez souvent, ces défauts sont presque invisibles. Le primage des chaudières a naturellement pour effet d'accroître l'importance de ces défauts de la glace.

Si l'odeur, le goût ou la couleur de la glace proviennent des huiles lubrifiantes (ce qui produit aussi parfois une glace trouble), l'emploi d'une huile convenable ou de filtres à vapeur, maintenus propres, est le meilleur remède. Il convient, dans ce cas, d'éviter un excès de lubrification du cylindre à vapeur.

36. Conditions que doit remplir l'eau pour pouvoir être employée à la fabrication de la glace-cristal par la méthode des mouleaux. — Nous venons de décrire toutes les opérations que rend nécessaires la préparation de la glace-cristal par la méthode des mouleaux. Or, la chaudière et ses accessoires exigent certaines qualités de l'eau que l'on doit employer¹. Une telle eau doit contenir en dissolution :

1° *Le moins possible de sels susceptibles de donner des incrustations*, c'est-à-dire le moins possible de sulfates de chaux et de magnésie, d'une part, de carbonates de chaux et de magnésie, d'autre part;

2° *Pas de fer sous la forme d'oxyde ou de carbonate ;*

3° *Pas de gaz organiques ou inorganiques présentant une mauvaise odeur ;* ces gaz peuvent en effet être entraînés avec la vapeur et se dissoudre dans l'eau distillée au moment où elle se condense ;

4° *Le moins possible de matière organique pouvant être décomposée dans la chaudière et donner naissance à des gaz entraînés avec la vapeur ;*

1. J.-C. SPARKS, *The relation of the available water to the selection of can or plate ice making systems* (Cold Storage and Ice Trade Journal, janvier 1906).

5° *Pas d'acides organiques ou minéraux libres.*

La question des sels en dissolution susceptibles de donner des incrustations dans la chaudière est une des plus importantes à considérer dans la méthode des mouleaux.

Une eau *dure*, c'est-à-dire une eau contenant en dissolution une grande quantité de matières minérales susceptibles de donner des incrustations, doit être rejetée pour la fabrication de la glace par la méthode des mouleaux.

37. Dureté d'une eau. Dureté permanente ou stable. Dureté passagère ou instable. — Au point de vue de la *dureté* de l'eau, il y a lieu de distinguer, avec les Américains, la *dureté permanente ou stable* (Permanent hardness), de la *dureté passagère ou instable* (transient hardness ou temporary hardness). La dureté permanente mesure le poids des sulfates de calcium et de magnésium, des chlorures et nitrates de calcium et de magnésium qui sont précipités par une solution alcoolique de savon sous la forme de stéarates, oléates, etc., de calcium et de magnésium, cette précipitation étant faite après qu'une ébullition suffisamment longue a précipité les carbonates, en produisant le dégagement de l'anhydride carbonique qui les maintient en dissolution ¹.

La dureté passagère mesure le poids des carbonates de calcium et de magnésium contenus dans l'eau. La *dureté totale* (total hardness) est la somme des deux duretés précédentes ; elle se détermine par le poids des sels de calcium et de magnésium précipités à l'état de stéarates, d'oléates, par la solution alcoolique de savon ; la dureté passagère s'obtient en retranchant la dureté permanente de la dureté totale.

La dureté passagère peut avoir une valeur relativement élevée sans que l'on soit conduit à rejeter l'eau pour la préparation de la glace. En effet, les carbonates de calcium et de magnésium, en se déposant dans la chaudière, donnent naissance à des incrustations dites *tendres* qui peuvent être facilement enlevées ; au contraire, les sulfates de calcium et de magnésium produisent des incrustations *dures* très préjudiciables à l'existence des chaudières. Une dureté permanente représentée par le nombre 10 est cause de plus de dégâts dans une chaudière qu'une dureté passagère trois fois plus grande.

La considération de la dureté permanente est donc capitale au point de vue du choix de l'eau à employer pour fabriquer de la glace par la méthode des mouleaux.

38. Définitions du degré de dureté dans les divers pays. — Le *degré de dureté* (degree of hardness) ou *degré hydrotimétrique* a diverses définitions ².

En *France*, il correspond à une quantité de sels de calcium et de magnésium équivalente à 1 milligramme de carbonate de calcium (CO_3Ca) contenu dans 100 grammes ou 100.000 milligrammes d'eau.

En *Angleterre*, il correspond à un grain de carbonate de calcium contenu dans un gallon impérial pesant 70.000 grains.

En *Amérique*, il correspond à un grain de carbonate de calcium contenu dans un gallon des États-Unis pesant 58.372 grains.

En *Allemagne*, il correspond à 1 milligramme de CaO contenu dans 100 grammes ou 100.000 milligrammes d'eau.

Le tableau XLII indique la correspondance qui existe entre les définitions diverses du degré de dureté de l'eau.

1. La méthode industrielle d'analyse chimique de l'eau au moyen d'une dissolution alcoolique de savon reçoit le nom d'*Hydrotimétrie* ; cette méthode se trouve étudiée dans tous les traités de chimie.

2. J. C. BERTSCH, *The distilling apparatus (Ice and Refrigeration, t. XXVI, n° 5, mai 1904)*.

39. Valeurs de la dureté que ne doit pas dépasser une eau employée pour la fabrication de la glace par la méthode des mouleaux. — D'après M. Sparks, lorsque la dureté totale d'une eau est supérieure à 25 degrés américains ou $25 \times 1,71 = 42,75$ degrés français, cette eau doit être rejetée pour la fabrication de la glace par la méthode des mouleaux.

TABLEAU XLII

CORRESPONDANCE ENTRE LES DÉFINITIONS DES DIVERS DEGRÉS DE DURETÉ ADOPTÉES
DANS DIFFÉRENTS PAYS

FRANÇAIS Poids, par degré de dureté, de CO_3Ca contenu dans une masse d'eau de 100.000 milligrammes	ANGLAIS Poids, par degré de dureté, de CO_3Ca contenu dans une masse d'eau de 70.000 grains (gallon impérial)	AMÉRICAIN Poids, par degré de dureté, de CO_3Ca contenu dans une masse d'eau de 58.372 grains (gallon des États-Unis)	ALLEMAND Poids, par degré de dureté, de CaO contenu dans une masse d'eau de 100.000 milligrammes
1,00	0,70	0,58	0,56
1,43	1,00	0,83	0,80
1,71	1,20	1,00	0,97
1,79	1,25	1,03	1,00

NOTA. — Les nombres contenus dans une même ligne horizontale représentent les rapports des divers degrés de dureté à l'un d'eux pris comme unité; les nombres contenus dans une même colonne verticale représentent les nombres par lesquels il faut multiplier un degré de dureté quand on veut l'exprimer dans le système d'unités adopté par le pays dont le nom se trouve en tête de la colonne. Par exemple, si une eau a une dureté égale à 30 degrés de dureté allemands, sa dureté sera exprimée en degrés de dureté anglais par le nombre $30 \times 1,25 = 37,50$.

D'autre part, si, indépendamment de la dureté passagère, la dureté permanente est supérieure à 15 degrés américains ou à $15 \times 1,71 = 25,65$ degrés français, l'eau est trop dure pour être employée à la production de la glace par la méthode des mouleaux.

40. Conditions que doit remplir l'eau pour pouvoir être employée à la fabrication de la glace par la méthode des plaques. — Comme nous l'avons vu plus haut, la méthode des plaques pour la production de la glace élimine automatiquement les impuretés de l'eau et donne, sans manipulations préliminaires et spéciales de cette eau, de la glace parfaitement transparente. Toutefois toutes les eaux ne sont pas aptes à permettre l'emploi de cette méthode pour la fabrication de la glace.

D'après M. Sparks, les conditions que doit remplir une eau qui doit être transformée en glace par la méthode des plaques sont les suivantes :

- 1° La proportion des sels de magnésium doit être inférieure à 9 ou 10 centigrammes par litre (5 grains par gallon);
- 2° L'eau doit être exempte de toute coloration due à des matières organiques; la glace garderait en effet cette coloration;
- 3° L'eau ne doit pas tenir en suspension des matières grasses, qui ne seraient pas éliminées dans la congélation;
- 4° L'eau ne doit pas être contaminée par la présence d'une trop grande quantité de matières organiques.

41. Comparaison entre la méthode des mouleaux et la méthode des plaques.

— Nous venons de voir quelques-unes des raisons, fondées sur la qualité de l'eau, qui peuvent faire employer la méthode des mouleaux ou la méthode des plaques. Voici d'autres comparaisons entre les deux systèmes qui ont été indiquées par M. *Edgar Penney* au Congrès de *The American Society of Refrigeration* tenu à New-York, en décembre 1905¹.

D'après cet ingénieur américain, *il est préférable d'employer la méthode des plaques :*

1° *Quand la force motrice produite au moyen de vapeur est d'un prix élevé ;* on peut en effet employer n'importe quelle force motrice avec le système en plaques (eau, gaz, électricité) ; pour le système en mouleaux fonctionnant avec de l'eau distillée, il faut de la vapeur et un appareil distillatoire.

2° *Quand l'installation peut travailler toute l'année et conserver le trop-plein de la fabrication.* M. E. Penney prétend en effet que la glace en plaques peut se conserver dans des salles bien isolées, sans nécessiter de réfrigération mécanique ; cette dernière est, au contraire, indispensable pour la conservation de la glace obtenue par la méthode des mouleaux.

3° *Quand la qualité de la glace doit être parfaitement uniforme.*

4° *Quand on demande un dividende très élevé du capital engagé.* — Le prix de premier établissement est un peu plus élevé dans le système en plaques que dans le système en mouleaux ; mais le travail ultérieur est moins cher pour les plaques. De plus, on peut faire 14 kilogrammes de glace en plaques avec 1 kilogramme de charbon, tandis qu'avec ce même poids on ne peut faire que 6 kilogrammes de glace en mouleaux.

5° *Quand on peut faire une installation de grandes dimensions.* — L'emplacement nécessaire à une installation pour fabriquer la glace en plaques est environ double de celui qui est nécessaire à la fabrication de la glace en mouleaux.

Le système en mouleaux sera préféré :

- a) *Quand la vente de la glace est limitée et le capital peu important.*
- b) *Quand la glace doit être faite à l'aide d'eau distillée.*
- c) *Quand la glace est destinée au transport en petites quantités.*
- d) *Quand l'espace est limité et qu'il est nécessaire d'avoir plusieurs chambres de travail à différents étages.*
- e) *Quand la fabrique ne peut travailler que durant la belle saison.*

II

LE COMMERCE DE LA GLACE

1. **La glace aux États-Unis. — Commerce d'exportation.** — C'est en 1805 que commence le commerce de la glace aux États-Unis. Le premier exportateur de glace semble avoir été *Frédéric Tudor*, qui, en 1805, envoie un chargement de 130 tonnes de glace aux Indes orientales. L'opération est désastreuse au point de vue financier ; toutefois, le chargement arrive en excellent état à sa destination. Deux ans plus tard (1807), le même

¹ E. PENNEY, *Parallèle entre le système de fabrication de la glace en mouleaux et le système de fabrication en plaques* (*La Glace et les Industries du Froid*, 3^e année, n^o 4, avril 1906).

Tudor expédie un chargement de 240 tonnes de glace à La Havane ; mais cette opération n'est pas plus heureuse que la première. En 1812, il obtient de la Grande-Bretagne le monopole du commerce de la glace avec sa colonie des Indes ; en 1815-1816, l'Espagne lui fait une concession analogue pour ses colonies.

D'après le *Bureau de statistique du Ministère des Finances à Washington* (Bureau of Statistics, Treasury Department, Washington), le commerce d'exportation de la glace a augmenté régulièrement de 1850 à 1870 ; il a passé de 135.000 francs en 1850 à 1.335.000 francs (65.800 tonnes expédiées) en 1870 ; de 1870 à 1900, il a régulièrement diminué jusqu'à 13.700 tonnes en 1900. La consommation de la glace augmente en effet d'une manière très rapide à l'intérieur des États-Unis ; de plus, la glace de Norwège vient faire concurrence à la glace d'Amérique sur les marchés de l'Europe.

2. La glace aux États-Unis. — Récolte et consommation de la glace naturelle. — Jusqu'en 1868, toute la glace vendue dans les villes du Nord des États-Unis est récoltée dans le voisinage immédiat des marchés. Cependant le rapide développement des villes, l'accroissement considérable de la consommation poussent les marchands de glace à un exode vers l'Hudson à la recherche de glace de bonne qualité. En 1880, la récolte de la glace, dans la partie connue sous le nom de *zone de New-York*, baisse brusquement de 2.371.000 tonnes en 1879 à 800.000 tonnes. Les marchands de glace sont alors obligés d'aller beaucoup plus au nord : c'est l'époque des fameux champs de glace de *Kennebec River* dans le *Maine* ; pendant cette année 1880, 1.426.800 tonnes de glace sont récoltées dans le *Maine* ; une partie de cette glace est envoyée à Cincinnati par *A. and H. Knorr Ice Company* et vendue à raison de 100 francs la tonne. A cette époque d'autres marchands exploitent les champs de glace du *Michigan* et du *Wisconsin supérieurs*.

D'ailleurs, de 1881 à 1890 inclusivement, les champs de glace de *Hudson River* et du *Maine* ont fourni, en moyenne, chaque année, 3.995.000 tonnes de glace. De 1890 à 1899 inclusivement, ils ont fourni par an 4.135.000 tonnes ; de 1900 à 1905 inclusivement, ils ont fourni par an 3.613.000 tonnes avec une décroissance moyenne par an de 522.000 tonnes par rapport à la décade 1890-1899 et de 382.000 tonnes par rapport à la décade 1881-1890.

Cette décroissance dans la consommation de la glace naturelle est due au développement de l'industrie de la glace artificielle.

La quantité de glace naturelle récoltée aux États-Unis a été maxima en 1899. Pendant cette année-là, il fut récolté aux États-Unis 21.000.000 de tonnes de glace naturelle. En y ajoutant 8.000.000 de tonnes de glace produites par des machines, cela fait en 1899 une production de 29.000.000 de tonnes. Si l'on compte une perte de 35 0/0 pour la glace naturelle et de 5 0/0 pour la glace artificielle, on voit que la consommation de glace en 1899 s'est élevée à 21.250.000 tonnes de 907 kilogrammes. En admettant pour les États-Unis une population de 75.000.000 d'habitants, cela fait une consommation annuelle par habitant de 255 kilogrammes de glace.

3. La glace aux États-Unis. — Production globale de la glace artificielle. — La production de la glace artificielle a commencé à prendre une réelle importance vers 1866 à la Nouvelle-Orléans. Mais elle se développe très rapidement à partir de 1880.

Le capital moyen par usine augmente de 178.745 francs, en 1880, à 221.765 francs, en

1. Tous ces détails sur la *Glace aux États-Unis* sont empruntés au mémoire suivant :

E. C. BALZISER, *Ice and Refrigeration (Annual Convention of the Middle States Ice Producers Exchange à Cincinnati. — Cold Storage and Ice Trade Journal, mars 1906, p. 30).*

1890 ; la valeur de la glace produite par usine augmente de 77.825 francs à 110.385 francs. De 1890 à 1900, le capital placé augmente, en moyenne, de 242.720 francs par usine construite ; mais la valeur de la production baisse par usine à 88.150 francs.

Cette décroissance tient à la concurrence de la glace naturelle, les usines à glace artificielle étant construites dans les zones de production de la glace naturelle.

Le tableau XLIII montre quel a été de 1900 à 1905 le développement de l'industrie de la glace artificielle.

TABLEAU XLIII

FABRICATION DE LA GLACE AUX ÉTATS-UNIS

(Statistique dressée par The Bureau of the Census Department of Commerce and Labor)
(Cold Storage and Ice Trade Journal, mars 1906)

		EN 1905	EN 1900	ACCROISSEMENT
				Pour 100
Nombre des fabriques de glace.....		1.320	787	67,7
Capital..... francs		333.063.855	191.020.270	74,4
Employés, commis, etc.	Nombre.....	2.345	1.545	51,8
	Salaires..... francs	10.086.325	6.174.015	63,4
Ingénieurs, mécaniciens, ouvriers, etc.	Nombre.....	10.100	6.933	45,7
	Salaires..... francs	27.748.250	17.121.525	62,1
Dépenses diverses..... francs		20.082.480	8.899.450	125,7
Matières employées pour la fabrication	Prix total..... francs	29.994.615	16.698.620	79,6
	AzH ³ poids en kilogrammes	875.421	478.611	82,9
	AzH ³ prix en francs	2.611.375	1.398.400	86,7
	Eau..... poids en kilogrammes	677.658	599.525	43,0
	Eau..... prix en francs	454.315	399.345	43,8
Autres matières .. prix en francs		26.928.925	14.900.875	
Valeur totale..... francs		118.950.225	69.372.565	71,5
Produits manufacturés	Glace en mouleaux.. tonnes de 907 kilogr.	6.695.789	4.139.764	61,7
	Glace en mouleaux..... francs	105.102.735	64.315.800	63,4
	Glace en plaques.... tonnes de 907 kilogr.	503.659	154.675	225,6
	Glace en plaques..... francs	7.154.780	2.203.570	224,7
Autres produits..... francs		6.692.710	2.853.195	
<i>Valeur moyenne de la glace en mouleaux : 16 francs la tonne de 907 kilogrammes</i> <i>Valeur moyenne de la glace en plaques : 14 francs la tonne de 907 kilogrammes</i>				

4. La glace aux États-Unis. — Prix de la glace. — La valeur moyenne en gros de la glace artificielle était de 75 francs par tonne en 1870 ; 37 fr. 50, en 1880 ; 25 francs, en 1890 ; 19 francs, en 1900. Aujourd'hui la tonne de glace vaut, en moyenne, 15 francs.

Le tableau XLIV donne le prix de la glace en gros et en détail dans quelques villes des États-Unis.

FABRICATION DE LA GLACE

377

TABLEAU XLIV

PRIX MOYENS DE LA GLACE EN GROS ET EN DÉTAIL DANS QUELQUES VILLES DES ÉTATS-UNIS
(D'après *Ice and Refrigeration*, t. XXX, n° 5, mai 1906. — *Cold Storage and Ice Trade Journal*, avril 1906)

NOM DE LA VILLE	PRIX EN GROS	PRIX AU DÉTAIL	OBSERVATIONS
	PAR TONNE de 907 kilogrammes	PAR TONNE de 907 kilogrammes	
	francs	francs	
Demopolis (Alabama)....	17,50 à 40 »	50 »	Consommation et production de glace : environ 750 tonnes par an.
Huntsville (Alabama)....	15 » à 20 »	40 »	Consommation : 3.000 tonnes par an. — Production des machines : 4.000 tonnes environ.
Arkansas City (Arkansas).	15 » à 20 »	25 » à 50 »	Production : 12.000 tonnes par an.
Los Angeles (California).	10 » à 15 »	20 » à 35 »	Consommation : 40.000 tonnes par an. Les machines à glace produisent environ 500 tonnes par jour; une grande partie de cette glace est employée pour les wagons réfrigérés.
Sacramento (California)..	20 »	25 » à 30 »	Consommation : 20.000 tonnes par an. Les machines à glace produisent de 12.000 à 14.000 tonnes. Plusieurs milliers de tonnes de glace naturelle sont employés pour les expéditions de fruits.
Denver (Colorado).....	15 » à 20 »	25 » à 50 »	
Bridgeport (Connecticut).	20 » à 30 »	60 »	Consommation : 35.000 tonnes par an. Consommation d'une grande quantité de glace naturelle.
Derby (Connecticut).....	25 »	50 »	
Wilmington (Delaware)..	15 » à 25 »	25 » à 70 »	
Pensacola (Florida).....	25 »	35 »	
Atlanta (Georgia).....	15 »	25 » à 40 »	
Chicago (Illinois).....	8,75 à 10 »		
Springfield (Illinois)....	20 »	30 » à 40 »	
Indianapolis (Indiana)...	5 » à 15 »	10 » à 25 »	Consommation : 140.000 tonnes par an. Les machines à glace produisent (en comptant les entrepôts frigorifiques et les brasseries) 650 tonnes par jour.
Davenport (Iowa).....	15 » à 25 »	40 »	
Hutchinson (Kansas)....	10 » à 20 »	25 » à 40 »	Machines à glace produisent environ 120 tonnes par jour.
New Orleans (Louisiana).	12,50	15 » à 20 »	
Baltimore (Maryland)....	15 »	30 » à 40 »	
Boston (Massachusetts)..		35 »	
Detroit (Michigan).....	15 » à 25 »	30 » à 40 »	
Minneapolis (Minnesota).	12 » à 15 »	25 »	Consommation : 250.000 tonnes de glace par an.
Saint-Louis (Missouri)...	10 »	12,50 à 25 »	
Springfield (Missouri)....	20 »	50 »	
Portsmouth (New Hampshire).....	25 »		
Albany (New-York).....	15 » à 25 »	20 » à 35 »	
Buffalo (New-York).....	15 »	35 »	
New-York Citry.....	10 » à 15 »	20 » à 40 »	Consommation : 3.304.000 tonnes par an.
Cincinnati (Ohio).....	15 » à 20 »	30 » à 40 »	Consommation : 250.000 tonnes par an. Les machines à glace produisent 225.000 tonnes par an.
Cleveland (Ohio).....	10 » à 20 »	15 » à 30 »	Consommation par an de 70.000 tonnes de glace naturelle.
Philadelphia (Pennsylvania).....			Production : 400.000 tonnes de glace naturelle et 600.000 tonnes de glace artificielle.
Pittsburg (Pennsylvania).	15 » à 20 »	25 » à 40 »	
	20 » à 25 »	50 »	Consommation : 227.000 tonnes par an; 42.000 tonnes de glace naturelle et 185.000 tonnes de glace artificielle
Dallas (Texas).....	20 »	25 » à 50 »	Consommation : 35.000 tonnes par an.
Charleston (West Virginia).....	20 »	40 »	
Milwaukee (Wisconsin)..	7,50 à 10 »	15 » à 40 »	

NOTA. — Les prix moyens par tonne sont les prix payés pour une fourniture supérieure à une tonne; les prix moyens de détail sont les prix payés par les particuliers pour une fourniture supérieure à 50 kilogrammes. Les prix les plus élevés sont naturellement ceux qui correspondent à la plus faible fourniture.

5. La glace aux États-Unis. — Répartition de la production de la glace.

— En 1905, les *États du Sud* ont produit 36,4 0/0 de toute la glace artificielle fabriquée aux États-Unis; les *États du Nord*, 57,3 0/0; les États de *Rocky Mountain* et les *Territoires*, 6,3 0/0.

Comme production de la glace dans des usines spéciales, les États viennent dans l'ordre suivant :

Pennsylvanie, New-York, Missouri, Texas, Ohio, Michigan (24 tonnes par jour), *Wisconsin* (8 tonnes par jour).

Aux États-Unis environ 43 0/0 de toutes les machines frigorifiques sont employées spécialement pour la fabrication de la glace; dans les États du Sud, cette proportion se monte à 75 0/0, tandis que, dans les États du Nord et de l'Ouest, elle atteint à peine 27 0/0. Prenons des exemples. Tandis que dans l'*Illinois* la proportion ne s'élève qu'à 14 0/0, elle est de 97 0/0 dans le *Mississippi*; de 35 0/0 dans l'*Ohio*, elle s'élève à 76 0/0 dans le *Texas*; de 71 0/0 dans le *West Virginia*, elle s'abaisse à 26 0/0 dans l'État de New-York.

La plus grande usine fabriquant uniquement de la glace est celle de *Jacob Ruppert* à *New-York* qui produit 965 tonnes par jour. *Baltimore* a une fabrique de 600 tonnes par jour; *Philadelphie*, une de 400 tonnes.

La *Anheuser-Busch Brewing Company* à Saint-Louis (*Missouri*) fabrique par jour 1.100 tonnes de glace.

6. La glace aux États-Unis. — Entrepôts froids.

— L'État de *New-York* tient la tête pour le nombre des machines frigorifiques et des tonnes frigorifiques produites. Viennent ensuite la *Pennsylvanie*, l'*Illinois*, le *Missouri*, l'*Ohio*.

L'État de *Missouri* tient la tête pour le volume des entrepôts froids. Viennent ensuite l'*Illinois*, l'État de *New-York*, la *Pennsylvanie*, le *Kansas*, le *Massachusetts*, l'*Ohio*.

Swift and Co, de Chicago, ont une machine de 750 tonnes frigorifiques ou $750 \times 3.000 = 2.250.000$ frigories-heure.

Armour and Co ont deux machines de 600 tonnes frigorifiques chacune (1.800.000 frigories-heure).

A la fin de 1905, on compte, en moyenne, 9.000 machines frigorifiques en exploitation représentant une puissance frigorifique de 354.000 tonnes ou 1.062.000.000 frigories-heure. Cette puissance frigorifique correspondrait à 177.000 tonnes de glace par jour ou 37.170.000 tonnes par an.

Le volume des entrepôts frigorifiques aux États-Unis est d'environ 5.800.000 mètres cubes.

7. Le marché allemand de la glace de 1900 à 1906.

— De 1900 à 1906, les chiffres d'importation de la glace en *Allemagne* sont les suivants¹ :

1900.	7.411,3 tonnes de 1.000 kilogrammes
1901.	9.738,9 — —
1902.	22.409,6 — —
1903.	8.327,4 — —
1904.	57.318,0 — —
1905.	39.473,0 — —

Le nombre de tonnes importées, particulièrement grand en 1904, reste cependant bien inférieur à celui des années 1898 et 1899 pendant lesquelles il a été

en 1899	de	159.183,2 tonnes
en 1898	de	356.952,9 tonnes

1. *Eis und Kälte-Industrie*, t. VI, n° 23, 5 juin 1905; — t. VII, n° 17, 5 mars 1906.

Les principaux pays importateurs de glace en Allemagne sont la *Norvège* et la *Suisse*.

Les tableaux XLV, XLVI, XLVII donnent, pour l'Allemagne, les importations et les exportations depuis 1900 jusqu'en mars 1906.

TABLEAU XLV
IMPORTATIONS DE GLACE EN ALLEMAGNE

ANNÉES	IMPORTATION TOTALE	GLACE VENANT		
		DE LA NORVÈGE	DE LA SUISSE	DES AUTRES PAYS
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1900	7.411,3	5.562,6	1.078,5	770,2
1901	9.738,9	5.971,6	2.753,9	1.013,4
1902	22.409,6	12.232,4	4.223,6	5.953,6
1903	8.327,4	6.067,9	1.761,1	498,4
1904	57.318,0	52.893,6	3.582,0	842,4
1905	39.473,0	35.038,0	3.061,8	1.373,2

TABLEAU XLVI
EXPORTATIONS DE GLACE DE L'ALLEMAGNE VERS DIFFÉRENTS PAYS

ANNÉES	EXPORTATION TOTALE	EXPORTATION			
		VERS divers pays	PAR LE PORT FRANCO de Hambourg	PAR LE PORT FRANCO de Bremerhafen	VERS la Suisse
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1900	8.732,7	258,1	5.487,5	1.275,2	1.711,9
1901	16.411,0	367,4	6.236,7	4.954,0	4.852,9
1902	16.046,6	»	6.469,9	»	5.404,8
1903	10.990,2	2.384,1	7.224,3	»	1.381,8
1904	12.724,2	1.821,9	7.012,2	»	3.890,1
1905	17.589,6	3.559,7	8.110,6	»	5.919,3

Nota. — En 1898 et 1899 les exportations de glace s'étaient élevées à 12.036,5 tonnes et 14.135,7 tonnes.

TABLEAU XLVII
LE MARCHÉ ALLEMAND DE LA GLACE DANS LES DEUX PREMIERS MOIS DE L'ANNÉE 1906
COMPARAISON AVEC LES MOIS CORRESPONDANTS DE 1904 ET 1905¹

	JANVIER ET FÉVRIER		
	1906	1905	1904
	tonnes	tonnes	tonnes
<i>Importations</i>	6.980,9	4.968,7	6.096,8
De Norvège	4.660,1	2.037,6	2.918,4
De Suisse	1.406,4	2.236,0	2.793,0
Des autres pays	914,4	695,1	385,4
<i>Exportations</i>	6.249,6	8.583,2	3.752,3
Par le port franc de Hambourg	1.168,9	1.661,8	814,9
Vers la Suisse	4.303,0	4.364,8	2.198,7
Vers les autres pays	777,7	2.556,6	738,7

1. *Eis und Kälte-Industrie*, t. VII, n° 20, 20 avril 1906.

8. Prix de la glace artificielle en Allemagne. — Afin de donner une idée du prix de la glace artificielle en Allemagne, nous indiquons ici les prix de vente admis pour la saison d'été 1906 par le *Syndicat des fabricants de glace de Berlin et des environs* (Vereinigung der Eiswerksbesitzer Berlins und Umgebung)¹.

PRIX DE LA GLACE LIVRÉE A DOMICILE

	francs
Jusqu'à 25 tonnes pendant la saison	42,50 par tonne
De 25 à 50 — —	40 » —
De 50 à 100 — —	37,50 —
De 100 à 300 — —	35 » —
Au-dessus de 300 tonnes pendant la saison	32,50 —
Par camion de 750 kilogrammes au moins	37,50 —
En camions de 450 kilogrammes pour les marchands des marchés	32,50 —
25 kilogrammes : 1 fr. 125, soit	45 » —
1 seau d'environ 10 kilogrammes : 0 fr. 50, soit	50 » —
1 — 5 — 0 fr. 31, —	62,50 —

PRIX DE LA GLACE PRISE A L'USINE

	francs
Marchands (glace prise à l'usine, ou au dépôt de ville ou à la gare)	30 » par tonne
Particuliers (glace prise à l'usine, ou au dépôt de ville ou à la gare)	32,50 —
Wagons (livrés à la gare de Berlin)	30 » —

1. *Eis und Kälte-Industrie*, t. VII, n° 18, 20 mars 1906.

CHAPITRE VIII

LE FROID EN BRASSERIE¹

1. Schéma de la fabrication de la bière. — Pour faire bien comprendre l'importance de l'utilisation du froid en brasserie, nous allons indiquer rapidement quelles sont les principales opérations qui constituent la fabrication de la bière.

La bière est une boisson fermentée qu'on prépare essentiellement avec de l'eau, de l'orge et du houblon. L'orge fournit l'amidon qui se transforme en sucre et en dextrine ; le houblon parfume le moût et donne à la bière les qualités aromatiques qui la caractérisent.

On peut diviser la fabrication de la bière en trois phases principales :

- 1° *Le maltage* ;
- 2° *Le brassage ou préparation du moût* ;
- 3° *La fermentation alcoolique*.

Le *maltage* a pour but la préparation de l'orge germée. La germination du grain d'orge est accompagnée de la sécrétion d'une diastase, l'*amylase*, qui possède la propriété de saccharifier l'amidon en le transformant en un sucre fermentescible, le *maltose*, et en *dextrine*. Cette propriété saccharifiante est presque nulle dans le grain non germé. Donc, pour préparer un moût sucré au moyen de l'amidon de l'orge, on doit, au préalable, le soumettre à la germination afin de produire la diastase nécessaire à sa transformation.

Pour que la germination s'effectue d'une façon régulière, il faut :

- a) Une certaine humidité ;
- b) Une température d'environ 15° C. ;
- c) La présence de l'oxygène de l'air.

Pendant cette germination, les cellules qui entourent le germe sécrètent l'amylase qui transforme une partie de l'amidon en maltose et en dextrine ; le maltose est consommé par le germe pour sa nutrition et sa respiration.

On ne doit pas laisser la plantule consommer tout l'amidon du grain. Il est donc nécessaire d'arrêter la germination de l'orge en supprimant l'humidité qui lui est nécessaire. Cette dessiccation est désignée sous le nom de *touraillage* ; elle a, en outre, pour résultat de développer dans le malt un arôme spécial par la légère torrification qu'on lui fait subir. D'ailleurs, pour ne pas détruire la diastase, la dessiccation doit s'opérer au début lentement et à basse température, tant que le grain est encore mouillé ; quand il est suffisamment sec, on peut élever la température pour le torrifier au point voulu.

1. Pour rédiger ce chapitre, nous avons fait des emprunts aux ouvrages suivants :

P. PETIT, *Brasserie et Malterie* (Paris, Gauthier-Villars, 1904) ; — E. BOULLANGER, *Industries agricoles de fermentation. Brasserie* (Paris, J.-B. Baillièrre et fils) ; — STEFELD, *Compendium der gesamten Kälte-Industrie* ; — SIEBEL, *Compend of Mechanical Refrigeration* ; — A. PERRET, *la Réfrigération en brasserie (la Glace et les Industries du froid, 2^e année)*.

Après le touraillage, les radicules de l'orge germée se détachent facilement. L'opération du *dégermage* effectuée dans un tambour rotatif sépare les radicules du produit appelé *malt*.

Le malt ainsi préparé va maintenant servir à la fabrication du moût sucré. Cette opération comprend trois phases distinctes.

Dans la première on produit la saccharification de l'amidon du malt, de manière à obtenir un jus sucré et dextriné : c'est la phase du *brassage proprement dit*.

Le moût ainsi obtenu est alors porté à l'ébullition et houblonné : c'est la phase de la *cuisson et du houblonnage*.

Enfin le liquide parfumé est refroidi à la température convenable pour la fermentation alcoolique : c'est la *phase de refroidissement du moût*.

La cuisson du moût a pour but :

- a) De stériliser le moût;
- b) De l'amener à la concentration voulue;
- c) De coaguler les matières albuminoïdes précipitables par la chaleur;
- d) De dissoudre les principes aromatiques du houblon.

Le moût cuit et houblonné doit subir, en même temps que son *refroidissement*, une *oxydation* qui produit la clarification du moût et une *aération* qui le charge de l'oxygène nécessaire pour la bonne activité vitale de la levure. C'est dans cette phase du refroidissement du moût que le froid commence à jouer un rôle en brasserie. En effet il faut, *le plus rapidement possible*, refroidir le moût de la température de 100° C. à la température de +15° C., si le moût doit subir la *fermentation haute*; à une température de 5° à 7° C., si le moût doit subir la *fermentation basse*. Dans ce dernier cas, en particulier, il faut faire ruisseler le moût sur des surfaces métalliques portées à une basse température au moyen d'un fluide frigorigène.

Le moût amené ainsi à une température relativement basse est prêt à subir les différentes phases de la fermentation alcoolique.

La *fermentation* du moût de bière s'effectue par deux méthodes différentes : la *fermentation haute* et la *fermentation basse*.

La fermentation *haute* s'effectue à une température relativement élevée, qui varie de 12° C. à 20° C. La plus grande partie de la levure remonte à la surface du liquide pendant la fermentation; comme le ferment subit ainsi le contact de l'air, il se trouve dans les conditions les plus favorables pour sa multiplication et se développe, par suite, très abondamment. La fermentation est de courte durée et se termine au bout de deux à cinq jours. Cette fermentation est surtout employée en Belgique, en Angleterre et dans le Nord de la France.

La fermentation *basse* a lieu, au contraire, à une température beaucoup plus basse qui est, en général, de 5° C. à 7° C. La levure qui la produit tombe au fond des cuves, et la quantité de levure soulevée par les écumes reste faible. La multiplication du ferment est, par suite, moins considérable, et la durée de fermentation est plus grande que dans la méthode précédente : elle atteint ici de huit à quinze jours. Cette fermentation est surtout pratiquée en Allemagne et en Autriche.

Quel que soit le mode de fermentation adopté, on distingue toujours deux phases dans la fermentation de la bière : la fermentation *tumultueuse* et la fermentation *complémentaire*. La première est caractérisée par un violent dégagement gazeux provenant de la transformation active du sucre en alcool et acide carbonique. La fermentation *complémentaire*, qui succède à la précédente, est beaucoup moins active; elle dure plus longtemps, et, tandis que l'alcoolisation du moût s'achève, la bière acquiert son parfum et son bouquet.

Pendant la fermentation *tumultueuse* qui a lieu généralement en cuves¹, il y a un grand dégagement de chaleur qu'il faut combattre de manière à maintenir à la température du moût les valeurs indiquées plus haut. On y parvient en faisant circuler de l'eau froide ou un liquide frigorifique dans des serpentins plongés dans le moût en fermentation. Pour la fermentation basse, on doit de plus refroidir les caves dans lesquelles se trouvent les cuves de fermentation.

La fermentation *complémentaire* est très courte pour les bières de fermentation *haute*. Les bières qui ont subi en tonneau la fermentation tumultueuse sont souvent livrées au consommateur aussitôt que cette fermentation est terminée; elles achèvent leur fermentation ultérieure dans le tonneau, chez le client. Quand les bières sont fabriquées en cuves, on les soutire dans des foudres ou dans les tonneaux d'expédition. Ces bières sont alors conservées dans des caves de garde maintenues à une température de 8° C. à 12° C., pendant un temps variable, suivant la température de la cave. La fermentation complémentaire y dure parfois un mois quand la cave est à 8°; la bière présente alors une grande finesse et se conserve généralement très bien. Quand la cave est à 12° C. ou 15° C., la fermentation complémentaire dure à peine quinze jours. Il est préférable, *pour le parfum de la bière et sa conservation ultérieure, d'avoir des caves à basse température, par exemple à 10° C.*

La fermentation *complémentaire* est très importante pour les bières de fermentation *basse*. Elle a pour but de permettre l'achèvement de la fermentation, la clarification de la bière et le développement de son bouquet.

Elle a lieu dans des caves *très froides* appelées *caves de garde*, dont la température est maintenue de 0°,5 à 1°,5 au moyen d'un *agent frigorifique*. Cette basse température a pour but d'empêcher le développement des ferments de maladies pendant le long séjour de la bière en cave de garde. Elle permet, en outre, d'avoir une fermentation très longue qui favorise la production du bouquet et l'accumulation du gaz carbonique dans la bière. La durée du séjour en cave est variable avec la nature de la bière que l'on veut produire. Pour les bières de garde, la fermentation complémentaire dure au moins trois mois; elle n'est que de quatre à cinq semaines pour la bière ordinaire.

La bière livrée au consommateur doit être limpide et transparente; elle doit, en outre, renfermer assez d'acide carbonique pour être gazeuse et donner une mousse persistante. Après la fermentation, la bière doit donc être clarifiée et maintenue sous une pression d'acide carbonique qui la rend mousseuse. En particulier, pour la mise en bouteilles, la bière doit être saturée d'acide carbonique.

On rend facilement une telle bière bien claire en la refroidissant de —2° à —5°. Pour une bière refroidie à —4° C. ou —5° C., il ne se forme aucun dépôt dans les bouteilles; le liquide est clair et mousseux pendant six semaines au moins. Si on conserve la bière un peu plus longtemps, il apparaît dans le liquide un très léger nuage qui se condense en un faible dépôt au fond de la bouteille.

2. Les emplois du froid en brasserie. — D'après ce que nous venons de dire, on voit que les emplois du froid en brasserie sont les suivants :

- 1° *Le refroidissement du moût;*
- 2° *Le refroidissement des liquides en fermentation;*
- 3° *Le refroidissement des caves où se fait la fermentation tumultueuse et celui des caves de garde où se fait la fermentation complémentaire;*
- 4° *Le refroidissement de la bière avant sa mise en bouteilles;*
- 5° *La conservation du houblon.*

1. Pour les bières de fermentation haute, cette fermentation a lieu parfois dans des tonneaux.

Nous allons maintenant étudier en détail chacune de ces applications du froid dans une brasserie.

3. Estimation grossière du nombre de frigories à produire pour les diverses applications du froid dans une brasserie. — Nous allons d'abord indiquer, d'après Siebel¹, quel est en *gros* le nombre des frigories que l'on doit produire pour les diverses applications du froid dans une brasserie. Cette estimation grossière peut être utile dans un grand nombre de cas pour se rendre compte rapidement de la puissance de la machine frigorifique nécessaire.

Si N est le nombre des barils de 120 litres qui sont produits journalièrement par la brasserie, le nombre $\frac{N}{4}$ représente le nombre de tonnes de puissance frigorifique des États-Unis que l'on doit produire pendant vingt-quatre heures pour les diverses utilisations du froid dans la brasserie.

Une tonne de puissance frigorifique des États-Unis correspondant à 3.000 frigories-heure, on peut énoncer la règle précédente sous la forme suivante :

La puissance frigorifique en frigories-heure d'une machine frigorifique pour brasserie est donnée par le nombre

$$\frac{N}{4} \times 3000 = N \times 750,$$

N étant le nombre de barils de 120 litres que la brasserie produit par jour.

Cette règle ne constitue d'ailleurs qu'une estimation grossière. Si on veut avoir une estimation plus précise, il faut étudier chacune des utilisations du froid.

4. Refroidissement du moût. — Le moût stérile sortant de la chaudière doit subir, d'une part, une oxydation et une oxygénation (dissolution d'oxygène), et, d'autre part, un refroidissement jusqu'à la température de mise en levain.

Pour cela le moût filtré grossièrement dans le panier à houblon qui retient les cônes et débris de houblon ainsi que les matières azotées coagulées, est refoulé sur un bac ouvert en tôle (parfois galvanisée) dont la surface est telle que l'épaisseur du moût n'y soit que de 8 à 15 centimètres au plus. Le moût se décante et se refroidit par évaporation.

Au printemps et en été, on le laisse reposer pendant vingt à trente minutes seulement ; en hiver, on peut le laisser séjourner plusieurs heures ou même une nuit sur le bac. Il est en effet important d'éviter pendant cette opération les chances d'infection du moût. Si, en effet, le moût est stérile dans le bac pour les températures supérieures à 65° C., il n'en est plus de même lorsque la température s'abaisse. Non seulement les ferments qui tombent alors dans le moût, exposé en larges surfaces au contact de l'air, ne sont plus détruits, mais ils rencontrent un milieu et des températures très favorables à un rapide développement. C'est pourquoi il convient de rendre très court, en été, le séjour du moût sur le bac afin que ce liquide ne puisse pas séjourner plusieurs heures aux températures de 25° à 30° C., qui sont celles pour lesquelles les levures sauvages et les bactéries de toutes espèces se développent avec une extrême vitesse. On réduit d'ailleurs les chances d'infection par l'air au bac ouvert en plaçant ce bac dans un hangar ou grenier dont les parois latérales sont munies de persiennes. On a soin de maintenir fermées celles qui se trouvent dans le sens des vents régnants, afin d'éviter les poussières entraînées par le courant d'air ; on ferme également les

1. SIEBEL, *Compend of Mechanical Refrigeration*, p. 197.

persiennes qui se trouvent dans la direction de foyers possibles d'infection, fumier, tas de drèches, arbres fruitiers, rince-fût, etc. Enfin la ventilation doit être assez forte pour empêcher autant que possible les condensations sur les traverses de la toiture. Il est également à recommander de vernir, puis de nettoyer chaque jour les traverses ou poutres, de façon à éliminer les poussières que l'air aurait pu y apporter, et qui seraient ramenées dans le moût avec les gouttelettes d'eau condensée.

Lorsque le moût est descendu dans les bacs à une température de 55° à 60° C., on active *rapidement* son refroidissement dans les *réfrigérants*.

Les réfrigérants employés sont de deux sortes :

Les réfrigérants *ouverts* ou *Baudelots* ;

Les réfrigérants *fermés*, aujourd'hui à peu près abandonnés.

Dans le chapitre IV de cet ouvrage nous avons décrit les Baudelots ; les figures 143 (p. 189) et 144 (p. 189) représentent des Baudelots dits à *deux eaux*, la partie supérieure correspondant à l'arrivée du moût recevant de l'eau fraîche et la partie inférieure recevant du liquide incongelable ou le fluide qui circule dans la machine frigorifique.

Les Baudelots peuvent être de dimensions colossales : par exemple, à la brasserie Schiltz de Milwaukee, il y en a deux mesurant chacun 5 mètres de haut et 7^m,75 de large. Chacun d'eux comprend 70 tubes horizontaux, munis d'appendices dentelés pour faciliter l'écoulement du moût et multiplier son contact avec les surfaces froides. Les 46 tubes supérieurs sont en cuivre et servent à la circulation d'eau froide ; les 24 tubes inférieurs sont en acier et refroidis par détente directe de l'ammoniaque d'une machine à glace. Des galeries permettent d'atteindre et de visiter les diverses parties du réfrigérant.

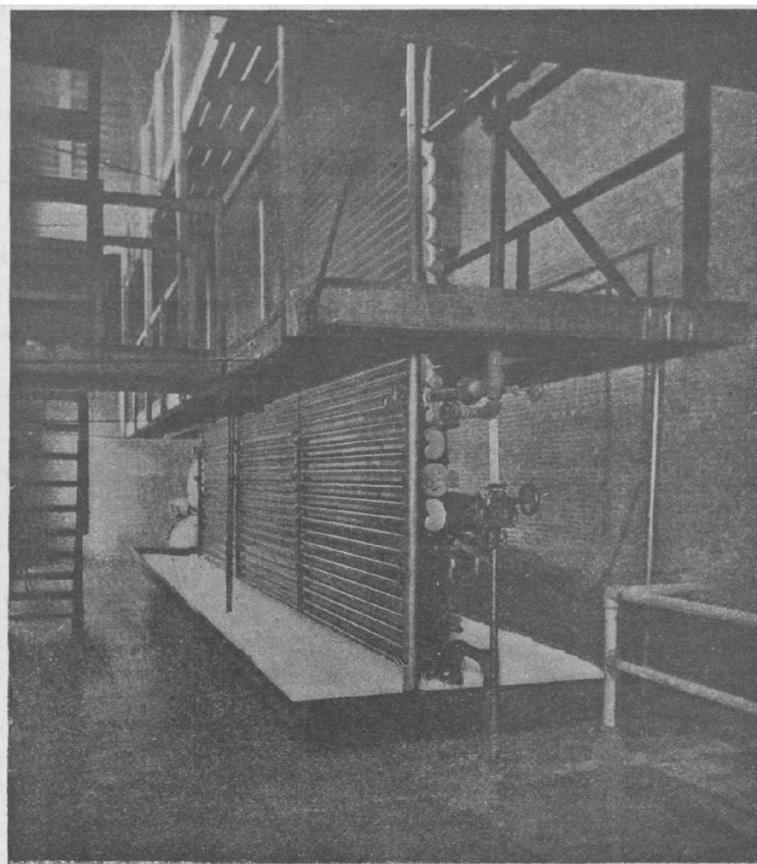


FIG. 339. — Baudelot de grandes dimensions construit par la firme *De La Vergne*.

L'air qui arrive à la partie supérieure est purifié et distribué par un tuyau qui enveloppe le réfrigérant ; un ventilateur produit la circulation de cet air. La figure 339 représente un Baudelot de grandes dimensions construit par la firme *De La Vergne*.

Il est en effet nécessaire de ne faire circuler à la surface du moût coulant en lames minces sur le réfrigérant que de l'air stérilisé ; cette précaution est surtout importante pour la fermentation haute dans laquelle le moût n'est presque jamais refroidi au-dessous de 15° C.

Aussi convient-il de placer le réfrigérant dans un local spécial dont le sol et les murs soient imperméables. Le sol est cimenté ou asphalté; les murs sont munis d'un revêtement en plaques de faïence ou d'un enduit émail. Une large ouverture sert à l'évacuation des vapeurs; elle ne doit pas se trouver au-dessus du réfrigérant ni du bassin collecteur de celui-ci, afin d'éviter le mélange avec le moût des condensations éventuelles. On envoie alors dans le local du réfrigérant, maintenu toujours fermé, une *forte ventilation* d'air filtré sur du coton par exemple. D'après M. P. Petit¹, la quantité d'air à envoyer est *au moins* de 10 mètres cubes par hectolitre de moût, c'est-à-dire que, si le réfrigérant refroidit 50 hectolitres à l'heure, le ventilateur devra faire passer, dans le même temps, au moins 500 mètres cubes d'air filtré dans le local.

5. Degré Balling; extrait pour cent d'un moût; comparaison des indications d'un saccharomètre Balling avec d'autres saccharomètres; nombre des frigories à produire pour le refroidissement du moût. — Les quantités de chaleur qu'il faut absorber pour refroidir le moût sont nécessairement proportionnelles, d'une part, au poids du moût et à la différence de température que l'on veut obtenir, d'autre part à sa chaleur spécifique.

Le tableau XLVIII donne le poids spécifique et la chaleur spécifique d'un moût dont la composition est définie au moyen du *saccharomètre Balling*. Cet instrument est un densimètre qui donne les indications suivantes : lorsqu'il affleure dans du moût, au degré 14 à 15°,6 par exemple, cela veut dire que 100 grammes du moût contiennent à peu près 14 grammes de matières solides dissoutes, ou que l'*extrait* du moût est 14° Balling. Il y a d'ailleurs différents *saccharomètres*; le tableau XLIX indique, d'après Siebel, la correspondance qui existe entre les indications de ces divers instruments.

TABLEAU XLVIII

POIDS SPÉCIFIQUES A 15°,6 ET CHALEURS SPÉCIFIQUES DU MOÛT DE BIÈRE

EXTRAIT DU MOÛT EN DEGRÉS BALLING	POIDS SPÉCIFIQUE	CHALEUR SPÉCIFIQUE	OBSERVATIONS
8.	1,0320	0,944	Les poids spécifiques sont donnés pour la température de 15°.6. Si la température du moût est supérieure de <i>n</i> degrés à 15°.6, il faut retrancher du nombre précédent $n \times 0,00027$; si la température du moût est inférieure de <i>n</i> degrés à 15°.6, il faut ajouter au nombre précédent $n \times 0,00027$. Si, par exemple, la température d'un moût dont l'extrait est 13 est de 5°.6, sa densité sera $1,0590 + 10 \times 0,00027 = 1,0557$
9.	1,0363	0,937	
10.	1,0404	0,930	
11.	1,0446	0,923	
12.	1,0488	0,916	
13.	1,0530	0,909	
14.	1,0572	0,902	
15.	1,0614	0,895	
16.	1,0657	0,888	
17.	1,0700	0,881	
18.	1,0744	0,874	
19.	1,0788	0,867	
20.	1,0832	0,861	

Soient : B, le nombre de barils de 120 litres que l'on doit refroidir ;

p, le poids du litre de moût à 15°,6 ;

c, sa chaleur spécifique ;

t, la température du moût après qu'il a passé sur la partie du Baudelot refroidi par de l'eau fraîche.

1. P. PETIT, *Brasserie et malterie*, p. 254.

TABEAU XLIX

COMPARAISON DES INDICATIONS DES DIVERS SACCHAROMÈTRES

DEGRÉS KAISER, BALLING ou extrait pour cent	SACCHAROMÈTRE de LONG	SACCHAROMÈTRE de GENDAR	POIDS SPÉCIFIQUE à 15° C.	POIDS EN KILOGRAMMES du baril de 120 litres	DEGRÉS KAISER, BALLING ou extrait pour cent	SACCHAROMÈTRE de LONG	SACCHAROMÈTRE de GENDAR	POIDS SPÉCIFIQUE à 15° C.	POIDS EN KILOGRAMMES du baril de 120 litres
0,00	0,00	0,00	1,000	120,00	12,00	17,45	14,64	1,0488	125,856
0,25	0,36	0,30	1,001	120,12	12,25	17,83	14,96	1,0498	125,976
0,50	0,72	0,60	1,002	120,24	12,50	18,21	15,28	1,0509	126,108
0,75	1,08	0,90	1,003	120,36	12,75	18,60	15,60	1,0520	126,240
1,00	1,44	1,20	1,004	120,48	13,00	18,99	15,92	1,0530	126,360
1,25	1,80	1,50	1,005	120,60	13,25	19,38	16,24	1,0540	126,480
1,50	2,16	1,80	1,006	120,72	13,50	19,77	16,55	1,0551	126,612
1,75	2,52	2,10	1,007	120,84	13,75	20,16	16,86	1,0562	126,744
2,00	2,88	2,40	1,008	120,96	14,00	20,55	17,17	1,0572	126,864
2,25	3,24	2,70	1,009	121,08	14,25	20,94	17,48	1,0582	126,984
2,50	3,60	3,00	1,010	121,20	14,50	21,33	17,80	1,0593	127,116
2,75	3,96	3,30	1,011	121,32	14,75	21,72	18,12	1,0604	127,248
3,00	4,32	3,60	1,012	121,44	15,00	22,11	18,43	1,0614	127,368
3,25	4,68	3,90	1,013	121,56	15,25	22,50	18,75	1,0625	127,500
3,50	5,04	4,20	1,014	121,68	15,50	22,89	19,07	1,0636	127,632
3,75	5,40	4,50	1,015	121,80	15,75	23,27	19,39	1,0646	127,752
4,00	5,76	4,80	1,016	121,92	16,00	23,66	19,71	1,0657	127,884
4,25	6,12	5,10	1,017	122,04	16,25	24,05	20,03	1,0668	128,016
4,50	6,48	5,40	1,018	122,16	16,50	24,44	20,35	1,0679	128,148
4,75	6,84	5,70	1,019	122,28	16,75	24,83	20,67	1,0690	128,280
5,00	7,20	6,00	1,020	122,40	17,00	25,22	21,00	1,0700	128,400
5,25	7,56	6,30	1,021	122,52	17,25	25,61	21,33	1,0711	128,532
5,50	7,92	6,60	1,022	122,64	17,50	26,00	21,66	1,0722	128,664
5,75	8,28	6,90	1,023	122,76	17,75	26,39	21,99	1,0733	128,796
6,00	8,64	7,20	1,024	122,88	18,00	26,78	22,32	1,0744	128,928
6,25	9,00	7,50	1,025	123,00	18,25	27,17	22,65	1,0755	129,060
6,50	9,36	7,80	1,026	123,12	18,50	27,56	22,98	1,0766	129,192
6,75	9,72	8,10	1,027	123,24	18,75	27,96	23,31	1,0777	129,324
7,00	10,08	8,40	1,028	123,36	19,00	28,36	23,64	1,0788	129,456
7,25	10,44	8,70	1,029	123,48	19,25	28,76	23,97	1,0799	129,588
7,50	10,80	9,00	1,030	123,60	19,50	29,16	24,30	1,0810	129,720
7,75	11,16	9,30	1,031	123,72	19,75	29,56	24,63	1,0821	129,852
8,00	11,52	9,60	1,032	123,84	20,00	29,95	24,96	1,0832	129,984
8,25	11,96	9,96	1,0332	123,984	20,25	30,34	25,29	1,0843	130,116
8,50	12,32	10,26	1,0342	124,104	20,50	30,73	25,62	1,0854	130,248
8,75	12,68	10,57	1,0352	124,224	20,75	31,12	25,95	1,0865	130,380
9,00	13,04	10,88	1,0363	124,356	21,00	31,50	26,27	1,0876	130,512
9,25	13,40	11,19	1,0374	124,488	21,25	31,87	26,60	1,0887	130,644
9,50	13,76	11,50	1,0384	124,608	21,50	32,25	26,93	1,0898	130,776
9,75	14,12	11,81	1,0394	124,728	21,75	32,64	27,26	1,0909	130,908
10,00	14,48	12,11	1,0404	124,848	22,00	33,04	27,59	1,0920	131,040
10,25	14,84	12,42	1,0415	124,980	22,25	33,44	27,92	1,0931	131,172
10,50	15,21	12,73	1,0425	125,100	22,50	33,84	28,25	1,0942	131,304
10,75	15,58	13,06	1,0436	125,232	22,75	34,23	28,58	1,0953	131,436
11,00	15,95	13,37	1,0446	125,352	23,00	34,63	28,91	1,0964	131,568
11,25	16,32	13,68	1,0457	125,484	23,25	35,03	29,24	1,0975	131,700
11,50	16,69	14,00	1,0467	125,604	23,50	35,43	29,57	1,0986	131,832
11,75	17,07	14,32	1,0478	125,736	23,75	35,83	29,90	1,0997	131,964
					24,00	36,23	30,23	1,0008	132,096

Le nombre de frigories que la machine frigorifique doit produire pour refroidir le moût de la température t à la température 4° (cas de la fermentation basse) est donné par la formule

$$(1) \quad Q = B \times 120 \times p \times c (t - 4).$$

Si on remarque qu'après avoir passé sur la partie du Baudelot refroidie par de l'eau fraîche, le moût est à une température de 20° environ¹, que l'extrait de moût est de 13 à 15° Balling, qu'il a par suite un poids spécifique moyen égal à 1,05, et qu'enfin sa chaleur spécifique moyenne est d'environ 0,9, on voit que la formule précédente devient en y introduisant ces valeurs de p , de c et de t ,

$$(2) \quad Q' = B \times 1814,5,$$

soit environ 1.510 frigories par hectolitre de moût.

Supposons, comme il arrive dans les grandes brasseries, que le Baudelot soit refroidi au moyen d'une machine frigorifique spéciale. La puissance frigorifique de cette machine devra être, en *tonnes frigorifiques des États-Unis*,

$$(3) \quad Q_1 = \frac{Q}{24 \times 3000} = B \times \frac{1814,5}{24 \times 3000} = \frac{B}{40} \text{ environ.}$$

La machine spéciale doit donc produire *une puissance frigorifique d'une tonne des États-Unis pendant vingt-quatre heures pour refroidir dans le même temps 40 barils de moût* : on peut dire encore qu'il faut une machine de 3.000 frigories-heure pour refroidir 40 barils de moût en vingt-quatre heures. Mais le moût doit être refroidi non en vingt-quatre heures, mais en un nombre d'heures égal à h . Dans ce cas, il faut une machine de $3.000 \times \frac{24}{h}$ frigories-heure pour refroidir 40 barils de moût pendant ce temps h . Pour refroidir B barils de moût pendant un nombre d'heures égal à h , il faudra une machine dont la puissance frigorifique sera de

$$3000 \times \frac{24}{h} \times \frac{B}{40} \text{ frigories-heure,}$$

ou de

$$\frac{24}{h} \times \frac{B}{40} \text{ tonnes frigorifiques des États-Unis (pendant vingt-quatre heures).}$$

Les nombres précédents sont relatifs à la *fermentation basse*.

Dans le cas de la *fermentation haute*, le moût est refroidi seulement jusqu'à 13° C. environ. Dans ce cas une machine d'une puissance frigorifique égale à une tonne frigorifique des États-Unis (3.000 frigories-heure) refroidira environ en vingt-quatre heures 90 barils de moût de 120 litres chacun.

Si le nombre des barils refroidis en h heures est égal à B , la puissance frigorifique de la machine devra être

$$3000 \times \frac{24}{h} \times \frac{B}{90} \text{ frigories-heure,}$$

ou

$$\frac{24}{h} \times \frac{B}{90} \text{ tonnes frigorifiques des États-Unis (pendant vingt-quatre heures).}$$

6. Dimensions de la partie du Baudelot refroidie par la machine frigorifique. — Cas des machines à AzII³. — D'après Siebel, les dimensions de la partie du

1. Dans un grand nombre d'ouvrages on admet que, après avoir passé sur la partie du Baudelot refroidie par de l'eau de puits, le moût est à une température de 15° C. Dans ce cas on a :

$$Q' = B \times 1247,4 \text{ [environ 1.040 frigories par hectolitre de moût];}$$

$$Q' = B \times \frac{1247,4}{24 \times 3000} = \frac{B}{58} \text{ environ.}$$

La machine spéciale doit produire une puissance frigorifique d'une tonne des États-Unis pendant vingt-quatre heures pour refroidir dans le même temps 58 barils de moût.

Baudelot refroidie par *détente directe de l'ammoniaque* sont les suivantes, quand on veut effectuer en *trois ou quatre heures le refroidissement du moût depuis la température de 20° C.* (température du moût après un refroidissement par l'eau ordinaire) *jusqu'à la température de 4° C.* (cas de la fermentation basse).

TABLEAU L

DIMENSIONS DE LA PARTIE DU BAUDELOT REFOUDDIE PAR LA DÉTENTE DE AZH³ LIQUIDE

REFROIDISSEMENT DH	NOMBRE ET DIMENSIONS DES TUYAUX DANS LESQUELS SE DÉTEND L'AZH ³ LIQUIDE
50 barils de 120 litres	10 tuyaux de 5 cent. de diamètre intérieur, chacun d'eux a une longueur de 4 ^m ,90.
100 — —	14 tuyaux de 5 cent. de diamètre intérieur, chacun d'eux a une longueur de 4 ^m ,90.
180 — —	15 tuyaux de 5 cent. de diamètre intérieur, chacun d'eux a une longueur de 6 ^m ,10.
360 — —	20 tuyaux de 5 cent. de diamètre intérieur, chacun d'eux a une longueur de 6 ^m ,10.

Quand on emploie, au lieu de la détente directe, la *circulation de saumure*, il faut, pour produire le même effet, *augmenter de 20 0/0 la surface extérieure des tuyaux*. On peut encore employer la même surface de réfrigération qu'avec la détente directe, mais diminuer de 20 0/0 le nombre des barils que l'on peut refroidir : ainsi les dimensions données pour un réfrigérant de 50 barils en trois ou quatre heures conviennent pour un réfrigérant de 40 barils quand on emploie la circulation de saumure.

Dans le cas de la réfrigération par circulation de saumure, les tuyaux du réfrigérant sont généralement en cuivre ; ils sont en fer ou en acier dans la réfrigération par détente directe ; dans ce dernier cas ces tuyaux sont en acier doublé de cuivre ou en acier poli.

7. Cas où dans la partie inférieure du Baudelot circule de l'eau glacée.

— Dans un grand nombre de brasseries, au lieu de refroidir la partie inférieure du Baudelot avec de la saumure ou du fluide frigorifique, on la refroidit au moyen d'eau douce à basse température. D'après l'équation (2) il faut absorber environ 1.500 calories pour refroidir 1 hectolitre de moût de + 20° C. à + 4° C. Si l'eau de réfrigération entre à la température de + 1° C. et sort à la température de + 7° C., il faut 250 litres d'eau pour refroidir 1 hectolitre de moût de + 20° C. à 4° C.¹. Si B barils de moût (de 1^m,2 chacun) doivent être refroidis de + 20° à + 4° C. en h heures, il faut faire circuler *par heure* dans la partie inférieure du Baudelot un nombre d'hectolitres d'eau égal à

$$\frac{B \times 1,2 \times 2,5}{h} \text{ hectolitres.}$$

Pour refroidir B barils de moût de + 20° à + 4°, il faut d'ailleurs absorber par heure une quantité de chaleur égale à

$$q = \frac{B \times 1,2 \times 1500}{h} \text{ grandes calories.}$$

Si la surface extérieure du baudelot est en cuivre étamé extérieurement et si on prend

1. Si l'hectolitre de moût doit être refroidi de + 15° C. à + 4° C., il faut seulement 173^m,5 d'eau.

375 pour coefficient de transmission de la chaleur¹; si, de plus, on admet 8° comme différence

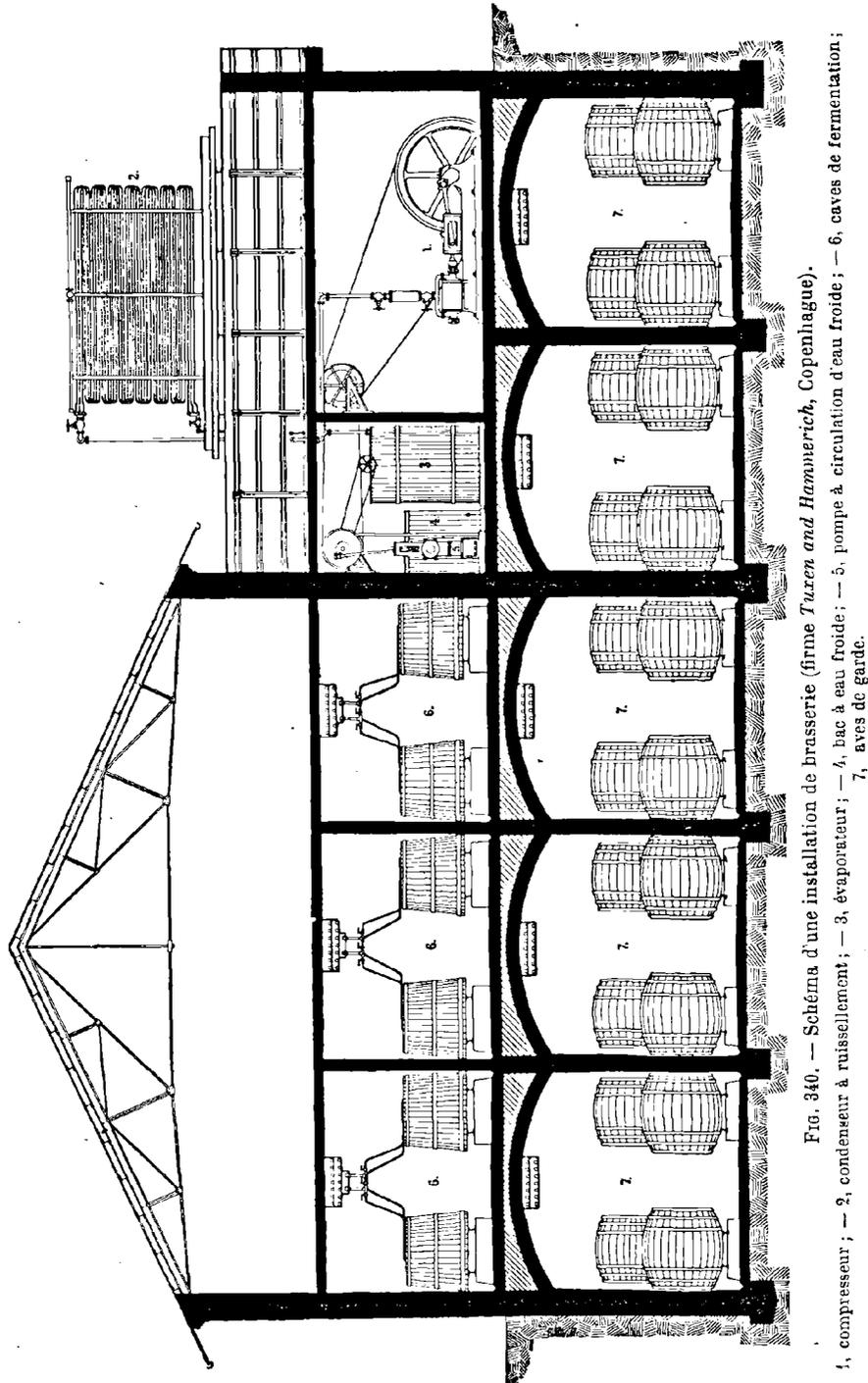


Fig. 340. — Schéma d'une installation de brasserie (firme *Turen and Hammerich*, Copenhague).

1, compresseur ; — 2, condenseur à ruissellement ; — 3, évaporateur ; — 4, bac à eau froide ; — 5, pompe à circulation d'eau froide ; — 6, caves de fermentation ; — 7, ayes de garde.

de température moyenne entre l'eau de réfrigération et le moût, on voit que la surface du Baudelot est donnée en mètres carrés par $\frac{q}{3000}$.

8. Refroidissement des liquides en fermentation. — La fermentation alcoo-

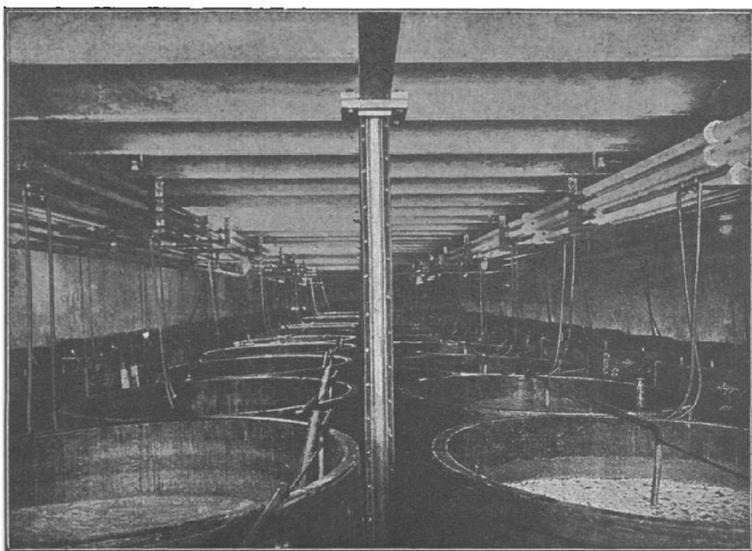
1. Ce nombre est adopté par Stetefeld, *Compendium der gesamten Kälte-Industrie*, p. 343.

lique dégage une grande quantité de chaleur qui élèverait trop la température du moût. D'après M. P. Petit¹, cette élévation de température peut, en admettant qu'il n'y ait aucun refroidissement, atteindre 1°,2 pour chaque kilogramme d'extrait fermenté; il en résulterait qu'un moût entonné à 6° et perdant 5 kilogrammes d'extrait par hectolitre à la fermentation principale, s'échaufferait jusqu'à 12° C.

On règle la température au moyen de serpentins dans lesquels on fait circuler de l'eau glacée à la température de 1° C. environ. Ces appareils doivent être étamés à l'étain, la bière dissolvant des traces de cuivre, de fer ou de zinc capables de tuer la levure ou de produire des troubles. Le vernissage de ces serpentins est une protection insuffisante et très temporaire.

On a proposé de faire circuler dans les serpentins plongés dans les cuves non de l'eau glacée, mais de la saumure. L'objection principale faite à ce système réside dans les fuites que pourraient présenter les joints ou les tuyaux; malgré toutes les précautions prises, on est toujours à la merci d'un pareil accident dont les suites sont très graves tandis qu'avec l'eau elles sont insignifiantes.

La figure 140 représente un de ces appareils que l'on plonge dans la cuve à fermentation et que l'on désigne sous le nom de *drapeaux*; la figure 141 montre le mode de circulation d'eau glacée dans les serpentins plongés dans les cuves de fermentation; la figure 340 représente une vue d'ensemble de cette circulation d'eau froide (installation de la firme *Tuxen and Hammerich* à Copenhague). Les figures 341 et 342 montrent des caves de fermentation avec refroidissement du moût dans les cuves par un courant d'eau glacée.



Cliché Lindé.

FIG. 341. — Refroidissement des cuves de fermentation.

Dans la *fermentation basse* on modère l'échauffement pour les *bières pâles* entonnées à 5° ou 6° C., de façon que la température maxima atteinte le quatrième ou le cinquième jour soit d'environ 9° C., exceptionnellement 9°,5 ou 10°. On maintient cette température douze à vingt-quatre heures, puis on refroidit d'abord lentement, 0°,5 par vingt-quatre heures; on accélère à la fin de façon à obtenir 4° à 5°, rarement 3°. La durée de la fermentation est, en moyenne, de neuf à douze jours. Pour certaines fabrications les températures maxima sont abaissées à 6° ou 7°, et la durée de fermentation est de quatorze à quinze jours.

Pour les *bières brunes*, on laisse généralement la température s'élever jusqu'à 10° C., l'entonnement ayant lieu vers 5° ou 6°: on refroidit alors brusquement, la durée de la fermentation étant réduite à sept jours. Sur la fin on fait parfois un refroidissement supplémentaire jusqu'à 2°.

Dans la *fermentation haute en cuves*, on obtient les bières les plus fines avec une mise

1. P. PETIT, *Brasserie et mallerie*, p. 268.

en levain à 11°-11°,5 (maximum 13°,5 à 14°), et l'on commence à refroidir bien avant que le maximum soit atteint, de façon à ne pas opérer une réfrigération brusque, qui rendrait la montée de la levure lente et paresseuse. Lorsqu'il ne se forme plus de levure, on refroidit à 10° environ.

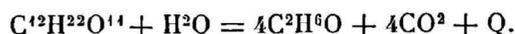


Cliché Borsig.

FIG. 342. — Refroidissement des cuves de fermentation

(Installation de la brasserie Gabriel et Richter, faite par la firme A. Borsig, de Berlin-Tegel).

9. Quantité de chaleur dégagée par les liquides en fermentation. — La quantité de chaleur dégagée dans la fermentation du moût de bière peut être, comme première approximation, considérée comme égale à la chaleur dégagée par la fermentation du maltose. Le dédoublement du maltose en alcool ordinaire et acide carbonique se fait d'après la formule chimique



La quantité Q de chaleur dégagée par la fermentation de 1 molécule de maltose est, d'après les auteurs suivants,

	CHALEUR DÉGAGÉE par la fermentation d'une molécule de maltose
Berthelot	65.000 calories
Rechenberg.	66.000 —
Bouffard.	47.000 —
Siebel	66.000 —
Brown.	43.000 —

Si on ramène ces nombres au kilogramme de maltose, on voit qu'ils deviennent :

	CHALEUR DÉGAGÉE par la fermentation de 1 kilogramme de maltose
Berthelot	181 grandes calories
Rechenberg.	183,3 —
Bouffard.	130,5 —
Siebel	183,3 —
Brown.	119,5 —

On voit que ces nombres sont bien différents les uns des autres. D'après quelques auteurs, les résultats de Brown paraissent être les plus exacts. Nous adopterons 150 grandes calories comme valeur de la quantité de chaleur dégagée par la fermentation de 1 kilogramme de maltose.

Le calcul de la quantité de chaleur dégagée par la fermentation de B barils de moût (120 litres chacun) peut dès lors se faire de la manière suivante :

Soit b le degré Balling du moût avant la fermentation, et b_1 le degré Balling de la bière débarrassée de son acide carbonique par agitation. Le poids en kilogrammes des matières solides dissoutes dans le liquide avant la fermentation est donné par l'expression

$$\frac{B \times 120 \times d \times b}{100},$$

en désignant par d la densité du moût correspondant au degré Balling b .

Le poids en kilogrammes des matières dissoutes dans la bière privée de son acide carbonique est, en désignant par d_1 la densité de la bière correspondant au degré Balling b_1 ,

$$\frac{B \times 120 \times d_1 \times b_1}{100}$$

Le poids en kilogrammes des matières solides dissoutes qui a disparu par la fermentation est donc

$$\frac{B \times 120 (bd - b_1 d_1)}{100}$$

Si on admet que ces matières solides sont constituées uniquement par du maltose, on voit que la quantité totale de chaleur dégagée par la fermentation a pour expression

$$(4) \quad Q = \frac{B \times 120 \times 150 (bd - b_1 d_1)}{100} \text{ grandes calories.}$$

Si la fermentation dure n jours, la quantité moyenne de chaleur dégagée chaque jour par la fermentation est égale à $\frac{Q}{n}$,

$$(5) \quad Q_1 = \frac{Q}{n} = \frac{B \times 120 \times 150 (bd - b_1 d_1)}{100 \times n} \text{ grandes calories.}$$

Q_1 représente aussi la quantité moyenne de chaleur qu'il faut absorber par jour pendant la fermentation ou le nombre moyen de frigories qu'il faut produire par jour.

La quantité moyenne de chaleur qu'il faut absorber *par jour et par hectolitre* de moût en fermentation a pour expression

$$Q_2 = \frac{Q_1}{n \times B \times 1,2} = \frac{150 (bd - b_1 d_1)}{n} \text{ grandes calories.}$$

Si on admet que l'on a

$$\begin{aligned} b &= 14, & b_1 &= 4, \\ d &= 1,057, & d_1 &= 1,016, \end{aligned}$$

on trouve

$$(7) \quad Q_3 = \frac{1610}{n} \text{ grandes calories.}$$

Si on prend $n = 10$ pour durée moyenne de la fermentation, on voit que, *par hectolitre et par jour, il faut absorber en moyenne 160 grandes calories.*

Si on adopte ce nombre, on voit que la quantité moyenne de chaleur que l'on doit absorber par jour pour compenser le dégagement de chaleur produit par la fermentation de B barils (de 1^m,2 chacun) a pour expression

$$(8) \quad Q_4 = 160 \times B \times 1,2 = B \times 192 \text{ grandes calories.}$$

Si on exprime cette quantité de chaleur en tonnes de puissance frigorifique des États-Unis, on trouve

$$(5) \quad Q_5 = B \frac{192}{24 \times 3000} = \frac{B}{375} \text{ tonnes frigorifiques des États-Unis.}$$

Si on veut absorber la chaleur produite dans la fermentation de 375 barils de moût (de

120 litres chacun), il faut produire par jour une puissance frigorifique de 1 tonne des États Unis ou 3.000 frigories-heure.

Si nous appelons B_1 la production moyenne journalière de la brasserie et si nous adoptons dix jours pour durée moyenne de la fermentation basse, nous avons

$$B_1 = \frac{B}{40},$$

et, par suite,

$$(6) \quad Q_6 = \frac{10B_1}{37,5} = \frac{B_1}{3,75} \text{ tonnes frigorifiques des États-Unis.}$$

Pour chaque série de 35 à 40 barils de bière (de 120 litres chacun) de la production journalière d'une brasserie, il faut une puissance frigorifique d'une tonne des États-Unis (pendant vingt-quatre heures) ou 3.000 frigories-heure.

Voici, d'autre part, les dimensions que l'on peut adopter pour les serpentins réfrigérants placés dans les cuves de fermentation et parcourus par de l'eau à une température voisine de 0° C. (*fig.* 141, p. 188). Le serpentín est un tuyau en fer de 2^m,5 à 5 centimètres de diamètre intérieur; il est enroulé en une ou plusieurs spires dont le diamètre est environ les 2/3 du diamètre de la cuve de fermentation dans laquelle il est placé. Le nombre des spires du serpentín doit être tel qu'il y ait environ de 1^m2,12 à 1^m2,50 de surface extérieure de tuyaux pour 100 barils (de 120 litres) de moût; il faut donc que les tuyaux aient une surface refroidissante extérieure de 93 à 125 centimètres carrés par hectolitre de moût en fermentation. Ces nombres correspondent à une longueur de 27^m,50 à 38^m,50 de tuyaux lisses de 5 centimètres de diamètre intérieur pour 100 barils de moût ou à une longueur de 23 à 32 centimètres de tuyaux lisses de 5 centimètres de diamètre intérieur par hectolitre de moût en fermentation.

La quantité d'eau que l'on doit faire circuler dans ces serpentins peut se calculer de la manière suivante. Supposons que l'eau entre à la température de + 1° et sorte à la température de + 5°; la quantité de chaleur à absorber par hectolitre de moût et par jour est égale à 160 calories. Le nombre de litres d'eau qui s'échauffent de 4° pour absorber cette quantité de chaleur est

$$\frac{160}{4} = 40 \text{ litres,}$$

ou par heure $\frac{40}{24} = 1,6$ ou, en nombres ronds, 2 litres.

Il faut donc faire circuler, par heure et par hectolitre de moût, 2 litres d'eau à + 1° C. dans les serpentins plongés dans les cuves de fermentation.

10. Caves de fermentation (*Gärkeller*, en allemand; *Fermenting room*, en anglais). — **Nécessité de la ventilation.** — **Réfrigération par un courant d'air froid et sec.** — Dans la fermentation basse les caves de fermentation doivent être maintenues à une température voisine de 5° C. Elles doivent donc être bien isolées et convenablement refroidies.

La nécessité d'une *bonne ventilation* ne peut être mise en doute¹. Le brasseur doit porter toute son attention sur la circulation et le renouvellement de l'air dans les caves. En effet *l'état de pureté de l'air a une influence capitale sur la qualité de la bière*. C'est pourquoi, dans beaucoup

1. C. ROBITSCHER, *Ventilation et isolement des caves de Brasserie* (Conférence faite à l'Assemblée générale de l'Association des anciens élèves de l'Académie des États-Unis à New-York, le 18 février 1905) (*Eis und Kälte-Industrie*, VI, n° 24, 20 juin 1905; — *Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie*, 12^e année, fasc. 8, août 1905, p. 155).

de brasseries, la bière d'hiver, faite au moment où les fenêtres de la cave de fermentation sont ouvertes, possède un bien meilleur goût que la bière d'été fabriquée quand cette cave est bien close. On peut fabriquer de la mauvaise bière dans des caves bien ventilées. Mais, dans une cave mal ventilée, le meilleur brasseur ne peut pas fabriquer de bonne bière. La bière contracte en effet très facilement les odeurs des substances étrangères; quand elle reste un certain temps en contact avec de l'air renfermé et présentant une odeur de moisi, elle prend un goût spécial qui est désigné sous le nom de *goût de cave*. Cet inconvénient se produit souvent dans les vieilles caves où le feutre, la sciure de bois, etc., sont employés comme isolants et sont tombés en putréfaction sous l'influence de l'air humide; il se produit alors des gaz qui communiquent une mauvaise odeur à l'air et à la bière.

Mais, même quand on n'emploie pas comme isolants des matières susceptibles de fermenter et de dégager des gaz, on peut observer l'existence de ce *goût de cave*, lorsque, par suite d'une ventilation insuffisante, les gaz qui se dégagent durant la fermentation et l'humidité s'accumulent dans la cave de fermentation. C'est un fait bien connu que, même dans une chambre où l'on ne dépose rien, l'air contracte une odeur de renfermé et de moisi, quand cette chambre est pendant quelque temps fermée à l'abri de la lumière. A plus forte raison, il doit en être ainsi dans les caves de brasserie où l'air est toujours saturé d'humidité et plus ou moins mélangé à des gaz étrangers. Quand on ne prend pas le soin de produire un renouvellement continu de l'air, on ne peut pas éviter le dépôt de l'humidité sur les parois et les plafonds; les nombreux germes contenus dans l'air trouvent alors un milieu favorable à leur développement et forment des moisissures qui contribuent encore plus à l'infection de l'air.

Parmi les moyens que l'on a employés pour évacuer les gaz de la fermentation, il y en a quelques-uns qui ne sont pas à recommander. A cette catégorie appartiennent les cheminées d'aération qui, partant du plafond de la cave, s'élèvent vers le haut. En effet, par suite de leur grand poids spécifique, les gaz de la fermentation se rassemblent près du sol; les ouvertures pratiquées dans le plafond ont simplement pour effet d'amener de l'extérieur de l'air chaud et humide, qui donne naissance à une condensation de vapeur d'eau à la voûte et en particulier autour de ces ouvertures. Il est préférable d'établir les conduits d'aération au travers des parois latérales des caves, de manière que l'axe de ces conduits soit dirigé vers le haut. Mais, dans ce cas, il est nécessaire d'établir ces ouvertures aussi près que possible du sol de la cave de fermentation et de munir les conduits qui partent de ces ouvertures d'un ventilateur susceptible de produire un courant d'air artificiel permettant d'évacuer les gaz de la fermentation et l'air humide. Le renouvellement de l'air se fait alors de l'extérieur au moment de l'ouverture des portes. Toutefois, avec ce dispositif, il peut se produire une trop forte aspiration de l'air de la cave; les gaz de la fermentation ne sont pas seuls évacués; il se produit un appel d'air par les tuyaux d'écoulement d'eau, par les dessous de portes; c'est alors de l'air infecté qui entre dans la cave.

Il est bien préférable de faire en sorte que l'air impur puisse s'échapper naturellement. On obtient très simplement ce résultat en pratiquant dans la cave de fermentation des ouvertures au voisinage du sol et en dirigeant les axes de ces ouvertures obliquement par rapport aux parois. Ces ouvertures doivent avoir à peu près 15 centimètres de diamètre et être munies de tiroirs permettant de rétrécir à volonté leurs orifices. Un tel mode d'évacuation de l'air impur des caves ne coûte pas cher et remplit son but dans la plupart des cas; il ne peut d'ailleurs être employé que dans les caves qui se trouvent au-dessus du sol; dans ce cas, suivant la grandeur de la cave, il faut un plus ou moins grand nombre de ces orifices d'évacuation.

L'installation d'une aspiration d'air pur est le complément nécessaire de cette évacuation de l'air impur par des trous pratiqués au voisinage du sol. Mais il faut se garder de laisser entrer par le plafond de l'air chaud et humide qui produirait en cet endroit une condensation de vapeur d'eau. Pour éviter cet inconvénient, il faut introduire dans la cave de fermentation de l'air froid et sec, qui doit être amené par plusieurs orifices placés au voisinage du plafond; l'air froid tombe vers le sol de la cave, tandis que l'air humide et impur s'échappe par les ouvertures latérales pratiquées au ras du sol soit de lui-même (caves au rez-de-chaussée), soit aspiré par un ventilateur (caves sous terre).

Dans une telle installation il faut toutefois faire attention à ce que le volume d'air pur amené de l'extérieur soit un peu plus grand que le volume d'air impur aspiré au ras du sol de la cave : il faut qu'il existe dans la cave une *pression d'air légèrement supérieure à la pression extérieure* : si le contraire avait lieu, de l'air humide et impur serait aspiré dans la cave par les tuyaux d'écoulement d'eau et les dessous de portes. Quand cette condition est remplie, on peut observer, au moment où l'on ouvre la porte de la cave, qu'il y a un léger courant allant de l'intérieur vers l'extérieur; si le courant d'air se produit en sens inverse, on est averti par là de l'insuffisance de l'adduction d'air extérieur.

L'air ainsi introduit dans la cave doit être filtré; on arrive à de bons résultats avec un filtre en coton.

La nécessité d'une ventilation avec introduction d'air froid et sec conduit à employer pour les caves de brasserie soit un réfrigérant sec du type Fixary-Humboldt, soit un frigorifère. L'air venant de l'extérieur de la brasserie passe dans ce réfrigérant, puis est envoyé au travers d'un filtre dans la cave de fermentation.

On peut encore employer le mode de ventilation préconisé par M. L. Michel, directeur de la *India Wharf Brewing Co*; c'est une combinaison de la ventilation naturelle et de la ventilation artificielle. Par une ouverture pratiquée dans la cave de fermentation qui se trouve à l'étage supérieur du bâtiment, l'air pur est amené de l'extérieur sans l'emploi d'aucun ventilateur; la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur est en effet suffisante pour produire un courant d'air convenable. Avant de pénétrer dans la cave de fermentation, l'air traverse un filtre. Derrière ce filtre est installé dans la cave un réfrigérant (à détente directe d'ammoniaque, par exemple) au contact duquel se dépose l'humidité de l'air. Celui-ci ainsi refroidi et desséché se répand dans la première cave, puis dans la seconde placée au-dessous, et ainsi de suite, en provoquant l'expulsion de l'air impur.

Tels sont les principes qui doivent présider à la réfrigération des caves de fermentation dans une brasserie. Mais actuellement la plupart des brasseries emploient pour le refroidissement de leurs caves de fermentation des tuyaux suspendus au plafond dans lesquels on produit soit la détente directe d'un fluide frigorifique, soit la circulation d'un liquide incongelable.

11. Caves de fermentation. — Murs intérieurs. — Éclairage. — Disposition des cuves. — Les caves de fermentation doivent être soigneusement isolées au moyen de substances incapables de fermenter, de se réduire en putréfaction et, par conséquent, de dégager des gaz ou des odeurs nuisibles à la fabrication de la bière.

L'emploi des lièges imprégnés peut être recommandé; on a également obtenu de bons résultats en appliquant contre le mur de la cave un isolement formé de deux couches de briques creuses, chacune des couches étant placée entre deux couches de ciment.

Le sol de la cave doit être imperméable; il doit être construit selon les principes généraux que nous avons posés au chapitre v. Les murs et les voûtes doivent être enduits d'un vernis

émail ou couverts de plaques de faïence. Ils doivent tout au moins être cimentés, mais cela ne suffit pas en général, la surface du ciment pouvant servir d'asile à des colonies de microbes. A défaut de ces revêtements les murs doivent être passés à la chaux aussi fréquemment que possible et piqués avant chaque chaulage. Quelquefois on les badigeonne d'*antinonnine* ou de *goudron*; mais, dans ce dernier cas, la cave doit être laissée vide pendant longtemps, de façon que toute odeur de goudron ait disparu, quand on commence à y fermenter.

Il est particulièrement important d'avoir un plafond parfaitement imperméable, afin d'éviter l'infiltration par cette voie d'air chaud et humide susceptible, en pénétrant dans la cave, de produire des condensations à la surface de ce plafond.

On admet généralement que les caves de fermentation ne doivent pas être éclairées à la lumière blanche du jour et qu'il y faut placer des vitres de couleur; la nécessité de cette pratique n'est pas sûrement démontrée. Il serait bon, au contraire, d'avoir dans une cave de fermentation une grande quantité de lumière solaire diffuse, afin que tous les coins bien éclairés ne puissent être le réceptacle d'ordures susceptibles de donner asile à des colonies de microbes. L'emploi de dalles creuses en verre vert du type Falconnier semble indiqué. Lorsqu'on doit employer un éclairage artificiel, la lampe à incandescence peut seule être utilisée.

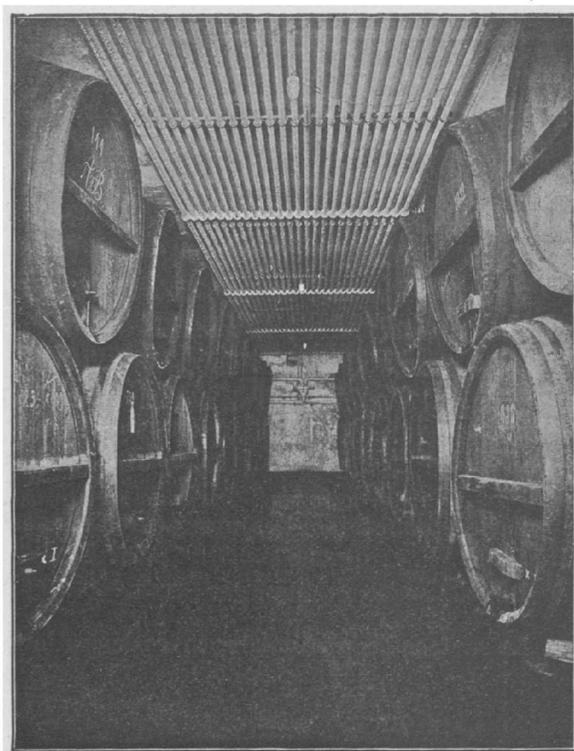
Les cuves doivent être placées à une hauteur de 1 mètre au moins au-dessus du sol; elles doivent être supportées par des fers et des colonnes en fonte; entre elles et la muraille, il doit y avoir un espace libre permettant le passage (*fig. 342*). Ce dispositif rend beaucoup plus aisée la surveillance du nettoyage et il supprime de nombreux foyers d'infection, foyers provenant de restes de bière ou de levures dissimulés et se putréfiant.

Il est également commode que la situation de la cave, ou la hauteur des cuves au-dessus du sol, permette de faire écouler directement la bière dans les foudres des caves de garde, sans emploi de pompes.

12. Caves de garde (*Lagerkeller*, en allemand). — Les caves de garde possèdent un sol généralement cimenté, des murailles émaillées, cimentées ou blanchies à la chaux. L'isolement thermique doit être particulièrement soigné, non seulement pour les parois et la voûte, mais encore pour le sol.

Pour la fermentation basse la température de ces caves doit être comprise entre $+ 0,5$ et $+ 2^{\circ}$ C. La figure 343 représente une telle cave de garde.

13. Calcul du nombre de frigories à produire pour maintenir les caves d'une brasserie à une température convenable. — Une brasserie possède deux



Cliché Linde.

FIG. 343. — Cave de garde d'une brasserie.

caves de garde et deux caves de fermentation, qui recouvrent une partie des premières. Les dimensions de ces caves sont les suivantes :

Caves de garde I et II	Sol	61 mètres carrés
	Plafond	61 —
	Développement des murs	12 ^m ,80 et 4 ^m ,77
	Hauteur	4 mètres
Cave de garde III	Sol	38 mètres carrés
	Plafond	38 —
	Développement des murs	12 ^m ,80 et 2 ^m ,95
Cave de fermentation I	Sol	40 mètres carrés
	Plafond	40 —
	Développement des murs	12 ^m ,80 et 3 ^m ,10
Cave de fermentation II	Sol	45 mètres carrés
	Plafond	37 —
	Développement des murs	12 ^m ,80 et 3 ^m ,50
	Hauteur	4 mètres

La quantité de moût en fermentation est égale à 400 hectolitres divisés en 12 caves de 40 hectolitres chacune; la durée de la fermentation est de dix jours.

Les caves de garde doivent être maintenues à + 2° C.; les caves de fermentation à + 5° C. La température de fermentation est en moyenne de + 7° C. La température de l'air extérieur est de + 25° C.; la température de l'air dans les espaces couverts mais non refroidis est égale à + 18° C.; la température du sol au-dessous des caves de garde est égale à + 12° C.

Avec ces données et les valeurs des coefficients de transmission données au chapitre v, nous pouvons calculer les quantités de chaleur qu'il faut absorber par jour pour maintenir les températures des caves de garde à + 2° C., et celles des caves de fermentation à + 5° C.

La surface totale du sol des caves de garde est

$$61 + 61 + 38 = 160 \text{ mètres carrés.}$$

La longueur totale des murs extérieurs est égale à

$$2 \times 12,8 + 4 \times 4,77 + 2 \times 2,95 = 50^m,58.$$

La surface du plafond des caves de garde non couverte par les caves de fermentation est

$$160 - 85 = 75 \text{ mètres carrés.}$$

Echauffement par le sol	160 (12 - 2) 1,4 = 2.240	grandes calories par heure
Echauffement par le plafond (partie recouverte par les caves de fermentation)	85 (5 - 2) 0,8 = 204	— —
Echauffement par le plafond (partie non recouverte par les caves de fermentation)	75 (18 - 2) 0,8 = 960	— —

Échauffement par les murs (murs de 1,3 d'épaisseur) :

$$[50,58 \times 4] (12 - 2) 0,5 = 1.011,6 \text{ grandes calories par heure.}$$

L'échauffement total par les parois est *par heure* égal à

$$4415,6 \text{ grandes calories,}$$

et *par jour* égal à

$$4415,6 \times 24 = 105.974 \text{ grandes calories environ.}$$

Parfois on prend 0,8 comme coefficient moyen de transmission; en faisant le calcul dans ces conditions, on trouverait pour l'échauffement total par les parois pendant vingt-quatre heures le nombre

$$97.503 \text{ grandes calories.}$$

La production moyenne de la brasserie est de 40 hectolitres par jour; il y a donc 40 hectolitres de bière qui passent de la cave de fermentation où ils sont à la température de + 7° C. à la cave de garde où ils prennent la température de + 2° C. Si on admet que la densité et la chaleur spécifique de la bière sont égales à l'unité, on voit que ce transport correspond *par jour* à un dégagement de chaleur égal à

$$4000 (7 - 2) = 20.000 \text{ grandes calories.}$$

Enfin il faut compter l'échauffement dû à l'éclairage, à la présence des garçons brasseurs, à l'ouverture des portes pour le service ¹. On peut évaluer cet échauffement *par jour* à 10/0 de l'échauffement par les parois.

Il a ici pour valeur

$$1.060 \text{ grandes calories environ.}$$

L'échauffement total *par jour* des caves de garde a donc finalement pour valeur

$$105974 + 20000 + 1060 = 127.034 \text{ grandes calories}^2.$$

Cet échauffement rapporté *au mètre carré de surface du sol des caves* est égal à 800 grandes calories *par jour*, rapporté *au mètre cube du volume intérieur des caves*, il est égal à 200 grandes calories *par jour*.

Faisons le même calcul pour les caves de fermentation.

Au travers du sol il y a *refroidissement*, par suite de la situation des caves de fermentation au-dessus des caves de garde. Cette quantité de chaleur est égale à

$$[40 + 45](5 - 2) \times 0,8 = 204 \text{ grandes calories par heure.}$$

L'échauffement par le plafond est, en supposant égale à + 18° C. la température de l'espace couvert qui se trouve au-dessus des caves de fermentation,

$$[40 + 45][18 - 5] \times 0,8 = 884 \text{ grandes calories par heure.}$$

L'échauffement par les murs a les valeurs suivantes :

$$\begin{aligned} \text{Cave de fermentation I : } & 4 [12,8 + 2 \times 3,4] [25 - 5] 0,8 = 1.216 \text{ grandes calories par heure} \\ \text{Cave de fermentation II : } & 4 [12,8 + 2 \times 3,5] [25 - 5] 0,8 = 1.267 \quad \text{---} \quad \text{---} \end{aligned}$$

1. On compte sur les nombres suivants pour les réchauffements moyens produits :

Par une flamme de gaz.....	600 grandes calories par heure
Par une lampe à incandescence.....	60 " "
Par un homme.....	120 " "

2. On peut remarquer qu'en augmentant de 15 0/0 le nombre qui exprime l'échauffement total par les parois on retrouve à peu près le nombre qui exprime l'échauffement total des caves de garde. Dans le cas actuel, on a $105.974 \times 0,15 = 15.896$ et $105.974 + 15.896 = 121.870$ qui ne diffère que de 4 0/0 du nombre calculé plus haut.

L'échauffement total par heure des caves de fermentation a donc pour valeur

$$884 + 1216 + 1267 - 204 = 3.163 \text{ grandes calories.}$$

L'échauffement total au travers des parois et par jour des caves de fermentation est

$$3163 \times 24 = 75.912 \text{ grandes calories.}$$

A cet échauffement par les parois il faut ajouter l'échauffement produit par l'éclairage, par la présence des garçons brasseurs, par l'ouverture des portes pour le service. Cet échauffement doit être évalué pour les caves de fermentation à 5 0/0 de l'échauffement total par les parois; dans le cas actuel cet échauffement est donc égal à

$$0,05 \times 75912 = 3.796 \text{ grandes calories environ.}$$

Comme nous l'avons fait remarquer plus haut, il est important de renouveler l'air des caves de fermentation. M. Stetefeld¹ compte que, par cuve de 30 à 40 hectolitres et par heure, il faut 1 mètre cube d'air nouveau, ce qui produit un échauffement d'environ 5 calories par cuve et par heure.

Dans le cas actuel, l'échauffement en vingt-quatre heures est

$$5 \times 24 \times 12 = 1.440 \text{ grandes calories.}$$

Enfin la surface du moût en fermentation et les parois des cuves rayonnent vers l'intérieur de la cave. On peut évaluer ce rayonnement à 90 grandes calories par cuve de 30 à 40 hectolitres et par heure, ce qui pour le cas étudié donne

$$90 \times 12 \times 24 = 25.920 \text{ calories.}$$

L'échauffement total par jour des caves de fermentation est donc égal à

$$75912 + 3796 + 1440 + 25920 = 107.068 \text{ grandes calories.}$$

Cet échauffement rapporté au mètre carré de surface du sol des caves est égal à 1.260 grandes calories par jour; rapporté au mètre cube du volume intérieur des caves, il est égal à 315 grandes calories par jour.

Ces nombres conviennent pour les petites installations. Dans son *Compendium der gesamten Kälte-Industrie*, M. Stetefeld étudie l'installation de brasserie suivante :

Surface totale du sol des caves de garde.	4.000 mètres carrés
Hauteur des caves de garde.	6 ^m ,5
Longueur totale des murs extérieurs.	260 mètres
Surface totale du sol des caves de fermentation.	1.600 mètres carrés
Hauteur des caves de fermentation.	4 ^m ,25
Longueur totale des murs extérieurs.	250 mètres
Production journalière de la brasserie.	720 hectolitres
Nombre de cuves de fermentation.	250
Contenance d'une cuve.	30 hectolitres
Durée de la fermentation.	10 jours
Température des caves de garde.	+ 1° C.
— — de fermentation.	+ 4° C.
Température moyenne du moût en fermentation.	+ 7° C.
— du sol.	+ 12° C.
— de l'air extérieur.	+ 25° C.
— de l'air dans les chambres non refroidies. . .	+ 18° C.

1. STETFELD, *Compendium der gesamten Kälte-Industrie*, p. 330.

En dirigeant le calcul comme nous l'avons fait plus haut, M. Stetefeld trouve les résultats suivants :

L'échauffement *par jour des caves de garde* est

par *mètre carré* égal à 730 grandes calories environ ;
par *mètre cube* égal à 113 —

L'échauffement *par jour des caves de fermentation* est

par *mètre carré* égal à 700 grandes calories environ ;
par *mètre cube* égal à 165 —

14. Nombre de frigories à produire pour compenser l'échauffement des caves de brasserie (avant-projet). — De ces deux exemples nous pouvons déduire les règles suivantes bonnes pour un avant-projet.

Le nombre de frigories à produire pour compenser l'échauffement des caves de brasserie est

Caves de garde :	{	de 700 à 900 . . .	par jour et par mètre carré de surface des caves			
		de 30 à 38 . . .	frigories-heure	—	—	—
		de 100 à 250 . . .	par jour et par mètre cube du volume intérieur des caves			
Caves de fermentation :	{	de 4 à 40 . . .	frigories-heure	—	—	—
		de 700 à 1.300 . . .	par jour et par mètre carré de surface des caves			
		de 30 à 53 . . .	frigories-heure	—	—	—
		de 160 à 320 . . .	par jour et par mètre cube du volume intérieur des caves			
		de 7 à 14 . . .	frigories-heure	—	—	—

NOTA. — Les nombres les plus grands correspondent aux petites installations ; les nombres les plus petits correspondent aux grandes installations.

15. Description des tuyaux employés pour refroidir les caves de brasserie (circulation de saumure). — Pour les *caves de garde* on emploie le plus souvent des tuyaux lisses à brides étamés, de 51 millimètres de diamètre intérieur et de 57 millimètres de diamètre extérieur ; 1 mètre courant de ces tuyaux a une surface extérieure d'environ 0^m2,1866. Ces tuyaux sont établis par longueurs de 2^m,5 à 5 mètres.

Pour les *caves de fermentation* on emploie parfois des tuyaux à ailettes en fonte, qui sont établis par longueurs de 2 mètres avec un diamètre intérieur de 75 millimètres, un diamètre extérieur de 92 millimètres ; ils portent 53 ailettes venues de fonte avec le tuyau : ces ailettes ont un diamètre de 195 millimètres et sont espacées de 35 millimètres. La surface extérieure d'un tel tuyau est de 3^m2,08, soit 1^m2,54 par mètre courant de tuyaux. Ces tuyaux sont généralement couverts sur leur surface d'une couche de goudron.

Pour les *tuyaux à surface lisse* il faut compter sur une absorption de chaleur de 14 calories en moyenne par mètre carré de la surface extérieure des tuyaux, par heure et pour 1° C. de différence de température entre la saumure et l'air extérieur.

Pour les *tuyaux à ailettes* à surface goudronnée il faut compter sur une absorption de 3 à 5 calories (en moyenne 4 calories) par mètre carré de la surface extérieure des tuyaux, par heure et pour 1° C. de différence de température entre la saumure et l'air extérieur.

La longueur d'un branchement de *tuyaux lisses* de diamètre intérieur égal à 51 millimètres ne doit pas dépasser 250 mètres. La vitesse de circulation de la saumure doit être de 0^m,4 par seconde correspondant à un débit de 0^{lit},33 par seconde et à une élévation de température de 2° pour la saumure. La conduite principale doit avoir 50 millimètres de diamètre intérieur tant que la longueur totale des branchements ne dépasse pas 600 mètres, 75 millimètres pour des branchements d'une longueur totale inférieure à 2.000 mètres,

100 millimètres pour des branchements dont la longueur totale va jusqu'à 4.000 mètres. Dans les petites installations, la vitesse de circulation de la saumure dans les conduites principales doit être de 1^m,50 par seconde; elle doit être de 2 mètres par seconde dans les grandes installations.

La longueur maximum d'un branchement de *tuyaux à ailettes* est de 70 mètres environ. Quant à la conduite principale, il suffit qu'elle ait un diamètre intérieur de 50 millimètres, lorsque la longueur totale des branchements est inférieure à 100 mètres; un diamètre intérieur de 75 millimètres pour des branchements d'une longueur de 100 à 300 mètres; un diamètre intérieur de 100 millimètres pour des branchements d'une longueur de 300 à 600 mètres.

16. Longueurs des tuyaux à employer pour refroidir les caves de brasserie (circulation de saumure). — D'après ces données voyons quelles sont les longueurs des tuyaux qui conviennent pour les caves de garde et pour les caves de fermentation.

I. CAVES DE GARDE. — Différence de température de 4° C. environ entre la saumure et l'air extérieur.

1° *Tuyaux lisses.* — Surface extérieure des tuyaux par mètre carré de surface des caves comprise entre

$$\frac{700}{14 \times 24 \times 4} = 0^{\text{m}^2},52 \quad \text{et} \quad \frac{900}{14 \times 24 \times 4} = 0^{\text{m}^2},67.$$

Longueur des tuyaux de 50 millimètres de diamètre intérieur, par mètre carré de surface des caves, comprise entre

$$\frac{0,52}{0,1866} = 2^{\text{m}},80 \text{ environ} \quad \text{et} \quad \frac{0,67}{0,1866} = 3^{\text{m}},60 \text{ environ.}$$

Surface extérieure des tuyaux par mètre cube du volume intérieur des caves (hauteur 4 à 7 mètres) comprise entre

$$\frac{100}{14 \times 24 \times 4} = 0^{\text{m}^2},074 \quad \text{et} \quad \frac{250}{14 \times 24 \times 4} = 0^{\text{m}^2},186.$$

Un mètre carré de la surface extérieure de ces tuyaux refroidit de 5^m3,5 (caves de petit volume) à 13^m3,5 (caves de grand volume) des caves de garde.

Longueur des tuyaux de 50 millimètres de diamètre intérieur, par mètre cube du volume intérieur des caves, comprise entre

$$\frac{0,074}{0,1866} = 0,4 \quad \text{et} \quad \frac{0,186}{0,1866} = 1 \text{ environ,}$$

entre 40 et 100 centimètres en nombres ronds.

Un mètre de tuyaux de 50 millimètres refroidit de 1 mètre cube (petites caves) à 2^m3,5 (grandes caves) de caves de garde.

Les nombres que nous venons de calculer conduisent à la règle suivante :

La longueur des tuyaux lisses qu'il faut placer dans une cave de garde d'une brasserie est, par mètre carré de la surface du sol ou par mètre cube du volume intérieur, égale en mètres au 1/10 du nombre des frigories-heure qu'il faut produire pour maintenir la température de la cave de garde entre +1° et +2° C.

Cette règle donne une longueur de 3 à 3^m,80 de tuyaux lisses par mètre carré et une longueur de 0^m,4 à 1 mètre par mètre cube.

2° *Tuyaux à ailettes.* — Surface extérieure des tuyaux par mètre carré de surface des caves comprise entre

$$\frac{700}{4 \times 24 \times 4} = 1^{\text{m}},80 \quad \text{et} \quad \frac{900}{4 \times 24 \times 4} = 2^{\text{m}},34.$$

Longueur des tuyaux de 75 millimètres de diamètre intérieur, par mètre carré de surface des caves, comprise entre

$$\frac{1,80}{1,54} = 1^{\text{m}},17 \quad \text{et} \quad \frac{2,34}{1,54} = 1^{\text{m}},52.$$

Surface extérieure des tuyaux par mètre cube du volume intérieur des caves comprise entre

$$\frac{100}{4 \times 24 \times 4} = 0^{\text{m}},26 \quad \text{et} \quad \frac{250}{4 \times 24 \times 4} = 0^{\text{m}},65.$$

Un mètre carré de la surface extérieure de ces tuyaux refroidit de 1^m,5 (petites installations) à 4 (grandes installations) mètres cubes de caves de garde.

Longueur des tuyaux de 75 millimètres de diamètre intérieur, par mètre cube du volume intérieur des caves, comprise entre

$$\frac{0,26}{1,54} = 0,17 \quad \text{et} \quad \frac{0,65}{1,54} = 0^{\text{m}},42,$$

c'est-à-dire entre 17 et 42 centimètres.

Un mètre de ces tuyaux refroidit de 2^m,5 (petites installations) à 6 (grandes installations) mètres cubes de caves de garde.

Ces nombres conduisent à la règle suivante :

La longueur des tuyaux à ailettes qu'il faut placer dans une cave de garde d'une brasserie est, par mètre carré de la surface du sol ou par mètre cube du volume intérieur, égale en mètres aux $\frac{4}{100}$ du nombre de frigories-heure qu'il faut produire pour maintenir la température de la cave de garde entre + 1° et + 2° C.

II. CAVES DE FERMENTATION. — Différence de température de 7° C. environ entre la saumure et l'air extérieur.

1° *Tuyaux lisses.* — Surface extérieure des tuyaux, par mètre carré de surface des caves, comprise entre

$$\frac{700}{14 \times 24 \times 7} = 0^{\text{m}},3, \quad \frac{1300}{14 \times 24 \times 7} = 0^{\text{m}},55.$$

Longueur des tuyaux de 50 millimètres de diamètre intérieur par mètre carré de surface des caves, comprise entre

$$\frac{0,3}{0,1866} = 1^{\text{m}},60 \quad \text{et} \quad \frac{0,55}{0,1866} = 3 \text{ mètres.}$$

Surface extérieure des tuyaux, par mètre cube du volume intérieur des caves, comprise entre

$$\frac{160}{14 \times 24 \times 7} = 0^{\text{m}},07 \quad \frac{320}{14 \times 24 \times 7} = 0^{\text{m}},14.$$

Un mètre carré de la surface extérieure de ces tuyaux refroidit de 7 (petites installations) à 14 (grandes installations) mètres cubes de caves de fermentation.

Longueur des tuyaux de 50 millimètres de diamètre intérieur, par mètre cube du volume intérieur des caves, comprise entre

$$\frac{0,07}{0,1866} = 0^{\text{m}},37, \quad \frac{0,14}{0,1866} = 0^{\text{m}},74,$$

ou, en nombres ronds,

35 à 75 centimètres.

Un mètre de ces tuyaux refroidit de 1^m3,5 (petites installations) à 3 (grandes installations) mètres cubes de caves de fermentation.

Ces nombres conduisent à la règle pratique suivante :

La longueur des tuyaux lisses qu'il faut placer dans une cave de fermentation d'une brasserie est, par mètre carré de la surface du sol ou par mètre cube du volume intérieur, égale en mètres aux 6/100 du nombre de frigories-heure qu'il faut produire pour maintenir la température de la cave de fermentation entre + 4° C. et + 5° C.

2° *Tuyaux à ailettes.* — Surface extérieure des tuyaux, par mètre carré de surface des caves, comprise entre

$$\frac{700}{4 \times 24 \times 7} = 1^{\text{m}^2},04, \quad \frac{1300}{4 \times 24 \times 7} = 1^{\text{m}^2},95.$$

Longueur des tuyaux de 75 millimètres de diamètre intérieur, par mètre carré de surface des caves, comprise entre

$$\frac{1,04}{1,54} = 0^{\text{m}},675, \quad \frac{1,95}{1,54} = 1^{\text{m}},27.$$

Surface extérieure des tuyaux, par mètre cube du volume intérieur des caves, comprise entre

$$\frac{160}{4 \times 24 \times 7} = 0^{\text{m}^2},24, \quad \frac{320}{4 \times 24 \times 7} = 0^{\text{m}^2},48.$$

Un mètre carré de la surface extérieure de ces tuyaux refroidit de 2 (petites installations) à 4 (grandes installations) mètres cubes de caves de fermentation.

Longueur des tuyaux de 75 millimètres de diamètre intérieur, par mètre cube du volume intérieur des caves, comprise entre

$$\frac{0,24}{1,54} = 0^{\text{m}},156 \quad \text{et} \quad \frac{0,48}{1,54} = 0^{\text{m}},31,$$

ou, en nombres ronds, entre 15 et 30 centimètres.

Un mètre de ces tuyaux refroidit de 3^m3,5 (petites installations) à 7 (grandes installations) mètres cubes de caves de fermentation.

Ces nombres conduisent à la règle pratique suivante :

La longueur des tuyaux à ailettes qu'il faut placer dans une cave de fermentation d'une brasserie est, par mètre carré de la surface du sol ou par mètre cube du volume intérieur, égale en mètres aux $\frac{25}{1000}$ du nombre de frigories-heure qu'il faut produire pour maintenir la température de la cave de fermentation entre + 4° C. et + 5° C.

La comparaison des diverses règles pratiques montre que 1 mètre de tuyaux à ailettes de 75 millimètres de diamètre intérieur (décrit plus haut) agit à peu près comme 2^m5 de tuyaux lisses de 50 millimètres de diamètre intérieur.

17. Description des tuyaux employés pour refroidir les caves de brasserie (détente directe). — Les tuyaux à surface lisse employés avec la détente directe sont les tuyaux de 51/57 millimètres que nous avons décrits plus haut.

Les tuyaux à ailettes sont pour l'Azh³ des tuyaux en fer forgé de 30 millimètres de diamètre intérieur et 38 millimètres de diamètre extérieur avec éléments à ailettes rapportés sur ces tuyaux. Ces éléments sont au nombre de trois par mètre courant et comportent chacun quatre ailettes de 180 millimètres de diamètre. Ils représentent une surface extérieure de 0^m2,700 par mètre courant d'un tuyau dont la surface intérieure est de 0^m2,094 par mètre courant ; il y a donc un rapport de 7,5 entre la surface extérieure et la surface intérieure.

Pour les tuyaux à *surface lisse* on peut compter sur une absorption de chaleur de 8 à 12 calories (en moyenne 10 calories) par mètre carré de leur surface extérieure, par heure et pour 1° C. d'écart entre la température du fluide frigorigène et celle du local. Cela fait de 1,5 à 2,25 calories (en moyenne 1,9 calorie) par mètre courant.

Pour les tuyaux portant des éléments à *ailettes*, on peut compter sur une absorption de chaleur de 30 à 40 calories par mètre carré de leur surface intérieure, ou de 4 à 5,5 calories (en moyenne 4,8 calories) par mètre carré de leur surface extérieure, par heure et pour 1° C. d'écart entre la température du fluide frigorigène et celle du local. Cela fait de 2,8 à 3,9 calories (en moyenne 3,4 calories) par mètre courant.

18. Longueurs des tuyaux à employer pour refroidir les caves de brasserie (détente directe). — I. CAVES DE GARDE. — La différence de température entre le fluide frigorigène (AzH³ à la température de -10° C.) et l'air des caves de garde est égale à 12° C.

1° *Tuyaux lisses.* — La longueur des tuyaux, par mètre carré de surface des caves, est comprise entre les limites

$$\frac{700}{1,9 \times 24 \times 12} = 1^{\text{m}},28, \quad \frac{900}{1,9 \times 24 \times 12} = 1^{\text{m}},64$$

ou, en nombres ronds, entre

$$1^{\text{m}},30 \quad \text{et} \quad 1^{\text{m}},65.$$

La longueur des tuyaux, par mètre cube du volume intérieur des caves, est comprise entre les limites

$$\frac{100}{1,9 \times 24 \times 12} = 0^{\text{m}},18, \quad \frac{250}{1,9 \times 24 \times 12} = 0^{\text{m}},46$$

ou, en nombres ronds, entre

$$20 \quad \text{et} \quad 45 \text{ centimètres.}$$

Un mètre de tuyaux refroidit de 2 (petites installations) à 5 (grandes installations) mètres cubes de caves de garde.

On peut énoncer la règle pratique suivante :

Dans le cas de la détente directe et de l'emploi de l'ammoniac comme fluide frigorigène, la longueur des tuyaux lisses qu'il faut placer dans une cave de garde de brasserie est, par mètre carré de la surface du sol ou par mètre cube du volume intérieur, égale en mètres aux $\frac{45}{1000}$ du nombre de frigories-heure qu'il faut produire pour maintenir la température de la cave entre + 1° C. et + 2° C.

2° *Tuyaux à ailettes.* — La longueur des tuyaux, par mètre carré de surface des caves, est comprise entre les limites

$$\frac{700}{3,4 \times 24 \times 12} = 0^{\text{m}},72, \quad \frac{900}{3,4 \times 24 \times 12} = 0^{\text{m}},92$$

ou, en nombres ronds, entre

$$70 \quad \text{et} \quad 90 \text{ centimètres.}$$

La longueur des tuyaux, par mètre cube du volume intérieur des caves, est comprise entre les limites

$$\frac{100}{3,4 \times 24 \times 12} = 0^{\text{m}},10, \quad \frac{250}{3,4 \times 24 \times 12} = 0^{\text{m}},25,$$

c'est-à-dire entre

$$10 \quad \text{et} \quad 25 \text{ centimètres.}$$

Un mètre de tuyaux refroidit de 4 (petites installations) à 10 (grandes installations) mètres cubes de caves de garde.

On peut énoncer la règle pratique suivante :

Dans le cas de la détente directe et de l'emploi de l'ammoniaque comme fluide frigorigène, la longueur des tuyaux à ailettes (décrits plus haut) qu'il faut placer dans une cave de garde de brasserie est, par mètre carré de la surface du sol ou par mètre cube du volume intérieur, égale en mètres aux $\frac{25}{1000}$ du nombre de frigories-heure qu'il faut produire pour maintenir la température de la cave entre + 1° et + 2° C.

II. CAVES DE FERMENTATION. — La différence de température entre le fluide frigorigène (AzH³ à — 10° C.) et l'air des caves de fermentation est égale à 15° C.

1° *Tuyaux lisses.* — La longueur des tuyaux, par mètre carré de surface des caves, est comprise entre les limites

$$\frac{700}{1,9 \times 24 \times 15} = 1^{\text{m}},024, \quad \frac{1300}{1,9 \times 24 \times 15} = 1^{\text{m}},90$$

ou, en nombres ronds, entre

$$1 \text{ mètre} \quad \text{et} \quad 1^{\text{m}},90.$$

La longueur des tuyaux, par mètre cube du volume intérieur, est comprise entre les limites

$$\frac{160}{1,9 \times 24 \times 15} = 0^{\text{m}},24. \quad \frac{320}{1,9 \times 24 \times 15} = 0^{\text{m}},48$$

ou, en nombres ronds, entre

$$25 \quad \text{et} \quad 50 \text{ centimètres.}$$

Un mètre de tuyaux refroidit de 2 (petites installations) à 4 (grandes installations) mètres cubes de caves de fermentation.

Ces nombres conduisent à la règle pratique suivante :

Dans le cas de la détente directe et de l'emploi de l'ammoniaque comme fluide frigorigène, la longueur des tuyaux lisses qu'il faut placer dans une cave de fermentation de brasserie est, par mètre carré de la surface du sol ou par mètre cube du volume intérieur, égale aux $\frac{35}{1000}$ du nombre de frigories-heure qu'il faut produire pour maintenir la température de la cave entre + 4° C. et + 5° C.

2° *Tuyaux à ailettes.* — La longueur des tuyaux, par mètre carré de surface des caves, est comprise entre

$$\frac{700}{3,4 \times 24 \times 15} = 0^{\text{m}},57, \quad \frac{1300}{3,4 \times 24 \times 15} = 1^{\text{m}},06$$

ou, en nombres ronds, entre

$$60 \text{ centimètres} \quad \text{et} \quad 1 \text{ mètre.}$$

La longueur des tuyaux, par mètre cube du volume intérieur, est comprise entre

$$\frac{160}{3,4 \times 24 \times 15} = 0^{\text{m}},13, \quad \frac{320}{3,4 \times 24 \times 15} = 0^{\text{m}},26$$

ou, en nombres ronds, entre

$$15 \quad \text{et} \quad 25 \text{ centimètres.}$$

Un mètre de tuyaux refroidit de 4 (petites installations) à 7 (grandes installations) mètres cubes de caves de fermentation.

Ces nombres permettent d'énoncer la règle suivante :

Dans le cas de la détente directe et de l'emploi de l'ammoniaque comme fluide frigorigène, la longueur des tuyaux à ailettes qu'il faut placer dans une cave de fermentation de brasserie est, par mètre carré de la surface du sol ou par mètre cube du volume intérieur, égale aux $\frac{20}{1000}$ du nombre de frigories-heure qu'il faut produire pour maintenir la température de la cave de fermentation entre + 4° et + 5° C.

La comparaison des diverses règles pratiques montre que 1 mètre de tuyaux à ailettes de 30 millimètres de diamètre intérieur (que nous avons décrits plus haut) agit à peu près comme 1^m,80 de tuyaux lisses de 50 millimètres de diamètre intérieur.

19. Longueurs des tuyaux à employer pour refroidir les caves de brasserie. — Cas où le compresseur ne marche que h heures par jour. — Toutes les indications que nous venons de donner au sujet des longueurs des tuyaux destinés à refroidir les caves de brasserie supposent que le compresseur de la machine frigorigène fonctionne pendant vingt-quatre heures. Si le compresseur ne fonctionne que pendant h heures par jour, tous les nombres donnés plus haut doivent être multipliés par le facteur $\frac{24}{h}$.

20. Calcul d'une installation frigorigène pour brasserie. — Supposons qu'il s'agisse de la brasserie dont nous avons donné les caractéristiques à l'alinéa n° 13 de ce chapitre.

I. — Refroidissement des caves

Caves de garde	127.034 frigories par jour
Caves de fermentation	107.068 —
TOTAL	234.102 frigories par jour

II. — Refroidissement des cuves de fermentation

Nombre d'hectolitres en fermentation	400
Durée de la fermentation	10 jours
Nombre de frigories à produire par hectolitre et par jour	160

Pour compenser la chaleur dégagée par la fermentation d'un hectolitre de moût, il faut donc produire 1.600 frigories ; ce qui fait ici 1.600×400 . Ce nombre de frigories est donc égal par jour à

$$\frac{1}{10} \times 1600 \times 400 = 64.000 \text{ frigories.}$$

III. — Refroidissement du moût

La brasserie refroidit 40 hectolitres de moût par jour. On compte 1.510 frigories par hectolitre de moût, ce qui fait

$$1510 \times 40 = 60.400 \text{ frigories par jour}^1.$$

1. Ce nombre de frigories se réduit à 41.600, si on compte une dépense de 1.040 frigories par hectolitre de moût [moût refroidi à 15° C., après son passage sur la partie du Baudelot refroidie par de l'eau de puits].

IV. — Total du nombre de frigories à produire par jour

Caves	234.102
Cuves de fermentation	64.000
Moût.	60.400
TOTAL.	358.502 frigories par jour

On voit que le refroidissement des caves de garde absorbe environ 35 0/0 du nombre total de frigories; celui des caves de fermentation, environ 30 0/0; celui des cuves de fermentation, environ 18 0/0; et celui du moût, environ 17 0/0. Ces nombres sont ceux qui correspondent à une exploitation normale de brasserie.

Prenons une machine de 30.000 frigories-heure qui fonctionnera pendant quinze heures; elle produira pendant ce temps 450.000 frigories.

V. — Longueur des tuyaux à placer dans les caves

Supposons que les caves soient refroidies par la détente directe de l'ammoniaque.

On se sert de tuyaux de 30/38 millimètres avec 3 éléments à ailettes au mètre courant.

Nous allons calculer les pertes de chaleur par les parois des diverses caves en prenant 0,8 pour coefficient de transmission de la chaleur et en augmentant de 15 0/0 les nombres trouvés pour tenir compte du service des caves et des substances qui se trouvent à l'intérieur.

Cave de garde I

$$61 \frac{[12 - 2]}{\text{sol}} + \frac{61 [5 - 2]}{\text{toit}} + \frac{4 [12,8 + 2 \times 4,77] [12 - 2]}{\text{murs}} = 1.686^{\text{cal.}},6$$

$$1.686,6 \times 0,15 = \frac{253}{\text{»}}$$

$$\text{TOTAL. } 1.939^{\text{cal.}},6$$

$$\text{Échauffement pendant vingt-quatre heures} = 1939,6 \times 0,8 \times 24.$$

Le tuyau à ailettes absorbe 3^{cal.},4 par mètre courant, par heure de marche du compresseur et par degré de différence de température entre le fluide frigorigène et l'air de la cave.

La longueur des tuyaux à ailettes qu'il faut placer dans la cave de garde I est donc

$$\frac{1939,6 \times 0,8 \times 24}{3,4 \times 15 \times 12} = 61 \text{ mètres.}$$

Cave de garde II

$$61 \frac{[12 - 2]}{\text{sol}} + \frac{24 [12 - 2]}{\text{toit}} + \frac{37 [18 - 2]}{\text{toit}} + \frac{2 \times 4,77 \times 4 [12 - 2]}{\text{murs}} = 1.823^{\text{cal.}},6$$

$$1.823,6 \times 0,15 = \frac{273}{5}$$

$$\text{TOTAL. } 2.097^{\text{cal.}},1$$

$$\text{Longueur des tuyaux} = \frac{2097 \times 0,8 \times 24}{3,4 \times 15 \times 12} = 65^{\text{m}},75.$$

Cave de garde III

$$38 \frac{[12 - 2]}{\text{sol}} + \frac{38 [18 - 2]}{\text{toit}} + \frac{4 [12,8 + 2 \times 2,95] [12 - 2]}{\text{murs}} = 1.736^{\text{cal.}},\text{»}$$

$$1.736 \times 0,15 = \frac{260}{4}$$

$$\text{TOTAL. } 1.996^{\text{cal.}},4$$

$$\text{Longueur des tuyaux} = \frac{1996,4 \times 0,8 \times 24}{3,4 \times 15 \times 12} = 62^{\text{m}},64.$$

LE FROID EN BRASSERIE

Cave de fermentation I

$$- 40(5 - 2) + 40(18 - 5) + 4[12,8 + 2 \times 3,1](25 - 5) = 1.920 \text{ calories.}$$

Pour les caves de fermentation il faut compter sur un accroissement de ce dernier chiffre de 40 0/0 pour tenir compte de l'échauffement produit par le service, par les rentrées d'air pur, par le rayonnement des cuves.

$$1920 \times 0,4 = \overline{768}$$

$$\text{TOTAL. } \overline{2.688} \text{ calories.}$$

$$\text{Longueur des tuyaux} = \frac{2688 \times 0,8 \times 24}{3,4 \times 15 \times 15} = 67^m,20.$$

Cave de fermentation II

$$- 45(5 - 2) + 45(18 - 5) + 4[12,8 + 2 \times 3,5](25 - 5) = 2.034^{\text{cal.}}$$

$$2034 \times 0,4 = \overline{813 \quad 6}$$

$$\text{TOTAL. } \overline{2847^{\text{cal.}},6}$$

$$\text{Longueur des tuyaux} = \frac{2847,6 \times 0,8 \times 24}{3,4 \times 15 \times 15} = 71^m,20.$$

VI. — Refroidissement d'eau douce

Il faut refroidir à + 1° C. une masse d'eau suffisante pour être employée à refroidir le moût (circulation dans le Baudelot) et à abaisser la température du moût en fermentation pendant les dix heures de repos du compresseur.

Pour produire les 60.400 frigories nécessaires au refroidissement du moût, il faut, avec de l'eau entrant dans le Baudelot à + 1° et sortant à + 7° C., employer 100 hectolitres de cette eau.

De plus, comme nous l'avons vu plus haut, il faut faire circuler dans les drapeaux 2 litres d'eau à + 1° C. par heure et par hectolitre de moût en fermentation. Pour les 400 hectolitres pendant les dix heures de repos de la machine, il faudra faire circuler

$$10 \times 400 \times 2 = 8.000 \text{ ou } 80 \text{ hectolitres d'eau.}$$

Il est donc nécessaire que le réservoir d'eau froide ait une contenance de 150 à 180 hectolitres.

Pour refroidir cette eau, il faut produire environ 200.000 frigories, soit à peu près 13.500 frigories à l'heure (le compresseur marchant quinze heures).

Si on emploie, pour refroidir cette eau, un serpent à surface extérieure lisse de 30/38 millimètres dans lequel se détend de l'AzH³, on peut compter sur une absorption de chaleur de 800 à 1.000 calories environ par mètre carré de surface extérieure du tuyau. Il faut donc ici

$$\frac{13500}{800} = \text{environ } 17 \text{ mètres carrés de surface intérieure du tuyau,}$$

ou environ 145 mètres de ce tuyau.

21. Refroidissement de la bière pour l'embouteillage. — L'application du froid est un procédé qui tend à se répandre en raison des difficultés que présente la clarification de la bière lorsque celle-ci est abandonnée simplement à elle-même, procédé long et qui ne réussit pas toujours.

La réfrigération détermine la précipitation des levures et débris en suspension, des résines de houblon et de certains albuminoïdes; il en résulte que la bière présente plus de

stabilité, moins de causes de troubles. La bière est claire, limpide, mais elle a perdu quelque peu de son brillant.

L'application de la réfrigération se fait par deux méthodes : *l'une qui consiste à refroidir la bière en quelques heures, l'autre qui demande de cinq à dix jours.*

Cette dernière s'effectue dans des caves de garde soigneusement isolées; la bière est refroidie dans de vastes cuveaux, afin de réduire les pertes de temps et de froid à leur minimum. Après réfrigération la bière passe dans un filtre où elle se clarifie.

La maison *Pontifex and Sons* de Londres a construit un petit appareil pour réaliser la réfrigération rapide; le principe de cet appareil est le suivant.

Un réservoir en tôle galvanisée est rempli de saumure au travers de laquelle circule une double canalisation, l'une destinée au fluide frigorifique, l'autre à la bière. Celle-ci entre à la température de 16° ou 17° C.; elle est amenée rapidement à basse température. Du réfrigérant la bière passe dans les carbonateurs; elle reste sous pression dans le filtre jusqu'à sa mise en bouteilles. Le réfrigérant, les carbonateurs et le filtre sont placés dans une petite chambre maintenue à la température de la glace fondante.

22. Conservation de la levure. — Le froid peut être employé à la conservation de la levure de bière; il n'est besoin pour cela que de la maintenir dans une atmosphère dont la température est au voisinage de 0° C.

23. Conservation du houblon. — La conservation du houblon par le froid demande, par suite de la nature et des qualités toutes particulières de la plante, des soins spéciaux. Il s'agit en effet surtout de conserver intacts l'arôme et le parfum qui en font tout le prix. Par suite de cette odeur, les chambres à houblon *ne doivent pas renfermer d'autres substances à conserver.* Le houblon doit être bien séché, passé à l'anhydride sulfureux (d'après Siebel) et bien emballé avant d'être introduit dans les chambres froides. Celles-ci doivent être *bien sèches* et maintenues à une température de — 2° à — 3° C. Il résulte de là que la réfrigération interne par circulation de saumure ou par détente directe est à rejeter. Au contraire, la circulation de l'air sec et froid provenant d'un frigorifère et provoquée par un système de ventilateurs présente les plus grands avantages. Il ne faut pas oublier que *cet air, après son passage sur le houblon, ne doit pas être employé à un autre usage, l'odeur pénétrante du houblon dont l'air est imprégné en rendant l'usage absolument impossible*¹.

24. Description d'une installation frigorifique de brasserie. — Terminons l'étude de ces applications du froid à la brasserie en donnant la description de l'installation frigorifique de la brasserie *Gabriel et Richter* à Neu-Weissensee, près de Berlin; cette installation a été faite par la firme *A. Borsig* de Berlin-Tegel.

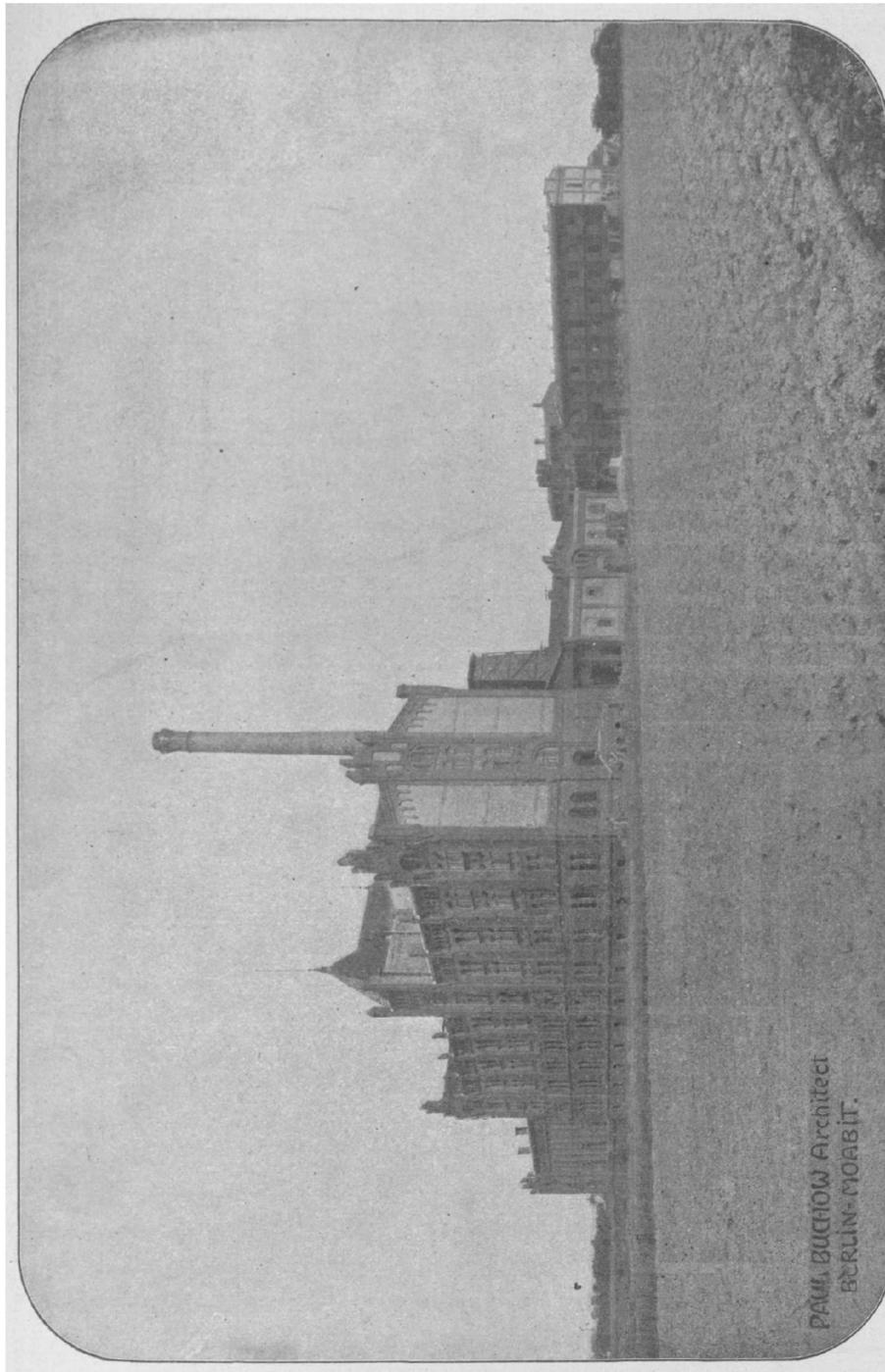
La brasserie, dont la figure 344 présente une photographie, se compose d'un grand bâtiment de 110 mètres de long et de 67 mètres de large dans lequel se font toutes les opérations de la fabrication de la bière; les chaudières, les écuries, le badigeonnage à la poix se trouvent dans des bâtiments séparés. La figure 345, dont la légende développée dispense de toute explication, montre la brasserie vue en plan. L'installation frigorifique comprend :

1° 4 caves de garde ayant ensemble une superficie de 730 mètres carrés et une hauteur

1. Voir, pour les avantages économiques que présente la conservation du houblon au frigorifique, Paul PONT, président de la Ligue des brasseurs de France, *le Houblon à l'entrepôt frigorifique* (*l'Industrie frigorifique*, 2^e année, n° 13, juin 1904).

de 6^m,50; ces caves sont maintenues à une température comprise entre 0° et + 1° C. (fig. 349).

2° 2 caves de fermentation ayant ensemble une superficie de 730 mètres carrés et une hauteur de 5 mètres; ces caves, qui se trouvent au-dessus des caves de garde et ne sont pas



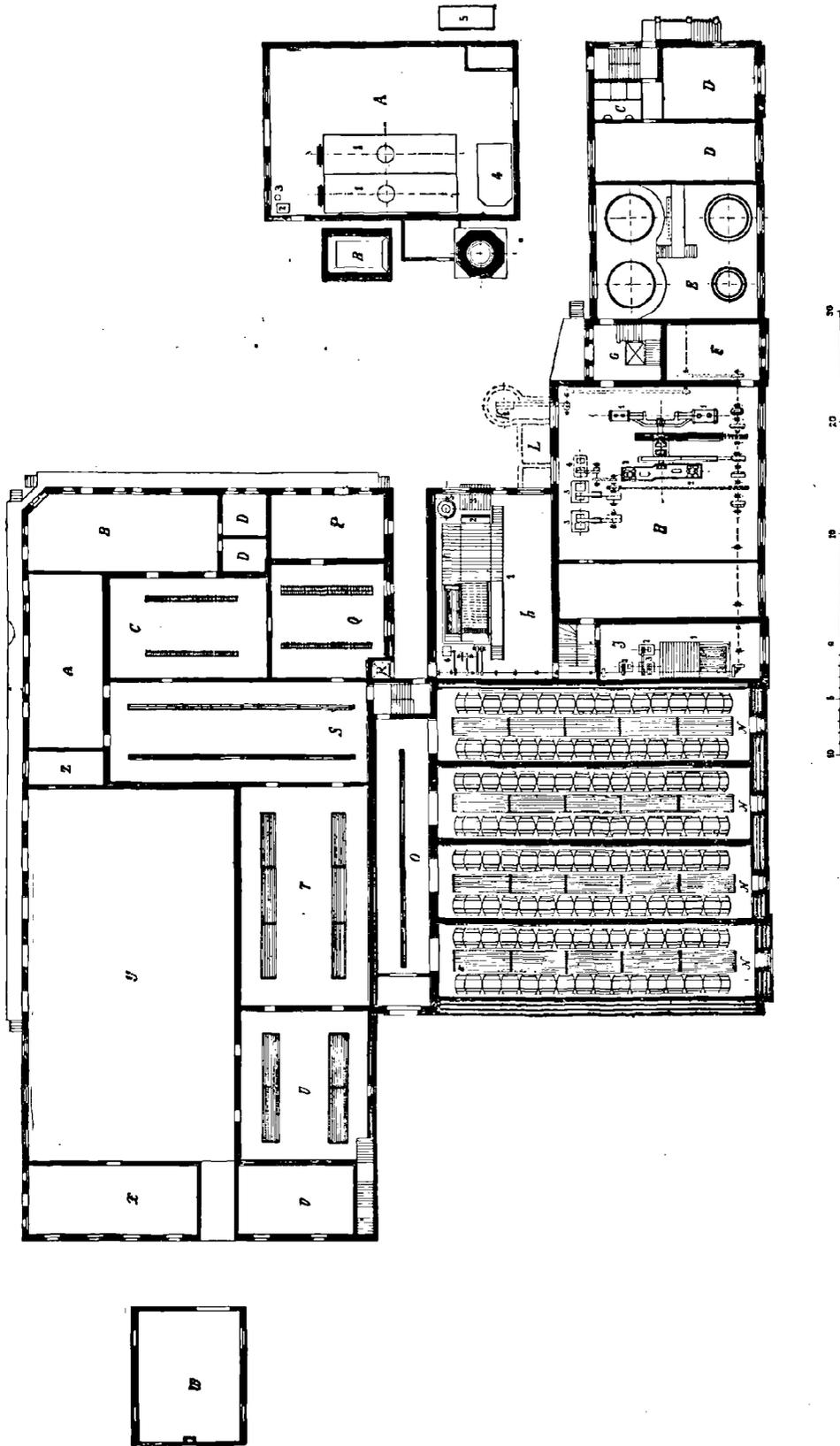
Cliché Borsig.

FIG. 344.

Vue de la brasserie Gabriel et Richter à Neu-Weissensee, près de Berlin (Installation frigorifique faite par la firme A. Borsig de Berlin).

visibles sur la figure 345, sont maintenues à une température comprise entre + 2° et + 4° C.

3° 2 antichambres froides précédant les caves de garde ayant ensemble une superficie de 230 mètres carrés et une hauteur de 3 mètres; elles sont maintenues à une température variant de + 2° à + 4° C.

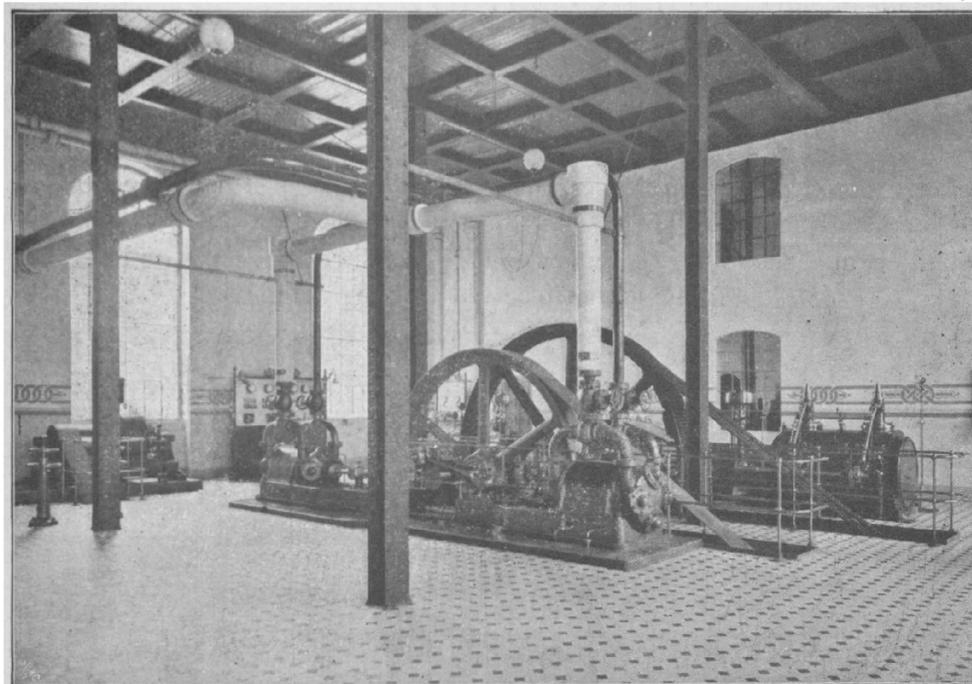


Cliché A. Borsig.

FIG. 345. — Plan de la brasserie Gabriel et Richter à Neu-Weissenau, près de Berlin (construction A. Borsig).

A, bâtiment des chaudières ; 1, chaudières ; 2, pompe d'alimentation ; 3, injecteur ; 4, économiseur ; 5, balance-bascule ; — B, refroidisseur d'eau qui a circulé au condenseur ; — C, lavabo et cabinets ; — D, comptoir ; — E, chambre de brassage [14 X 12 mètres] ; — F, mécanicien ; — G, monte-charges ; — H, chambre des machines [16,50 X 15,50 X 7 mètres] ; 1, machine à vapeur ; 2, compresseurs ; 3, dynamos ; 4, pompe pour envoyer au refroidisseur B l'eau qui a circulé au condenseur ; — I, chambre des appareils ; 1, réfrigérant d'eau douce ; 2, pompe pour l'eau douce ; 3, pompes à saumure ; — K, citerne du condenseur ; — L, citerne du condenseur ; — M, chambre des générateurs ; 1, bac à glace et évaporateur ; 2, bac de démolage ; 3, plan incliné sur lequel glissent les rouleaux de glace ; 4, pompe pour le condenseur à ruissellement du compresseur à SO₂ ; 5, réfrigérant à liquide ; — N, caves de garde ; — O, antichambre froide avant les caves de garde ; — P, expédition des bouteilles ; — Q, magasin de dépôt des bouteilles de bière avant l'expédition ; — R, monte-charges ; — S, dépôt des tonneaux avant l'expédition ; T, chambres de soutirage ; — U, antichambre froide ; — V, atelier de menuiserie ; — W, badigeonnage à la poix ; — X, tonnellerie ; — Y, hall pour les voitures d'expédition ; — Z, expédition ; — Chambres placées à la partie arrière du dessin : A, expédition des tonneaux ; B, salle de lavage des bouteilles ; C, remplissage des bouteilles ; D, expédition

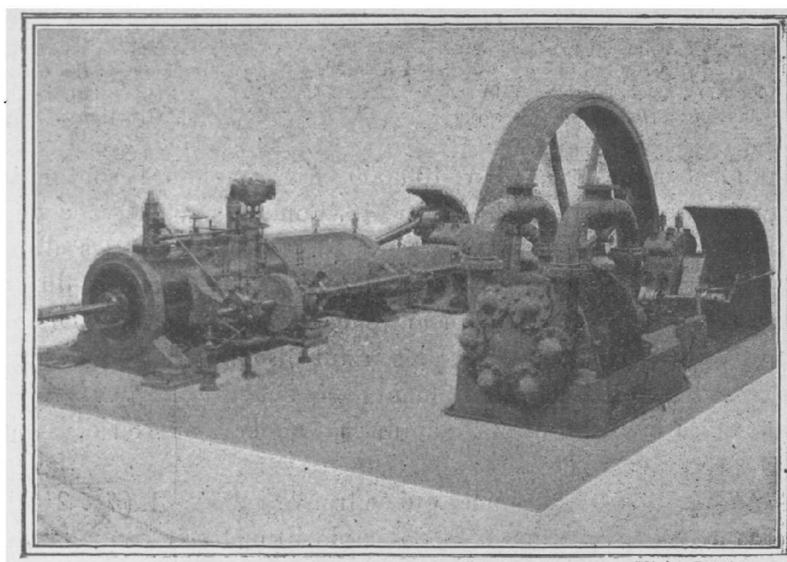
4° 1 *antichambre froide* précédant les *caves de fermentation* ayant 115 mètres carrés de surface et une hauteur de 4^m,20; elle est maintenue à une température variant de + 2° à + 4° C.



Cliché Borsig.

FIG. 346. — Chambre des machines de la brasserie *Gabriel et Richter* à Neu-Weissensee, près de Berlin (Construction de la firme *A. Borsig* de Berlin).

Deux compresseurs de 100.000 frigories chacun, entraînés par une machine à vapeur compound à deux cylindres dont les diamètres ont 400 et 640 millimètres et dont la course est de 800 millimètres. Cette machine, fonctionnant à condensation, produit normalement 200 chevaux indiqués à 90 tours par minute.



Cliché Borsig.

FIG. 347. — Compresseur Borsig à SO² en fonctionnement à la *Hirschbrauerei A. G. Köln-Bayenthal*.

5° 1 *antichambre froide U* (fig. 345) de 150 mètres carrés de surface et de 5 mètres de hauteur, maintenue entre + 2° et + 4° C.

6° 1 *cave pour le soutirage des tonneaux* de 220 mètres carrés de surface et de 5 mètres de hauteur, maintenue entre + 2° et + 4° C.

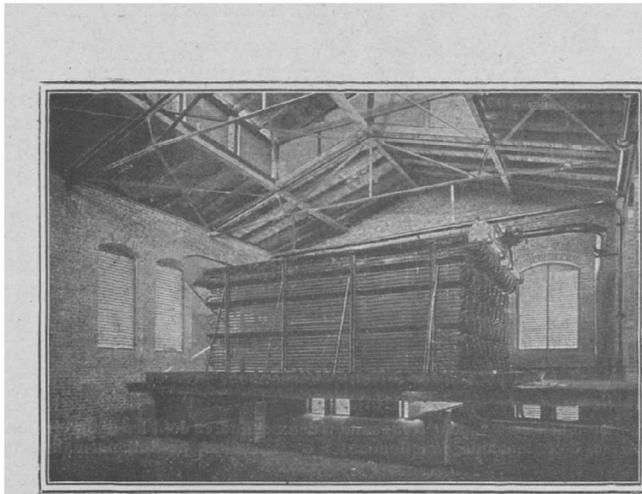
7° 1 *dépôt de tonneaux S* (*fig. 345*) de 200 mètres carrés de surface et de 5 mètres de hauteur, maintenu entre + 2° et + 4° C.

8° 1 *chambre pour le tirage en bouteilles* [C à côté de S (*fig. 345*)] de 125 mètres carrés de surface et de 5 mètres de hauteur, maintenue entre + 2° et + 4° C.

9° 1 *dépôt de bouteilles Q* (*fig. 345*) ayant 105 mètres carrés de surface et 5 mètres de hauteur, maintenu entre + 2° et + 4° C.

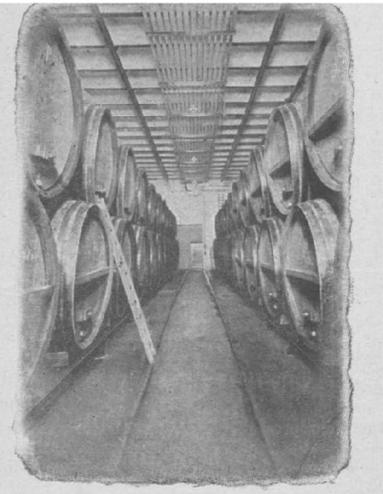
10° Une *installation pour la réfrigération journalière par eau douce* de 500 hectolitres de brassin (préalablement refroidis à + 15° C. au moyen d'eau de puits) et de 60 cuves de fermentation ayant chacune une contenance de 35 hectolitres.

11° Un *bac à glace* de 24 tonnes en blocs de 13 kilogrammes.



Cliché Borsig.

FIG. 348. — Condenseur à ruissellement de la machine frigorifique à SO_2 de la brasserie Gabriel et Richter, à Neu-Weissensee, près de Berlin (Construction A. Borsig, de Berlin).



Cliché Borsig.

FIG. 349. — Cave de garde de la brasserie Gabriel et Richter, à Neu-Weissensee, près de Berlin (Construction Borsig, de Berlin).

Les deux compresseurs de chacun 100.000 frigories-heure sont entraînés par la machine à vapeur, comme le montre la figure 346. Comme nous l'avons déjà fait remarquer à la page 127, chacun de ces compresseurs présente 4 soupapes d'admission (2 de chaque côté du cylindre) et 4 soupapes de refoulement (2 de chaque côté du cylindre).

La figure 347 représente d'ailleurs un autre compresseur à SO_2 Borsig, installé à la Hirschbrauerei A.-G., à Köln-Bayenthal et présentant 6 soupapes d'admission (3 de chaque côté du cylindre) et 6 soupapes de refoulement (3 de chaque côté du cylindre).

Le condenseur de la machine frigorifique de la brasserie Gabriel et Richter est à ruissellement; il est représenté sur la figure 348.

Le bassin à réfrigération d'eau douce, qui se trouve en [J — 1 (*fig. 345*)] a 6 mètres de longueur, 4 mètres de largeur et une contenance de 40 mètres cubes; l'eau y est refroidie par un serpentín en fer forgé galvanisé extérieurement, dans lequel circule une partie de la saumure froide du bac à glace.

L'air des caves est refroidi par des tuyaux dans lesquels circule de la saumure : *tuyaux lisses à brides* dans les caves de garde (*fig. 349*) et les antichambres qui précèdent les caves; *tuyaux à ailettes* (*fig. 342*) dans les caves de fermentation.

CHAPITRE IX

CONSERVATION PAR LE FROID DE LA VIANDE ET DU GIBIER¹

I

LES FRIGORIFIQUES DANS LES ABATTOIRS

1. De l'utilité des frigorifiques pour les bouchers détaillants. — L'adjonction d'un frigorifique à un abattoir constitue pour le boucher détaillant un avantage de premier ordre². On sait en effet que, pendant la saison chaude, chaque boucher s'ingénie à recourir aux moyens les plus convenables pour ne pas perdre de viande par corruption. S'il limite son approvisionnement d'étal au strict nécessaire, il manque souvent la vente, car il ne peut donner le nombre de morceaux qu'on lui réclame, et les clients vont chez un concurrent chercher ce qu'ils ne trouvent pas chez lui. S'il n'a qu'un faible débit et ne peut conserver la viande d'un animal entier, d'un abatage à l'autre, il achète à un confrère la quantité de viande strictement indispensable, ou lui remet une partie de la bête qu'il a tuée pour son propre compte, à moins qu'il ne s'associe à un autre boucher pour abattre un animal en commun et faire le partage. Mais, pour des motifs divers, un boucher peut être obligé malgré lui de garder de la viande au delà de ses prévisions. Il ne tarde pas alors à voir cette viande se pourrir et devenir invendable : s'il est honnête et ne veut pas la vendre à des restaurateurs ou à des saucissonniers sans scrupules, il se voit dans l'obligation de l'envoyer à l'équarrissage.

Pour éviter ces pertes, les bouchers débitent en été de la viande trop fraîchement tuée, non égouttée, ni raffermie, encore chaude. Cette denrée est peu marchande, car, surtout en rôti et en beefsteak, une viande n'est réellement bonne que lorsqu'elle est rassise ou *mortifiée* et par suite tendre et facile à mâcher. Comme cette qualité ne peut être obtenue que quelques jours après l'abatage, il en résulte que la viande est presque introuvable en cet état pendant l'été. Le boucher qui voudrait la conserver le temps nécessaire pour la rendre tendre, courrait le risque de la trouver pourrie au moment où l'attendrissement serait obtenu.

1. Pour la rédaction de ce chapitre, nous avons fait des emprunts aux ouvrages suivants : DE LOVERDO, *le Froid artificiel*, p. 267 à 354 ; — DE LOVERDO, *Construction et agencement des abattoirs* (Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906) ; — A. PERRÉ, *les Machines à glace*, chap. IV ; *la Conservation des viandes*, p. 341 ; — E. MARCHAL, *Des viandes de boucherie conservées par le froid*. (Paris, Asselin et Houzou, 1895) ; — LEHNERT, *Moderne Kältetechnik* ; — STIEBEL, *Compend of Mechanical Refrigeration*, p. 212, chap. VIII ; — OSCAR SCHWARZ, *Bau, Einrichtung und Betrieb öffentlicher Schlacht- und Viehhöfe*, p. 361 à 473 ; — STETEFELD, *Compendium der gesamten Kälte-Industrie*, p. 358 à 386.

2. CH. MOROT, *les Frigorifiques dans les abattoirs* (*L'Industrie frigorifique*, 3^e année, n° 20, janvier 1905) ; — FOUCHER et MALLET, *l'Industrie frigorifique dans les abattoirs ; utilité des entrepôts frigorifiques pour la conservation des viandes* : rapport présenté à la Société médicale d'Angers (*L'Industrie frigorifique*, 3^e année, n° 25, juin 1905).

Les bouchers qui ont la précaution de ne pas s'approvisionner au jour le jour supportent des frais importants de nourriture pour les animaux qu'ils conservent aux étables de l'abattoir plus d'un jour avant l'occision. Ces bêtes dépérissent au détriment du poids et de la qualité de la viande et des abats, quand elles ne mangent pas, soit qu'on oublie de leur donner des aliments, soit que ce déplacement leur ait enlevé l'appétit.

Dans certaines villes, tous les patrons bouchers tuent leurs bestiaux aux dernières heures du soir ou les font tuer ainsi par des garçons à leur solde ou par des abatteurs. Tous travaillent mal à ce moment, car ils se hâtent afin d'avoir fini à la fermeture de l'abattoir.

Les *tripiers* sont encore plus que les bouchers victimes des grandes chaleurs, car les seconds ne s'inquiètent pas des besoins des premiers et ne consultent que leurs propres intérêts pour décider la mort d'une bête dont l'abat sera conduit à la triperie alors même que celle-ci sera déjà encombrée.

Tous ces inconvénients n'existent plus si l'abattoir est muni d'un frigorifique. Celui-ci permet de conserver les viandes pendant huit ou quinze jours par les températures les plus chaudes, sans crainte d'avaries. Au bout de ce temps elles sont aussi belles et aussi fraîches qu'au moment de l'abatage; elles sont, en outre, *rassises* et peuvent être livrées au consommateur *tendres, juteuses et savoureuses*. Il n'est plus nécessaire de conserver des animaux à l'écurie; car ils peuvent être abattus immédiatement et mis en réserve au frigorifique.

2. De l'utilité des frigorifiques pour les éleveurs. — *Le manque d'appareils de conservation par le froid n'est pas moins défavorable à l'éleveur qu'au boucher détaillant.* Les frais généraux que doit supporter un éleveur pour envoyer un animal vivant au marché de la Villette, par exemple, sont énormes. Il en est de même si le producteur envoie de la viande abattue aux Halles Centrales: les intermédiaires sont nombreux; chacun prétend à un bénéfice, et le prix net qui ressort en dernier lieu pour l'expéditeur est toujours faible. Avec le système actuel, il faut vendre le bétail, soit aux abattoirs, soit aux halles, dans un délai très court, sous peine de dépréciation et de frais considérables.

Rien de tout cela n'existerait si l'expéditeur pouvait disposer de frigorifiques où il déposerait la viande des animaux abattus au lieu même où ils ont vécu et transportés par wagons frigorifiques aux halles de vente. Il ne serait plus soumis aux hasards de la criée, il resterait maître de sa marchandise et pourrait conjurer les effets des cours provisoirement désastreux.

3. La conservation de la viande dans les armoires-glacières est un procédé déplorable. — L'un des modes de conservation qu'emploient les bouchers détaillants est l'emploi de la *glace* au moyen de laquelle ils refroidissent l'intérieur d'*armoires-glacières* closes où sont enfermés les morceaux de viande. Cette pratique, bien que constituant un progrès sur celle qui consistait à mettre la viande au contact de la glace, est encore déplorable. Comme le fait remarquer O. Schwarz, la viande *gardée dans des glacières non ventilées est molle et flasque; à peine exposée à l'air, elle se décompose facilement.* En effet, ainsi que nous le verrons plus loin, l'abaissement de température ne suffit pas pour conserver la viande, il faut y ajouter la constance de la température basse et un certain état de sécheresse de l'air. Or ni l'une ni l'autre de ces conditions ne sont réalisées dans le mode de conservation par les armoires-glacières; *la surface de la viande généralement humide offre aux microbes un sol extrêmement propre à leur développement*¹.

1. Pendant les grosses chaleurs, le buffet-glacière permet de conserver la viande à peine deux jours. De plus, pour qu'un buffet-glacière fonctionne dans de bonnes conditions, il faut que le réservoir rayonnant à l'intérieur du buffet soit

4. La conservation de la viande dans les maisons-glacières. — Dans quelques villes d'Allemagne on a construit de véritables maisons-glacières généralement divisées en deux parties : une partie contient la glace, l'autre sert de chambre à conservation de viande. Les murs extérieurs sont isolés avec soin ; les cloisons intérieures comprises entre la chambre à glace et la chambre à viande sont percées de canaux permettant de faire circuler l'air de l'une des chambres à l'autre. L'air chaud et chargé d'humidité venant de la chambre à viande vient passer sur la glace, se refroidit et se dessèche pour revenir au contact de la viande.

Ces maisons-glacières ont été édifiées d'après plusieurs types¹, que nous ne décrivons pas ici, parce que, même avec les perfectionnements apportés, ce mode de conservation n'a pas donné de bons résultats. Si on admet que l'air passant sur la glace se refroidit à zéro, *il faut une circulation d'air trop considérable pour obtenir à la surface de la viande ce dessèchement superficiel qui en assure la conservation. Dans les maisons-glacières la viande reste toujours humide, même quand on fait circuler par heure entre la chambre à glace et la chambre à viande un volume d'air égal à 15 ou 20 fois le volume de la chambre à viande.*

De plus, l'emploi de ces maisons-glacières n'est possible que dans les contrées où la glace naturelle abonde. Or nous avons vu au chapitre précédent combien cette glace est impure ; l'air en passant au travers se charge de microorganismes qui viennent se déposer sur la viande et hâter sa décomposition.

Aussi tous ceux qui s'occupent de l'industrie du Froid sont-ils opposés à l'emploi des maisons-glacières pour la conservation de la viande².

L'emploi du froid produit au moyen de machines frigorifiques est préférable à tous égards ; ce sont les conditions de son application que nous allons maintenant indiquer.

5. Situation et construction des chambres froides. — Tout ce que nous avons dit au chapitre v sur la construction et le mode de refroidissement d'un entrepôt frigorifique s'applique aux frigorifiques d'abattoirs. Nous indiquerons ici quelques détails d'installations particuliers à ce genre d'entrepôts frigorifiques.

Un frigorifique d'abattoir se compose essentiellement :

- 1° D'une *antichambre froide* (en allemand *Vorkühtraum*) ;
- 2° De la *chambre froide proprement dite* (*Kühtraum*) ;
- 3° D'une *salle spéciale pour salaisons* (*Pökeltaum*) ;
- 4° D'une *salle spéciale pour le dépeçage de la viande* (*Zerlegeraum*).

Il y a aussi dans certains abattoirs, comme celui de Berlin, *des chambres froides réservées aux viandes de mauvaise qualité. Elles sont soigneusement séparées des autres chambres et possèdent un frigorifère spécial.*

[Voir de telles chambres marquées N sur la figure 350 qui représente le plan général du frigorifique de l'abattoir de Berlin.]

L'accès et l'entrée du frigorifique doivent être aussi faciles que cela est possible. Le sol du frigorifique doit être uni et en tout temps facile à nettoyer complètement ; il doit être possible

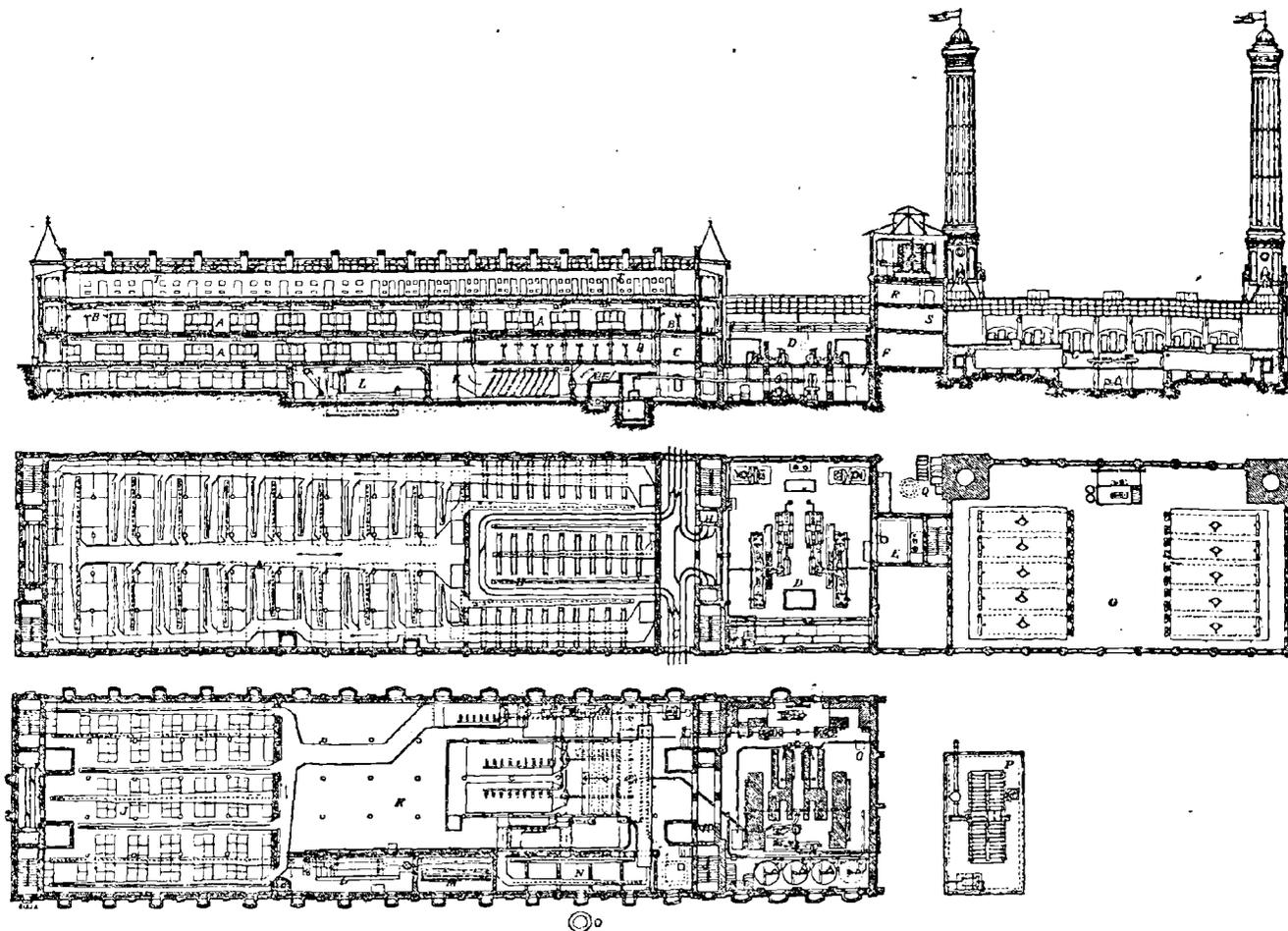
constamment rempli de glace. La dépense de glace est donc souvent considérable ; elle peut atteindre jusqu'à 10 francs par jour.

Aussi les boucheries d'une certaine importance, qui dépensent plus de 5 francs de glace par jour en été, auraient-elles tout intérêt à installer une petite chambre froide convenablement ventilée. Un grand nombre de ces petites installations à l'ammoniaque ou à l'anhydride sulfureux existent en Allemagne. On trouvera des schémas de ces installations dans les mémoires suivants : E. MOOG, *Schwefelsäure-Dampfkühlungen* (*Eis und Kälte-Industrie*, t. VI, n° 1, 5 juillet 1904) ; — *Kleine Kühlanlagen für Fleischer* (*Eis und Kälte-Industrie*, t. VI, n° 2, 20 juillet 1904).

2. Voir des schémas de maisons-glacières dans Otto Kasdorf (*Eis und Kälte im Molkereibetrieb*, p. 118 et suiv.).

3. Voir ce que disent à ce sujet : F. MORITZ, *Archiv für animal. Nahrungsmittelkunde*, t. V, p. 68 ; — OSTERTAG, *Handbuch der Fleischschau*, 4^e édition, 1902, p. 846 ; — O. SCHWARZ, *Bau öffentlicher Schlachthöfe*, p. 375.

de réaliser une ventilation et un renouvellement d'air convenables dans toutes les parties.
On doit chercher autant que possible à exposer au Nord la façade principale du frigo-



Cliché de « L'Industrie frigorifique ».

FIG. 350. — Installation frigorifique de l'abattoir municipal de Berlin
(Installation de 600.000 frigories-heure faite par la firme A. Borsig, de Berlin).

A, Salles frigorifiques au rez-de-chaussée (surface totale : 1.103 mètres carrés; surface utile : 692 mètres carrés; hauteur : 3^m.25; 98 cases divisées en 20 groupes) et au premier (surface totale : 1.475 mètres carrés; surface utile : 843 mètres carrés; 124 cases divisées en 26 groupes); — B, Antichambres froides (1 au rez-de-chaussée ayant 487 mètres carrés; 2 au premier ayant ensemble 214 mètres carrés); — C, Passage avec monorails de transport (4^m.20 de large); — D, Salle des machines. 2 machines à vapeur compound de 380 et 640 millimètres de diamètre, de 800 millimètres de course (puissance normale indiquée à 60 tours par minute : 140 chevaux); 4 compresseurs (2 par machine à vapeur) de 160.000 frigories-heure chacun; 3 compresseurs en marche normale fournissant 480.000 frigories-heure, un quatrième en réserve; manivelle des compresseurs calée à 120 degrés de celle de la machine; ces compresseurs ont 6 soupapes d'admission et 6 soupapes d'échappement; 1 pont roulant de 5 tonnes; 2 dynamos d'éclairage accouplées à des moteurs à vapeur verticaux donnant 100-120 chevaux à 270 tours par minute; — E, Salle des appareils d'eau à congeler; — F, Atelier; — G, Bâtiment des chaudières (10 chaudières à tubes de flammes ayant chacune 100 mètres carrés de surface de chauffe; chaque chaudière possède un surchauffeur de 30 mètres carrés pour porter la vapeur à 210° C.); — H, Puits des monte-charges; — J, Salle à salaisons (582 mètres carrés); — K, Salle des frigorifères (13^m.6 de longueur, 2^m.50 de largeur, 2^m.35 de hauteur). Frigorifère à ruissellement pour les chambres frigorifiques du rez-de-chaussée et du premier étage; frigorifère destiné à la salle des salaisons; frigorifère destiné à la salle de la viande ladre; réfrigérant à eau salée destinée aux frigorifères; — L, Salle du bac à glace; — M, Glacière avec tuyaux réfrigérants; — N, Salle frigorifique pour viande un peu ladre (67 mètres carrés); — O, Fondations. Fondations des machines à vapeur, des compresseurs, des dynamos à vapeur; 3 condenseurs à immersion ayant chacun une surface réfrigérante de 161 mètres carrés et contenant des serpentins en cuivre sans soudure dont les tuyaux ont 42 millimètres de diamètre intérieur et 46 millimètres de diamètre extérieur, la longueur de chacun de ces serpentins est de 1.170 mètres; pompes à eau de condensation, à air, à eau de congélation; — P, Bâtiment des condenseurs à vapeur. Condenseur à ruissellement; séparateur d'huile; bouilleur à eau de congélation; — Q, Puits; — R, Salle des accumulateurs; — S, Chambre du directeur; — T, Chambre pour les viandes fumées.

rifique. En tout cas l'accès des rayons solaires doit être empêché au moyen d'auvents et de volets.

D'après O. Schwarz, on se trouve dans les meilleures conditions pratiques en disposant

les chambres froides comme une sorte d'annexe latérale dans laquelle on peut parvenir de la halle d'abatage sans passer à l'air libre. On soustrait ainsi aux intempéries la viande à transporter. Dans certains petits abattoirs (abattoirs de Rügenwalde, de Neusalz), le frigorifique est immédiatement attenant à la halle d'abatage. Mais dans la plupart des abattoirs allemands, on dispose soit un grand corridor commun aux deux bâtiments (abattoirs de Posen, d'Offenbach), soit au moins un passage couvert (en verre ou en tôle ondulée) sous lequel peuvent se placer les voitures qui viennent enlever la viande. La figure 331 représente le hall d'inter-

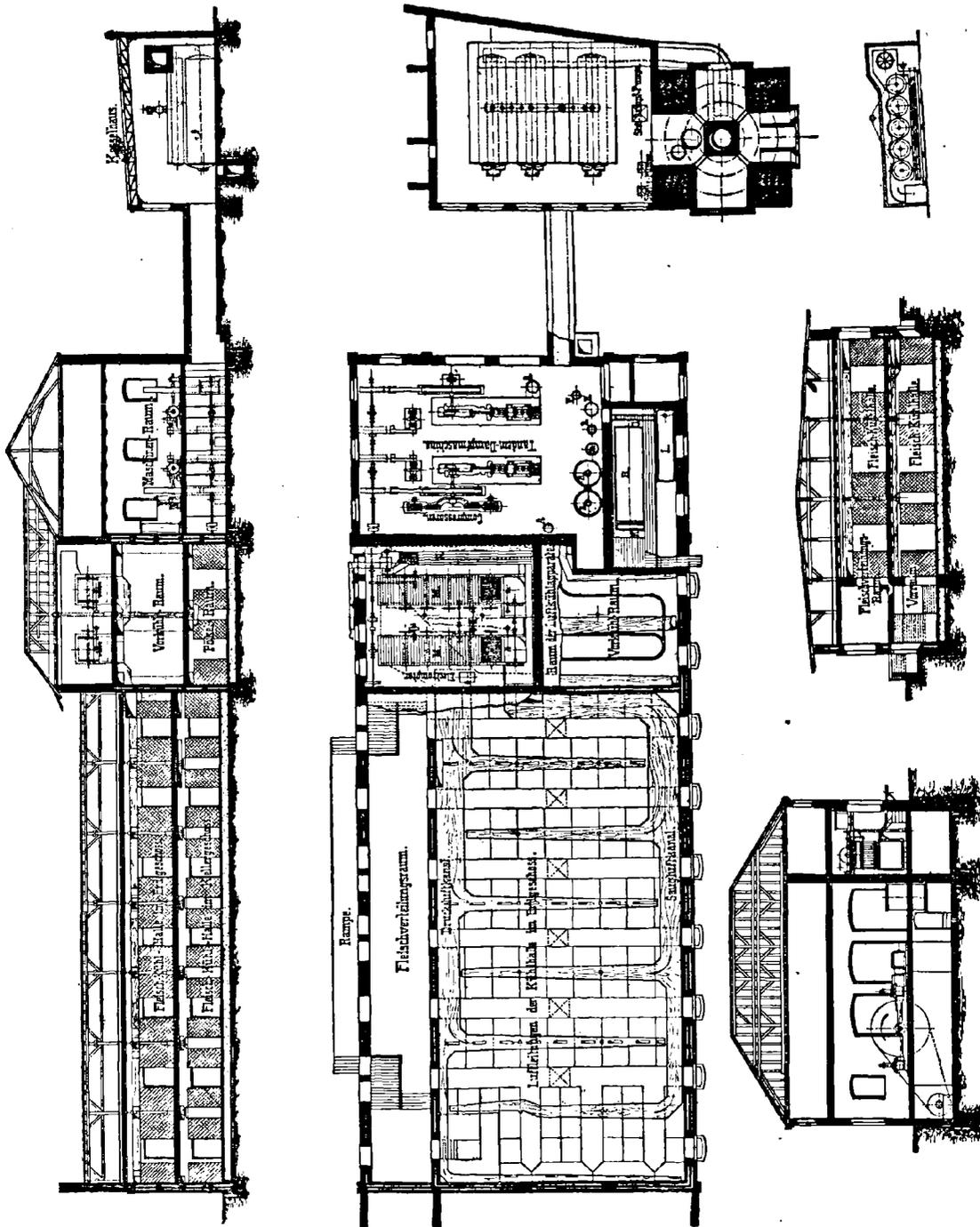


FIG. 331. — Hall d'intercommunication de l'abattoir d'Offenbach (Construction A. Borsig, de Berlin). Cliché A. Borsig.

communication ou allée vitrée de l'abattoir d'*Offenbach*. On voit nettement sur cette figure les rails transporteurs qui amènent la viande de la halle d'abatage dans l'antichambre froide. Cette allée large de 15 mètres est éclairée par une série de vasistas latéraux (qu'on atteint par une sorte de galerie en balustrade) et par des lanterneaux à châssis mobiles. Le sol est pavé en béton, celui des trottoirs en plaques de ciment. Pour éviter les courants d'air, le hall est fermé du côté sud à l'aide d'une cloison vitrée, en partie démontable, où l'on a réservé de grandes portes et qu'on enlève en été. L'extrémité nord est également vitrée au-dessous du cintre.

On a fait de différents côtés des objections bien fondées sur les inconvénients que peut présenter la communication directe entre le frigorifique et la halle d'abatage, surtout lorsque des étables à bestiaux sont immédiatement attenantes à celle-ci. Il est en effet à craindre que de mauvaises odeurs ne pénètrent dans les chambres du frigorifique.

Aussi convient-il d'avoir aux étables des portes fermant bien et de tenir cette partie de l'abattoir avec la plus grande propreté. De plus, le frigorifique ne doit être ouvert que



Cliché Linde.

FIG. 332. — Le frigorifique de l'abattoir de Mayence (Construit par la Société Linde).

Fleisch-Kühl-Halle im Erdgeschoss, Chambre froide du rez-de-chaussée pour la conservation de la viande; — *Fleisch-Kühl-Hall im Kellergeschoss*, Chambre froide du sous-sol pour la conservation de la viande; — *Vorkühl-Raum*, Antichambre froide; — *Pökel-Haus*, Salle à salaisons; — *Maschinen-Raum*, Salle des machines; — *Kesselhaus*, Chaufferie; — *Rampe*, Rampe; — *Fleischverteilungsraum*, Chambre pour la distribution de la viande; — *Druckluftkanal*, Canal de refoulement d'air; — *Saugluftkanal*, Canal d'aspiration d'air; — *Luftleitungen der Kühlhalle im Erdgeschoss*, Conduite d'air froid de la salle froide du rez-de-chaussée; — *Raum der Luftkühlapparate*, Chambre des frigorifiques; — *Elektromotor*, Electromoteur; — *Compressoren*, Compresseurs; — *Tandem-Dampfmaschine*, Machine à vapeur tandem; — *Speise-Pompe*, Pompe alimentaire; — *Steh-Dampf-Pompe*, Pompe à vapeur verticale. A, Réservoir AzH₃; — B, Condenseurs AzH₃; — D, Séparateur de l'huile entraînée par la vapeur d'eau de la machine; — E, Rebouilleur pour la désaération de l'eau provenant de la condensation de la vapeur; — H, Bac à glace transparente (6.300 kilogrammes par jour en blocs de 20 kilogrammes à section carrée); — J, Remplisseur des mouleaux de glace; — K, Appareil de démoulage; — L, Réservoir d'eau pour la glace; — M, Frigorifère à disques Linde.

NOTA. — Les deux machines à vapeur ont une distribution à soupapes Suzer; diamètres des cylindres, 310 et 400 millimètres; — Course, 800 millimètres; — Puissance, 90 chevaux indiqués à 78 tours par minute et avec une pression normale à l'admission de 7,5 atmosphères; — A, échappement libre ou condensation.

Compresseur double, 270 millimètres de diamètre, 500 millimètres de course, peut fournir 220.000 frigories-heure.

La chambre de chauffe contient trois chaudières, à double foyer intérieur, réunies par un collecteur de vapeur transversal. Chacune de ces chaudières a 70 mètres carrés de surface de chauffe et est construite pour une pression effective de 8 atmosphères. Deux chaudières suffisent en général pour la marche normale de l'abattoir la troisième est en réserve.

lorsque l'abatage est terminé. Enfin il doit exister entre les chambres froides et la halle d'abatage soit une simple *resserre* (*Vorraum*), soit une *antichambre froide* ou *sas d'air froid* (*Vorkühtraum*).

Lorsqu'on ne dispose pas d'une place suffisante, on construit le frigorifique en deux étages. Dans certaines installations les deux étages sont au-dessus du sol (Cologne, Bonn, Magdebourg, Berlin, Hanau, Heilbronn, Siegbourg, Mülheim-sur-le-Rhin); dans d'autres, l'un des étages est au-dessus du sol, et l'autre au-dessous est une véritable cave [Leipzig, Mayence (*fig. 352*), Cæslin, Straubing...]. A Straubing, l'étage en cave sert maintenant pour les salaisons; mais il peut, au besoin, être employé comme frigorifique.

Le système qui consiste à placer l'une des parties du frigorifique entièrement sous terre n'est pas à recommander. Une cave ne convient pas en général comme chambre à conservation pour la viande; en effet, malgré la propreté la plus minutieuse et la meilleure ventilation, l'air y est toujours humide et dans des conditions de développement favorables pour les moisissures¹. Dans quelques abattoirs, pour faciliter l'accès à l'étage inférieur, on le met à moitié sous terre; dans ces conditions, une moitié d'escalier suffit pour conduire à l'étage supérieur et une autre moitié pour descendre jusqu'au sol de la cave. Ce mode de construction est employé à Elberfeld, Munich-Gladbach, Solingen.

A Cologne, Bonn, Mülheim-sur-le-Rhin, la salle des salaisons se trouve au sous-sol au-dessous des chambres froides disposées suivant deux étages; le frigorifique a donc trois étages.

Dans quelques villes allemandes où le frigorifique de l'abattoir ne comporte actuellement qu'un étage, on a construit ce rez-de-chaussée avec des murs assez épais pour permettre de construire, le cas échéant, un étage sur celui-ci. Les machines sont disposées de telle façon qu'il n'y ait besoin que d'installer un second compresseur pour le refroidissement du local agrandi.

On trouve rarement les chambres frigorifiques sous la halle d'abatage, comme cela existe, à Dresde, Görlitz, Neisse, Francfort-sur-le-Mein, Nüremberg, Fribourg-en-Brigau. Ce mode de construction n'est pas à recommander; car, par suite de la production de crevasses dans le sol de la halle d'abatage, il peut se produire dans l'isolant du plafond du frigorifique des infiltrations d'eau ou de liquides graisseux qui détruisent cet isolant.

6. Dimensions des chambres froides proprement dites. — Superficie. — On peut de la manière suivante calculer les dimensions des chambres froides proprement dites.

Calcul d'après Osthoff. — Supposons que chaque habitant d'une ville consomme au maximum 70 kilogrammes de viande par an². Admettons que l'on abatte deux jours par semaine. La quantité de viande qu'il faut tuer par abatage et par habitant est

$$\frac{70}{2 \times 52} = 0^{\text{e}},7 \text{ en chiffres ronds.}$$

Les chambres froides doivent être assez grandes pour pouvoir contenir une fois et demie la quantité de viande abattue par jour d'abatage, ce qui donne

$$0,7 \times 1,5 = 1 \text{ kilogramme de viande par habitant.}$$

1. SCHWARZ, *Ueber die Ursachen abnormer Gerüche in Kühlhäusern und deren Beseitigung* (*Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie*, 1899, fasc. 1, 2, 3, et 1900, fasc. 10).

2. En Allemagne, la consommation moyenne de viande fraîche par habitant varie de 55 à 70 kilogrammes par an. En France, cette consommation (qui ne comprend ni les viandes salées ni les viandes fumées) peut être évaluée à 36 kilogrammes par tête. Si l'on tient compte de la moindre exigence des enfants pour leur alimentation, c'est tout au plus si le taux annuel de la ration d'un habitant français adulte peut être évalué à 50 kilogrammes. Or, il faut remarquer que la ration du soldat en temps de paix a été fixée à 108 kilogrammes par an, soit 300 grammes par jour.

Comme sur chaque mètre de toute la surface intérieure des chambres froides on peut mettre 120 kilogrammes de viande, on voit que pour chaque habitant il faudra

$$\frac{1}{120} = 0^m,0083$$

de surface de chambre froide ou 1 mètre carré par 120 habitants.

Les avis sont partagés sur le poids de viande que l'on peut mettre par mètre carré de la superficie d'une chambre froide :

Osthoff	admet 120 kilogrammes par mètre carré		
Constanz-Schmitz ¹	— 100	—	—
Linde	— 200	—	—
Stetefeld ²	— 150	—	—
Schwarz	— 150	—	—
Musmacher ³	— 250	—	—

Calcul d'après Schwarz. — Admettons le nombre de Stetefeld et Schwarz, et considérons une ville de 20.000 habitants dans laquelle on tue par an :

1.850 têtes de gros bétail; 5.380 têtes de petit bétail; 6.840 porcs.

Le tableau LI donne cette proportion d'animaux abattus pour des villes de 5.000 à 500.000 habitants.

TABLEAU LI
DONNANT, D'APRÈS O. SCHWARZ, LE NOMBRE MOYEN DE BÊTES ABATTUES PAR AN
DANS LES VILLES ALLEMANDES

NOMBRE D'HABITANTS	BŒUFS	MOUTONS	VEAUX	PETIT BÉTAIL (Somme des nombres des deux colonnes précédentes)	PORCS
5.000	625	530	990	1.520	1.735
6.000	546	564	1.032	1.596	2.058
7.000	637	658	1.204	1.862	2.401
8.000	728	752	1.376	2.128	2.744
9.000	819	846	1.548	2.394	3.087
10.000	910	940	1.720	2.660	3.430
12.000	1.116	1.056	2.172	3.228	4.104
15.000	1.395	1.320	2.715	4.035	4.830
18.000	1.674	1.584	3.258	4.842	6.156
20.000	1.860	1.760	3.620	5.380	6.840
25.000	2.025	2.575	3.625	6.200	7.825
30.000	2.430	3.090	4.350	7.440	9.390
35.000	3.185	2.590	5.460	8.050	12.180
40.000	3.640	2.960	6.240	9.200	13.920
45.000	4.050	3.150	5.850	9.000	15.930
50.000	4.500	3.500	6.500	10.000	17.700
50.000-100.000	100	99	158	257	346
100.000-200.000	75	89	137	226	346
200.000-300.000	77	97	142	239	323
300.000-400.000	66	94	157	252	306
400.000-500.000	156	82	485	567	512

1. CONSTANZ SCHMITZ, *Berechnung einer Fleisch-Kühl-Anlage (Eis und Kälte-Industrie, t. II, p. 73)*. Il est probable que les nombres donnés par Osthoff et Schmitz sont relatifs à la superficie totale des chambres froides sans défalcation de l'espace nécessaire pour les passages de service.

2. STETEFELD, *Compendium der gesamten Kälte-Industrie, p. 360; Winke für Schlachthöfe bauende Städte (Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie, 9^e année, janvier 1902)*.

3. J. MUSMÄCHER, *Erfahrungen aus dem Bau und Betriebe von Kühlanlagen (Berliner Thierärztliche Wochenschrift-n° 36, 4 septembre 1902)*.

Admettons que l'abatage ait lieu deux fois par semaine ou bien 100 fois par an. Dans chaque jour d'abatage on tue

$$\frac{1860}{2 \times 50} = 18,6 \text{ têtes de gros bétail, } \frac{5380}{2 \times 50} = 53,8 \text{ têtes de petit bétail, } \frac{6840}{2 \times 50} = 68,4 \text{ porcs.}$$

Soient les poids suivants pour chaque sorte de bétail :

Gros bétail (taureaux, bœufs, vaches)	274 kilogrammes
Petit bétail (veaux, 37 ^{kg} ,3; moutons, 22 kilog.), en moyenne.	30 —
Porcs	82 —

On tue donc en moyenne par jour d'abatage

$$18,6 \times 274 + 53,8 \times 30 + 68,4 \times 82 = 12.319^{\text{kg}},2.$$

TABLEAU LII

DONNANT POUR QUELQUES VILLES ALLEMANDES DE PLUS DE 50.000 HABITANTS
LA SUPERFICIE DES CHAMBRES FROIDES DE L'ABATTOIR

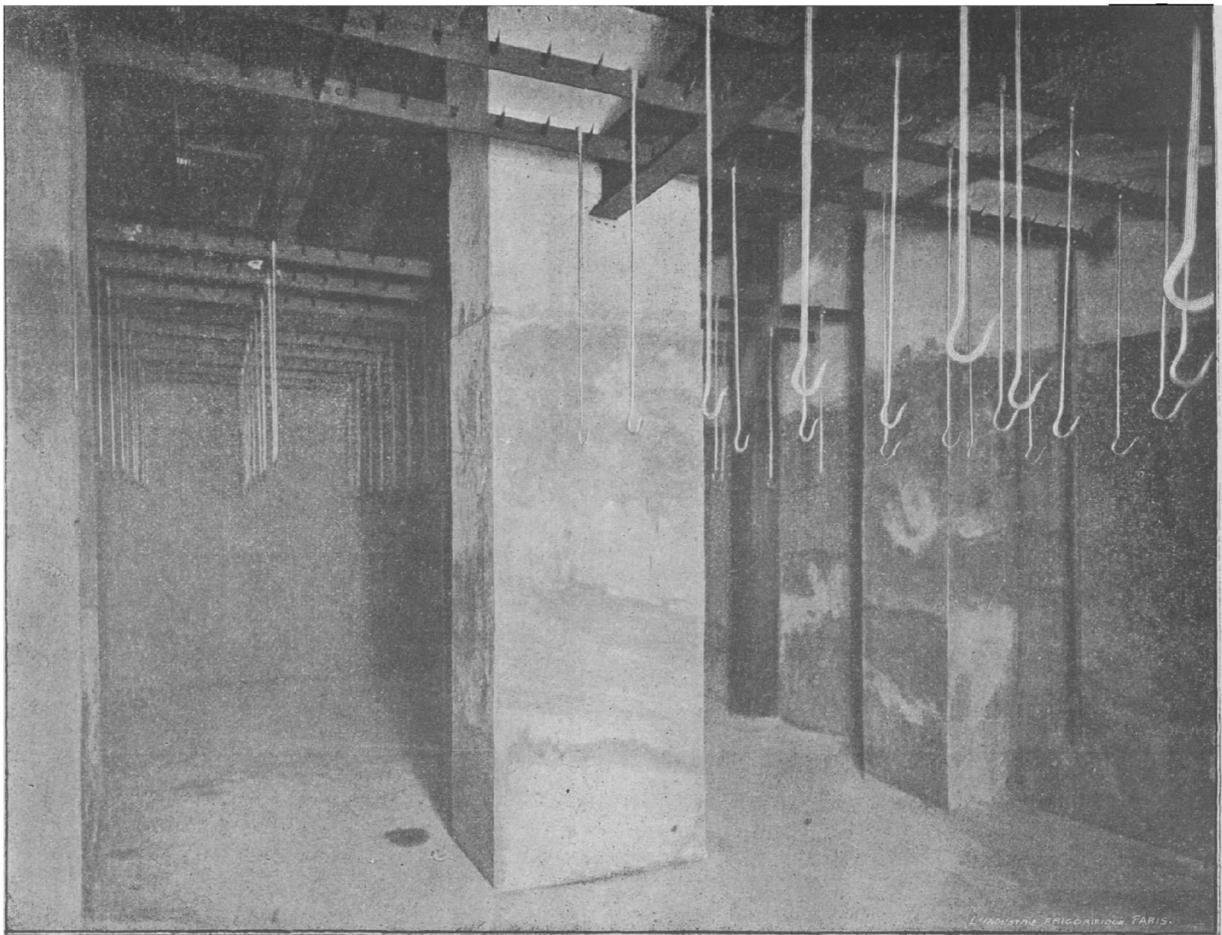
NOMS DES VILLES	HABITANTS EN 1000	SUPERFICIE EN MÈTRES CARRÉS			RAPPORT entre les SUPERFICIES de l'antichambre et de la chambre froide
		DES CHAMBRES froides	de L'ANTICHAMBRE froide	DE LA CHAMBRE A SALAISONS (S) DE LA CHAMBRE DE DÉCOUPAGE (D)	
	(mille)				
Augsbourg	88,9	712 »	230 »	»	0,32
Barmen	141,9	472 »	360 »	S. 396. D. 116	0,76
Berlin	1.884,2	2.538 »	701 »	S. 582	0,27
Bochum	65,6	360 »	223 »	S. 225. D. 45	0,63
Bonn	50,7	535 »	175 »	S. 425	0,32
Brunswick (Braunschweig) .	126,1	925 »	50 »	»	0,05
Breslau	422,7	2.107,43	1.277,65	»	0,61
Cologne (Köln)	372,2	4.450 »	450 »	S. 850	0,10
Danzig	140,5	1.610 »	230 »	»	0,14
Darmstadt	72,0	703 »	95 »	»	0,33
Duisbourg	92,7	239 »	180 » 30 »	»	0,75 0,12
Düsseldorf	213,8	2.720 »	500 »	S. 519	0,18
Elberfeld	156,9	2.060 »	280 »	S. 660	0,14
Erfurt	85,2	848 »	196,7	»	0,23
Essen	182,2	584 »	100 »	»	0,17
Francofort-sur-l'Oder	61,8	403 »	74 »	»	0,18
Fribourg en Brisgau	61,5	400 »	»	S. 180	»
Görlitz	80,9	782,5	380 »	»	0,48
Halle	156,6	778 »	255 »	»	0,33
Karlsruhe	97,0	660 »	60 »	»	0,09
Krefeld	106,9	1.000 »	390 »	S. 340	0,39
Leipzig	455,1	1.604 »	200 »	»	0,12
Mayence (Mainz)	84,5	1.340 »	225 »	S. 225. D. 283	0,16
Magdebourg	229,7	2.554 »	213 »	»	0,08
Mannheim	140,4	895 »	460 »	S. 180. D. 146	0,42
Pilsen	55,0	243 »	180 »	»	0,74
Planen	73,9	1.239 »	180 »	»	0,15
Posen	117,0	554 »	97 »	D. 98	0,18
Postdam	59,8	445 »	82 »	»	0,18
Remscheid	58,1	167,4	151,2	S. 90	0,90
Rostock	54,7	260 »	78 »	»	0,30
Wiesbaden	86,1	935 »	300 »	»	0,32

Les chambres froides devront être suffisamment vastes pour loger ce poids de viande à

côté de ce qui aurait pu rester d'un abatage précédent et qu'on peut évaluer comme équivalent au quart de cette quantité. On aura donc à loger en tout 15.400 kilogrammes de viande.

Si on peut mettre 150 kilogrammes de viande par mètre carré de chambre froide, il faut donc une surface de chambres froides égale à

$$\frac{15400}{150} = 103 \text{ mètres carrés.}$$



Cliché de « L'Industrie frigorifique ».

FIG. 353. — Usine frigorifique de la Société nantaise des glacières et entrepôts frigorifiques du marché de Feltre à Nantes. Vue des salles spécialement aménagées pour la boucherie (Construction Lebrun).

Si on compte au moins 1^m,50 de largeur pour les passages de service, il faut ajouter aux 103 mètres carrés qui précèdent environ 31 mètres carrés.

La surface intérieure des chambres froides doit donc être de 134 mètres carrés.

Le tableau III donne la superficie des chambres froides des abattoirs construits dans les villes allemandes de plus de 50.000 habitants.

A Dijon (60.000 habitants), les chambres froides ont une superficie de 216 mètres carrés au rez-de-chaussée et de 256^m²,50 au premier étage, soit pour les deux étages de chambres froides une surface totale de 472^m²,50.

7. Dimensions des chambres froides proprement dites. — Hauteur. — La hauteur de 3 à 4 mètres est suffisante pour les chambres froides. Dans quelques abattoirs cette hauteur est beaucoup plus grande ; on est alors obligé de refroidir inutilement plusieurs mètres cubes d'air. S'il existe dans les chambres froides un appareil transporteur sur rail

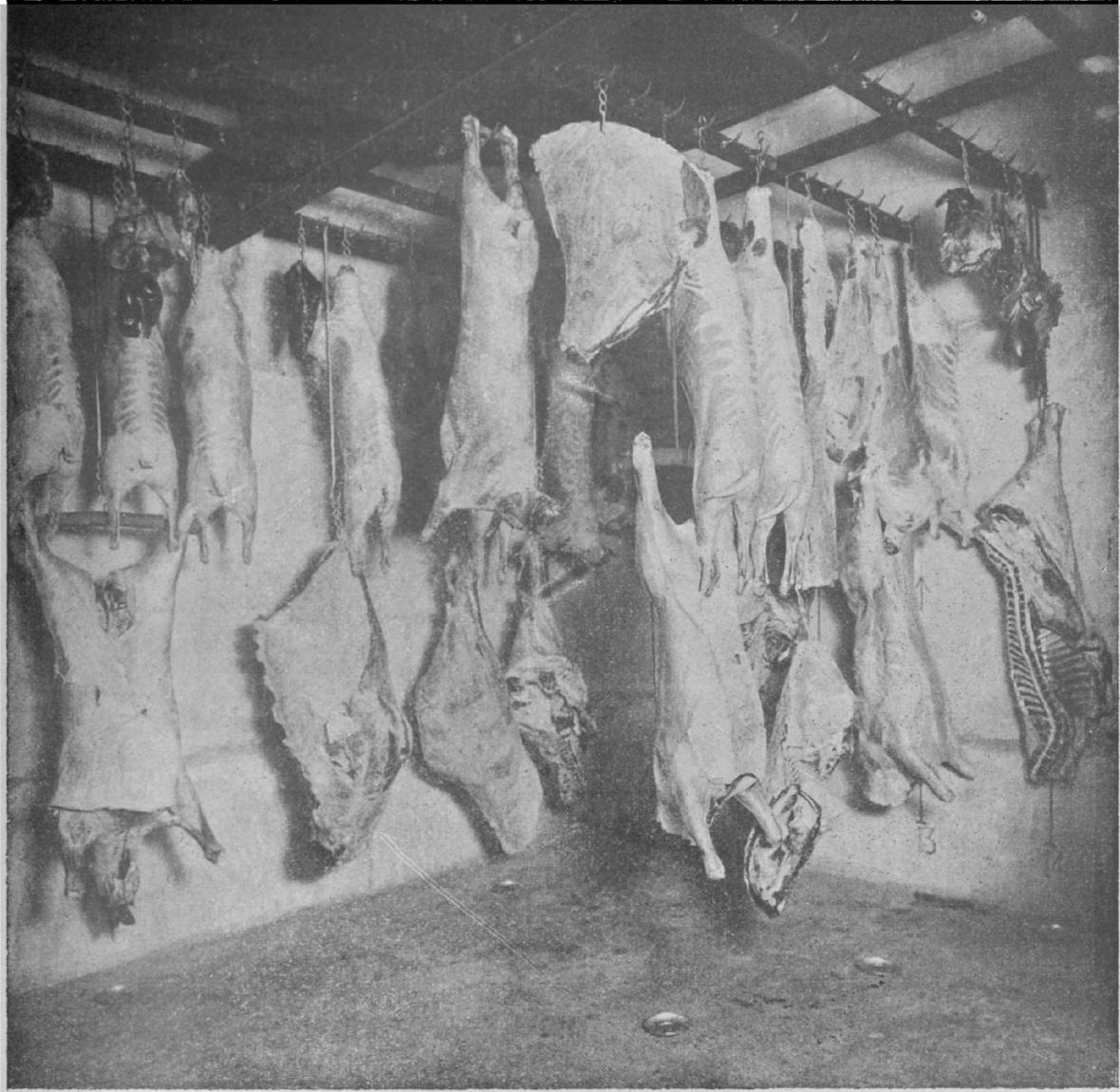


FIG. 354. — Usine frigorifique de la Société nantaise des glaciers et entrepôts frigorifiques du marché aux légumes à Nantes. Vue d'un coin d'une salle affectée à la conservation des viandes de boucherie.

aérien, il est nécessaire d'avoir une hauteur d'au moins 5^m,90. C'est pour cette raison qu'à Görlitz les chambres froides ont 6^m,50 de hauteur. Il suffit dans ce cas de ne donner une aussi grande hauteur qu'aux parties du plafond qui se trouvent au-dessus des passages de service.

La hauteur de 3 mètres est la *hauteur minimum* que doivent avoir les chambres froides. Elle doit être plus grande lorsque, comme il arrive dans quelques abattoirs, deux rangées de crochets à viande sont disposées l'une au-dessus de l'autre, afin d'obtenir une meilleure utilisation du local (*fig.* 353 et 354). La rangée inférieure qui sert pour les quartiers de bœuf

et les porcs est alors à 1^m,90 du sol ; la rangée supérieure utilisée pour les moutons et pour les veaux est à environ 1^m,20 ou 1^m,30 au-dessus de la première. Dans ce cas une hauteur de 4 mètres est suffisante, car il reste encore environ 0^m,60 pour installer au plafond les appareils de ventilation (c'est-à-dire les canaux d'amenée de l'air froid). Quand il n'y a qu'une seule rangée de crochets à viande, la hauteur minimum de 3 mètres que nous avons indiquée est suffisante.

8. Cases ou loges des chambres froides proprement dites. — Dans les chambres froides, de chaque côté d'un passage de 1^m,50 à 3 mètres de large, se trouvent des cases particulières ou loges. Celles-ci ont ordinairement de 4 à 6 mètres carrés (largeur moyenne :

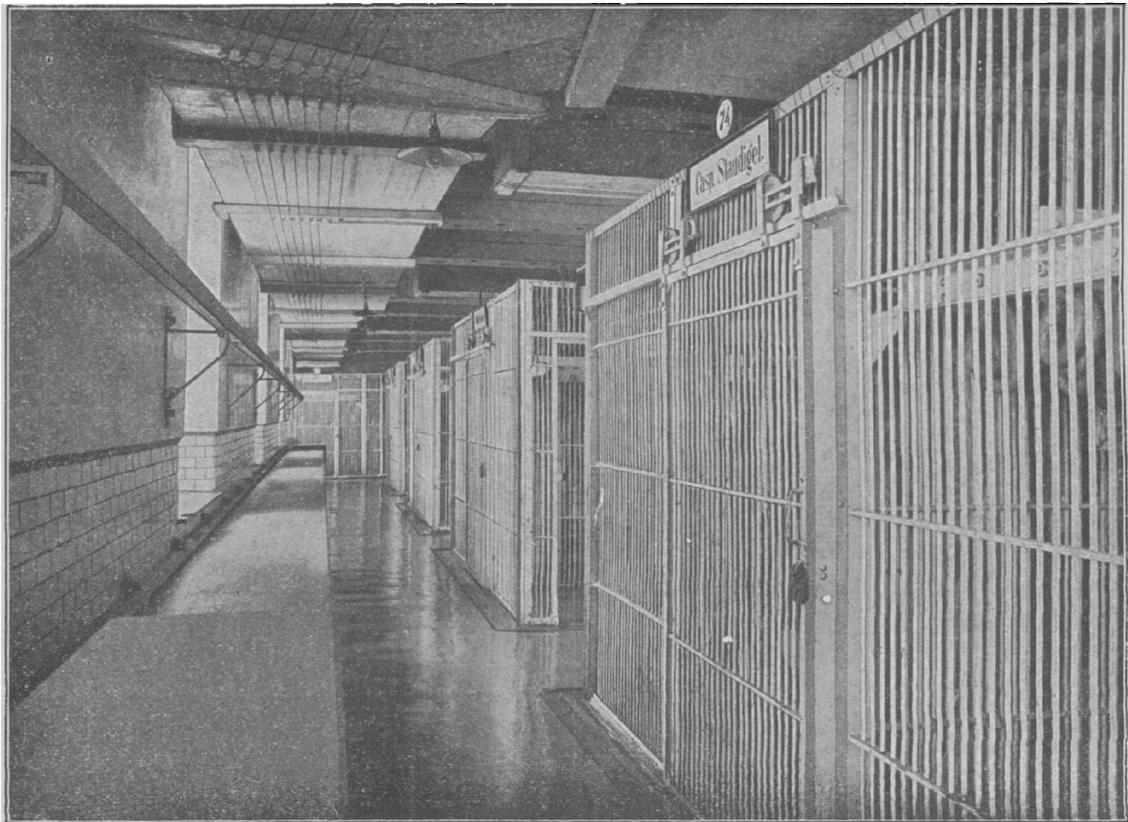


FIG. 353. — Chambre froide de l'abattoir de Cologne (Construction Humboldt à Kalk près Cologne). C. HUMBOLDT.

2 mètres ; largeur minimum : 1^m,70 ; profondeur minimum : 1^m,80 ; profondeur moyenne : 2^m,50) ; dans les grands abattoirs il y a pour les gros bouchers des cases de 10 à 20 mètres carrés ; dans tous les cas les loges doivent avoir au moins 2^m,40 de hauteur. Ces loges sont louées à l'année¹.

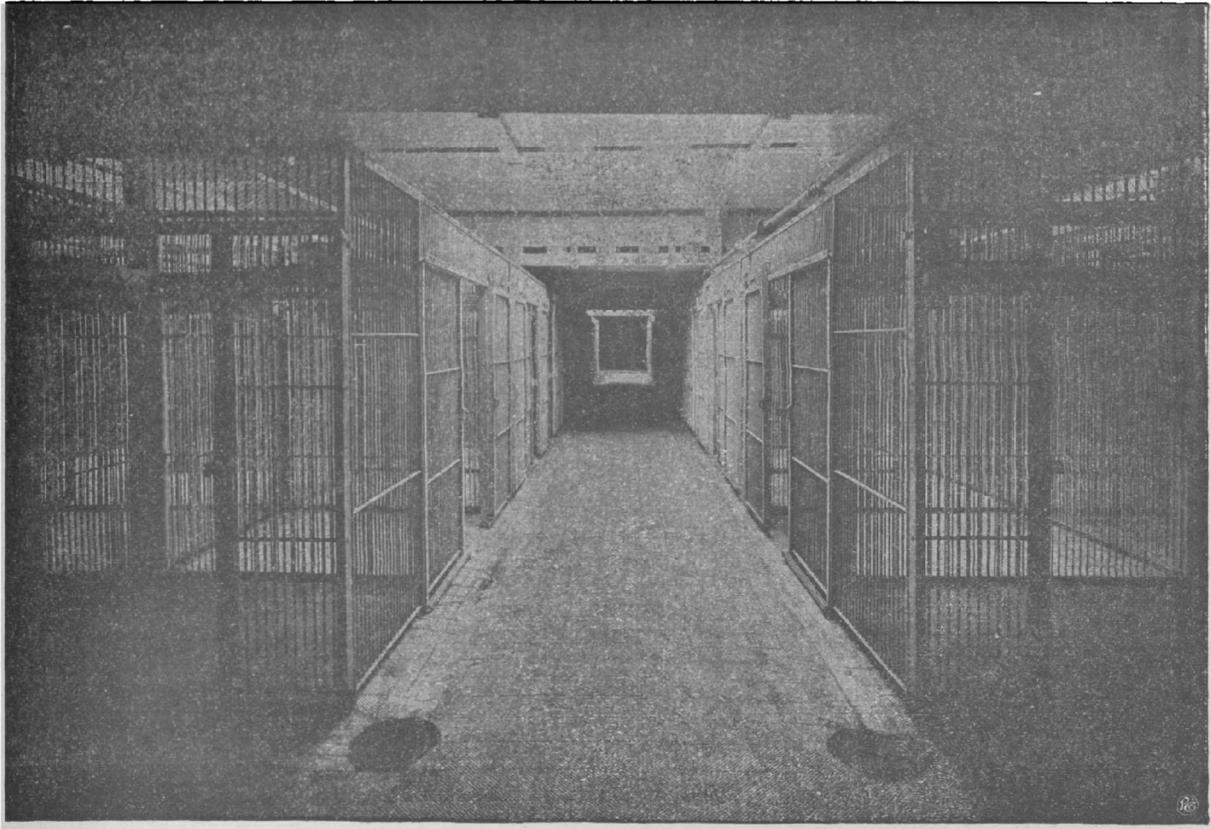
Le tableau LIII donne un aperçu des prix payés en Allemagne pour la location d'un mètre carré des surfaces des cases.

Outre ces compartiments fermés à clef², on réserve dans les chambres froides, à l'usage commun, un large espace ouvert portant des crochets loués à la journée.

1. Dans les abattoirs allemands, une case ne peut pas être louée, en général, à plus de deux personnes l'exploitant ensemble.

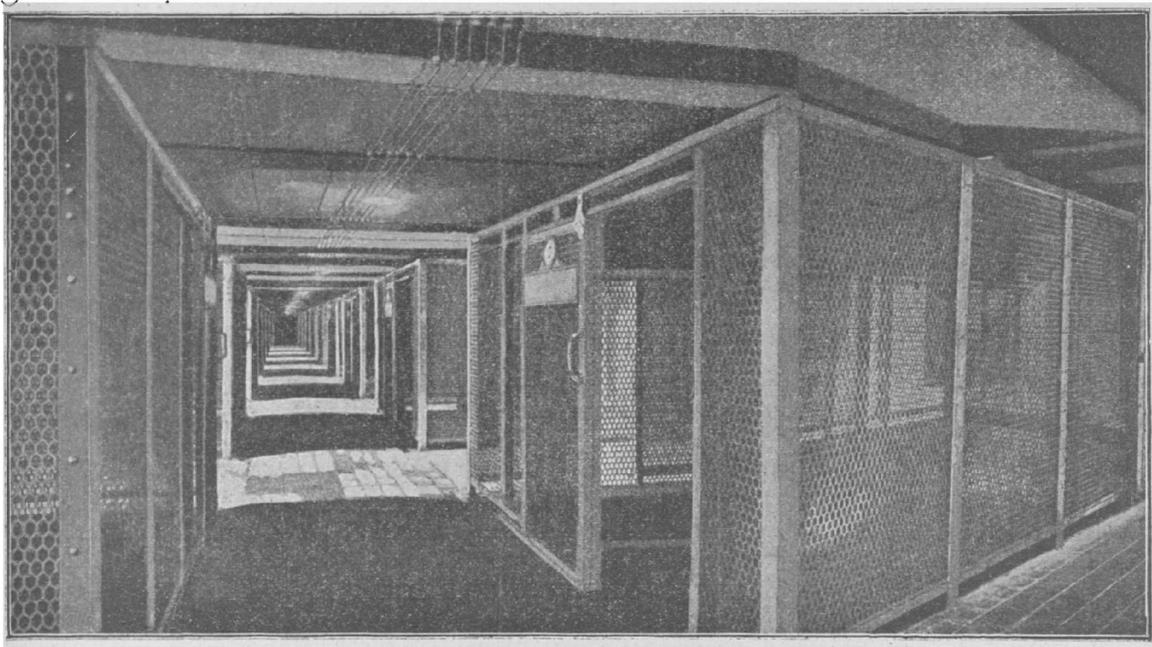
2. L'administration de l'abattoir a toujours des doubles clefs pour le cas où il surviendrait quelque chose pendant l'absence du locataire.

La propreté la plus scrupuleuse doit être observée dans les chambres froides. Le locataire est responsable de l'état



Cliché A. Borsig.

FIG. 357. — Chambre froide de l'abattoir d'Offenbach (Construction A. Borsig de Berlin-Tegel).



Cliché de « L'Industrie frigorifique ».

FIG. 357. — Chambre froide des abattoirs de Berlin (Construction A. Borsig de Berlin-Tegel).

La construction des parois des loges varie d'un dépôt à l'autre. Les matériaux les plus généralement employés sont :

1° *Les barreaux en fer.* — Ils ont l'avantage de ne pas entraver la circulation de l'air et de pouvoir être facilement nettoyés. Ils doivent être placés de façon à empêcher de passer la main au travers de manière à enlever les petits morceaux. On rencontre ce mode de clôture à Bâle, Cologne (*fig. 355*), Offenbach (*fig. 356*), Düsseldorf, Mannheim, Bayreuth, Düren, Brême, Bruxelles-Anderlecht.



Cliché Linde.

FIG. 358. — Chambre froide de l'abattoir de Mayence (Construction Linde).

2° *Le grillage métallique.* — Celui-ci, quoique très employé, offre l'inconvénient d'être d'un nettoyage difficile par suite des petits morceaux de graisse et de viande qui s'attachent dans les mailles et ne tardent pas à empester l'air de la chambre froide.

3° *La tôle perforée* a été appliquée avec succès aux abattoirs de Berlin (*fig. 357*), de Mayence (*fig. 358*) et de plusieurs autres installations de l'Allemagne et de la Belgique. Elle présente, sur le grillage, l'avantage de ne pas déchirer la viande et de retenir bien moins facilement les petits morceaux de graisse ou de viande.

4° *La tôle galvanisée et le grillage métallique.* — Cet assemblage est disposé de la façon suivante. La partie inférieure de la cloison, sur une hauteur de 35 centimètres environ, est en grillage de fil de fer, le milieu soit 1^m,50 est en tôle; la partie supérieure, soit 0^m,60 à 0^m,75, est en grillage. Celui-ci permet la circulation de l'air en haut et en bas.

5° *Le verre dépoli et le grillage métallique.* — Cet assemblage est disposé comme le précédent avec cette différence que le verre remplace la tôle galvanisée.

M. O. Schwarz donne la préférence à cette dernière combinaison qu'il recommande particulièrement. Il fait observer que, par cette disposition, la viande ne vient en contact qu'avec le verre dont la surface unie est facilement nettoyée.

Les portes des loges doivent être de préférence à coulisses. Afin d'économiser plus d'espace, on peut les diviser en deux parties et développer ainsi la moitié de chaque côté de façon à ne pas empiéter sur le compartiment voisin.

Comme nous l'avons dit plus haut, les loges sont munies de deux rangs de crochets pour

de sa loge. Celle-ci doit être nettoyée *au moins* une fois par semaine; le nettoyage doit être fait en employant le moins d'eau possible avec des toiles convenables légèrement mouillées qui servent ensuite à sécher le sol. Dans certains établissements, on paie une redevance de 0 fr. 10 par semaine pour le nettoyage. A Stralsund, des plats en zinc sont placés au-dessous de chacune des pièces de viande suspendues pour recueillir le sang qui en tombe; ces plats doivent être nettoyés à fond à certains jours de la semaine.

Avant d'entrer dans le frigorifique, les souliers doivent être bien nettoyés de la boue et du sang qui y sont adhérents. Il est interdit de cracher, de fumer, de se servir de lanternes ou de lumières brûlant à l'air, de jeter du papier ou des déchets de n'importe quoi.

Dans les cases, il ne doit pas rester d'ustensiles particuliers, tels que plats à sang, seaux, balais, etc...

Le tableau LIV donne, pour quelques villes, les heures d'ouverture des frigorifiques d'abattoirs et les denrées que l'on peut conserver dans les cases.

la suspension des viandes et parfois même d'un crochet mobile. Derrière ces gros crochets, il y a souvent encore, comme dans la halle d'abatage des porcs, de petits crochets. Les sections des tringles sur lesquelles courent les crochets ou les chevilles mobiles doivent être carrées ou rectangulaires.

TABLEAU LIII

DONNANT POUR L'ALLEMAGNE LE PRIX DE LOCATION DE 1 MÈTRE CARRÉ DE SURFACE DE CASE

PRIX	VILLES	OBSERVATIONS
francs		
75 »	Hambourg	
62,50	Bochum	1 case par jour, 3 ^f ,75.
id.	Essen	
id.	Cologne	Salle de salaisons, 37 ^f ,50 par m ² . Antichambre, par morceau, 3 ^f ,75.
id.	Stolp	6 crochets pour 24 heures, 1 ^f ,90; salle de salaisons, 35 ^f par m ² .
57,50	Breslau	Case à la journée, 0 ^f ,60 par m ² ; crochets pour 1 porc et 1 veau, chacun 0 ^f ,25; pour 1/2 porc et 1/2 veau, chacun 0 ^f ,40.
50 »	Augsbourg	Salle de salaisons, 50 ^f par m ² .
id.	Barmen	<i>Idem</i>
id.	Darmstadt	1 crochet, 6 ^f ,25 par an.
id.	Fribourg en Brisgau	Salle de salaisons, 50 ^f par m ² .
id.	Mayence	id. 37 ^f ,50 par m ² .
id.	Planen	Pour les crochets par jour, 0 ^f ,60.
id.	Posen	Crochets par jour, 0 ^f ,25. Salle de salaisons, 50 ^f par m ² .
48,40	Halle	Crochets par jour, 0 ^f ,05.
45 »	Berlin	Au mois, 3 ^f ,75 par m ² ; Salle de salaisons, 30 ^f par m ² à l'année.
43,75	Düsseldorf	Salle de salaisons, 31 ^f ,25 par m ² ; pour 24 heures : Gros bétail, 2 ^f ,50. — Porc, 0 ^f ,60. — Petit bétail, 0 ^f ,25.
id.	Duisburg	
id.	Francfort-sur-l'Oder	Cave de conservation, pour chaque pièce, 0 ^f ,40.
id.	Leipzig	Crochets par jour, 0 ^f ,30.
37,50	Brunswick	
id.	Postdam	
id.	Wiesbaden	
31,25	Magdebourg	Cave de conservation, 25 ^f par m ² ; crochets par jour, 0 ^f ,30.
id.	Mannheim	Salle de salaisons, 20 ^f par m ² ; antichambre pour 24 heures : Gros bétail, 1 ^f ,25. — Petit bétail, 0 ^f ,60.
id.	Riesa	Par m ² et à la semaine, 1 ^f ,90. — Crochets par jour, 0 ^f ,50.
25 »	Krefeld	Salle de salaisons, 25 ^f par m ² .
18,75	Rostock	
12,50	Göttingue	

Nous avons déjà parlé de rails aériens existant dans les chambres froides. Ces rails aériens suspendus près du plafond sont dirigés dans tous les sens. Ces tringles sont articulées dans les endroits où il s'agit de changer de direction; il s'opère là une sorte d'aiguillage qui permet de mettre en communication la tringle du couloir avec celle de la chambre froide ou bien avec celle du monte-charge.

Sur ces tringles aériennes roulent aisément des poulies auxquelles sont adaptés des crochets assez puissants pour suspendre et porter les demi-bœufs.

TABLEAU LIV

MODE DE FONCTIONNEMENT DE

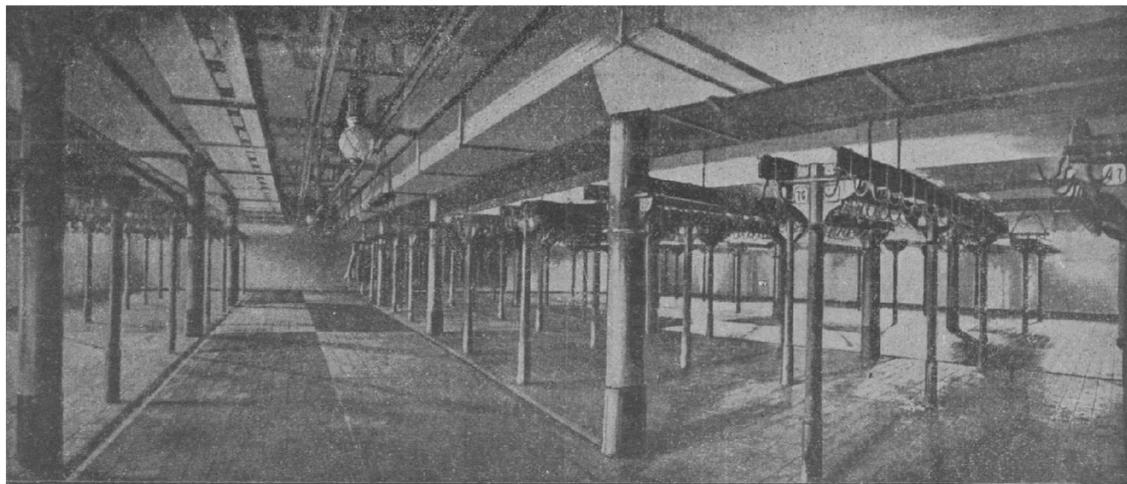
NOMS DES VILLES	EST-IL PERMIS D'APPORTER DANS LE FRIGORIFIQUE :								
	POUMONS, FOIES, GÉLÉS	INTESTINS		PRODUITS fumés	VEAUX habillés	TONNEAUX à salaisons	BEURRE	ŒUFS	AUTRES MAR- CHANDISES
		à mucosités	sans mucosités						
Augsbourg.....	oui	non	non	non	oui	non	non	non	non
Barmen.....	oui	oui	»	non	oui	non	non	non	non
Berlin.....	oui	non	non	non	oui	non	non	non	non
Bochum.....	oui	oui	»	non	oui	oui	»	»	»
Brunswick.....	non	non	non	non	non	non	oui	non	non
Breslau.....	non	non	non	non	»	oui	oui	non	oui
Cologne.....	oui	oui	»	oui	non	oui	oui	oui	non
Danzig.....	oui	non	non	non	oui	non	non	non	non
Darmstadt.....	oui	non	non	oui	oui	oui	non	non	oui
Düren.....	oui	oui	»	non	non	non	oui	non	oui
Duisburg.....	oui	oui	»	oui	oui	oui	non	non	non
Düsseldorf.....	oui	non	non	oui	oui	non	non	non	non
Erfurt.....	non	non	non	non	oui	oui	non	non	non
Essen.....	oui	non	»	oui	non	oui	non	non	non
Frankfurt-sur-l'Oder.....	oui	oui	»	oui	oui	oui	non	non	non
Fribourg en Brisgau.....	oui	oui	»	oui	oui	oui	»	»	»
Görlitz.....	oui	non	non	oui	oui	oui	non	non	non
Halle.....	non	non	non	non	»	»	»	»	»
Karlsruhe.....	oui	non	non	non	oui	»	non	non	»
Leipzig.....	oui	non	non	non	non	oui	non	non	non
Magdebourg.....	oui	non	non	oui	non	non	oui	oui	non
Mayence.....	oui	non	»	»	oui	oui	»	»	»
Mannheim.....	non	non	non	non	?	non	»	»	»
Planen.....	oui	oui	»	»	non	oui	non	non	non
Posen.....	oui	non	non	non	non	non	non	non	non
Postdam.....	oui	non	non	oui	oui	oui	non	non	non
Remscheid.....	non	non	non	non	oui	non	non	non	non
Riesa.....	oui	oui	»	oui	oui	oui	non	non	oui
Rostock.....	oui	non	non	oui	non	oui	non	non	non
Stolp.....	oui	non	»	oui	oui	non	oui	oui	oui
Wiesbaden.....	oui	oui	»	oui	oui	oui	non	non	non

TABLEAU LIV

QUELQUES FRIGORIFIQUES D'ABATTOIRS ALLEMANDS (D'APRÈS O. SCHWARZ)

OBSERVATIONS	DURÉE DE L'OUVERTURE DU FRIGORIFIQUE			OBSERVATIONS
	(les durées d'ouverture en hiver ne sont pas considérées)			
	Matin	Midi	Soir	
Salle spéciale pour salaisons.	4 à 6	11 à 12 1/2	3 1/2 à 5 1/2	Salle des salaisons ouverte toute la journée.
Id.	2 heures	2 heures	2 heures	
Id.	3 à 12	»	3 à 8	
»	5 à 7	11 1/2 à 1	5 à 7	
»	5 à 7	12 à 1	7 à 8	
Gibier, volailles, boîtes de conserves.	4 1/2 à 6	10 à 12	4 à 6	
»	4 1/2 à 9	11 1/2 à 11 1/2	4 1/2 à 8	
»	5 à 6	11 à 12	6 à 7	
Salle spéciale de congélation.	2 heures	2 heures	2 heures	
Veaux habillés dans l'antichambre; bière, marchandises fumées dans la salle des salaisons.	5 à 7	11 à 12	5 à 7	
»	5 à 8	»	5 à 8	
Salle spéciale de salaisons.	4 à 8	11 à 1	4 à 7	Dimanche, 5 à 7, matin.
Veaux habillés pendant 36 heures.	6 à 8	11 à 1	4 à 7	Pendant 2 jours, 6 à 1.
»	5 à 8	11 à 12	4 à 7	
»	4 1/2 à 6	12 à 1	6 à 7	
»	4 1/2 à 6 1/2	10 1/2 à 12 1/2	4 1/2 à 6 1/2	
»	2 heures	1 heure	1 heure	
»	4 1/2 à 6 1/2	11 à 1	5 à 7	
Veaux habillés sans les pattes.	5 à 7	1 à 2	5 à 7	
»	4 à 7	12 à 1	5 à 7	
Salle spéciale pour la bière.	4 à 6 1/2	11 à 12	5 à 7	
»	4 à 8	10 à 1	4 à 7	Dimanche, 4 à 7 et 11 à 1.
»	5 à 7	»	5 à 7	
»	6 1/2 à 7	11 1/2 à 12 1/2	4 à 7	
»	4 1/2 à 6 1/2	11 à 12	5 à 7	Dimanche, 5 à 7, matin.
»	2 heures	2 heures	2 heures	
Entrailles dans la salle spéciale pour salaisons.	5 à 8	12 à 1	Depuis 5 h.	Dimanche, 5 à 8, matin.
Gibier, viande de cheval dans salles spéciales.	5 à 7	11 à 12	jusqu'à la nuit 5 à 7	
»	5 à 7	11 1/2 à 1	6 à 8	Dimanche 5 à 7 et 12 à 1 : à 9 h. du matin, il est permis de venir cher- cher la viande.
Boîtes de conserves, intestins dans salle spéciale de salaisons.	1/2 heure	1 heure	1/2 heure	À 9 h. et à 3 h., 1/4 d'heure pour enlever la viande. — Dimanche 1/2 h. le matin; 1/2 h. à midi; les jours de marché, 1 heure.
»	4 à 8 et depuis dix heures matin jusqu'au soir			Dimanche, 4 à 1.

9. Antichambres froides. — Les chambres froides sont toujours précédées maintenant d'antichambres froides. Autrefois ces antichambres étaient petites et servaient seule-



Cliché de « L'Industrie frigorifique ».

FIG. 359. — Antichambre froide du frigorifique de l'abattoir de Berlin (Salle du rez-de-chaussée)
(Construction A. Borsig de Berlin-Tegel).

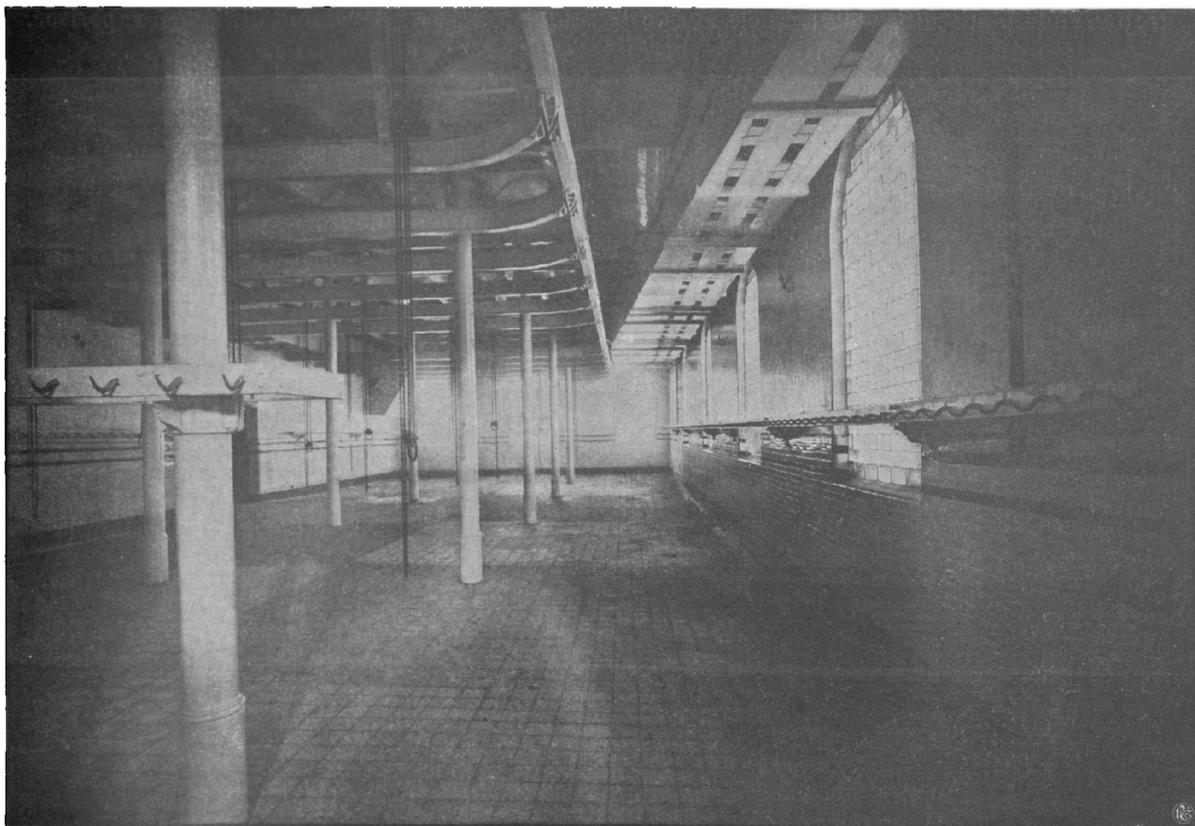


Cliché Humboldt.

FIG. 360. — Antichambre froide du frigorifique de l'abattoir de Cologne
(Construction Humboldt de Kalk près Cologne).

ment à empêcher l'air chaud extérieur de pénétrer dans les chambres froides. Aujourd'hui on leur donne des dimensions beaucoup plus considérables parce qu'on y suspend de grosses

pièces de viande (moitiés de bœuf, gros porcs) avant de les introduire dans le frigorifique. Les figures 359, 360, 361 représentent les antichambres froides des frigorifiques des abattoirs de Berlin, Cologne, Offenbach. Dans ce dernier frigorifique, les monorails venant de la halle du gros bétail et ceux de la halle du petit bétail se rejoignent devant l'antichambre, comme le montre la figure 362 qui représente l'entrée de l'installation frigorifique. Sur la figure 361 on voit nettement que l'antichambre froide est munie de rails latéraux où peuvent



Cliché A. Borsig.

FIG. 361. — Antichambre froide pour le gros bétail ; installation de l'abattoir d'Offenbach
(Construction A. Borsig de Berlin-Tegel)
(Il convient de remarquer les grandes fenêtres placées à droite qui servent à l'éclairage de cette pièce
au moyen de la lumière du jour).

séjourner les animaux amenés par les chariots transporteurs. Les grands rails sont reliés par des rails secondaires où roulent des palans servant à décharger les chariots.

Stetefeld admet une surface de 1 mètre carré pour 175 kilogrammes de viande. O. Schwarz indique que l'antichambre froide doit avoir une surface qui est environ le 1/3 de celle de la chambre froide proprement dite¹.

Le tableau LII donne la superficie des antichambres froides existant dans les abattoirs allemands de villes de plus de 50.000 habitants.

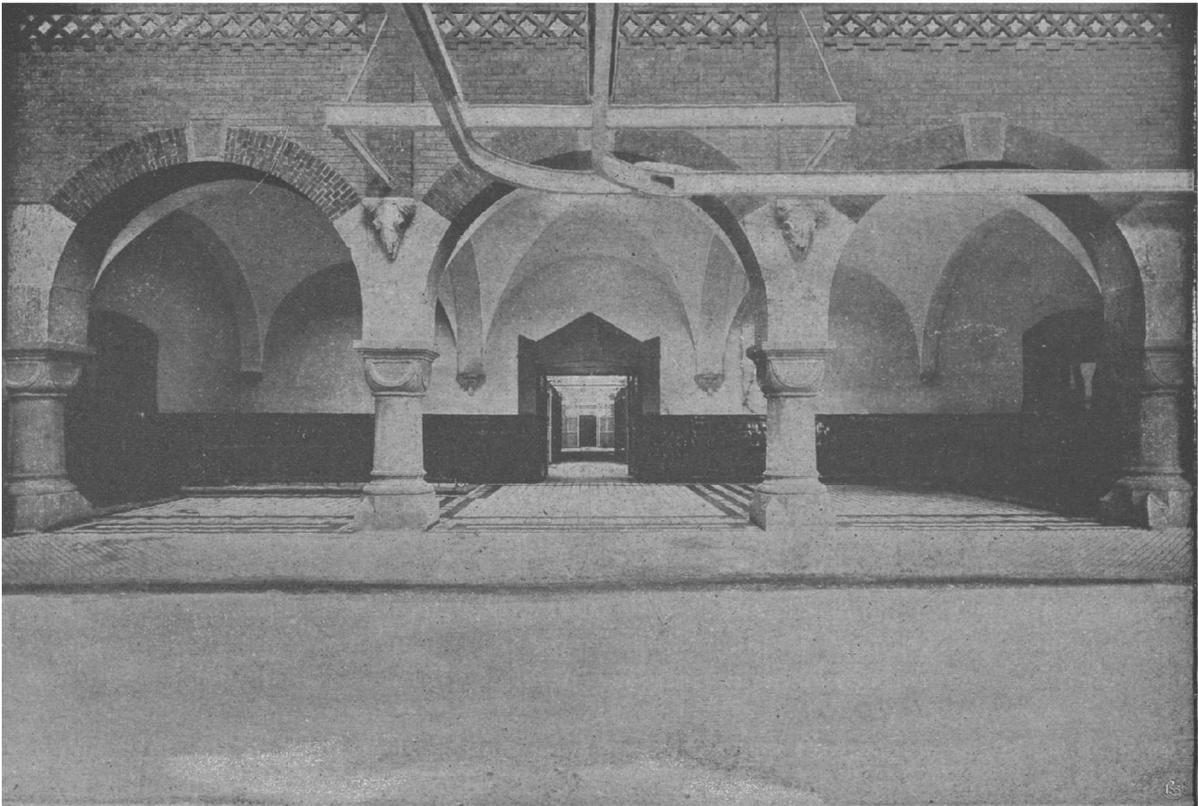
Quand il n'y a pas de rail aérien dans l'antichambre froide, sa hauteur est la même que

1. La tendance actuelle est d'accroître le rapport de la surface de l'antichambre froide à celle de la chambre froide proprement dite. Ainsi, à l'abattoir de Schwelm, ouvert en mai 1905, la chambre froide proprement dite a une superficie de 180 mètres carrés, et l'antichambre froide une superficie de 100 mètres carrés, soit un rapport de 36 0/0 entre ces deux superficies. La salle aux salaisons a, dans ce même abattoir, une superficie de 44 mètres carrés.

celle des chambres froides; quand il y a un rail aérien, sa hauteur ne doit pas être inférieure à 5 mètres.

10. Salle pour salaisons. — Dans la plupart des abattoirs allemands que l'on construit actuellement, il existe une salle spéciale pour les salaisons. Les motifs qui conduisent à l'installation de cette salle séparée sont les suivants.

Les tonneaux à salaisons placés dans la chambre froide proprement dite occupent une trop grande place utile; de plus, bien que la saumure soit relativement difficile à vaporiser,



Cliché A. Borsig.

FIG. 362. — Entrée du frigorifique de l'abattoir d'Offenbach (Construction A. Borsig de Berlin-Tegel).

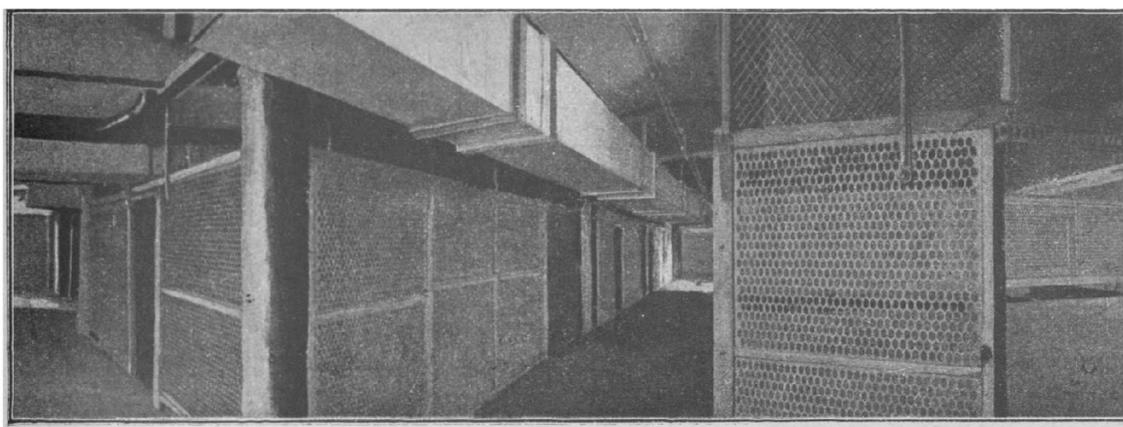
ils sont susceptibles d'introduire (soit par leur manque d'étanchéité, soit par les projections de saumure pendant les salaisons, soit par les fuites de leur couvercle) dans l'air des chambres froides, une certaine quantité d'humidité dont on connaît les mauvais effets. Enfin, la température moyenne des chambres froides qui est comprise entre $+ 2^{\circ}$ C. et $+ 4^{\circ}$ C. est trop basse pour les salaisons qui doivent s'effectuer à une température de $+ 8^{\circ}$ à $+ 10^{\circ}$.

Dans un certain nombre d'abattoirs, la salle des salaisons est au rez-de-chaussée; c'est ce qui a lieu à Barmen, Rheydt, Stolp, Posen, Dessau. Parfois, elle est installée au sous-sol comme à Mayence (*fig. 352*), Berlin (*fig. 350*), Düsseldorf, Straubing, Mulheim-sur-le-Rhin, Augsbourg; à Mannheim, il y a 20 cases de 7 mètres carrés chacune, qui peuvent être transformées d'une manière ingénieuse en un nombre double de cases de $3^{\text{m}^2,5}$ entièrement indépendantes les unes des autres; à Cologne, il y a 56 cases ayant chacune 4 mètres carrés avec 298 bacs à salaisons.

Souvent ces salles à salaisons sont installées au-dessous de l'antichambre froide et disposées de manière à pouvoir, si le besoin s'en fait sentir, être transformées en chambres froides proprement dites.

Comme les chambres froides, les salles à salaisons doivent avoir des parois unies. On ne doit pas employer le ciment crépi sans peinture, car les schizomycètes se déposent sur la surface et développent une forte odeur de moisi. Le sol doit être solide et ne doit pas être endommagé par de la saumure répandue accidentellement; des carreaux de brique glacés peuvent rendre de grands services.

11. Bacs à saumure des salles à salaisons. — Les bacs à saumure constituent la principale partie des salles à salaisons. On faisait autrefois ces bacs en sapin, en chêne ou



Cliché de « L'Industrie frigorifique ».

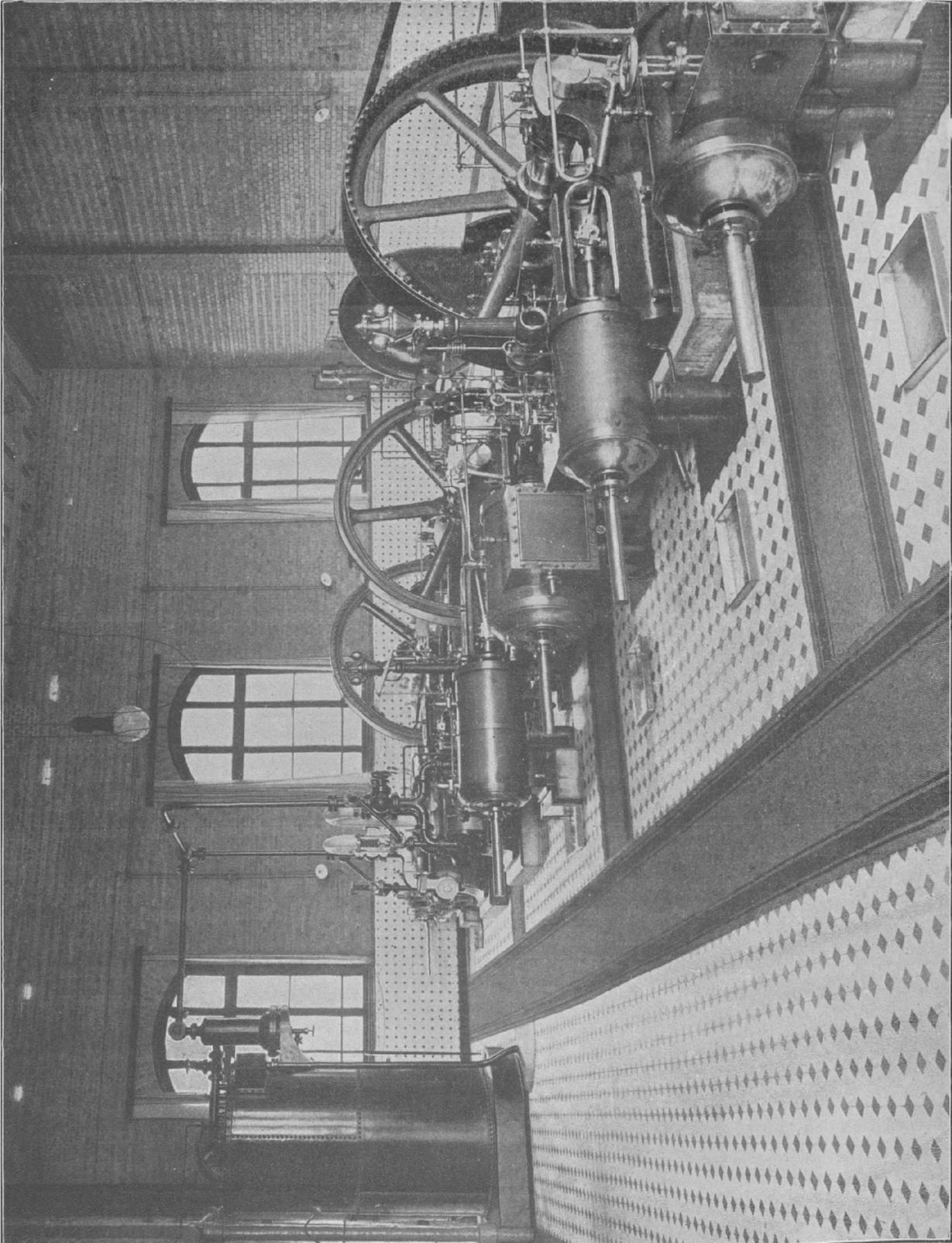
FIG. 363. — Salle à salaisons de l'abattoir de Berlin (A l'extrémité droite de la figure, on aperçoit les bacs à salaisons) (Construction A. Borsig de Berlin-Tegel).

en pitchpin; il fallait alors les passer 10 à 12 fois à l'eau bouillante avant de s'en servir; ces bacs en bois, difficiles à nettoyer, cessaient rapidement d'être étanches. Aujourd'hui, on fait ces bacs en ciment; on leur donne la forme de grandes auges disposées parallèlement aux parois et divisées en compartiments ayant une contenance de 0,5 à 1 mètre cube. La figure 363 représente la salle à salaisons de l'abattoir de Berlin.

Ces auges sont ordinairement faites de la manière suivante. Une maçonnerie en briques ayant les dimensions voulues est recouverte d'une forte couche du meilleur ciment de Portland. On laisse bien sécher, et on enduit l'intérieur du bassin d'abord d'une couche de baryte caustique; puis, lorsque celle-ci est sèche, d'une couche de verre soluble. A cette dernière couche, on en superpose plusieurs autres. On peut remplacer ces badigeonnages en incrustant dans la couche de ciment des plaques épaisses de verre brut.

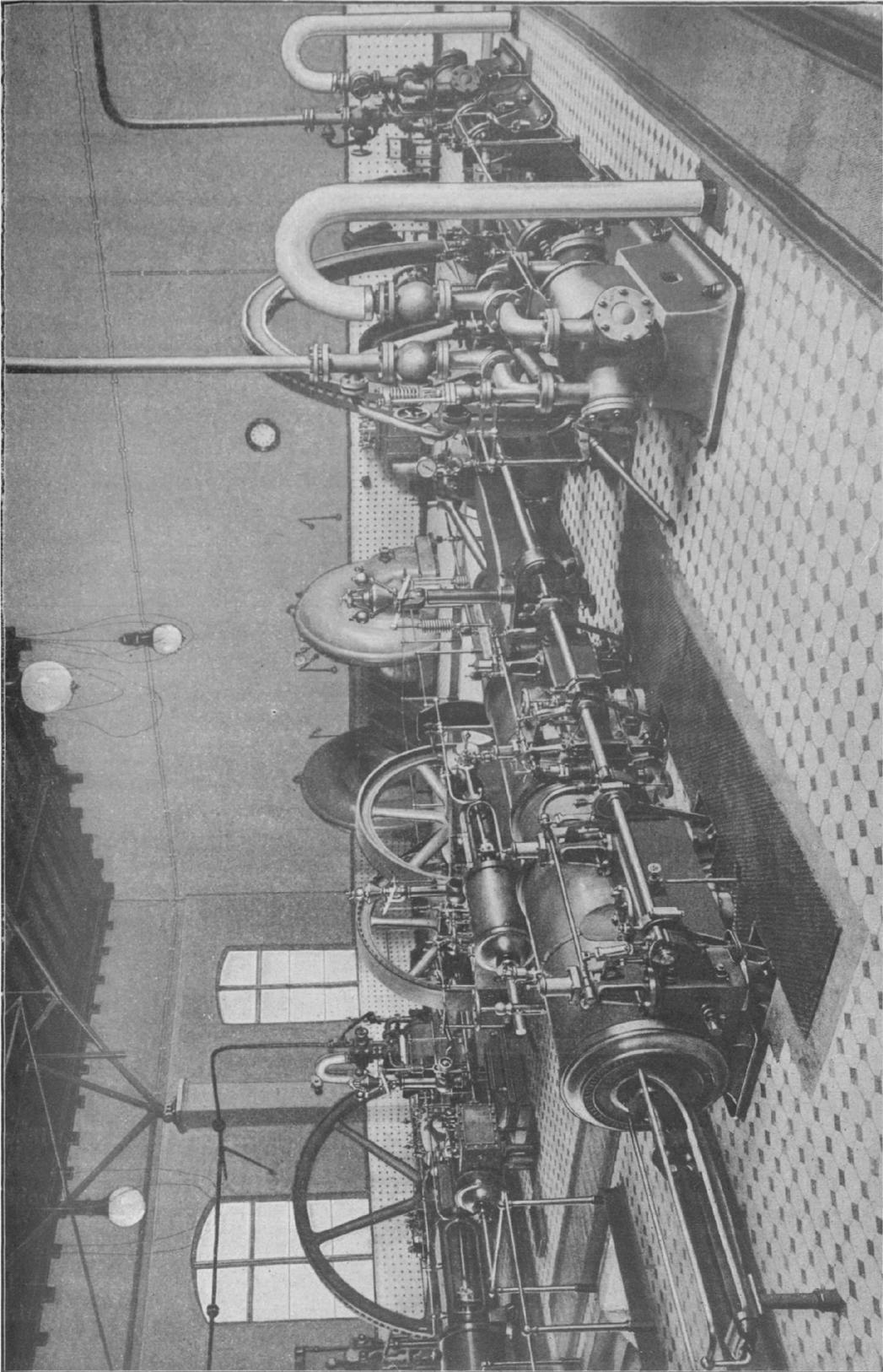
Parfois ces bacs à saumure ont la forme de tonneaux fortement émaillés à l'intérieur; ces tonneaux sont contenus dans des caisses, et l'intervalle compris entre les parois des caisses et les tonneaux est rempli de sciure de bois qui isole les bacs. On fait aussi ces bacs en forme de boîtes dont les parois planes sont constituées par de l'ardoise; les joints sont faits avec du ciment. Ces boîtes, qui ont une contenance de 1/2, 1 et 1^m3,5, sont d'un emploi très pratique. Enfin, il y a des bacs en fer émaillé.

Dans quelques salles à salaisons, les cuves sont dans une salle commune et sont fermées au moyen de couvercles de bois; dans d'autres, il existe des cases qui sont louées au mètre carré. Les séparations des cases sont faites de préférence en bois.



Cliché Humboldt.

Fig. 364. — Salle des machines de l'abattoir de Cologne (Construction Humboldt de Kalk près Cologne).



Cliché Humboldt.

FIG. 365. — Salle des machines de l'abattoir de Cologne (Construction Humboldt de Kalk près Cologne).
(Deux compresseurs à AzH₃ de 280.000 frigories-heure chacun et deux compresseurs à AzH₃ de 70.000 frigories-heure chacun).

12. Mode de refroidissement des salles à salaisons. — Le refroidissement de la salle à salaisons peut être effectué soit au moyen d'un système particulier de tuyaux (refroidissement par tuyaux), soit en disposant un refroidissement d'air spécial. Ce dernier dispositif n'est pas à recommander pour les très grandes installations.

Si le frigorifique de l'abattoir est tout entier refroidi par un système de tuyaux à circulation de saumure qui sont installés directement dans les chambres, il n'y a besoin d'établir une ventilation que pour les chambres à viande; dans les chambres à salaisons, la circulation naturelle de l'air suffit. Si les chambres à viande sont refroidies par un courant d'air pur, c'est-à-dire si l'air est refroidi dans un frigorifère, puis envoyé par un ventilateur dans les chambres froides, *il est essentiel que cet air ne traverse jamais la chambre à salaisons, de manière qu'il n'y ait jamais mélange entre l'air des chambres à viande et celui des salles à salaisons.* Celles-ci sont alors refroidies au moyen de tuyaux dans lesquels circule une partie de la saumure utilisée dans le frigorifère.

13. Salles de dépeçage. — Dans un grand nombre d'abattoirs allemands on installe dans l'antichambre froide des tables pour permettre de découper les morceaux de viande. On évite ainsi de souiller les cases par la présence de petits morceaux d'os, de graisse ou de viande qui entrent facilement en décomposition. Dans les grands frigorifiques d'abattoirs, il y a une salle spéciale pour le découpage de la viande; cette salle communique directement avec la salle de salaisons. A l'abattoir de Munich, cette salle de découpage est particulièrement belle et claire; ses parois sont garnies de carreaux émaillés clairs et de grandes fenêtres munies de verres dépolis fournissent largement de la lumière à ceux qui travaillent. A Stolp, à Rheydt, à Heidelberg, la salle à salaisons est divisée en deux parties; l'une d'entre elles distribuée en cases sert pour les salaisons, l'autre destinée au découpage est éclairée au moyen de fenêtres munies de dalles creuses en verres du type Falconnier.

Les figures 350 et 352 représentent des plans d'ensemble de toutes les parties d'une installation frigorifique d'abattoir; les figures 364 et 365 montrent le développement que prend la salle des machines dans un grand abattoir tel que celui de Cologne.

II

VIANDE RÉFRIGÉRÉE ET VIANDE CONGELÉE

1. Viande réfrigérée. — Nous venons de décrire les diverses parties d'un frigorifique d'abattoir. Voyons maintenant comment on doit y traiter la viande pour la conserver. Nous allons d'abord considérer le cas où la viande n'est pas congelée, mais simplement refroidie aux environs de 0° C. ou, comme on dit, *réfrigérée*¹.

2. Préparation de la viande réfrigérée. — Essorage ou ressuage. — La viande chaude (à + 30° C., environ) qui vient de la halle d'abatage ne doit pas être intro-

1. STETEFELD, *Compendium der gesamten Kälte-Industrie*, p. 360; — *Winke für Schlachthöfe bauende Städte* (*Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie*, janvier 1902, p. 10); — H. MSTR, *Die Aufbewahrung von Fleisch in Kältegerhäusern* (*Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie*, février 1903, fasc. 2, p. 36).

duite directement dans le frigorifique. Elle doit d'abord être refroidie à $+ 15^{\circ}$ C. environ dans un bon courant d'air afin qu'elle se dessèche en même temps. (C'est l'*essorage* ou le *ressuage*.) Pour cela, on la porte dans l'antichambre froide où elle doit rester pendant dix à douze heures. La température de l'antichambre froide est, pendant tout ce temps, maintenue à environ $+ 6^{\circ}$ C.

Si l'antichambre frigorifique n'est pas suffisamment grande pour contenir tout l'abat d'une journée, on peut laisser une partie de la viande (principalement les pores) suspendue dans la halle de l'abattoir pendant toute une nuit, à la condition d'établir un fort courant d'air circulant bien autour de chaque bête.

3. Préparation de la viande réfrigérée. — Réfrigération. — La viande refroidie à $+ 15^{\circ}$ C. environ et sèche est introduite dans le frigorifique.

La température du frigorifique est maintenue aussi constante que possible entre $+ 1^{\circ}$ C. et $+ 4^{\circ}$ C. L'état hygrométrique doit autant que possible être compris entre 75 0/0 et 80 0/0¹.

Le refroidissement de l'air est obtenu par l'un des moyens que nous avons indiqués au chapitre v. Il convient d'employer *une bonne ventilation* d'air aussi pur que possible. On réalise bien cette condition par l'emploi de frigorifères proprement dits. On se rend compte de l'importance de cette ventilation quand on pense que, dans ces entrepôts à court terme, les entrées et les sorties sont fréquentes, et que, malgré toutes les précautions prises, les rentrées d'air extérieur plus ou moins pur, plus ou moins chargé d'humidité, sont abondantes. De plus, l'emmagasinage des viandes non vendues et qui reviennent de l'étal² peut être préjudiciable à la conservation des autres lots. Il est donc de toute nécessité que l'atmosphère des chambres soit ventilée, surtout au moment de l'introduction des viandes, fréquemment renouvelée et desséchée au contact des frigorifères.

Les quartiers de viande doivent être suspendus de manière à ne pas se toucher et à ce que toute l'étendue de leur surface soit bien en contact avec l'air.

Les bœufs sont introduits dans la chambre frigorifique découpés *par moitiés* ou *par quarts*; les pores *entiers* ou *par moitiés*; les moutons et les veaux *entiers*.

On compte que le refroidissement des gros morceaux de $+ 15^{\circ}$ C. à $+ 3^{\circ}$ C. demande environ trente-cinq à quarante heures. La viande n'est donc parvenue à sa température de conservation qu'en moyenne *deux jours* après avoir été abattue.

4. Conditions dans lesquelles les veaux habillés de leur peau, le sang des animaux sont admis au frigorifique. — Sur 150 abattoirs allemands, il y en a seulement 50 dans lesquels l'introduction au frigorifique des veaux habillés de leur peau est permise. Dans quelques villes on ne permet cette introduction que pendant vingt-quatre à trente heures, après quoi les bêtes doivent être dépecées.

Il est certain que les peaux souillées de boue, d'urine, de sang sont susceptibles d'empester l'air du frigorifique et de produire la décomposition des viandes suspendues à côté; mais, d'autre part, cette clause nécessaire est dure, car la viande de veau, en se desséchant,

1. Ces clauses sont contenues dans les baux de location des cases de frigorifiques en Allemagne; toutefois, l'administration du frigorifique ne garantit pas l'uniformité de la température à 1° près. Le degré hygrométrique est important à observer, parce que, dans une atmosphère humide, confinée ou non, la viande se corrompt même à $+ 3^{\circ}$ C.

2. Dans certains frigorifiques allemands, la viande invendue qui revient de l'étal n'est plus admise dans les chambres froides proprement dites. Dans d'autres (Höchst-sur-le-Mein, Hof, Tangermunde, Straubing, Trier, Eisichen, Emden, Neisse), cette viande ne peut rentrer qu'après avoir été reconnue saine par le personnel de l'abattoir. Parfois des heures sont indiquées pour effectuer cette rentrée. A Inowrazlaw, la rentrée des poumons et des foies est seule interdite, ce qui constitue une bonne règle d'exploitation. A Lissa, on ne peut rapporter que les morceaux dont le poids est supérieur à 1 kilogramme.

perd beaucoup de sa valeur marchande à cause de la mauvaise apparence qu'elle prend¹.

Le sang des animaux, notamment des porcs, ne peut être conservé dans le frigorifique qu'enfermé dans des vases à col étroit; dans quelques abattoirs on n'accepte le sang que contenu dans des vases fermés. Mais dans ces conditions le sang se décompose facilement et n'est plus propre à la fabrication des boudins².

5. Renouvellement de l'air du frigorifique. — Outre la ventilation que produit l'agitation de l'air des chambres, il faut renouveler complètement l'air des chambres de 4 à 6 fois par jour.

L'air extérieur vient d'abord se refroidir et se dessécher au contact du frigorifère, puis est envoyé froid dans les chambres de conservation.

6. Durée de conservation maximum de la viande réfrigérée. — *Le mode de conservation que nous venons de décrire ne permet pas de garder la viande fraîche au-delà de six semaines.*

7. La viande réfrigérée a les mêmes propriétés comestibles et la même qualité commerciale que la viande fraîche. — **Expériences faites par la Chambre syndicale de la Boucherie de Paris.** — Des expériences très nettes ont été faites à ce sujet en 1889 par la Chambre syndicale de la Boucherie de Paris³. Elles ont eu lieu à l'Exposition Universelle dans un pavillon muni d'un frigorifère Fixary et dont la salle de conservation avait une capacité de 50 mètres cubes. Le but était de rechercher les meilleures conditions de la conservation de la viande à l'état frais sans aucune congélation. Les essais ont porté sur un quartier de derrière de bœuf de 84 kilogrammes et sur 84 moutons du poids moyen de 25 kilogrammes.

Au bout d'un mois d'une conservation dans les conditions indiquées plus haut, l'un des moutons est débité conformément aux usages de la boucherie; ses morceaux ne diffèrent en rien de ceux des moutons qu'en hiver, avec une température de + 4° à + 8° C., on débite après cinq ou six jours de tuerie.

Pour réussir cette conservation avec le mouton, à la température de + 1° à + 4°, il convient d'ailleurs de remplir les conditions suivantes :

- 1° Ne pas l'écasiller;
- 2° Ne pas le dégraisser;
- 3° Éviter qu'il soit mouillé;
- 4° Enlever la hampe et l'onglet⁴.

1. Il doit être défendu d'introduire dans le frigorifique de la viande sentant mauvais ou déjà corrompue, des peaux détachées, des poils, du vieux suif, de la vieille graisse, des entrailles non échaudées, les extrémités inférieures des bêtes abattues.

A l'abattoir de Berlin, on a aménagé cinq chambres froides (marquées N sur la figure 350) spécialement réservées aux viandes de mauvaise qualité; ces chambres sont soigneusement isolées des autres chambres. La température y est maintenue un peu plus basse que dans les autres chambres par une circulation d'air séparée de la circulation principale avec un ventilateur et un frigorifère spéciaux. La surface est d'environ 60 mètres carrés.

2. L'endroit le plus propre à la conservation du sang est la salle aux salaisons (abattoir de Cologne).

3. Le rapport rédigé par M. Lioré, président de la Chambre Syndicale, est publié dans les ouvrages suivants : G. RICHARD, *les Machines frigorifiques à l'Exposition Universelle de 1889*; — A. PEARRE, *les Machines à glace*, p. 343. — Nous engageons fortement tous ceux qui s'intéressent aux applications industrielles du froid à lire ce rapport tout à fait remarquable et dont les conclusions sont des plus nettes. Il est étonnant que de tels résultats n'aient pas entraîné les bouchers français dans la voie des applications frigorifiques.

4. *Fressure*, les gros viscères qui se tiennent, comme les poumons, le cœur, le foie.

Onglet, partie de la fressure qui tient au mou et au foie.

Maniement ou *manet*, saillies plus ou moins accusées que forment, sur différents points du corps, les dépôts de graisse chez l'animal en voie d'engraissement et présenté sur le marché pour être abattu. Comme le nom l'indique, ces signes particuliers de l'état de graisse s'explorent avec la main qui en constate la situation, le développement, la résis-

Au bout de quarante-trois jours, un morceau de *faux filet de bœuf* présenté à un boucher compétent est considéré comme ayant au maximum six jours de tuerie.

Des dégustations montrent que, pendant une période de trente à quarante 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 conservation de cette viande, *puisque'elle présente tous les signes de la viande fraîche*.

8. La viande réfrigérée supporte bien l'étal. — Il y a plus. Du mouton conservé pendant un mois au frigorifique est découpé. A la fin du mois d'août à Paris, on tient accrochés à l'étal, pendant vingt-quatre heures, un quartier de gros mouton, un carré et une épaule. Rien n'est abîmé; quelques parties se dessèchent un peu, revêtent une teinte plus foncée, ce qui n'a rien d'anormal, puisque par la température chaude la viande fraîche coupée la veille noircit toujours un peu au bout de quelques heures.

Un aloyau de bœuf découpé après quarante jours de conservation dans la chambre froide, puis retiré par un temps lourd et orageux (le thermomètre marque de + 26° à + 30° C.), reste en contact avec l'air ambiant de huit heures du matin à six heures du soir; il ne présente à ce moment aucun indice de décomposition.

9. La viande réfrigérée supporte bien le transport. — Enfin un mouton est sorti du frigorifique après quarante jours de conservation, enveloppé de linge et de paille fraîche, comme cela se pratique dans les envois de viande aux Halles Centrales. On fait voyager ce mouton emballé pendant douze heures par une température extérieure de 15° C., on le coupe en deux parties dont l'une est débitée douze heures plus tard. Les côtelettes et les gigots sont consommés par diverses personnes non prévenues qui n'y trouvent rien à redire.

Ces expériences montrent nettement que la viande réfrigérée ne se décompose pas plus rapidement qu'une autre lorsqu'elle est sortie du frigorifique; elle peut subir l'étalage et être transportée.

10. Aspect extérieur de la viande réfrigérée. — Perte de poids dans la conservation au frigorifique. — La viande qui a été conservée un certain temps dans un frigorifique présente à sa surface une couche mince et sèche, de couleur rouge noirâtre, assez analogue à de la peau. Cette couche superficielle, qui protège la viande contre l'invasion des microbes, ne tarde pas à se former après l'introduction de la viande dans le frigorifique. Quand la surface est devenue sèche, cette couche ne s'accroît que lentement. Ainsi dans des expériences faites à l'abattoir de Stolp sur un morceau de viande de bœuf de 3^{kg},350, on a constaté que la couche superficielle sèche n'avait, au bout de dix-sept jours, qu'une épaisseur de 3 millimètres. Comme cette dernière couche noirâtre doit être enlevée avant d'offrir la viande à la clientèle, il en résulte un déchet. De plus, la viande perd du poids par

tance, etc... D'une manière générale, on pourrait appeler manièrement tout renseignement qu'on peut obtenir par le tact sur la nature et la condition de l'animal. Mais on réserve spécialement le nom de manières à certaines protubérances, déterminées par l'accumulation de la graisse, qui sont en rapport avec l'état général de la bête de boucherie et qui ont un siège constant (BAUDEMONT, *le Livre de la ferme*, 1, 913, Paris, V. Masson).

Maniements principaux, ceux qui ont pour centres un ou plusieurs ganglions lymphatiques.

Maniements accessoires, ceux qui ne répondent pas à des ganglions lymphatiques.

Hampe ou grasset, manièrement pair ou double, commun aux deux sexes, dont la graisse est placée dans l'épaisseur du repli musculo-cutané étendu de la partie postérieure et latérale du ventre vers l'extrémité inférieure et antérieure de la cuisse.

suite de l'évaporation de l'eau qu'elle contient¹. Mais l'ensemble de ces deux déchets ne dépasse pas 5 à 6 0/0 au bout d'un mois et 12 à 15 0/0 après un séjour de six semaines au frigorifique.

11. Viande congelée. — Congélation rapide. — Congélation lente. — Lorsque la viande doit être conservée plusieurs mois, elle doit être congelée.

On pratique cette congélation de deux manières différentes :

1° A — 15° C. : c'est la *congélation rapide*, qui se pratique surtout à Chicago et en Nouvelle-Zélande ;

2° A — 5° C. ou — 6° C. : c'est la *congélation lente*, qui est surtout en usage en Europe.

Dans la congélation rapide les quartiers de viande sont maintenus à — 15° de deux à cinq jours ; de trois à cinq jours pour un quartier de bœuf, de deux à trois jours pour un mouton. Elles sont alors congelées *à cœur* et ont une température de — 10 à — 12°.

Dans la congélation lente à — 5°, la température de — 1° C. *à cœur* n'est obtenue qu'au bout d'un temps minimum de cinquante-huit heures, et la température de — 4° C. *à cœur* est réalisée au bout d'un temps maximum de onze à douze jours.

La congélation lente est préférable à la congélation rapide, parce qu'elle fait subir aux lissus moins de mouvements de rétraction et de dilatation et, par suite, donne une viande beaucoup plus belle lors du dégel.

Il n'est pas bon de réduire la durée de la congélation de la viande en abaissant la température au-dessous de — 15° C. Il faut en effet que les tissus restent aussi élastiques que possible jusqu'au moment où les liquides organiques se congèlent ; aussi vaut-il mieux laisser la congélation se propager avec une certaine lenteur. On a constaté, de plus, qu'un abaissement trop considérable de la température produit une sorte de carie des os dénommée par les Anglais *bone stink*².

12. Préparation de la viande congelée. — Choix des bêtes avant l'abat. — La préparation de la viande congelée demande un certain nombre de précautions qui sont très importantes au point de vue de la bonne conservation du produit.

Il convient d'éliminer tout d'abord les bêtes trop grasses ou trop maigres : les grasses, à cause de la rancidité qui se produit d'autant plus facilement après quelques mois de

1. Voici quelques résultats d'expériences sur la perte de poids de la viande par évaporation :

ESSAIS FAITS A HALLE-SUR-SAALE PAR GOLZ, DIRECTEUR DE L'ABATTOIR

1/4 taureau de 72 ^{kg} »	Perte de poids à + 4° C., après huit jours de conservation.....	3 ^{kg} ,5 soit 4,85 0/0
1/2 porc — 44 ,5	— — — — —	1 ,5 — 3,4 0/0
1 veau — 38 »	— — — — —	3 ,5 — 9,2 0/0
1 mouton — 35 ,5	— — — — —	1 ,5 — 4,2 0/0
1/4 bœuf — 87 »	Perte de poids à + 2° C. après 4 jours de conservation.....	6 » — 7 » 0/0

Lorsque la viande est coupée en tranches, la perte de poids est plus grande. Schwarz a constaté (essais à l'abattoir de Stolp) qu'un morceau de bœuf de 3^{kg},350 avait perdu après vingt-deux jours au frigorifique 850 grammes ; 350 grammes après les dix-sept jours suivants ; 230 grammes après les vingt-huit jours suivants, soit en tout 1.430 grammes ou 43 0/0.

A Postdam, la diminution du poids de la viande déposée dans le frigorifique pendant vingt et un jours oscilla entre 3,5 0/0 et 13,5 0/0 ; en moyenne, 8,5 0/0.

Dans les expériences faites, en 1889, par la Chambre Syndicale de la boucherie de Paris, on a constaté qu'un gros mouton non écaillé pesant 26^{kg},258 a perdu en trente jours 9,7 0/0 ; un petit mouton du poids de 21 kilogrammes a perdu dans les mêmes circonstances 12,48 0/0 de son poids ; cette grosse diminution de poids tient à ce que le petit mouton, ayant été écaillé, a fourni une plus grande surface d'évaporation et a séché davantage : d'où l'intérêt qu'il y a à maintenir les animaux sans les écailler.

2. La production du *bone stink* est favorisée par l'état maladif de l'animal au moment où il a été tué, état causé par des privations trop prolongées, par la mauvaise qualité de la nourriture... Cette putréfaction de la moelle se développe d'autant plus facilement que les carcasses des animaux tués sont plus serrées les unes contre les autres pendant la réfrigération ; aussi une bonne ventilation de toutes les parties d'une carcasse doit-elle être combinée avec l'abaissement de la température.

séjour dans les chambres que les masses adipeuses sont plus abondantes; les maigres, à cause de leur faible rendement et de la méfiance qu'inspire leur état de santé.

Les bêtes sont visitées avec soin par un vétérinaire. Il est de règle de ne pas les faire boire vingt-quatre heures avant leur abat. Le mode d'abat en usage en Australie est d'assommer le bœuf et de saigner le mouton.

13. Préparation de la viande congelée. — Précautions à prendre au moment de l'abatage et du dépeçage. — Provenant d'un même animal, les quartiers de viande soumis à l'action du froid auront un aspect différent, suivant qu'ils auront été plus ou moins habilement dépecés et travaillés avant leur introduction au frigorifique. Si, abstraction faite de l'aspect plus ou moins agréable à l'œil, la pratique de l'habillage n'a pas d'importance pour obtenir les effets de la congélation, il n'en est plus de même lorsqu'il s'agit de sortir les quartiers des dépôts et de les exposer à l'air pour obtenir la décongélation.

Il est indispensable qu'aussitôt après l'abatage *la saignée soit aussi complète que possible*; que la section longitudinale, ou *fente*, de la colonne vertébrale soit nette, et que dans aucune partie il n'existe d'*incision irrégulière, anfractueuse*, pouvant donner abri à des caillots sanguins susceptibles de se corrompre et surtout de provoquer des altérations dans les régions avoisinantes lors de la mise en consommation de la viande.

14. Préparation de la viande congelée. — Précautions à prendre pour le transport des quartiers de viande. — Dans le but de soustraire la viande à des contacts trop répétés, on installe en Australie, entre l'abattoir et les chambres de congélation, des voies métalliques aériennes de roulement. L'usage des wagonnets poussés à la main est condamné d'une façon absolue. Il nécessite en effet des manœuvres pour le déchargement, et il expose les quartiers à des chutes à terre qui les souillent. Pour éviter ces accidents, les ouvriers exercent avec leurs mains des pressions qui meurtrissent les tissus et favorisent la pénétration des germes nocifs, et cela d'autant plus facilement que la viande est plus chaude, c'est-à-dire que les voies d'absorption de la surface sont moins fermées par la rétraction et l'assèchement¹.

15. Préparation de la viande congelée. — Essorage. — Congélation. — Emmagasiner. — Immédiatement après l'abatage, la viande est portée dans les chambres d'*essorage* ou de *ressuage* où, sous l'action d'un courant d'air sec et purifié, elle se refroidit et se dessèche à la surface. Le séjour de la viande dans ces chambres est de dix-huit à vingt heures à une température de + 4° à + 6° C. La viande est alors divisée en quartiers que l'on introduit dans les chambres de congélation à la température de — 15° C.

Après avoir été congelée, la viande est enfermée dans des sacs en toile légers (*fig. 366*) et portée dans des *chambres de conservation* maintenues à une température de — 5° C. à — 7° C. Dans ces entrepôts la viande est entassée en vrac. On compte par mètre cube des chambres de conservation 300 à 350 kilogrammes de viande — ou 8 à 12 moutons — ou encore 4 à 6 quartiers de bœuf.

16. Caractères physiques des viandes congelées. — Les caractères physiques des viandes congelées sont les suivants² :

1. DE LOVERDO, *le Froid artificiel*, p. 328 : *Soins préliminaires à donner aux viandes destinées à la congélation.*

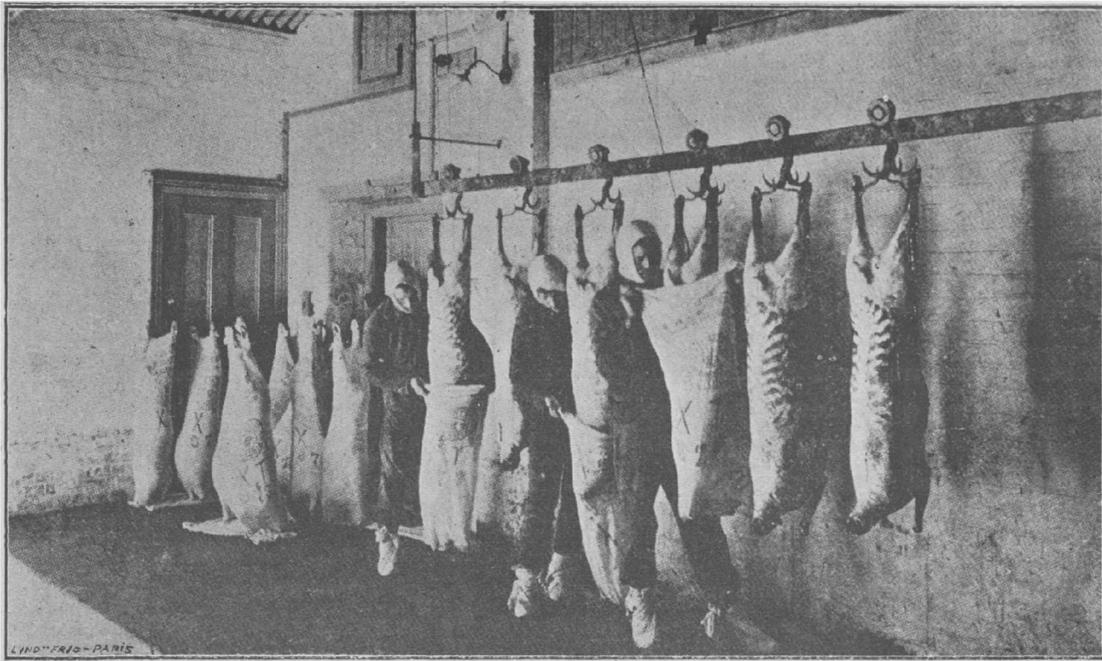
2. E. MARCHAL, *les Viandes de boucherie conservées par le froid*, p. 83.

Odeur. — La viande congelée n'exhale pas l'odeur spéciale de la chair fraîche fournie par les animaux de boucherie de l'espèce bovine¹.

Couleur. — Quelques heures après l'abat, les muscles et la graisse du bœuf ont des colorations qui varient suivant leur situation anatomique; toutefois, la chair a une couleur qui va du rouge au rouge foncé; la graisse peut être blanchâtre ou d'un jaune très accentué.

Les surfaces musculaires acquièrent après la congélation une teinte noirâtre parfois peu agréable à l'œil, ce qui, en France, a souvent nui à la vente des viandes importées.

Sur une coupe faite à la scie, la viande après congélation a une teinte d'un rose très pâle avec reflets blanchâtres; le marbré ou le persillé, quand il existe, se dessine nette-



Cliché de « L'Industrie frigorifique ».

FIG. 366. — Préparation et emballage des moutons congelés destinés à l'exportation.

ment au milieu de la substance musculaire dont les fibres apparaissent bien distinctes. La couleur de la graisse varie du blanc mat au jaune plus ou moins safrané.

Les plèvres pectorales et péritonéales sont, après la congélation, d'une blancheur immaculée. Malgré leur transparence, elles ne laissent que deviner les muscles intercostaux internes se confondant par leur coloration avec celle de la face interne des côtés.

Au fur et à mesure que les viandes congelées se rapprochent de la température normale, que, par conséquent, elles sont atteintes par la décongélation, elles conservent leur coloration foncée d'un rouge noirâtre qui n'est qu'extérieure; en effet, les couches, une fois incisées, se montrent avec la couleur rouge vif des viandes fraîchement abattues.

Consistance. — La chair musculaire congelée acquiert la consistance du bois et même de la pierre. Il ne faut pas songer à débiter la viande dans ces conditions.

Saveur. — Elle est nulle lorsque la viande est complètement gelée, en raison surtout

1. Il est bien entendu que les viandes avant la congélation ne doivent dégager aucune odeur spéciale telle que celle provenant de rupture de la vessie ou de la vésicule biliaire, du contact du lait des mamelles; à plus forte raison, ne doivent-elles exhaler aucune odeur médicamenteuse.

de la sensation du froid que le palais éprouve à son contact. La saveur particulière à la chair musculaire peut être perçue au fur et à mesure que s'opère la décongélation.

17. Précautions à prendre pour obtenir la décongélation des viandes conservées par le froid. — Au sortir des dépôts frigorifiques la viande ne doit pas être brusquement portée à la température ordinaire.

La décongélation doit être pratiquée lentement. Elle doit se faire dans un courant assez violent d'air sec et pur, afin d'éviter le dépôt à la surface d'eau provenant de la condensation de la vapeur contenue dans l'air chaud. On évite de la sorte le développement dans les muscles de cette odeur caractéristique, dite de *relent*, si désagréable pour le consommateur.

Il est bon d'avoir une chambre de décongélation dont l'air est réchauffé lentement.

Il faut, en moyenne, deux jours pour décongeler un mouton et trois à quatre jours pour décongeler un quartier de bœuf.

18. Comestibilité des viandes congelées. — Expériences de M. Armand Gautier. — De nombreuses expériences ont été faites par M. Armand Gautier¹ qui a cherché si les viandes congelées 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 difficile; enfin, si elles se conservaient moins bien que les viandes ordinaires après leur décongélation.

D'une part, les viandes fraîches provenaient de moutons de races normandes dites de présalé et de bœufs rouges du Quercy; d'autre part, les viandes congelées étaient celles de moutons et de bœufs congelés à cœur à -12° C. ou -15° C. et conservées depuis cinq à six mois à des températures variant de -5° C. à -6° C. [Les moutons étaient de la race de Rambouillet croisés de Dishley Mérinos, South Down et Lincoln, — les bœufs de Short-Zorn Durham âgés de trois à quatre ans.]

L'analyse chimique a donné les résultats suivants :

La composition des viandes congelées est identique à celle des viandes fraîches.

Les viandes frigorifiées ou congelées ne sont pas plus pauvres en principes nutritifs que les viandes fraîches; c'est plutôt le contraire qui a lieu.

Les viandes frigorifiées sont loin d'être plus gélatineuses que les viandes fraîches.

Les matières grasses sont à peu près dans la même proportion dans les deux cas, et il en est de même des substances extractives.

Le glycogène seul a disparu.

Les ferments peptonisants ne sont pas détruits; ils sont simplement rendus inertes, et la proportion de peptone semble être la même dans les deux cas.

M. Armand Gautier a pu, par des expériences personnelles, établir la très faible différence de goût que présentent les viandes frigorifiées et les viandes fraîches.

Bouillie, la viande de bœuf conserve le même aspect et les mêmes propriétés alibiles (propres à la nutrition) que si elle provenait d'un animal fraîchement tué; sa tendreté ne laisse rien à désirer, et sa saveur est exactement la même dans les deux cas. Du bœuf conservé depuis des mois peut être servi bouilli sur une table sans que les convives puissent discerner sa provenance.

1. A. GAUTIER, *Des viandes alimentaires fraîches et congelées* (*Revue d'Hygiène et de Police sanitaire*, 1897, p. 289 et 394). — On trouve un exposé très étendu de ce mémoire dans A. PERRET, *les Machines à glace*, p. 356.

Le *bouillon* résultant de cette coction est un peu plus fade que celui obtenu avec de la viande fraîche.

Comme rôti, la viande congelée du bœuf ne diffère en rien de la viande fraîche.

Qu'elle soit préparée sous forme de ragoût ou de rôti, *la viande congelée de mouton* se confond à très peu de chose près avec celle du mouton frais, avec cette différence cependant que celle-là a souvent une saveur de venaison particulière aux viandes de certains pays.

La digestibilité de la viande frigorifiée est en tout semblable à celle de la viande fraîche.

19. La viande congelée revenue à la température normale se conserve bien. — Enfin la viande congelée revenue à la température normale se conserve tout aussi bien que la viande fraîche.

20. Transport de la viande congelée. — Expériences de transport dans les wagons ordinaires à marchandises des Compagnies de chemins de fer. — *La viande congelée peut d'ailleurs voyager impunément assez longtemps avec les moyens de transport ordinaires.* Voici une expérience qui, à ce point de vue, est tout à fait concluante¹.

Il y a quelques années, pendant le courant du mois d'août, furent expédiés de Paris sur Montpellier, 750 kilogrammes de viande en quartiers, comprenant 650 kilogrammes de bœuf et 100 kilogrammes de viande de mouton, conservés depuis cinq mois dans la chambre frigorifique établie à Billancourt par l'Administration de la Guerre. Les quartiers avaient été revêtus, par dessus l'enveloppe en cotonnade lâche qui les entourait, d'une seconde enveloppe en tissu serré, soigneusement fermée, afin de pouvoir sans inconvénient les noyer dans une couche de matières pulvérulentes destinées à les isoler et à les soustraire autant que possible à l'action de la chaleur extérieure. Cette opération préliminaire avait été effectuée à l'avance dans l'intérieur de la chambre frigorifique où les matières pulvérulentes aussi bien que les emballages divers avaient été déposés depuis quinze jours environ pour y être eux-mêmes refroidis.

Deux quartiers de bœuf pesant ensemble 160 kilogrammes et un mouton pesant 25 kilogrammes furent placés dans une caisse remplie de sciure de bois; deux quartiers de bœuf pesant ensemble 151 kilogrammes furent placés dans une deuxième caisse garnie également de sciure de bois; un morceau de bœuf pesant 30 kilogrammes dans un tonneau à double enveloppe, l'intervalle entre les deux parois étant rempli de poudre de liège. Ces caisses ou tonneaux furent déposés à la gare des Moulineaux, dans un fourgon à bagages ordinaire, ainsi que deux demi-bœufs pesant 314 kilogrammes et trois moutons du poids de 70 kilogrammes. Ces derniers étaient chargés en vrac dans le fond du fourgon où quelques planches avaient été installées pour contenir la poussière de tourbe dans laquelle la viande devait être noyée sous une couche de 15 centimètres d'épaisseur.

Le fourgon contenant cette viande mit vingt-sept heures et demie pour aller de Paris à Montpellier; pendant ce temps, un orage survint et la température extérieure s'éleva jusqu'à 29° C. Le lendemain du jour d'arrivée, environ trente-sept heures après le départ de Paris, le wagon fut ouvert; le thermomètre placé dans le wagon marquait 19°. Les caisses et le tonneau ayant été ouverts et les quartiers non emballés extraits de la tourbe qui les entourait, tous les morceaux de viande, sans exception, furent trouvés gelés et conservant

¹. E. MARCHAL, *les Viandes de boucherie conservées par le froid*, p. 119.

toute leur rigidité, bien que la sciure de bois indiquât au thermomètre $+ 2^{\circ}$ C., la poudre de liège $+ 1^{\circ},5$, et la poussière de tourbe $+ 1^{\circ}$ C.

La viande, n'étant plus revêtue que de ses enveloppes de tissu, fut transportée par une voiture du train des équipages à la manutention militaire, distante de plus de 1 kilomètre. Cette viande resta encore une heure avant d'être découpée dans une salle à la température de $+ 22^{\circ}$ C. Elle fut trouvée dans un parfait état de conservation.

Des expériences faites par M. E. Marchal ont en outre permis de constater que du mouton sorti de chambres frigorifiques à $- 5^{\circ}$ C. et expédié de Paris à Verdun, enveloppé seulement avec des chemises et des toiles d'emballage dans des paniers à claire-voie, n'accusait au centre des gigots, après onze heures, dont sept de voyage, qu'une température de $- 1^{\circ},5$. L'expérience était faite, autant que possible, par des températures orageuses ou élevées, 25° C. en moyenne.

III

CALCUL D'UNE INSTALLATION FRIGORIFIQUE D'ABATTOIR

1. **Données pour un avant-projet.** — a) *Superficie totale des chambres froides :*
1 mètre carré pour 100 à 120 habitants; souvent il suffit de 1 mètre carré pour 120 à 140 habitants.

b) *Superficie totale de l'antichambre froide :*
 $1/3$ à $1/4$ de la superficie des chambres froides.

c) *Largeur des passages de service :*
 $1^m,50$ à $1^m,80$.

d) *Superficie utilisable des chambres froides :*
 70 à 75 0/0 de la superficie totale, soit 1 mètre carré de surface utilisable pour 140 à 170 habitants; il suffit souvent de 1 mètre carré de surface utilisable pour 185 à 200 habitants.

e) *Nombre de frigories à produire pour refroidir des chambres garnies de viande :*
Stetefeld¹ indique 2.400 (grandes installations) à 3.600 (petites installations) frigories à produire par mètre carré et par jour.

Siebel² admet qu'il faut, en moyenne, 700 frigories par jour pour refroidir 1 mètre cube de chambre froide, et 350 frigories par jour pour refroidir 1 mètre cube d'antichambre froide. D'ailleurs, suivant le degré d'isolement, les dimensions des chambres, etc., il faut dépenser par heure 3.000 frigories (soit 3.000×24 frigories ou 1 tonne de puissance frigorifique des États-Unis pendant vingt-quatre heures) pour refroidir de 90 à 150 mètres cubes de chambres froides (soit 20 à 35 frigories-heure par mètre cube) et de 150 à 230 mètres cubes d'antichambre froide (soit 15 à 20 frigories-heure par mètre cube).

Lehnert³ donne la règle plus précise suivante :

Supposons que l'on puisse employer trois jours à refroidir la viande (soit deux jours d'abatage par semaine);

1. STETFELD, *Compendium der gesamten Kälte-Industrie*, p. 365.

2. SIEBEL, *Compend of Mechanical Refrigeration*, p. 212.

3. LEHNERT, *Moderne Kältetechnik*, p. 20.

Que la température extérieure soit de 30° C., que la température des chambres froides soit de + 1° à + 4° C. et que la température de l'antichambre froide soit de 6° C. environ ;

Que l'on puisse mettre 150 kilogrammes de viande par mètre carré de surface utilisable :

Le nombre de frigories à produire en vingt-quatre heures est donné pour une chambre froide par la formule

$$125bh + 860bl + 880h(b + l) \text{ calories,}$$

dans laquelle

b est en mètres la largeur intérieure de la chambre ;

l est en mètres la longueur intérieure de la chambre ;

h est en mètres la hauteur intérieure de la chambre.

f) Calcul du nombre de frigories d'après le nombre d'animaux conservés (Siebel) :

Considérons une chambre froide dont le volume est compris entre 170 et 340 mètres cubes ; il faut produire en moyenne 3.000 frigories-heure (3.000×24 frigories ou 1 tonne de puissance frigorifique des États-Unis en vingt-quatre heures) pour compenser les pertes par rayonnement au travers des murs.

Il faut, de plus, produire 3.000 frigories-heure ou 1 tonne de puissance frigorifique des États-Unis pendant vingt-quatre heures pour y refroidir :

15 à 24 porcs (poids moyen : 125 kilogrammes) ;

5 à 7 bœufs (poids moyen : 350 kilogrammes) ;

45 à 55 veaux (poids moyen : 45 kilogrammes) ;

55 à 70 moutons (poids moyen : 30 kilogrammes).

g) Longueurs des tuyaux placés dans les chambres (Siebel) :

Chambres froides. — Il faut environ 80 centimètres de tuyaux lisses de 50 millimètres de diamètre intérieur par mètre cube du volume intérieur des chambres froides, quand on emploie la *détente directe*.

Dans le cas de la *circulation de saumure*, il faut environ 1^m,50 de ces mêmes tuyaux.

Antichambre froide. — Dans le cas de la *détente directe*, il faut environ 25 centimètres de tuyaux de 50 millimètres de diamètre intérieur par mètre cube du volume intérieur des chambres froides.

Il faut, par mètre cube, environ 70 centimètres de ces mêmes tuyaux quand on emploie la *circulation de saumure*.

h) Calcul par nombre d'animaux des longueurs des tuyaux placés dans les chambres (Siebel) :

Chambres froides :

Détente directe. — 4 mètres de tuyaux de 50 millimètres de diamètre intérieur par bœuf ;

1^m,80 de ces tuyaux par porc.

Circulation de saumure (grandes installations). — 4 mètres de tuyaux de 30 millimètres de diamètre intérieur par porc ;

8 mètres de ces tuyaux par bœuf.

k) Prix de l'installation frigorifique, bâtiments et machines (Lehnert) ;

En France, environ 10 fois le chiffre de la population pour laquelle l'abattoir a été construit.

2. Calcul détaillé d'une installation frigorifique. — Supposons que nous ayons à construire une installation frigorifique pour l'abattoir d'une ville de 100.000 habitants.

D'après le tableau LI on tue, en moyenne, par an, dans cette ville 10.000 bœufs ou têtes de gros bétail, 9.900 moutons, 15.800 veaux (soit 25.700 têtes de petit bétail), 34.600 porcs.

Si l'abatage a lieu 100 fois par an, on tue dans chaque jour d'abatage :

100 bœufs; 257 têtes de petit bétail; 346 porcs;

ou

$$100 \times 274 + 257 \times 30 + 346 \times 82 = 63.482 \text{ kilogrammes de viande.}$$

On doit, de plus, pouvoir loger dans le frigorifique

$$\frac{1}{4} \times 63482 = 15.870 \quad \text{---} \quad \text{---}$$

Soit en tout. 79.352 kilogrammes de viande

ou, en nombres ronds,

79.400 kilogrammes de viande.

Si on loge 150 kilogrammes de viande par mètre carré utile de chambre froide, il faut 530 mètres carrés utilisables et 700 mètres carrés de superficie totale des chambres froides. L'antichambre froide devra avoir 230 mètres carrés dont 165 mètres carrés de surface utile.

Supposons que la chambre froide ait

{ 35 mètres de longueur,
20 mètres de largeur,
4 mètres de hauteur

et que l'antichambre froide ait 11^m,50 de longueur, 20 mètres de largeur, 4 mètres de hauteur.

Les températures sont

Air extérieur		+ 30° C.
Viande après l'abatage.		+ 30° C.
Chambres contiguës avec le frigorifique.		+ 25° C.
Sol.		+ 12° C.
Chambre froide.		+ 2° C.
Antichambre froide.		+ 6° C.
Coefficient de transmission de la chaleur.		0,7

I. — Frigories à produire pour compenser l'échauffement par les parois

Chambre froide :

Sol.....	700 (12 — 2)	=	7.000 calories
Plafond	700 (25 — 2)	=	16.100 —
Murs...	20 × 4 (30 — 2)	=	2.240 —
— ...	2 × 35 × 4 (25 — 2)	=	6.440 —
— ...	20 × 4 (6 — 2)	=	320 —

Antichambre froide :

Sol.....	230 (12 — 6)	=	1.380 calories
Plafond	230 (25 — 6)	=	4.370 —
Murs...	20 × 4 (25 — 6)	=	1.520 —
— ...	2 × 4 × 11,5 (25 — 6)	=	1.748 —
— ...	—20 × 4 (6 — 2)	=	320 —
TOTAL.			40.798 calories

L'échauffement par les parois durant vingt-quatre heures est donc

$$40800 \times 0,7 \times 24 = 685.440 \text{ calories.}$$

Si on ajoute 10 0/0 de ce nombre pour l'exploitation, l'éclairage, on trouve

$$0,1 \times 685440 = 68.544.$$

Le nombre de frigories qu'il faut produire par jour pour compenser l'échauffement par les parois, l'exploitation et l'éclairage sont donc égaux à

$$685440 + 68544 = 753.984 \text{ frigories}$$

ou, en nombres ronds, 754.000 frigories.

II. — Réfrigération de la viande

Il faut environ quarante heures pour refroidir les 63.482 kilogrammes de viande abattue depuis la température de 30° jusqu'à la température de la chambre froide. Le nombre de frigories à produire pour opérer ce refroidissement est, en prenant 0,7 pour chaleur spécifique de la viande et 2° C. pour la température moyenne de la chambre froide,

$$63482 \times 0,7 (30 - 2) = 1.244.247,2.$$

Le nombre de frigories à produire par jour est donc égal à

$$\frac{1244247,2 \times 24}{40} = 746.350 \text{ environ.}$$

III. — Renouvellement de l'air

Le renouvellement de l'air doit se faire à peu près 6 fois en vingt-quatre heures.

Supposons que l'air extérieur soit à une température de 30° et ait un état hygrométrique égal à 0,85. Il s'agit de refroidir cet air à la température de 4° C. (moyenne entre + 2° C., température de la chambre froide, et + 6° C., température de l'antichambre froide) et de l'amener à l'état hygrométrique 0,75. La chaleur totale dégagée par ce refroidissement est égale

a) A la chaleur dégagée par l'air sec se refroidissant de + 30° C. à + 4° C. ;

b) A la chaleur dégagée par la condensation de la vapeur d'eau dans le passage de l'état hygrométrique 0,85 correspondant à + 30° C. à l'état hygrométrique 0,75 correspondant à 4° C.

Le volume des chambres est égal à

$$(700 + 230) 4 = 3.720 \text{ mètres cubes.}$$

a) La chaleur spécifique sous pression constante de l'air sec est égale à 0,237; la quantité de chaleur nécessaire pour échauffer de 1° C. un mètre cube d'air sec à 0° et sous la pression normale est égale à

$$0,237 \times 1,293 = 0,31 \text{ environ.}$$

Nous adopterons ici ce nombre. La quantité de chaleur dégagée par 3.720 mètres cubes d'air sec se refroidissant de + 30 à + 4° C. est alors

$$3720 \times 0,31 (30 - 4) = 29.983,2$$

ou, en nombres ronds, 30.000 calories.

Le renouvellement de cet air se faisant 6 fois par jour, le dégagement de chaleur, qu'il faut absorber, se monte donc par jour à

$$6 \times 30.000 = 180.000 \text{ calories.}$$

b) Un mètre cube d'air saturé de vapeur d'eau à la température T contient un nombre de kilogrammes d'eau représenté par la formule

$$p = 0,622 \times 1,293 \frac{F_T}{760} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{273} T}$$

F_T étant en millimètres de mercure la tension maxima de la vapeur d'eau à la température T.

On trouve, en employant cette formule, qu'à 30° C. un mètre cube d'air saturé contient 0^{kg},029 de vapeur d'eau, et qu'à 4° C. il contient 0^{kg},00636 de vapeur d'eau.

Un mètre cube d'air humide à 30° C. et d'état hygrométrique 85 0/0 contient donc

$$0,029 \times 0,85 = 0^{\text{kg}},02465 \text{ de vapeur d'eau.}$$

Un mètre cube d'air humide à 4° C. et d'état hygrométrique 75 0/0 contient

$$0,00636 \times 0,75 = 0^{\text{kg}},00477 \text{ de vapeur d'eau.}$$

Quand de l'air humide passe de la température de 30° C. et de l'état hygrométrique 0,85 à la température de 4° C. et à l'état hygrométrique 0,75, il se condense donc par mètre cube d'air

$$0^{\text{kg}},01988 \text{ d'eau ou environ } 0^{\text{kg}},02 \text{ d'eau.}$$

Il se dégage 610 calories quand on condense 1 kilogramme de vapeur d'eau à 30° C. et qu'on amène l'eau formée à 4° C. La condensation de l'eau précédente dégage donc

$$0,02 \times 610 = 12,2 \text{ calories.}$$

La chaleur dégagée dans la condensation de la vapeur d'eau contenue dans les 6 × 3720 mètres cubes d'air que nous avons à considérer ici est donc

$$6 \times 3720 \times 12,2 = 272.304 \text{ calories}$$

ou, en nombres ronds,

$$272.300 \text{ calories par jour.}$$

IV. — Nombre total de frigories à produire par jour

Transmission de la chaleur au travers des parois.	754.000	frigories par jour
Refroidissement de la viande	746.550	—
Renouvellement de l'air.	480.000	—
	272.300	
	<u>1.952.850</u>	—

Si nous ajoutons à ce nombre environ 5 0/0 pour les pertes et l'échauffement de l'air par le ventilateur qui le fait circuler, nous voyons qu'il faut produire par jour environ

$$2.000.000 \text{ frigories.}$$

On pourra employer, pour produire ce froid, un compresseur de 120.000 frigories-heure marchant pendant vingt-quatre heures avec un arrêt de deux fois une demi-heure pour le graissage, la visite des machines, etc... Ce compresseur produisant par jour 2.760.000 frigories, on pourra employer l'excédent de froid à produire 6 tonnes de glace.

V. — Refroidisseur d'air

Supposons que nous refroidissions l'air des chambres au moyen d'un refroidisseur sec du type Humboldt-Fixary.

L'ammoniaque se détend dans des tuyaux lisses ayant 51 millimètres de diamètre intérieur et 57 millimètres de diamètre extérieur. Ces tuyaux étant groupés dans une gaine parcourue par un courant d'air actif obtenu au moyen d'un ventilateur, on peut compter sur une absorption de 20 calories en moyenne par mètre carré de la surface extérieure du tuyau, par heure et pour 1° C. de différence de température entre le fluide frigorigène et l'air. Cette absorption de chaleur correspond pour le tuyau de 51/57 millimètres à une absorption de 3,6 calories par mètre courant, par heure et par degré centigrade de différence de température entre le fluide frigorigène et l'air.

Dans le tuyau le fluide a la température de -10° C. ; à l'entrée du refroidisseur l'air a la température $+3^{\circ}$ C. ; il a la température -3° C. à la sortie. La différence de température moyenne entre l'air et l'ammoniaque liquide est égale à environ 10° C.

En passant de -3° C. à $+3^{\circ}$ C., l'air doit absorber 2.000.000 calories par jour ; cette quantité de chaleur est absorbée par le réfrigérant qui ramène l'air à la température de -3° C. La longueur des tuyaux de ce réfrigérant est alors donnée par

$$\frac{2000000}{3,6 \times 24 \times 10} = 2.315 \text{ mètres environ.}$$

La quantité de chaleur absorbée par l'air qui passe de l'état saturé à -3° C. à la température $+3^{\circ}$ C. avec l'état hygrométrique 75 0/0 est, par mètre cube d'air circulant dans les chambres, égale à

$$\underbrace{[3 - (-3)] 0,31}_{\text{Air sec.}} + \underbrace{[0,75 \times 0,00595 - 0,00396] 610}_{\text{Condensation de la vapeur d'eau.}} = 2,16 \text{ calories}$$

Si donc V est le volume d'air que l'on doit faire circuler par jour dans les chambres, on a la relation

$$\begin{aligned} 2,16 \times V &= 2.000.000 \\ V &= 925.926 \text{ mètres cubes} \end{aligned}$$

Ce volume est, par minute,

$$\frac{V}{24 \times 60} = 643 \text{ mètres cubes.}$$

Tel est le débit du ventilateur par minute.

Le produit 60×643 est sensiblement égal à 11 fois le volume total (3.720 mètres cubes) des chambres. D'où la règle pratique suivante :

Le débit par minute du ventilateur doit être tel qu'en une heure tout l'air des chambres passe de 10 à 12 fois au réfrigérant.

3. Congélation de la viande. — Données pour un avant-projet (Siebel).

— Il faut compter 1.800 frigories par jour et par mètre cube de chambre de congélation maintenue de -12° C. à -15° C.

Quand on emploie la *détente directe* de l' AzH_3 dans les tuyaux placés dans les chambres, il faut $1^{\text{m}},30$ de tuyaux de 50 millimètres de diamètre intérieur par mètre cube des chambres de congélation. Si on refroidit par *circulation de saumure dans les chambres*, il faut $3^{\text{m}},60$ de tuyaux par mètre cube des chambres de congélation.

IV

CONSERVATION DU GIBIER

La conservation du gibier à long terme exige un certain nombre de précautions dont les principales sont les suivantes :

1° *Le gibier peut être plumé ou conservé avec son poil ou ses plumes.*

2° *Le gibier doit être autant que possible vidé.* Quand on ne fait pas cette opération, le poil ou les plumes tombent sur les parties de la peau qui confinent aux intestins.

3° *Le gibier doit être enveloppé dans du papier parchemin ou dans du papier paraffiné, que ce gibier soit conservé ou non avec son poil ou ses plumes.*

4° *L'emballage du gibier ainsi enveloppé doit être fait dans des caisses à claire-voie, les différentes couches étant séparées par des tasseaux, de manière que l'air puisse bien circuler tout autour des diverses pièces.*

5° *Le gibier doit être d'abord placé pendant douze à quinze heures dans une chambre maintenue au voisinage de zéro.*

Cette chambre sert d'antichambre à la chambre froide proprement dite.

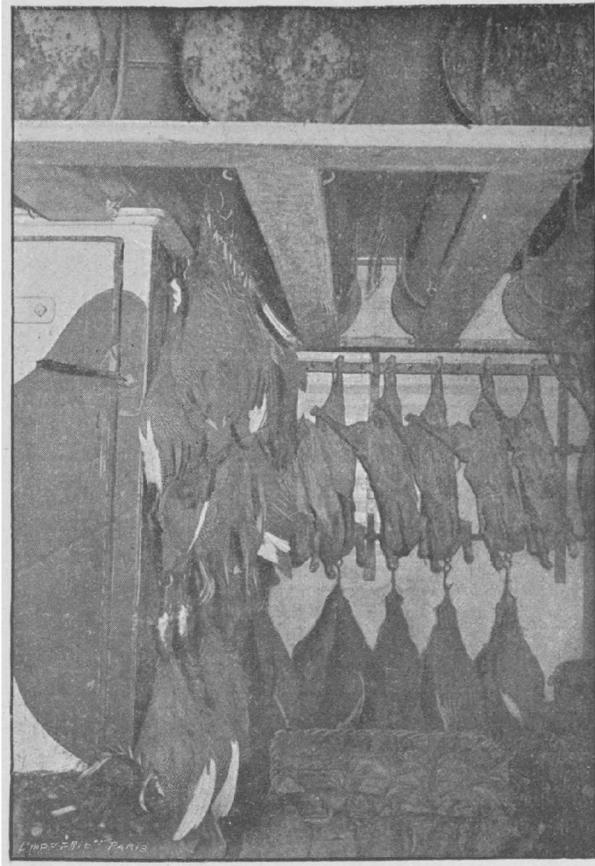
6° *La chambre de congélation doit être maintenue entre — 5° C. et — 7° C.; une température supérieure ne suffit pas pour une conservation à long terme.*

7° Il ne faut pas sortir brusquement le gibier de la chambre de décongélation dans l'air extérieur. *Il convient de le laisser sept à huit heures dans l'antichambre froide.*

8° *Pour achever la décongélation il convient, lorsqu'on a sorti le gibier des chambres froides, de l'exposer à l'action d'un vif courant d'air, de manière à empêcher l'humidité de se déposer à sa surface.*

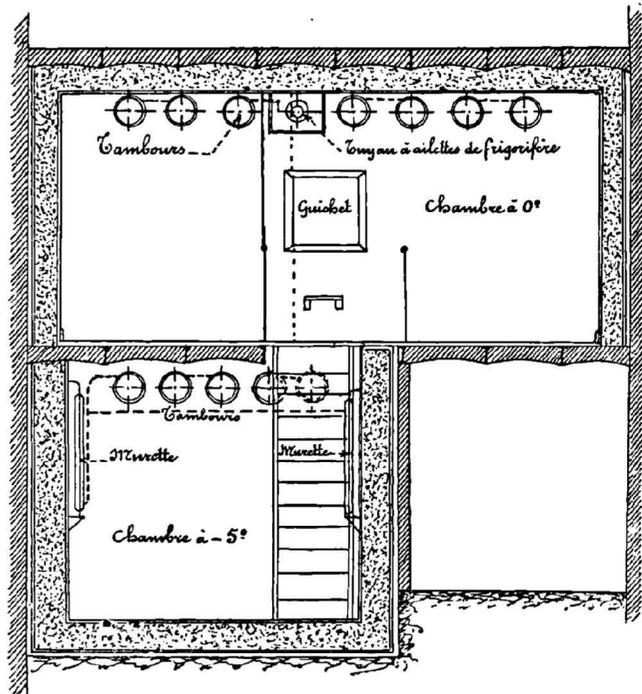
Des essais ont été faits pour conserver des cailles toutes plumées en boîtes de fer-blanc léger complètement closes, chaque bête ou l'ensemble du contenu de la boîte étant enveloppé dans du papier parcheminé. Il y a eu de nombreux mécomptes dus à ce que le gibier n'avait pas été réfrigéré avant d'être mis en boîte et à ce que la boîte avait été soudée avant d'avoir été mise vingt-quatre ou quarante-huit heures (toute ouverte et remplie) dans une chambre froide. L'air de la boîte étant à un trop haut degré d'humidité au moment de la fermeture de la boîte, il en résulta une formation de moisissures sur certaines bêtes. Toutefois, même en prenant des précautions, *la conservation en boîte fermée n'est pas à recommander; l'air froid doit pouvoir circuler autour de chaque bête. Pour la même raison la conservation en vrac ne donne pas de bons résultats.*

Les figures 367 à 371 représentent une installation frigorifique pour la conservation des volailles et gibiers faite, par la *Société Dyle et Bacalan*, chez M. *Harpillard* à Paris. La machine frigorifique, type *Hall*, est placée, ainsi que son moteur électrique, dans une salle située en avant des chambres à refroidir (*fig.* 370). Il y a deux chambres, l'une au premier sous-sol (chambre à 0° C.), l'autre au deuxième sous-sol (chambre à — 5° C.). La chambre à 0° C. (*fig.* 367, 368, 371) est supposée recevoir journallement 2.000 kilogrammes de volailles et gibiers coïncidant avec une sortie équivalente. Elle est munie d'une porte d'entrée large de 800 millimètres; cette porte possède un guichet de 600 × 600 millimètres (*fig.* 368)



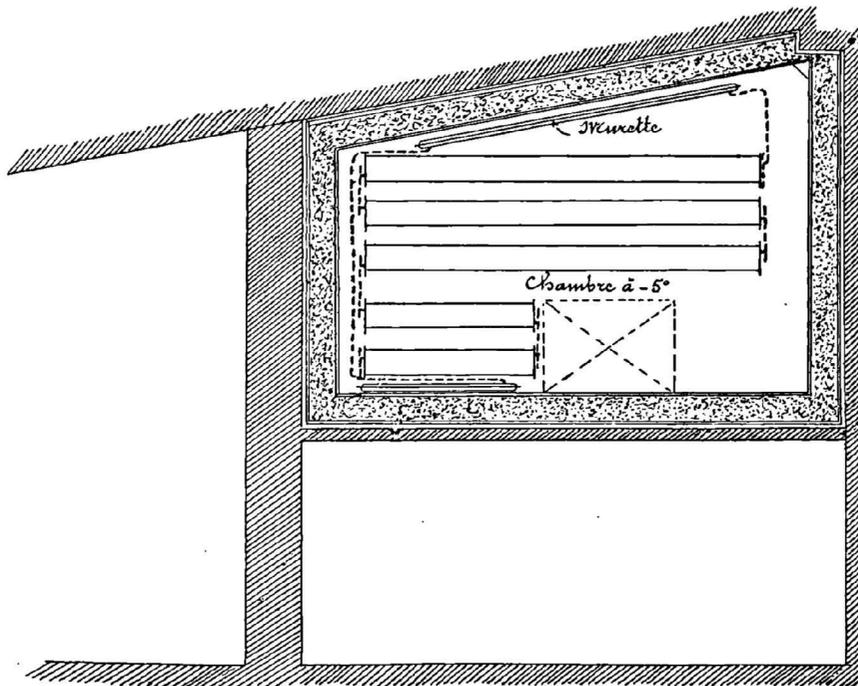
Cliché de « L'Industrie frigorifique ».

FIG. 367. — Installation frigorifique pour volailles et gibiers. Chambres froides à 0° avec circulation de saumure.



Cliché de « L'Industrie frigorifique ».

FIG. 368. — Installation frigorifique pour volailles et gibiers. Coupe transversale des deux étages. Chambre de conservation à 0°; chambre de congélation à -5°.

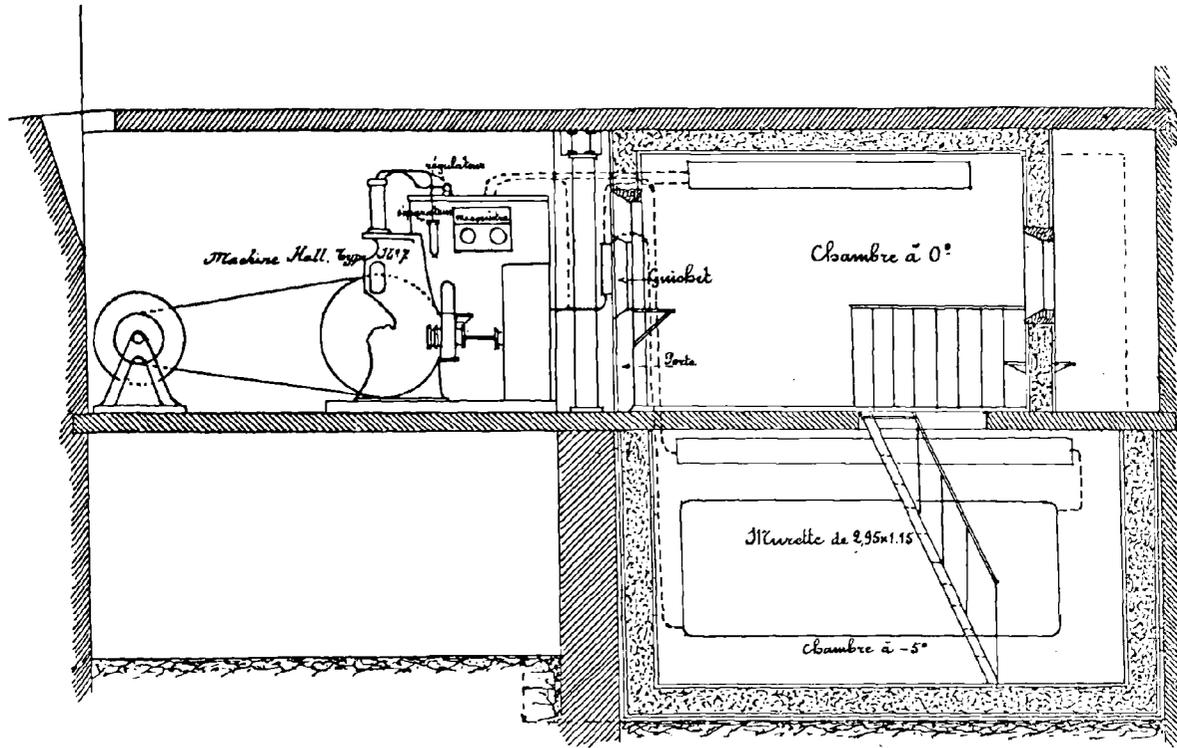


Cliché de « L'Industrie frigorifique ».

FIG. 369. — Installation frigorifique pour volailles et gibiers.

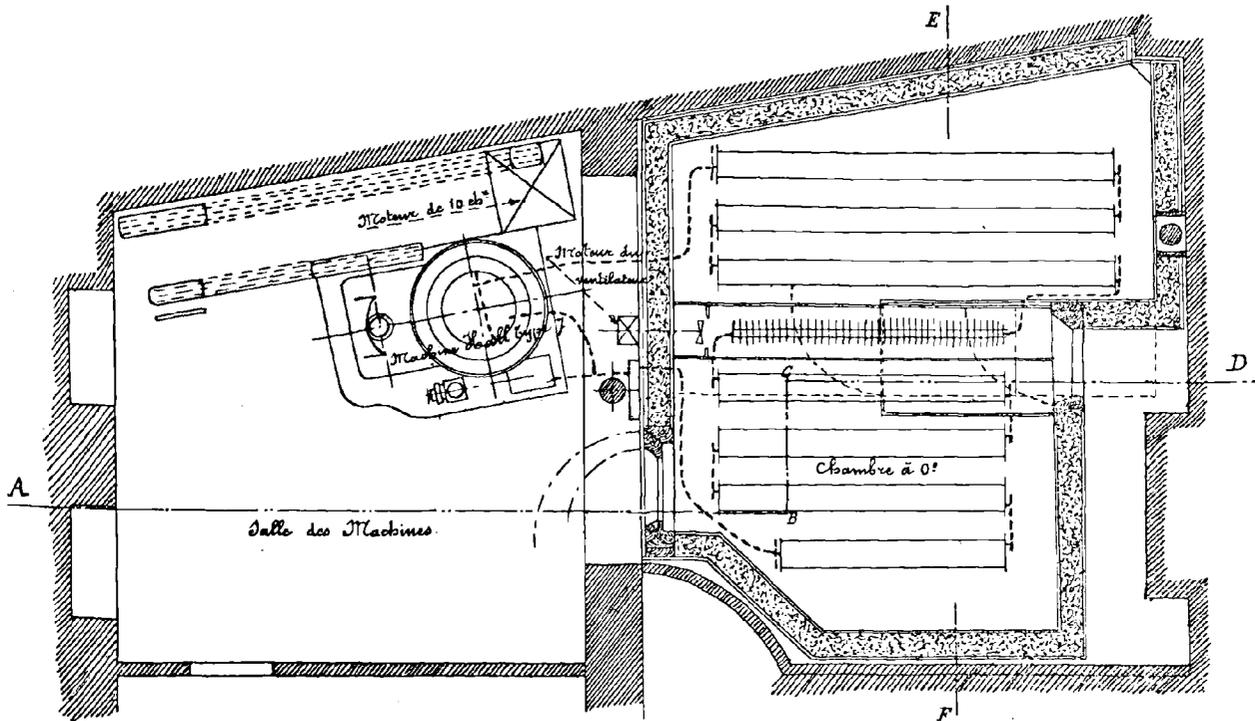
Plan de la salle de congélation et de conservation à long terme, située au deuxième sous-sol.

L'abaissement de la température à -6° (-5° à -6°) est obtenu au moyen de gros tambours remplis de saumure disposés au plafond et de deux murettes remplies également de saumure.



« Cliché de L'Industrie frigorifique ».

FIG. 370. — Installation frigorifique pour volailles et gibiers.
Coupe longitudinale des deux étages (Salle des machines, chambres à 0° et à -5°).



« Cliché de L'Industrie frigorifique ».

FIG. 371. — Installation frigorifique pour volailles et gibiers.
Plan général de la salle des machines et de la chambre à 0°.

par lequel on peut faire passer les marchandises à introduire dans la chambre sans avoir besoin d'ouvrir la porte chaque fois. Ce moyen procure une économie sensible de froid. Le refroidissement de la chambre à 0° est du type interno-externe à circulation de saumure.

Au plafond est disposé, dans un compartiment spécial, un tuyau à ailettes autour duquel on fait circuler, au moyen d'un ventilateur placé en bout, l'air de la chambre ou l'air renouvelé; on obtient ainsi cet air suffisamment sec (*fig.* 368 et 371). La saumure circule non seulement dans ce tuyau à ailettes, mais encore dans de gros cylindres fixés au plafond (*fig.* 367, 368, 371) qui, contenant une très grande quantité de liquide froid, servent pendant l'arrêt de la machine à maintenir constante la température de la chambre.

La chambre à —5°C. est refroidie également par une circulation de saumure dans des tambours de plafond auxquels ont été ajoutées deux murettes contenant une grande quantité de liquide froid (*fig.* 369).

Le compresseur fonctionne ordinairement pendant huit à dix heures, à une vitesse de 100 tours par minute; la puissance nécessaire est de 7 chevaux effectifs environ.

CHAPITRE X

CONSERVATION DU POISSON

1. Poisson réfrigéré. — Poisson congelé. — Le poisson peut être conservé à l'état de *poisson réfrigéré* ou de *poisson congelé*.

Le poisson *réfrigéré* est du poisson maintenu à une température voisine de 0° C.

Le poisson *congelé* est du poisson maintenu à une température de — 7° C. environ.

2. Quelle sorte de poisson doit-on introduire au frigorifique ? — Il faut n'introduire au frigorifique que du poisson *bien frais, exempt de meurtrissures et de taches de sang, de préférence vivant*. Le froid n'a pas en effet la propriété de bonifier un poisson déjà avarié. Il arrête la décomposition pendant quelque temps, mais cette décomposition reprend aussitôt que l'on ramène le poisson à la température ordinaire. C'est le poisson introduit déjà avarié au frigorifique qui seul se décompose au sortir des chambres froides. Aussi le poisson pris au chalut doit-il être trié avec soin avant d'être introduit au frigorifique. En effet, dans le chalutage ordinaire, on traîne le chalut pendant cinq heures environ. Le poisson pris dès la première heure, et qui est mort, est alors comprimé par les 400 ou 500 kilogrammes de poisson pris ensuite; cette compression augmente naturellement au moment du relevage du chalut. Si on ajoute à cela le traînage du chalut sur le fond de la mer, on voit que le poisson qui forme la couche inférieure doit être abimé et ne peut pas en général être introduit au frigorifique. On peut dire d'ailleurs qu'il n'y a pas plus de 50 kilogrammes de poisson vivant sur les 500 kilogrammes d'un coup de chalut. Le remède consisterait à limiter à une demi-heure ou trois quarts d'heure, une heure au maximum la durée d'un coup de chalut. Mais la grosse perte de temps qu'occasionnerait une telle pratique est un sérieux obstacle à sa réalisation.

Le poisson frais trié doit être tout d'abord lavé rapidement avant l'introduction au frigorifique. On le trempe dans un récipient contenant de l'eau fraîche, qui peut être fréquemment renouvelée et qu'on remue avec un agitateur, afin de retirer toutes les impuretés qui pourraient la souiller, tels que sang, vase, etc. Quelques praticiens conseillent de ne pas laver le poisson plat parce que ses viscères sont trop minces.

Après le lavage, le poisson est retiré à la main et introduit au frigorifique.

3. Poisson réfrigéré. — Sa conservation. — *S'il s'agit seulement de conserver le poisson pendant vingt jours environ, il convient de l'entourer de neige artificielle et de le placer dans une chambre froide maintenue entre 0° et — 1° C. Dans les cas où cela est possible, il est bon d'envelopper chaque pièce avec du papier parchemin. C'est ce qui résulte d'expériences faites en Angleterre et d'essais effectués récemment à la Bourse du Commerce par M. Gruvel,*

professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux¹. Ces dernières expériences ont porté sur 1 sole, 1 mulot, 1 rouget non vidé, 1 rouget et 1 dorade vidés. Au bout de vingt-trois jours la sole, le mulot, la dorade sont en parfait état de conservation; les rougets ont perdu un peu de leur couleur rouge, et le rouget non vidé laisse échapper par le cloaque un léger suintement indiquant un commencement de décomposition de la matière viscérale. Tous ces poissons sont d'ailleurs parfaitement comestibles, en particulier le mulot qui est aussi bon qu'à l'état frais; la sole est excellente, mais un peu plus molle qu'une sole fraîche; seuls les rougets ont perdu de leur saveur et se sont effrités à la cuisson.

Lorsque les poissons viennent d'être pêchés, on peut les introduire directement dans la chambre froide maintenue entre 0° et -1° C. et les y conserver nus sans être entourés de neige. Mais dans ce cas il convient d'éviter que l'air de la chambre frigorifique soit trop sec et que l'agitation de l'air soit trop considérable. On évite ainsi la dessiccation des tissus susceptible de donner aux poissons une mauvaise apparence².

M. Gruvel a constaté qu'une langouste préalablement cuite maintenue pendant vingt-trois jours au frigorifique entre 0° et -1° C. ne peut être distinguée de la langouste fraîche qui vient d'être cuite.

4. Transport du poisson réfrigéré. — D'après cela on voit que, si l'on peut disposer de wagons maintenus à 0° C. par une circulation de liquide incongelable, il est possible de transporter le poisson préalablement réfrigéré à de grandes distances en lui conservant non seulement ses qualités hygiéniques alimentaires, mais encore son aspect extérieur.

Quand on ne dispose que de wagons-glacières dans lesquels la température peut être en moyenne maintenue entre + 4° et + 6° C., le trajet ne doit pas excéder trois à quatre jours et le poisson doit être emballé de la manière suivante. Il doit être enveloppé dans du papier parchemin, puis entouré de neige artificielle placée dans une caisse aussi grande que possible en bois assez épais; les parois de cette caisse sont garnies sur le fond, les côtés et le dessus de papier parchemin ou paraffiné. Nous croyons savoir que ce mode de transport est appliqué de Paris à Rome.

5. Les procédés actuels de conservation du poisson au moyen de la glace sont déplorables. — Nous avons dit plus haut que le poisson doit être introduit au frigorifique autant que possible vivant, dans tous les cas très frais. Une telle condition est impossible à remplir en France avec la méthode actuelle de conservation du poisson.

On sait en effet que le navire pêcheur embarque au départ une énorme quantité de glace. Le poisson, au fur et à mesure de sa prise, est entassé en vrac dans la cale, où il est en quelque sorte immergé sous la glace en fusion qui le délave jusqu'au moment de son arrivée à terre.

Cette manière de procéder est déplorable. La glace fond en effet avec rapidité; l'eau de fusion est à ce point chargée de tous les sucs nutritifs du poisson, de tout ce qui constitue son enveloppe mucilagineuse protectrice extérieure, qu'en très peu de temps elle rend une odeur infecte.

Autrefois on employait de la *glace concassée* dont les arêtes déchiraient l'extérieur du

1. GRUVEL, *Conservation du poisson dans les chambres froides*. Procès-verbal des expériences faites par M. le professeur A. Gruvel comme complément de sa mission sur les Pêcheries de la Côte occidentale d'Afrique (*L'Industrie frigorifique*, 4^e année, n° 32, janvier 1906). — *Conservierung von Fischen durch Kälte (Eis und Kälte-Industrie)*, t. VII, n° 19, 5 avril 1906).

2. CH. LAMBERT, *Conservation et transport des produits de la pêche* (Conférence faite à Boulogne-sur-Mer le 31 octobre 1902. *L'Industrie frigorifique*, 1^{re} année, n° 1, p. 3).

CH. TELLIER, *Le Poisson et le Froid industriel (L'Industrie frigorifique)*, 2^e année, n° 16, septembre 1904, p. 266).

poisson ; aujourd'hui on emploie avec raison de la *glace pilée* ; il serait préférable d'employer de la *neige artificielle* obtenue en râpant la glace.

Ce mode de conservation du poisson à bord des navires de pêche ne permet d'introduire dans les dépôts frigorifiques à terre que du poisson déjà conservé dans de mauvaises conditions.

6. Nécessité de l'installation de chambres frigorifiques à bord des chalutiers à vapeur. — Il est donc de toute nécessité d'installer à bord des navires pêcheurs, des chalutiers à vapeur, des chambres frigorifiques aux environs de 0° C. et dans lesquelles on introduit le poisson aussitôt après sa capture.

Dans ces conditions, comme le montrent les expériences relatées plus haut, le poisson pêché depuis vingt ou vingt-cinq jours ne peut en général être distingué ou reconnu de celui pêché la veille. Les pêcheurs peuvent alors chercher au loin, à dix ou douze jours de vapeur des côtes de France, les fonds de pêche favorables. En particulier, ils peuvent profiter des richesses poissonneuses accumulées par la nature sur la côte d'Afrique, aux environs du Cap Blanc sur le banc d'Arguin.

La figure 372 représente l'installation d'un chalutier à vapeur avec chambres froides pour le poisson.

7. Emploi de la neige artificielle. — Lorsqu'on emballe le poisson dans la neige, il est bon d'employer la *neige artificielle* qui présente les avantages suivants :

1° Elle ne présente pas d'aspérités capables de détériorer le poisson.

2° Elle se prête mieux à l'emballage en se moulant exactement sur le poisson ; elle tient beaucoup moins de place que la glace pour obtenir le même résultat.

3° Son prix n'est pas plus élevé que celui de la glace.

4° Elle peut se tasser en blocs cubiques faciles à placer dans une chambre froide et qui, par un simple choc violent, se désagrègent facilement pour redonner la neige en son état primitif.

8. Machine à produire la neige artificielle. — *Machine Chiossone*¹. — La machine *Chiossone* consiste en une série de dispositifs qui ont pour but d'obtenir la réduction de la glace en neige au moyen d'un cylindre oblique formé de rondelles parmi lesquelles sont disposées des scies circulaires également dans des positions obliques.

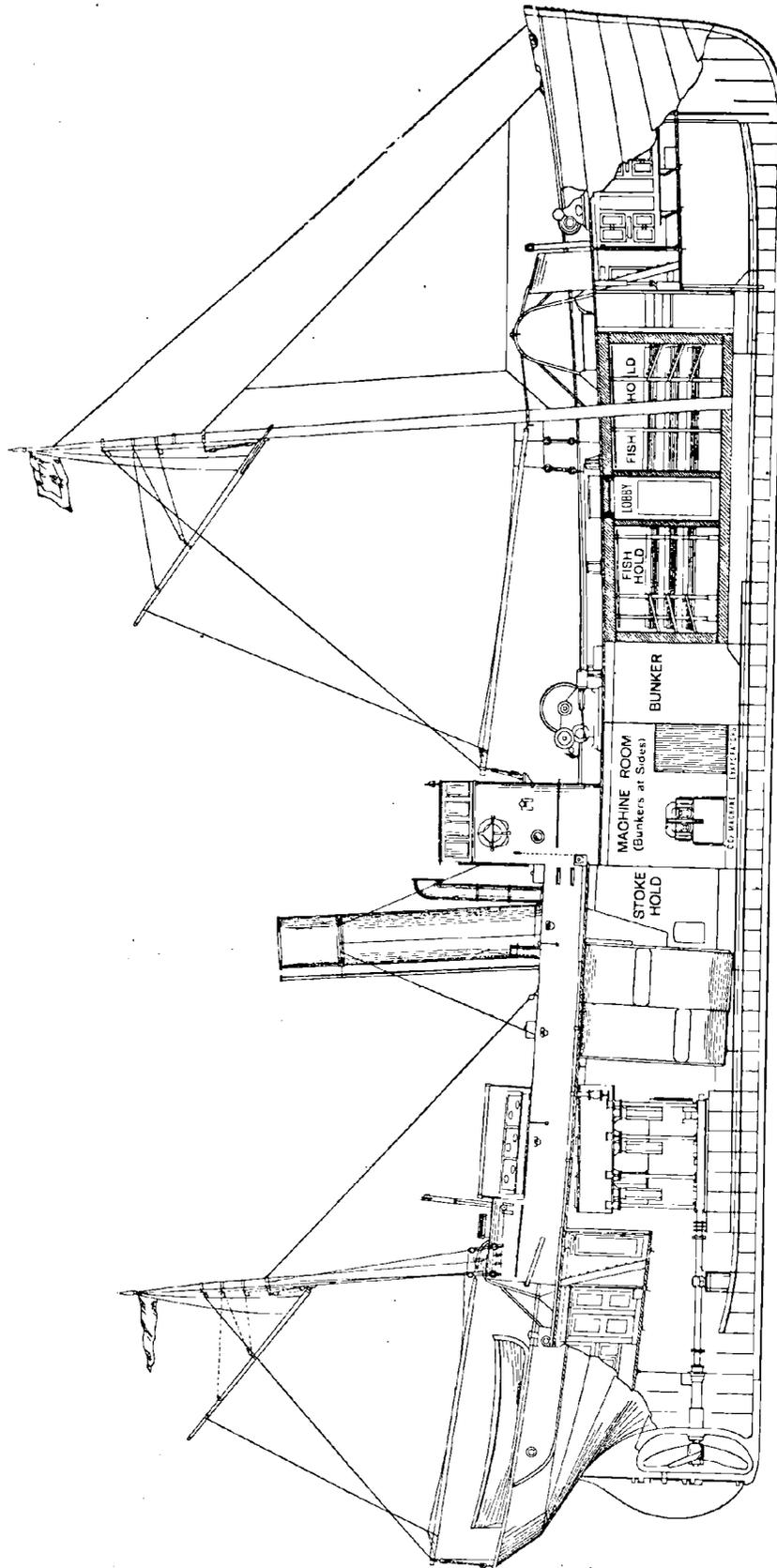
Les dessins de la figure 373 représentent une telle machine. Le dessin (*fig. 1, fig. 373*) donne une vue en plan de la machine ; le dessin (*fig. 2, fig. 373*) montre les plateaux de fonte séparant les scies ; le dessin (*fig. 3, fig. 373*) fait voir les détails des engrenages du chariot à glace ; le dessin (*fig. 4, fig. 373*) donne une vue de côté de la machine.

D'après ces dessins, la machine se compose d'un chariot rectangulaire *a* sur lequel se placent les blocs ou pains de glace ; ce chariot les amène constamment sous l'action du cylindre hélicoïdal *b*. La glace est maintenue au moyen de la chaîne à dents *Z* placée sous le plan incliné et dont les pointes pénètrent dans la glace et la maintiennent. Cette chaîne est animée d'un mouvement régulier par un système d'engrenages actionné lui-même soit à bras, soit par moteur.

Le mouvement de la machine en général s'obtient par une transmission placée sur la partie *b'* calée sur l'arbre du cylindre *b*.

Le cylindre hélicoïdal se compose d'une série d'anneaux en fonte à section rhomboï-

1. *L'Industrie frigorifique*, 3^e année, n° 22, mars 1905.



Stoke hold, Chambre de chauffe; — Machine room (Bunkers at Sticks); — Bunker, soute; — Fish hold, Cale à poisson refroidie; — Lobby, Couloir —

Cliché de (L'Industrie frigorifique)

Fig. 372. — Chaubrier à vapeur avec chambres froides pour le poisson.

Chambre des machines (soutes contiguës); — Bunker, soute; — Fish hold, Cale à poisson refroidie; — Lobby, Couloir —

CO₂ machine, Machine à CO₂; — Evaporators, Evaporateurs.

dale *i* entre chacun desquels est intercalé un ruban de scie *K* dont les détails sont représentés sur le dessin (*fig. 2, fig. 241*). Ces scies sont disposées suivant une obliquité de 40 millimètres, de sorte que, dans le mouvement de rotation du cylindre, elles grattent le bloc de glace verticalement et horizontalement à la fois. Il résulte de là qu'avec une vitesse de rotation de 600 tours à la minute on obtient des flocons de neige d'une ténuité extrême.

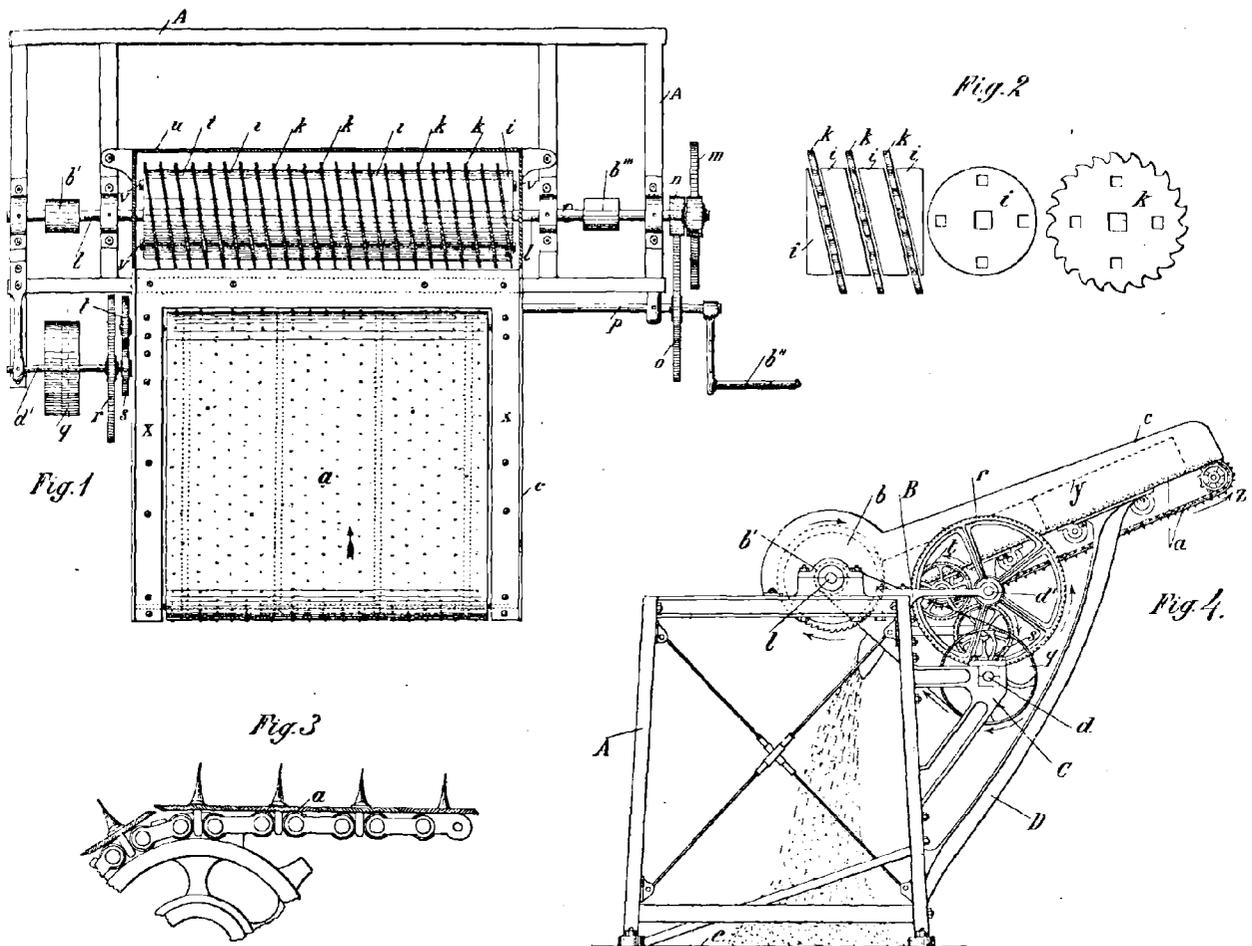


FIG. 373. — Machine Chiossone pour la production de la neige artificielle.

9. Congélation du poisson. — Son développement aux États-Unis. — Lorsque le poisson doit être conservé plus de vingt à trente jours après avoir été pêché, il est nécessaire de le congeler. Cette industrie, qui a pris à peine naissance en Angleterre, s'est très développée aux États-Unis. D'après *Madison Cooper*¹, on y congèle actuellement chaque année environ 3.200.000 kilogrammes de raies, truites, harengs... Sur la côte de l'Atlantique, on emploie la congélation pour conserver le poisson bleu² (bluefish), le maquereau, l'éperlan, l'esturgeon, le hareng... Sur la côte du Pacifique, de très grandes quantités de saumon et d'esturgeon sont congelées et conservées dans des chambres froides en attendant leur expédition pour toutes les régions de l'Amérique et du Nord de l'Europe ; Hambourg semble être le marché européen du saumon congelé.

1. MADISON COOPER, *Practical Cold Storage*, chap. XVIII ; d'après un mémoire de Charles H. Stevenson publié dans *Ice and Refrigeration*, février 1900.

2. *Poisson bleu*, poisson du genre coryphène qu'on prend dans le voisinage des îles de Bahama et sur la côte de Cuba.

C'est à *Enoch Piper* de Camden que semblent être dus les premiers essais effectués de 1861 à 1865. Cet industriel emploie, pour la congélation du poisson, des *mélanges réfrigérants de glace et de sel*. Le procédé Piper est perfectionné, en 1868, par *William Davis de Détroit* (Michigan). Aujourd'hui quelques installations fonctionnent encore avec des mélanges réfrigérants, mais elles tendent à être remplacées par des installations de réfrigération mécanique. Nous allons insister sur les procédés employés dans ces dernières.

10. Congélation du poisson. — Description d'une installation à réfrigération mécanique. — Une installation de congélation du poisson par réfrigération mécanique se

compose essentiellement :

- 1° D'une machine frigorifique à compression ou à absorption¹;
- 2° D'un congélateur ;
- 3° D'une chambre d'enrobage ;
- 4° D'une chambre de conservation.

Le poisson lavé et placé dans des bassins convenables, dont nous verrons plus loin la description, est introduit frais à l'une des extrémités du congélateur et sort congelé à l'autre extrémité.

Le poisson congelé est alors entouré d'une carapace de glace (enrobage), obtenue en le

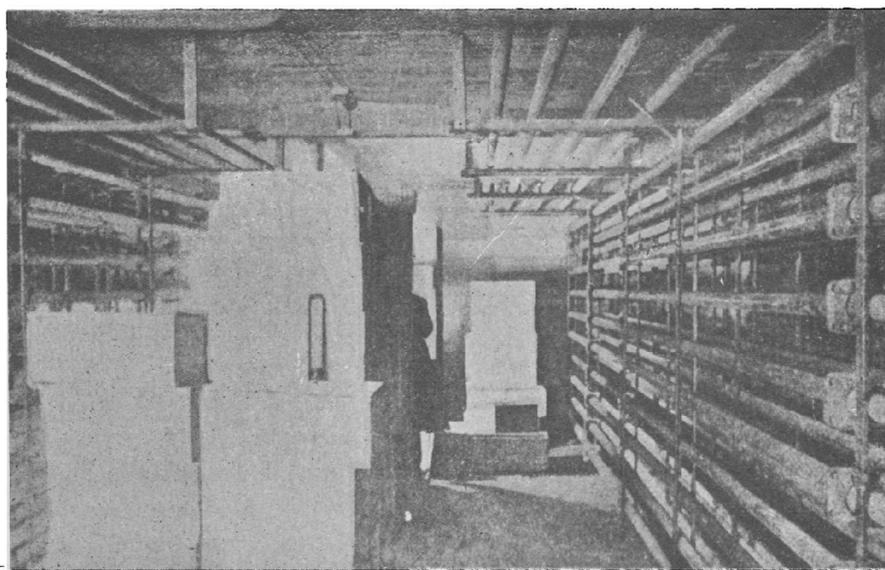


FIG. 374. — Chambre de congélation pour le poisson (*Cold Storage and Ice Trade Journal*, février 1906).

plongeant dans de l'eau froide. Cette opération se fait dans une chambre spéciale, dite *chambre d'enrobage* (*glazing room*), dont la température ne doit pas dépasser — 2° C.

Le poisson enrobé passe alors au magasin de conservation où il est empilé prêt pour l'expédition.

Le *congélateur* (*sharp freezer*) est une longue chambre dont la largeur est plus petite que la longueur. Comme le montrent les figures 374 et 375, cette chambre est garnie de rangées de tuyaux formant serpentins ; la distance verticale de deux tuyaux est d'axe en axe au moins de 175 millimètres ; la distance horizontale de deux rangées de tuyaux est d'axe en

1. KARL WEGEMANN, *Preservation of Fish by Freezing* [*Cold Storage and Ice Trade Journal*, janvier et février 1906].

axe au plus de 125 millimètres. Sur ces tuyaux on dispose les bassins métalliques peu profonds dans lesquels sont installées les pièces de poisson. La largeur totale des rangées de tuyaux, sur lesquels reposent les bassins à poisson, est égale à la longueur d'un bassin à poisson pour les rangées sur lesquelles on ne place en longueur qu'un seul bassin ; elle est égale à la longueur de deux bassins à poisson placés bout à bout pour les rangées sur lesquelles on place deux bassins à la suite l'un de l'autre dans le sens de la longueur. Les

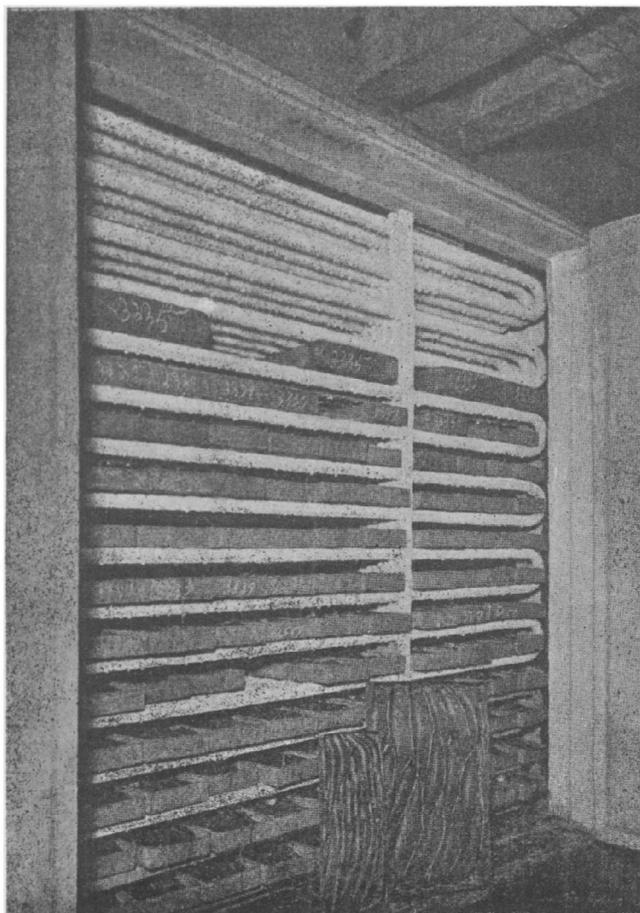


FIG. 375. — Serpentins situés à l'intérieur d'une chambre de congélation pour le poisson.

rangées de tuyaux qui ne reçoivent qu'un seul bassin à poisson sont disposées contre les murs ; celles qui reçoivent deux bassins placés bout à bout sont installées au centre de la chambre de congélation ; un passage est laissé de chaque côté de ces rangées pour pouvoir manipuler les bassins à poisson. Chacune des rangées de tuyaux comporte en hauteur 10 à 14 tuyaux et occupe toute la longueur de la chambre.

En employant des tuyaux de 31 millimètres de diamètre intérieur (1,25 inch) dans lesquels circule de la saumure à une température de -25°C. à -23°C. , on peut congeler en vingt-quatre heures environ 60 kilogrammes de poisson par mètre de tuyaux. La figure 376 est un schéma de l'installation de ces tuyaux.

Le congélateur doit pouvoir contenir une masse de poisson égale au $1/20$ ou au $1/30$ de la masse de poisson qui peut être introduite dans les chambres de conservation.

Prenons, par exemple, un entrepôt dont les chambres de conservation peuvent contenir

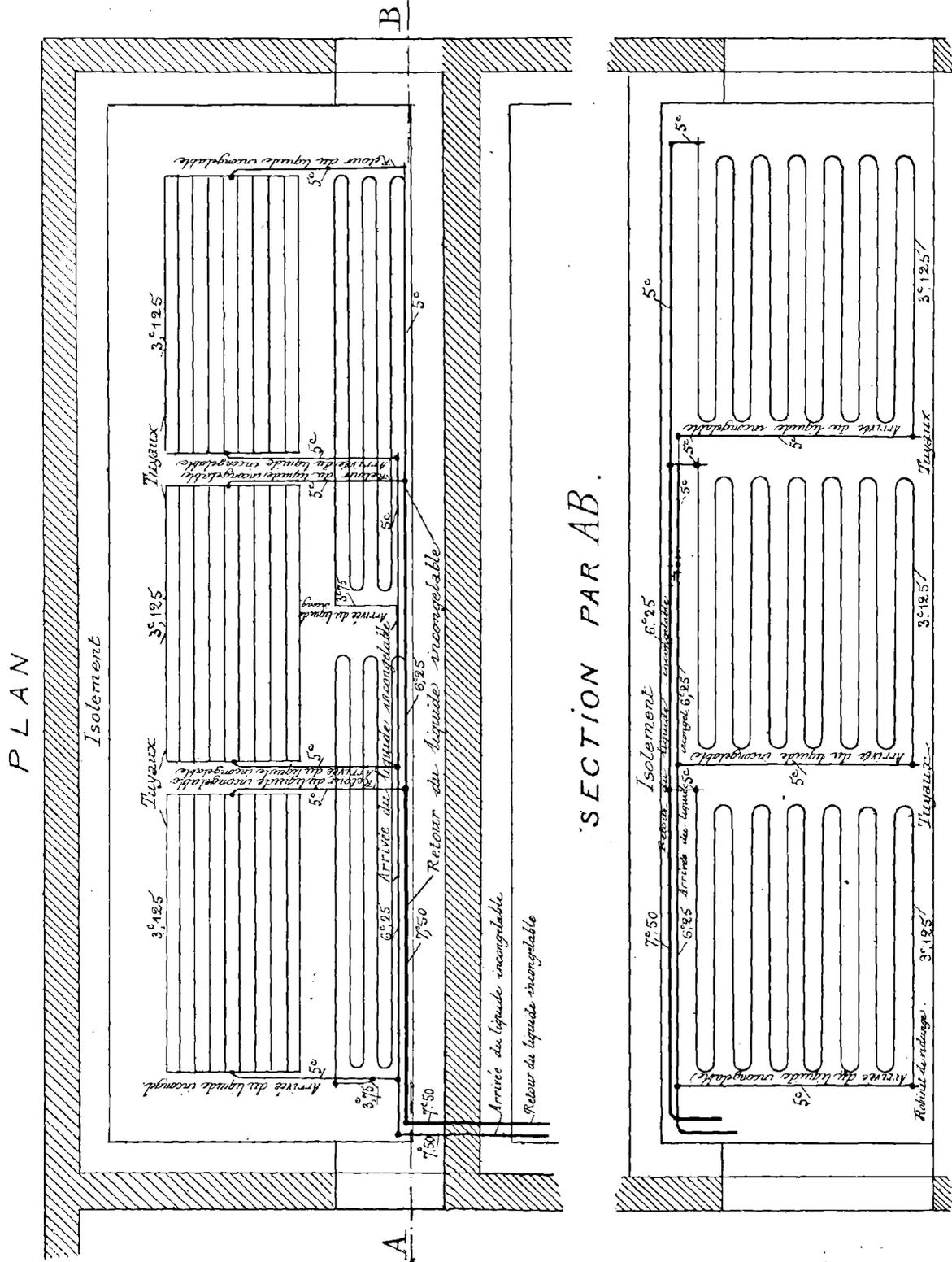


FIG. 376. — Chambre froide pour le poisson. Schéma de l'installation des serpentins dans lesquels circule de la saumure froide.

408 à 410 tonnes de poisson congelé. Si on admet que, dans le congélateur, on peut introduire le 1/20 de la masse contenue dans les chambres de conservation, on voit que ce congélateur doit pouvoir congeler *par jour* 20,5 tonnes de poisson. Il faut produire pour cela une puissance frigorifique de 75.000 frigories-heure ou 3.660 frigories-heure par tonne de poisson.

La *chambre de conservation*, représentée sur la figure 377, a une capacité de 3 à 4 mètres cubes par tonne de poisson conservé. Cela fait environ 1.425 à 1.450 mètres cubes pour 410 tonnes de poisson.

La température des chambres de conservation doit être comprise entre -7°C . et -12°C . La valeur -10°C . est la plus convenable; dans tous les cas, la température ne doit pas s'élever au-dessus de -7°C . Dans ces conditions, il faut compter 20 à 25 frigo-

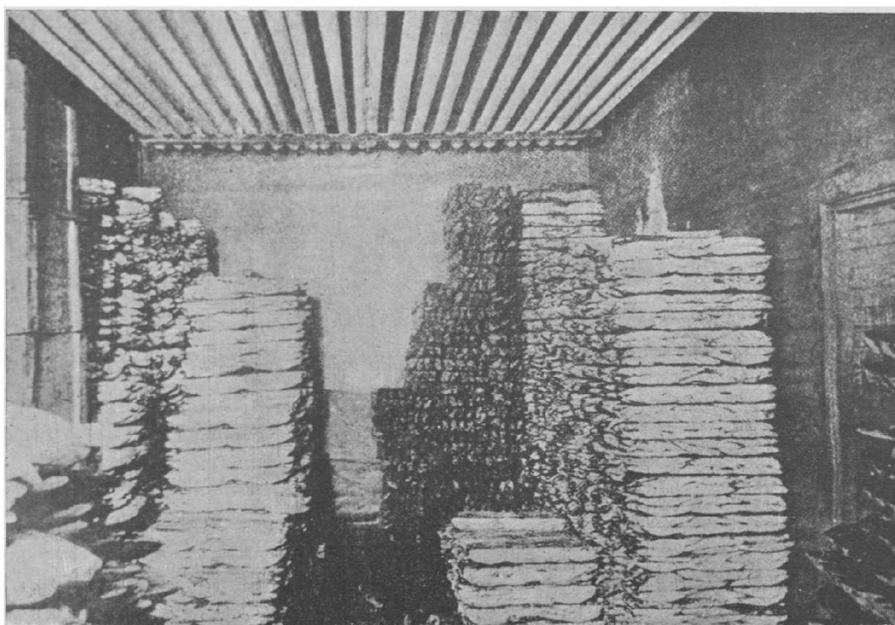


FIG. 377. — Chambre de conservation du poisson congelé (*Cold Storage and Ice Trade Journal*, février 1906).

ries-heure par mètre cube, soit environ 30.000 frigories-heure pour des chambres de conservation capables de contenir 410 tonnes de poisson. On voit donc que, dans un entrepôt où l'on congèle par jour 20 tonnes de poisson et dont les chambres de conservation peuvent contenir 410 tonnes de poisson congelé, il faut produire une puissance frigorifique de 105.000 à 110.000 frigories-heure.

Les tuyaux de réfrigération sont placés soit au plafond, soit contre les murs. Ils présentent une surface extérieure de $0^{\text{m}^2},35$ par mètre cube du volume des chambres ou une surface extérieure de 1 mètre carré pour 3 mètres cubes environ.

On peut employer, comme isolants, les copeaux de bois, le liège granulé, les lièges imprégnés, ou même du varech bien sec sous une épaisseur de 15 centimètres, comme on l'a fait dans certaines usines de pêcheries de la Nouvelle-Écosse.

11. Congélation du poisson. — Manière de le préparer. — a) A son arrivée à l'usine de conservation, le poisson doit être lavé avec le plus grand soin. Il est transporté avec précaution des paniers dans lesquels il est contenu dans la citerne de lavage. Celle-ci doit être alimentée par un bon courant d'eau claire et fraîche. Le lavage du poisson doit

s'effectuer en le faisant passer successivement dans plusieurs compartiments; ce transport s'effectue en sens inverse du courant d'eau, le poisson étant lavé dans une eau de plus en plus claire. Le poisson arrive ainsi complètement nettoyé à l'extrémité opposée de la citerne.

b) Le poisson est trié et placé dans les *bassins* où il sera congelé.

Ces bassins à poisson sont en fer galvanisé, rivé ou soudé. Ils ont une longueur de 58 à 70 centimètres, une largeur de 40 à 45 centimètres et une faible profondeur qui varie de 5 à 8 centimètres. La figure 378 représente l'un de ces bassins contenant divers poissons.

Quelques-uns de ces bassins portent des trous aux extrémités pour permettre l'écoulement de l'eau; mais ordinairement on se sert de bassins qui permettent à l'eau de rester avec le poisson. Cela ne fait qu'une augmentation de poids atteignant à peine 5 0/0 du poids du

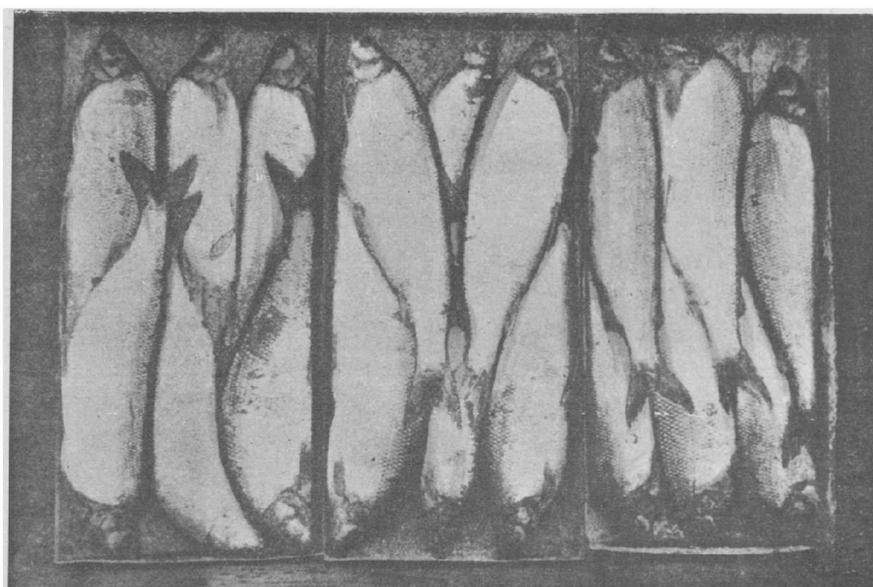


FIG. 378. — Arrimage du poisson dans les bassins de congélation.

poisson; cette eau congelée sert d'ailleurs à maintenir en un bloc le poisson placé dans les bassins.

c) Suivant la nature des poissons, les uns sont introduits au congélateur *fendus et vidés*; ce sont le bluefish (poisson bleu), le weakfish, le bonita (bonite), la morue (codfish), la lingue (ling, sorte de morue), le flétan (halibut, sorte de plie). D'autres sont congelés *sans être vidés*; ce sont le loup de mer (bass ou sea bass), la limande (flat fish), le butterfish, le maquereau espagnol (spanish mackerel), le poisson à tête de mouton (sheepshead), le maquereau de Boston (Boston mackerel), le merlan (whiting), le saumon, l'esturgeon.

d) Le mode d'arrimage du poisson dans les bassins à poisson a une très grande importance au point de vue de la conservation du poisson et de son aspect après la congélation.

Tous les poissons, qui sont fendus et vidés avant la congélation, sont arrimés dans les bassins le ventre en bas, afin que l'eau puisse rapidement s'écouler de la cavité stomacale; tel est le cas du bluefish et du weakfish. Toutefois ce dernier poisson, connu dans la Pennsylvanie, le Maryland et la Colombie sous le nom de truite de mer (sea trout ou squeteague) est souvent congelé sans être vidé et placé alors dans les bassins de congélation le ventre en l'air. Le loup de mer est toujours congelé sans être vidé et arrimé dans les bassins le

ventre en l'air. La limande est disposée à plat dans les bassins et congelée sans être vidée. Le butterfish est arrimé dans les bassins de congélation le dos ou le ventre en bas. Les maquereaux de Boston sont généralement enveloppés séparément dans du papier parchemin et congelés sans être vidés.

Dans le bassin de congélation, le poisson doit être arrimé de manière à constituer un paquet bien compact remplissant aussi complètement que possible le bassin, comme le montre la figure 378.

e) La réfrigération de la chambre froide doit être telle qu'au bout d'un séjour de vingt-quatre heures dans le congélateur le poisson contenu dans les bassins soit congelé à cœur et forme un bloc solide.

f) Au sortir du congélateur chacun des bassins est porté avec le poisson qu'il contient dans la chambre d'enrobage (*glazing room*). Chaque bassin est plongé avec son contenu dans l'eau froide ; celle-ci, bien qu'au voisinage de 0°C., est encore assez chaude pour détacher le bloc du poisson des parois du bassin. Un coup sec, donné sur le fond de celui-ci, détache le bloc de poisson.

Ce bloc de poisson est alors plongé dans l'eau à 0°C. Par suite de sa basse température une carapace de glace se forme autour du bloc de poisson qui est ainsi enrobé.

g) Aussitôt après l'enrobage le poisson est introduit dans la chambre de conservation ; il peut être empilé comme le montre la figure 377, ou mieux mis en boîtes.

Il y a avantage à mettre le poisson dans des boîtes refroidies aussitôt après son enrobage. L'évaporation de la carapace de glace commence en effet aussitôt après l'introduction du poisson dans les chambres de conservation.

Les boîtes remplies de poisson doivent être placées sur des liteaux de 7^{cm},5 à 10 centimètres d'épaisseur, afin de ne pas être en contact avec le plancher et afin que l'air froid puisse circuler sous leur fond. Pour les mêmes raisons, des liteaux de 2^{cm},5 à 5 centimètres d'épaisseur doivent être placés entre les boîtes quand elles sont empilées.

Il est bon de se contenter, dans les chambres de conservation, d'une circulation naturelle de l'air et de ne pas employer la circulation artificielle ; cette dernière, en effet, produit une évaporation trop rapide de la carapace de glace.

Dans tout entrepôt, des boîtes témoins doivent être toujours examinées tous les mois afin de se rendre compte de la manière dont se fait la conservation. S'il y a des traces d'assèchement du côté de la tête, il faut procéder à un nouvel enrobage. Généralement un tel assèchement du côté de la tête s'observe après quatre ou cinq mois d'entreposage.

Dans quelques-uns des grands frigorifiques de l'intérieur des États-Unis, on se fait une règle de procéder à un nouvel enrobage avant l'expédition.

12. Congélation du poisson. Perte de qualité pendant l'entreposage. — Pendant l'entreposage tous les poissons congelés perdent de leur qualité au point de vue du goût et au point de vue de l'aspect. Cette dépréciation dépend de leur état avant la congélation, du soin avec lequel cette congélation a été faite, de la durée de l'entreposage.

La perte de la qualité pendant l'entreposage est due principalement, d'après *Karl Wegemann*, à l'évaporation des huiles du poisson. De là résulte la nécessité, pour bien conserver le poisson, de soigner son enrobage et de le maintenir en bon état. Plus est épaisse la carapace de glace entourant le poisson, moins est grande l'évaporation de l'humidité naturelle et des huiles contenues dans le poisson. Mieux cette évaporation peut être évitée, moins est grand le retrait de la chair du poisson, mieux sont conservés le goût et la structure des tissus.

C'est pour éviter une telle évaporation si préjudiciable à la qualité du poisson qu'on enveloppe de papier parcheminé les maquereaux de Boston. Il est également convenable, pour diminuer cette dépréciation du poisson congelé pendant l'entreposage, de doubler l'intérieur des boîtes avec du papier paraffiné entourant complètement les blocs de poisson placés dans la boîte¹.

13. Congélation du poisson. Limites de la durée de la conservation. Prix de la conservation aux États-Unis. — Il n'est pas bon de prolonger au-delà de neuf à dix mois la conservation du poisson congelé. Toutefois, certaines exigences commerciales conduisent à des conservations de deux à trois ans. Malgré les soins pris et la précaution d'un nouvel enrobage tous les trois ou quatre mois, le poisson conservé aussi longtemps n'est pas agréable à la consommation.

Aux États-Unis le prix de la congélation est d'environ 5 centimes par kilogramme, et le prix de la conservation est en moyenne égal à 2,5 centimes par kilogramme et par mois.

1. KARL WEGEMANN, *loc. cit.* (*Cold Storage and Ice Trade Journal*, février 1906, p. 33).

CHAPITRE XI

CONSERVATION PAR LE FROID DES FRUITS ET DES LÉGUMES¹

1. La conservation des fruits par le froid a d'abord été essayée en France.

— **Installation de M. E. Salomon de Thomery.** — La conservation des fruits par le froid a été essayée en France d'abord par *Ch. Tellier*, puis par un horticulteur de grand mérite, *M. E. Salomon de Thomery*². Dès 1880, celui-ci installa dans son exploitation un fruitier modèle transformé en chambre frigorifique pour la conservation des cerises, pêches, prunes, fraises, etc... La plupart de ces fruits furent conservés intacts pendant six mois ; leur saveur première ne disparut qu'au bout de six à huit semaines. Le but de l'inventeur était de montrer : 1° que l'on peut conserver non seulement des viandes et du gibier, mais les fruits les plus divers ; 2° de créer une Société pour l'exploitation de son procédé en l'appliquant à des réserves réfrigérées dans les sous-sols des Halles Centrales de Paris. Malheureusement le krak de l'Union générale, en ruinant les capitalistes faisant partie du groupe constitué pour cette exploitation, empêcha la réalisation de cette idée.

2. La conservation des fruits au Cap. — Le commerce avec l'Angleterre.

— La conservation frigorifique des fruits et légumes abandonnée en France ne tarda pas à être reprise d'abord par les Américains, puis par les colonies anglaises du Cap, de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande.

Le commerce des fruits du Cap avec l'Angleterre date à peine de quelques années. Mais, sous la puissante impulsion de Cecil Rhodes, ce commerce s'est rapidement développé. Voici en effet le nombre de caisses de fruits exportées du Cap en Angleterre de 1899 à 1903 :

1899	10.817 caisses	}	1902	14.998 caisses
1900	17.336 —		1903	21.968 —
1901	17.263 —			

1. Pour la rédaction de ce chapitre, nous avons consulté les ouvrages et les mémoires suivants : *Ch. Lambert*, *L'Industrie frigorifique appliquée à la conservation et au transport des fruits des pays chauds* (*L'Industrie frigorifique*, 3^e année, n° 26, juillet 1905 ; *la Glace et les Industries du froid*, 2^e année, n° 8, août 1905) ; — *A. Perret*, *les Machines à glace*, chap. v, p. 381 ; — *Otto Kasdorf*, *Eis und Kälte im Molkereibetrieb*, p. 188 ; — *Delion et Lepeu*, *Conservation par le froid des fruits et légumes*. Rapport présenté au Congrès horticole de 1904 (*L'Industrie frigorifique*, 2^e année, n° 14, juillet 1904) ; — *A. Prilleray*, *L'Entreposage frigorifique des pommes* (*L'Industrie frigorifique*, 2^e année, n° 13, juin 1904) ; — *H. Mstr*, *Schutz von Lebensmitteln vor schädlichen Temperaturen* (*Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie*, 9^e année, juillet 1902) ; — *Die Aufbewahrung von Früchten, Gemüse, Zwiebeln und Blumen in Kallagerhäusern* (*Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie*, 10^e année, avril 1903, p. 74) ; — *H. Mstr*, *Versuchergebnisse auf dem Gebiete der Kallagerung von Obst* (*Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie*, 10^e année, mai, août, septembre 1903) ; — *A. Prilleray*, *L'Entreposage frigorifique des poires et pêches* (*L'Industrie frigorifique*, 1^{re} année, n° 5, octobre 1903) ; — *R. Stetefeld*, *Die Kälte-Industrie im Dienste des Obst und Gartenbaus*. Vortrag, gehalten am 23 februar 1905 im Verein zur Beförderung des Gartenbaus, Berlin (*Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie*, 12^e année, mars 1905) ; — *Madison Cooper*, *Practical Cold Storage*.

2. *Ch. Joly*, *Journal de la Société nationale d'horticulture de France*, octobre 1882 ; — *René Salomon*, *la Meilleure installation d'un fruitier pour la bonne conservation des fruits* (*Journal de la Société nationale d'horticulture de France*, 4^e série, t. IV, avril 1903).

Les principaux envois consistent en raisins, prunes et pêches ; mais il y a aussi des poires, des abricots, des brugnons, des coings, des ananas.

Les caisses ont à l'intérieur $45 \times 25 \times 5$ centimètres quand elles doivent contenir des pêches et des prunes ; il y a par caisse environ 20 à 24 pêches ou 26 à 30 prunes.

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. Cet emballage permet cependant l'entrée de l'air du frigorifique.

Les boîtes à raisins ont $60 \times 45 \times 15$ centimètres ; elles contiennent de 15 à 20 livres (de 453^{gr},6) de raisin.

Les commerçants de Capetown ont des frigorifiques où sont emmagasinés les fruits envoyés par les cultivateurs.

Aujourd'hui le Cap ne dirige plus seulement ses envois sur l'Angleterre ; Paris, Berlin, Nice et La Riviera, New-York en ont aussi leur part.

3. La conservation des fruits aux États-Unis. — Aux États-Unis, le nombre des frigorifiques spécialement réservés à la conservation des fruits augmente de jour en jour. Grâce à l'emploi du froid, la culture des *pommes* a atteint une telle extension que leur récolte et l'emploi de cette récolte sont, au plus haut point, une question d'intérêt national. Le tableau LV montre à quel point s'est développé aux États-Unis le mode de conservation des pommes par le froid.

TABLEAU LV

DÉVELOPPEMENT DE L'ENTREPOSAGE FRIGORIFIQUE DES POMMES AUX ÉTATS-UNIS

ANNÉES	POMMES ENTREPOSÉES DANS LES MAGASINS DE CONSERVATION	
	ORDINAIRES	REFROIDIS
	hectolitres	hectolitres
1898	480.000	960.000
1899	770.000	1.820.000
1900	950.000	1.970.000
1901	1.460.000	2.130.000
1902	1.480.000	3.570.000

Dans ces dix dernières années la production des fraises a doublé. C'est surtout dans les États de l'Est que leur emmagasinage frigorifique s'opère sur une grande échelle. New-York, Jersey-City, Boston, Buffalo, Philadelphie sont les principaux centres de ces dépôts. D'après G. Harold Powel et S. H. Fulton (*Cold Storage*, 1904, VII, 122), à New-York et à Jersey-City on réfrigère annuellement de 60.000 à 100.000 boisseaux (boisseau = 36 litres) de poires d'été, et de 30.000 à 60.000 boisseaux de variétés diverses. A Boston, depuis 1895, on a conservé par an de 5.000 à 15.000 boisseaux de poires d'été (en particulier des poires de la variété Bartlett) et de 7.000 à 20.000 boisseaux de poires d'automne (Anjou, Duchesse, Seckel, Sheldon). A Buffalo, 10.000 boisseaux de poires sont conservés par saison ; à Philadelphie, de 30.000 à 35.000 boisseaux. Malgré les fluctuations de chaque année, on peut évaluer à 300.000 boisseaux la quantité de poires réfrigérées annuellement aux États-Unis.

La production des *pêches*, autrefois localisée dans la péninsule de Chesapeake, à New-

Jersey et au Michigan, s'est étendue depuis à diverses régions (Floride, Texas, Georgie, Nouvelle-Angleterre, Californie, Virginie et Maryland occidental.) L'approvisionnement des marchés, qui était limité à la période juillet, août, septembre, est effectué maintenant d'une façon permanente de mai à octobre inclusivement.

4. Les transports frigorifiques et le commerce des fruits de la Californie.

— Grâce à l'application du froid aux transports, on rencontre actuellement sur les marchés de New-York, Chicago, Boston, Philadelphie, Pittsburg, tous les fruits frais de la Californie en parfait état de conservation; les grandes distances des lieux de production aux lieux de consommation, distances qui dépassent parfois 4.000 kilomètres, et la durée des transports, qui dépasse dix à quinze jours, ont cessé, grâce au froid, d'être un obstacle à cette expansion du commerce des fruits.

Le tableau LVI, emprunté à un travail très documenté de M. C. Aubert¹, indique pour diverses années les exportations par chemin de fer des fruits de la Californie.

TABLEAU LVI

EXPORTATIONS PAR CHEMIN DE FER DES FRUITS DE LA CALIFORNIE

		EN TONNES DE 2.000 LIVRES OU DE 907 KILOGRAMMES					
		1891	1895	1900	1901	1902	1903
Fruits frais	Prunes, pêches, cerises, abricots	50.549 »	66.255 »	91.176,5	93.674 »	100.391 »	101.199 »
	Oranges, mandarines, citrons	46.921,5	11.825,5	226.546,6	323.871,5	225.669 »	299.623,4
	Fruits secs	32.919 »	61.386,4	90.053 »	106.987 »	151.944,5	149.531 »
	Raisins secs	22.779 »	46.390 »	36.047 »	43.314 »	47.595 »	39.963,4
	Fruits conservés	32.395 »	41.395,5	75.557 »	83.229 »	80.635 »	94.205 »

Le tableau LVII donne le montant des expéditions de fruits faites par mer en 1903 par le port de San Francisco.

TABLEAU LVII

EXPÉDITIONS PAR MER DES FRUITS DE LA CALIFORNIE (CHIFFRES VRAIS POUR 1903)

	tonnes de 2.000 livres
Fruits frais.	3.463
Fruits secs.	1.952
Prunes	8.738
Raisins.	826
Fruits conservés.	27.839 .

On peut évaluer actuellement à 60 0/0 de la récolte totale des fruits en Californie la quantité de fruits frais exportés. En 1904, la Californie a exporté vers les États de l'Est environ 400.000 tonnes (de 2.000 livres) de fruits frais, alors qu'elle en a produit approximativement 600.000 tonnes (de 2.000 livres).

Les centres d'expédition de fruits frais sont, pour 1903, San Francisco, Oakland, San José,

1. C. AUBERT, *Le commerce des oranges en Californie (Génie Civil, t. XLVIII, n° 12 et 13, 20 et 27 janvier 1906).*

Stockton, Marysville dans la Californie du Nord et Los Angeles dans la Californie du Sud.

Les principaux points de destination sont :

New-York, Boston, Chicago, Philadelphie, Pittsburg, Minneapolis, la Nouvelle-Orléans, Saint-Paul et Saint-Louis. De ces marchés principaux les fruits sont répartis dans les régions avoisinantes. Les fruits d'été et d'automne sont expédiés de mai à novembre; pour les fruits citrins (oranges, citrons), les plus forts envois se font de décembre à mars.

En 1903, 80.000 tonnes de légumes ont été expédiées par chemin de fer de la Californie vers les États de l'Est; en dix ans, cette exportation de légumes primeurs a passé de 40.000 à 80.000 tonnes par an.

Voici maintenant des renseignements, vrais pour 1904, sur ce commerce des fruits de la Californie.

Cet État a expédié, par rail ou par mer, 70.000 wagons de fruits frais, de fruits secs et de fruits conservés : les wagons de fruits frais sont chargés généralement à 13 tonnes (de 907 kilogrammes).

Les chemins de fer ont transporté à l'intérieur 30.000 wagons de fruits citrins dont 26.000 d'oranges et 4.000 de citrons; le chargement d'un wagon de ces fruits représente 750 dollars (3.750 francs).

Il n'a été expédié en Europe que 4.000 tonnes d'oranges; 2.000 tonnes ont été envoyées en Australie, en Chine, au Japon, aux Philippines.

La Californie a expédié vers les États de l'Est 18.000 wagons de pêches, poires, prunes, cerises, abricots; la valeur moyenne d'un wagon de ces fruits est de 100 dollars (500 francs). Il a été exporté en Europe environ 4.000 tonnes de ces mêmes fruits.

Les envois de fruits secs vers l'Est se sont élevés à 10.000 wagons, dont la valeur, par wagon, était de 1.200 à 1.500 dollars (6.000 à 7.500 francs). Les expéditions à l'étranger se sont élevées à 4.000 tonnes environ.

Durant cette même année 1904, la Californie a fourni à l'Est 4.000 wagons de noix valant 1.600 à 1.800 dollars par wagon (8.000 à 9.000 francs).

Les légumes frais ont donné un contingent de 12.000 wagons; ces légumes comprenaient principalement des céleris, salades, choux-fleurs, etc., avec une valeur de 500 à 700 dollars par wagon (2.500 à 3.500 francs).

La durée habituelle des transports de fruits frais, de la Californie à l'Est, est de huit à dix jours pour Chicago (4.000 kilomètres), de douze à quinze jours pour New-York et Boston.

Le prix est uniforme, quelle que soit la destination; au delà de Kansas-City, il est égal à

1 dollar	(5 francs)	les 100 livres (45 ^{kg} ,4)	pour les citrons;
1 ^d ,25	(6 ^f ,25)	—	— oranges;
1 dollar	(5 francs)	—	— prunes;
1 ^d ,25 à 1 ^d ,30	(6 ^f ,25 à 6 ^f ,50)	—	— autres fruits.

Ces prix donnent des bases de 12 centimes et demi à 15 centimes par kilogramme pour les destinations au delà de Chicago.

Les frais de réfrigération se paient à part et sont comptés :

De la Californie à Kansas-City . . .	50 dollars (250 francs)	par wagon
— Chicago	60 — (300 —)	—
— New-York	75 — (375 —)	—

5. Récentes expériences de conservation faites en France par M. Loiseau.

— Ces admirables résultats ont incité nos horticulteurs à essayer de nouveau la conservation par le froid.

M. Loiseau¹, arboriculteur à Montreuil-sous-Bois, a institué toute une série d'expériences qui ont déjà donné des résultats importants.

Des pêches de Montreuil soumises à ces essais se sont conservées absolument intactes pendant un mois avec leur suc et leur parfum. Quelques jours après ce laps de temps, quelques pêches ont commencé à se détériorer; après quarante jours de conservation les fruits ont subi une détérioration de 10 0/0, puis vers le cinquantième jour un déchet de 20 0/0 qui est allé toujours en augmentant. Il a été de 50 0/0 deux mois après, pour atteindre 75 0/0 après un séjour de soixante-quinze à quatre-vingt-dix jours dans le frigorifique; c'était la limite de la conservation des pêches. Comme complément à ces expériences, M. Loiseau a voulu être fixé sur l'expédition à grande distance de fruits aussi fragiles que les pêches. A la fin d'août 1902, il adressa des pêches de Montreuil à New-York, par un des paquebots de la Compagnie Transatlantique, dont le capitaine voulut bien les admettre dans la chambre froide du navire réservée au service du bord. Ces pêches, cueillies le vendredi, à maturité, comme pour la vente aux Halles, après avoir été soigneusement emballées dans de petites caissettes de 12 fruits, furent expédiées directement au Havre et embarquées le lendemain. Malgré la chaleur de la saison, le roulis et le tangage d'une mer un peu agitée, ces pêches arrivèrent absolument intactes et furent trouvées délicieuses le samedi suivant.

Les expériences de M. Loiseau n'ont pas seulement porté sur les pêches, mais encore sur les pommes (*Calville, Doyenné du Comice, Passe Crassanne, Doyenné d'Hiver*), sur des Prunes *Reine-Claude*, sur des *Mirabelles*. Des prunes *Reine-Claude* et des *Mirabelles* placées le 21 août 1902 au frigorifique étaient encore d'un bel aspect et bien sucrées dans le commencement de décembre. Après trois mois de réfrigération, des noix avaient conservé leur brou aussi frais que si on venait de les cueillir.

Les avantages économiques d'une pareille méthode sont très nets. Des pêches qui, au moment de leur récolte, valaient 15 centimes pièce, ont été vendues 1 fr. 25, après avoir été conservées deux mois au frigorifique; les prunes, les pommes, les poires augmentèrent d'environ 20 0/0, après avoir été conservées, trois mois au frigorifique.

6. Expériences de MM. Delion et Lepou. — Les essais que nous venons de relater ne sont pas les seuls qui aient été effectués en France. De 1899 à 1904, MM. *Delion et Lepou*, constructeurs à Paris, ont fait, sur la conservation des fruits, une série d'expériences remarquables que nous allons maintenant exposer en y joignant les résultats d'essais faits aux États-Unis et à Dartford dans le comté de Kent en Angleterre, au moyen d'une installation fournie par la maison Hall.

7. Conditions pour opérer en toute sécurité la conservation des fruits et légumes. — Pour opérer en toute sécurité la conservation des fruits et des légumes, il est indispensable d'observer les conditions suivantes :

- 1° Qualité du produit à choisir, son état de maturité au moment de la mise en chambre froide;
- 2° Température de conservation propre à chaque produit;
- 3° Degré hygrométrique de l'air dans la chambre froide;
- 4° Aération périodique;
- 5° Emballage et disposition des caisses dans les chambres;
- 6° Précautions à prendre à l'entrée et à la sortie.

1. LÉON LOISEAU, *Du rôle des appareils frigorifiques dans la conservation des fruits. Installation pratique et résultats économiques* (*Journal de la Société nationale d'horticulture de France*, 4^e série, t. IV, avril 1903, p. 198).

Il convient d'ailleurs de faire, avec M. Charles Lambert, une remarque importante. Le mode de conservation des fruits et légumes par le froid ne sera vraiment rémunérateur que si le produit est présenté au consommateur non seulement avec toutes ses qualités habituelles alimentaires, hygiéniques et comestibles, mais encore avec un excellent aspect extérieur au point de vue des ornements naturels qui l'accompagnent ordinairement, tels que feuillage, tige adhérente au fruit, etc. En un mot, il convient de présenter le fruit avec *l'apparence extérieure du produit frais*.

On sait en effet quelle est la différence de prix existant entre les fruits frais par exemple et les fruits desséchés artificiellement. Ces derniers ont cependant la même composition chimique, la même valeur alimentaire, que les fruits frais ; au point de vue scientifique, ils représentent absolument la même denrée, mais leur valeur intrinsèque commerciale est beaucoup diminuée par le seul fait du changement d'aspect.

8. Qualité du produit. — Le fruit ou le légume à introduire dans la chambre froide doit être parfaitement sain. Il ne doit pas présenter de meurtrissures. Il faut le cueillir à la main et faire cette opération avec le plus grand soin sans exercer une trop grande pression sur la surface.

La cueillette doit être faite en général peu avant la maturité ; il y a peu d'exceptions à cette règle.

Dans la pratique courante, les pommes, aux États-Unis, sont cueillies un peu avant maturité, c'est-à-dire avant d'être complètement développées en dimension et en couleur. Cependant MM. Powell et Fulton, attachés à la section de Pomologie du Ministère de l'Agriculture des États-Unis, ont fait des expériences sur des pommes cueillies à deux époques différentes de maturité : 1° presque entièrement développées, mais colorées aux deux tiers ; — 2° complètement développées, très fortement colorées, mais ayant encore leur pulpe très ferme. Les deux sortes de fruits se conservent bien au frigorifique ; mais, contrairement à l'opinion reçue, la seconde sorte se conserve aussi longtemps que la première ; de plus, elle possède des qualités de sapidité supérieures.

Il doit s'écouler le moins de temps possible entre la cueillette ou le dépôt au verger et l'entrée dans la chambre frigorifique. Le moindre retard dans l'emmagasinage des fruits peut entraîner la maturité complète ou la détérioration du fruit durant l'entreposage. Ce retard est d'autant plus gros de conséquences que la température extérieure est plus élevée et que la variété déposée est caractérisée par une maturité plus rapide.

Par exemple, des poires d'été entreposées aussitôt après la cueillette à une température voisine de 0° C. se sont conservées pendant six semaines, tandis que des poires de la même sorte, entreposées au bout de quatre jours, donnèrent au bout de six semaines un déchet de 30 0/0.

Dans une autre expérience avec les poires, on employa trois sortes d'emballages [tonneaux, caisses fermées, paniers] ; de plus, on divisa les poires en deux lots : l'un fut porté dans une chambre à la température de + 2°,5, l'autre fut maintenu à 0° [entre — 0°,5 et + 0°,5]. Enfin dans chacune des chambres froides on introduisit deux lots de poires, l'un composé de poires entreposées aussitôt après la cueillette, l'autre formé de poires entreposées quatre jours après la cueillette. Les résultats obtenus furent les suivants :

Huit jours après l'introduction dans les chambres froides, les poires entreposées en retard montraient une rapide maturation dans les chambres à la température de + 2°,5 ; au contraire, dans les chambres maintenues au voisinage de 0° C., les poires emmagasinées immédiatement après la cueillette, aussi bien que celles qui avaient été emmagasinées en

retard, se présentaient en bon état, à l'exception de quelques fruits se trouvant au milieu des tonneaux. Cela tenait à ce que, dans les tonneaux fermés, le refroidissement ne pouvait pas se produire assez rapidement jusqu'au centre; de ce retard résultait une rapide maturation.

Après trois semaines, les fruits qui avaient été emmagasinés immédiatement après la cueillette, étaient en bon état, tout aussi bien dans les chambres à $+ 2^{\circ},5$ que dans les chambres à $\pm 0^{\circ}$; cependant les fruits maintenus à la plus élevée des deux températures étaient un peu plus mûrs. Les fruits qui avaient été emmagasinés quatre jours après la cueillette et qui avaient été maintenus à $+ 2^{\circ},5$ commençaient à devenir mous; les fruits traités de même et maintenus à $\pm 0^{\circ}\text{C.}$ étaient déjà mûrs dans le milieu des tonneaux; partout ailleurs ils étaient encore intacts.

Après cinq semaines, les résultats étaient :

Fruits immédiatement emmagasinés à $\pm 0^{\circ}\text{C.}$: aucun fruit de perdu;
Fruits immédiatement emmagasinés à $+ 2^{\circ},5\text{C.}$: 40 0/0 devenus mous;
Fruits emmagasinés quatre jours après la cueillette :

A $\pm 0^{\circ}\text{C.}$ (température comprise entre $- 0^{\circ},5\text{C.}$ et $+ 0^{\circ},5\text{C.}$) :

- a) Dans les caisses et les paniers, jusqu'à 30 0/0 de perdus;
- b) Dans les tonneaux, jusqu'à 90 0/0 de perdus.

A $\pm 2^{\circ},5\text{C.}$:

- a) Dans les caisses et les paniers, jusqu'à 90 0/0 de perdus;
- b) Dans les tonneaux, 100 0/0 de perdus.

9. Température de conservation. — Une température trop basse congèle le fruit; il est perdu. Une température trop élevée active sa maturité et le décompose en peu de temps.

Dans l'exemple précédent, un délai de quatre jours après la cueillette dans l'entreposage à $+ 2^{\circ},5$ enlève après cinq semaines leur valeur marchande à tous les fruits emmagasinés. Au contraire, avec l'entreposage à $\pm 0^{\circ}$, tout au moins dans les caisses et les paniers plus faciles à aérer que les tonneaux, 70 0/0 environ des poires étaient encore bonnes à vendre.

C'est donc entre ces deux termes extrêmes qu'il faut trouver la température qui convient à la conservation du fruit.

Il faut que sa maturité s'opère pendant le temps qu'il restera dans la chambre froide.

Le progrès de cette maturité est infinitésimal, mais il s'effectue chaque jour, jusqu'au moment où le fruit devra être sorti de la chambre *avec toutes les qualités* qu'il aurait eues sur l'arbre.

C'est cette condition qui doit guider dans la détermination de la température nécessaire à sa conservation. C'est elle aussi qui permet de fixer les durées de conservation.

D'ailleurs cette température de conservation *doit être aussi constante que possible*; cependant un écart de $1/4$ à $1/2$ degré n'a pas d'influence.

Dans tous les cas on ne doit jamais descendre au-dessous de 0°C.

Nous indiquerons, en étudiant les diverses espèces de fruits, les températures de conservation qui ont été préconisées.

10. Degré hygrométrique. — L'atmosphère des chambres froides d'un fruitier doit être plutôt sèche qu'humide. Il ne faut pas cependant que le local soit complètement sec, car

les fruits perdraient leur eau, se videraient, se sécheraient et ne mûriraient pas. Il ne faut pas non plus une trop grande humidité, car celle-ci est un milieu favorable au développement des germes des moisissures.

MM. *Delion et Lepage* indiquent pour le degré hygrométrique 50 à 60 0/0; M. *E. Salomon* donne les mêmes nombres. Ce degré hygrométrique doit être aussi constant que possible.

D'après *Stetefeld*, comme limite inférieure du degré hygrométrique, on peut prendre 65 0/0 pour les fruits, les pommes de terre, les légumes verts; pour les fruits secs, les oranges, les citrons, un degré hygrométrique de 60 0/0 est encore sans danger. Comme limite supérieure du degré hygrométrique on peut prendre une limite plus élevée de 10 0/0 que la limite inférieure c'est-à-dire 75 0/0 pour les denrées fraîches et 70 0/0 pour les légumes secs.

11. Aération. — Il n'est pas bon d'avoir une grande quantité d'anhydride carbonique (produit par les fruits qui mûrissent) dans la chambre froide. Il n'est pas bon non plus d'avoir un renouvellement d'air trop énergique. L'aération doit être disposée pour renouveler lentement l'air; il convient d'avoir des conduites d'aération réglables à volonté.

12. Emballage et disposition des caisses dans les chambres froides. — L'emballage doit être fait avec le plus grand soin.

Pour les fruits délicats, comme les pêches et les cerises, on les fait reposer sur un lit de ouate ou de liège granulé préparé dans la caisse. Chaque fruit a son empreinte prévue dans la ouate. On recouvre le tout d'un papier de soie paraffiné.

Pour les pommes et les poires, il est bon d'envelopper ces fruits dans du papier. Les fruits supportent alors une bien plus basse température; ils ne peuvent se transmettre les maladies susceptibles de produire la pourriture; ils sont à l'abri des lésions mécaniques. On a essayé différentes sortes de papiers: papier de soie, papier de journal non imprimé, papier parchemin, papier paraffiné. Tous ces papiers ont donné de bons résultats, sauf le papier parchemin qui ne peut empêcher la moisissure de se produire. En particulier pour les fruits fins, il convient d'avoir une double enveloppe; une enveloppe intérieure en papier de soie ou mieux en papier de journal non imprimé et une enveloppe extérieure en papier paraffiné.

Pour les variétés précoces le meilleur emballage se fait dans des caisses à claires d'une contenance de 20 kilogrammes environ ou dans des paniers ayant une contenance de 1/2 hectolitre.

Au contraire, on ne doit recommander l'emballage dans les tonneaux, ayant habituellement une contenance de 1^h2, que pour les pommes et principalement pour les variétés d'hiver mûrissant lentement. Mais ce mode d'emballage doit être rejeté pour les pommes, poires et autres fruits mûrissant rapidement.

En effet l'abaissement de température se propage beaucoup moins vite dans les tonneaux que dans les caisses ou paniers ventilés. Ainsi des mesures de température faites dans une chambre froide maintenue à $\pm 0^{\circ}\text{C}$. (température comprise entre $-0^{\circ},5\text{C}$. et $+0^{\circ},5\text{C}$.) ont donné les résultats suivants:

Vingt-quatre heures après l'emmagasinage:

Au centre des paniers ventilés (1/2 Hl)	+ 8°,5 C.
Au centre des tonneaux (1,2 Hl)	+ 13° C.

Quarante-huit heures après l'emmagasinage:

Au centre des paniers ventilés	$\pm 0^{\circ}\text{C}$.
Au centre des tonneaux	+ 3° C.

L'emballage dans des tonneaux est à rejeter entièrement lorsque les fruits ne peuvent rester longtemps dans les chambres froides; les parties centrales ne subissent pas en effet le refroidissement.

D'autre part, les petits emballages aérés, subissant dès le début un refroidissement rapide, peuvent plus tard donner lieu à de mauvais résultats si les denrées soumises au froid doivent être emmagasinées pendant un temps long; en effet, par suite du mouvement continu de l'air de la chambre froide, une trop grande quantité d'humidité est absorbée et les fruits se fanent.

Enfin il faut, autant que possible, emballer ensemble des fruits d'égale grosseur parvenus au même degré de maturité¹.

13. Précautions à prendre à l'entrée et à la sortie. — Il ne convient pas de faire passer brusquement les fruits, de la température ordinaire à la température de la chambre froide de conservation ou de cette dernière température à la température ordinaire.

Il faut d'abord placer les caisses de fruits dans une antichambre froide dont la température est intermédiaire entre la température ordinaire et la température de la chambre de conservation. On évite ainsi non seulement une variation de température brutale, mais encore un dépôt de vapeur d'eau sur la surface des fruits, dépôt qui favorise beaucoup le développement des moisissures.

Pour les pommes et les poires, il paraît avantageux de transporter les fruits enlevés du frigorifique dans une deuxième antichambre à la température de $+5^{\circ}$ à $+6^{\circ}$ C.; l'atmosphère de cette chambre doit être suffisamment sèche pour qu'il n'y ait pas condensation de vapeur d'eau sur les fruits froids. Le séjour dans cette chambre doit être de deux jours environ. Il convient donc de ne pas employer les appareils frigorifiques à conservation de fruits qui ne présentent pas une pareille antichambre froide.

Nous allons maintenant passer en revue les conditions particulières de conservation relatives aux diverses espèces de fruits.

14. Pommes. — La température moyenne de conservation des pommes varie entre $+0^{\circ},5$ C. et $+2^{\circ}$ C., la température la plus élevée étant applicable aux pommes d'été qui sont plus difficiles à conserver que les pommes d'hiver; pour celles-ci, il est préférable d'employer la température la plus basse voisine de 0° C. Il convient d'éviter un abaissement de température brusque au-dessous de $-0^{\circ},5$ C., parce que la peau du fruit prendrait une apparence translucide, tandis que la pulpe deviendrait en même temps spongieuse et brune.

L'emballage de chaque pomme dans du papier prolonge la vie du fruit; il empêche, dans une certaine mesure, la propagation des maladies cryptogamiques, ralentit sa transpiration ou mieux son évaporation et contribue à conserver sa fermeté ainsi que sa bonne apparence. Une double enveloppe composée d'un feuillet de papier absorbant (papier à journal non imprimé) recouvert d'un feuillet de papier paraffiné est à recommander.

Voici d'ailleurs, à ce sujet, un tableau montrant, d'après les expériences de MM. Powel et Fulton, la différence des déchets constatés sur les fruits enveloppés et non enveloppés, entreposés en décembre et examinés à la fin d'avril.

1. D'après Siebel, il faut compter de $0^{\circ},225$ à $0^{\circ},280$ de chambre froide par baril. Pour la réfrigération des pommes, il faut produire pour 10.000 barils de 60.000 à 75.000 frigories-heure (soit, par jour, 20 à 25 tonnes de puissance frigorifique des États-Unis).

TABLEAU LVIII

DÉCHETS CONSTATÉS SUR LES POMMES ENVELOPPÉES ET NON ENVELOPPÉES CONSERVÉES
DANS UNE CHAMBRE FROIDE

VARIÉTÉS	FRUITS ENVELOPPÉS	FRUITS NON ENVELOPPÉS
	p. 100	p. 100
Backer	3,7	27,2
Dickenson	6,4	43
Mac Intosh.....	7,7	15
Northern Spy	5,6	52
Wagener (fig. 379 et 380)	38,0	63
Wealthy.....	42,0	60

D'après des expériences faites par le *Bureau of Plant Industry* (United States Department of Agriculture) et par le *Illinois Experiment Station*¹, il vaut mieux introduire au frigorif-

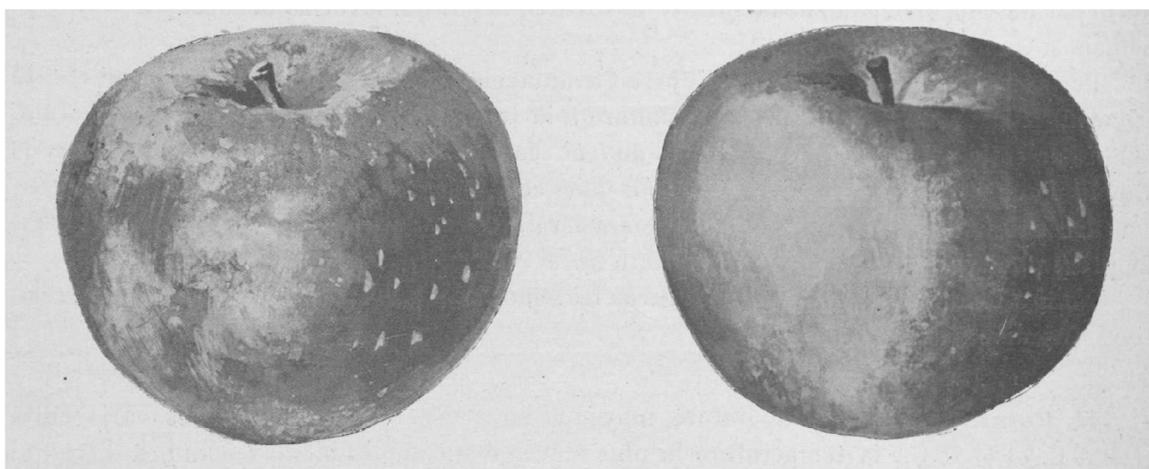


Fig. 379 et 380. — Pomme Wagener. *Cliché de « L'Industrie frigorifique ».*

rique des *pommes mûres* que des *pommes vertes*. Les premières, en effet, sont moins sèches, mieux colorées et conservent mieux leurs qualités après leur séjour dans les chambres froides que les pommes qui ne sont pas mûres.

La cueillette doit être immédiatement suivie de l'emmagasinage dans les chambres froides. Des pommes vertes de Rhode-Island (Tompkins King) (Voir fig. 381, 382, 383, 384) et des pommes de Sutton, cueillies le 15 septembre (température, 17° C.; état hygrométrique, 84 0/0) et introduites au bout de trois jours au frigorifique, furent conservées jusqu'au mois de mars suivant sans présenter de traces de moisissure ni de détérioration quelconque. Cependant les trois jours d'attente avaient diminué leur valeur commerciale et la perte atteignit 40 0/0. Des fruits du même arbre, abandonnés pendant deux semaines après la cueillette avant d'être introduits au frigorifique, étaient complètement gâtés aux premiers jours de janvier.

1. *Ice and Refrigeration*, 1904, XXVII, 132.

Avant d'indiquer la durée possible de la conservation, il importe de remarquer qu'il faut bien dire ce que l'on entend par là.

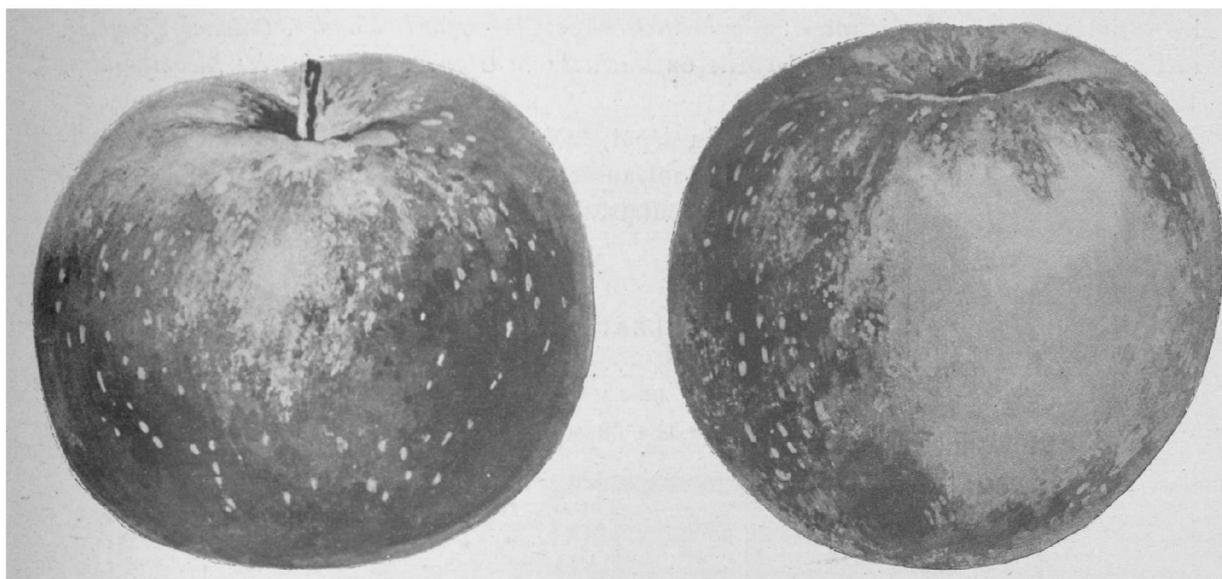


FIG. 381 et 382. — Pomme Tompkins King.

Cliché de « L'Industrie frigorifique ».

Nous croyons, avec MM. Delion et Lepeu, qu'on doit définir de la manière suivante la durée limite de la conservation :

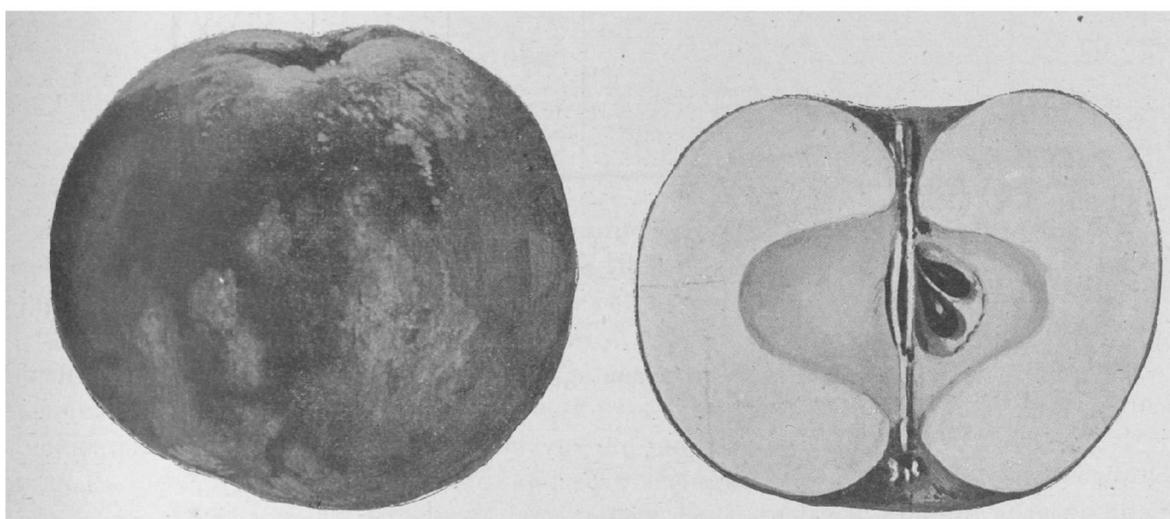


FIG. 383 et 384. — Pomme verte de Rhode Island.

Cliché de « L'Industrie frigorifique ».

La durée limite de conservation d'un fruit est atteinte lorsque le fruit, possédant toutes les qualités qu'il aurait eues sur l'arbre, commence à perdre de ces qualités, saveur ou aspect.

Le fruit, en effet, continue à mûrir lentement dans la chambre froide et perd rapidement de ses qualités; sa détérioration se produit alors rapidement après la sortie du frigorifique.

Si on adopte cette manière de voir, on peut considérer *trois à six mois comme étant, suivant les variétés, la durée limite de conservation des pommes.*

Ainsi les expériences de Dartford ont montré que cette durée était de quatre mois pour les variétés de dessert suivantes : *Blenheim Orange, Chelmsford Wonder, Colonel Vaughan, Cox's Orange Pippin, Duchess's Favorite* ou *Duchesse de Gloucester* ou *Scarlet Incomparable, Worcester Pearmain.*

Immédiatement après son retrait du dépôt, le fruit ne doit pas être exposé à une température élevée. C'est ce que montre le tableau suivant concernant des pommes de variété *Baldwin* retirées du dépôt le 29 janvier, soumises ensuite aux températures ci-après et examinées aux dates ci-dessous indiquées.

TABLEAU LIX

INFLUENCE SUR LA CONSERVATION DES POMMES DE LA TEMPÉRATURE A LAQUELLE LE FRUIT EST PORTÉ A LA SORTIE DES CHAMBRES FROIDES

DATES D'INSPECTION	POURCENTAGE DU DÉCHET TEMPÉRATURES EN DEGRÉS CENTIGRADES AUXQUELLES ONT ÉTÉ EXPOSÉES LES POMMES APRÈS LEUR SORTIE DE L'ENTREPOT FROID			
	7°	9°	16°	19°.5
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100
29 janvier.....	0	0	0	0
10 février.....	0	0	3	10
13 —	0	0	12	14
16 —	0	8	21	24
20 —	0	4	23	28
3 mars.....	5	10		
7 —	5	15		
24 —	20			
6 avril.....	36			

15. Pommes. — Maladies cryptogamiques. — Apple Scald. — Les maladies cryptogamiques si redoutables à une bonne et durable conservation sont presque toutes ralenties par le froid dans leur processus d'incubation et de développement; c'est ce qui arrive pour le *Fusicladium dendriticum*, le *Penicellium Glaucum*, le *Sphaeropsis malorum*.

Mais il est une autre affection non contagieuse qui paraît être moins heureusement enrayée par l'entreposage frigorifique : c'est l'*Apple Scald* des Américains. On appelle ainsi la détérioration causée par la teinte brune qui envahit une partie ou la totalité de la pomme entreposée, si bien que le fruit a le même aspect que s'il avait été cuit au four ou échauffé. Cette quasi-brunissure, d'ailleurs superficielle, serait le résultat d'une oxydation provoquée par les ferments normaux du fruit. On a même remarqué qu'une atmosphère d'azote empêcherait le développement de l'*Apple Scald*, tandis qu'une atmosphère d'oxygène le précipiterait.

L'*Apple Scald* atteint davantage les fruits non mûrs et partiellement colorés que les fruits mûrs bien colorés. Le tableau suivant donne à ce sujet d'utiles renseignements.

TABLEAU LX
POURCENTAGE DES POMMES ATTEINTES DE L' « APPLE SCALD »

VARIÉTÉS	PAYS D'ORIGINE	POMMES MURES bien colorées	POMMES NON MURES partiellement colorées
		p. 100	p. 100
Baldwin.....	New-York	3,1	29,2
Ben Davis.....	Illinois	2,6	15,8
—	Virginia	13,1	41,6
Rhode Island Greening (variété la plus sujette à l'Apple Scald).	New-York	25,4	43,4
Winesap.....	Illinois	0,2	31,8
Yellow Newtown.....	Virginia	2,3	9,4
York impérial (fig. 385 et 386) ..	Virginia	2,0	18,2
	MOYENNE.....	6,9	27,0

Après la récolte le fruit est donc d'autant plus sujet au *Scald* que sa maturité est plus avancée. Il peut arriver qu'au début de l'entreposage le *Scald* n'apparaisse pas; mais plus

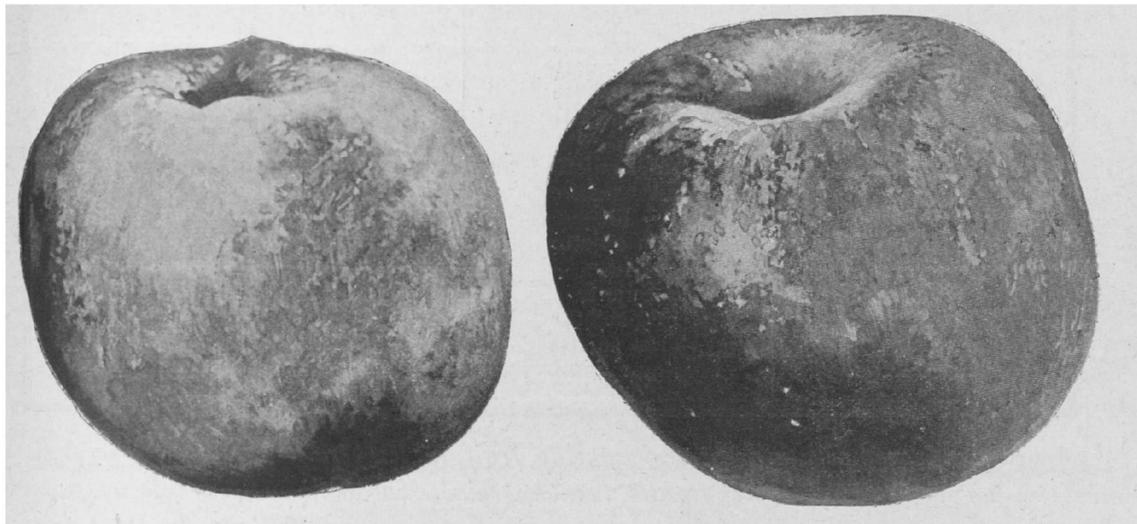


Fig. 335 et 386. — Pomme de York Impérial. *Cliché de « L'Industrie frigorifique ».*

tard cette maladie peut se développer assez pour faire perdre au fruit sa valeur commerciale. Le tableau LXI donne le pourcentage des pommes Baldwin atteintes de *Scald* aux divers moments de l'entreposage à une température de 0° C.

TABLEAU LXI
POURCENTAGE DE POMMES BALDWIN ATTEINTES DE « SCALD » A DIVERSES ÉPOQUES DE LA SAISON D'ENTREPOSAGE (Conservation à 0° C.)

29 janvier 1903.	P. 100
21 février 1903.	0
20 mars 1903.	0
21 avril 1903.	20
	23

Les directeurs d'entrepôts frigorifiques devront donc ne conserver jusqu'à la fin de la saison d'entreposage que les pommes qui ne présentent pas de trace de *Scald*.

Le tableau LXII donne, d'après les recherches entreprises par le *Ministère de l'Agriculture des États-Unis*, les noms des espèces de pommes qui sont les plus sujettes au *Scald*, ainsi que les époques moyennes de l'entreposage à partir desquelles apparaît cette maladie du fruit.

TABLEAU LXII

VARIÉTÉS DE POMMES QUI SONT LES PLUS SUJETTES A LA MALADIE DU « SCALD »

VARIÉTÉS	DEGRÉ AUQUEL LA VARIÉTÉ EST SUJETTE au <i>Scald</i>	ÉPOQUE DE L'ENTREPOSAGE A PARTIR DE LAQUELLE SE DÉVELOPPE le <i>Scald</i>
Arctic	Très sujette	Au cœur de l'hiver
Arkansas	Sujette	Plus tard que le milieu de l'hiver
Baldwin	Id.	Tard en saison
Ben Davis	Id.	Id.
Gilpin	Id.	Id.
Green Newtown	Peu sujette	Id.
Grimes	Très sujette	Au début de l'hiver
Hunstman	Id.	Milieu de l'hiver
Lankford	Id.	Id.
Nero	Id.	Id.
Paragon	Assez sujette	Id.
Ralls	Peu sujette	Id.
Rhode Island Greening	Très sujette	Id.
Smith, Cider	Id.	Au début de l'hiver
Stayman Winesap	Assez sujette	Milieu de l'hiver
Wagener	Très sujette	Id.
White Doctor	Id.	Id.
White Pippin	Peu sujette	Tard en saison
Willow	Id.	Id.
Winesap	Sujette	Id.
Yellow Newtown	Peu sujette	Id.
York Imperial	Très sujette	Milieu de l'hiver
York Stripe	Peu sujette	Tard en saison

D'ailleurs la *température d'entreposage du fruit*, la *température à laquelle le fruit est maintenu au sortir des chambres froides*, l'état hygrométrique de l'atmosphère, le temps écoulé entre la cueillette et l'entreposage dans les chambres froides, l'emballage du fruit dans les chambres froides sont autant de circonstances qui ont une influence bien nette sur le développement du *Scald*.

Le *Scald* se développe plus difficilement à 0° C. qu'à + 2° C. Un lot de pommes de York Imperial (variétés très sujette au *Scald*), entreposée à + 2° C., présentait en janvier une proportion de 16,9 0/0 de fruits atteints de *Scald*; au contraire, un lot identique entreposé à la même époque à 0° C. ne contenait en janvier qu'une proportion de 3,4 0/0 de fruits malades. Un lot de Rhode Island Greening, entreposé à 0° C., contenait en février 21 0/0 de pommes atteintes de *Scald*; au contraire, un lot identique, entreposé à + 2° C., présentait dans les mêmes conditions 55 0/0 de pommes malades.

Lorsque le fruit est retiré des chambres frigorifiques, le *Scald* se développe parfois très rapidement. La vitesse de progression de la maladie est d'autant plus grande que la maturité du fruit est plus avancée, et que la température à laquelle le fruit est maintenu est plus élevée.

Le tableau LXIII montre avec quelle rapidité le *Scald* se développe avec l'élévation de la température.

TABLEAU LXIII

DÉVELOPPEMENT DU « SCALD » DANS UN LOT DE POMMES BALDWIN RETIRÉ DU FRIGORIFIQUE ET MAINTENU A DIVERSES TEMPÉRATURES

VARIÉTÉ	DATE DE LA SORTIE du frigorifique	DATE DE L'OBSERVATION du lot	SCALD POUR 100 AUX TEMPÉRATURES			
			6°,7	8°,9	16°,1	19°,4
Baldwin	1903 29 janvier	1903 29 janvier	0	0	0	0
Id.	Id.	3 février	0	6	21	22
Id.	Id.	4 février	4	11	21	37
Id.	Id.	6 février	4	25	40	63
Id.	Id.	7 février	4	25	41	63

Cette influence de la température explique pourquoi les pommes sont plus sujettes au *Scald* à la fin de la saison de conservation ; elle montre, d'autre part, que l'on doit conserver à la plus basse température possible les pommes retirées du frigorifique.

Au point de vue du développement du *Scald*, l'intervalle de temps compris entre la cueillette et l'entreposage dans les chambres froides doit être d'autant plus court que la température et le degré hygrométrique sont plus élevés. C'est ce que montre nettement le tableau LXIV.

TABLEAU LXIV

INFLUENCE, SUR LE DÉVELOPPEMENT DU « SCALD », DE LA DURÉE DE L'INTERVALLE DE TEMPS ÉCOULÉ ENTRE LA CUEILLETTE ET L'ENTREPOSAGE AU FRIGORIFIQUE

VARIÉTÉS	TEMPÉRATURE MOYENNE : 17° C. ÉTAT HYGROMÉTRIQUE MOYEN : 84 0/0		TEMPÉRATURE MOYENNE : 11° C. ÉTAT HYGROMÉTRIQUE MOYEN : 80 0/0	
	cueilli le 12 septembre, entreposé le 15 septembre	cueilli le 15 septembre, entreposé le 30 septembre	cueilli le 4 octobre, entreposé le 9 octobre	cueilli le 5 octobre, entreposé le 19 octobre
	<i>Scald</i> pour 100	<i>Scald</i> pour 100	<i>Scald</i> pour 100	<i>Scald</i> pour 100
Rhode Island Greening .	0	38	»	»
Sutton	0	33	0	0
Tompkins King	0	15	0	0

Le mode d'emballage qui consiste à envelopper chaque fruit ne semble pas être efficace contre l'envahissement du *Scald*. C'est ce que montre le tableau LXV, où les fruits enveloppés présentent une proportion de *Scald* souvent plus grande que les fruits non enveloppés.

TABLEAU LXV

INFLUENCE DE L'EMBALLAGE DU FRUIT SUR LE DÉVELOPPEMENT DU « SCALD »

VARIÉTÉS	PAYS D'ORIGINE	FRUITS ENVELOPÉS	FRUITS NON ENVELOPÉS
		<i>Scald pour 100</i>	<i>Scald pour 100</i>
Baldwin	New York	12,4	19,9
Ben Davis	Illinois	5,8	2,8
Id.	Virginia	27,1	28,7
Hunstmann	Illinois	47,8	40,3
Minkler	Id.	22,9	20,1
Rhode Island Greening	New York	32,3	37,6
Winesap	Virginia	30,0	47,0
Id.	Illinois	17,9	10,2
York Imperial	Virginia	9,6	12,9

16. **Poires.** — Les poires doivent être cueillies un peu avant leur maturité complète, au moment où elles ont atteint presque toute leur grosseur et où elles se détachent facilement de l'arbre. Bien souvent la diminution de la qualité des poires entreposées provient de leur excès de maturité. Les poires doivent être entreposées aussitôt après la cueillette : un retard est plus préjudiciable aux poires d'été qu'aux poires d'hiver. Elles doivent être enveloppées et emballées comme les pommes.

Les limites des températures de conservation sont + 0°,5 C. à + 2° C., la température supérieure convenant aux poires d'été, la température inférieure aux poires d'hiver.

La durée limite de conservation varie, suivant les espèces, de deux à six mois. Dans les expériences de Dartford, on a trouvé que les variétés suivantes se conservaient bien pendant quatre mois : *Beurré d'Amanlis*, *Conférence*, *Doyenné du Conice*, *Fertilité*, *Pitmastan Duchess*, *Williams Bon Chrétien* (dénommée *Bartlett* en Amérique).

La qualité des poires s'altère normalement dès que le fruit dépasse la maturité. En outre, la qualité des variétés d'été à maturité rapide dégénère plus rapidement que celle des espèces tardives.

La qualité des poires est parfois altérée du fait de l'impureté de l'air des chambres frigorifiques. Les poires d'été absorbent plus facilement les odeurs que les poires tardives d'hiver. On doit donc veiller à la pureté de l'air du frigorifique.

A ce point de vue, il est bon, si on le peut, de ne pas entreposer à la fois dans une même chambre des poires et des pommes¹.

La rapidité avec laquelle le fruit s'altère après son retrait du frigorifique dépend de la nature de la variété, du degré de maturité du fruit et de la température extérieure au moment du retrait. *Les variétés d'été se détériorent plus rapidement à la sortie du dépôt que les variétés tardives.* Si le fruit est retiré ferme en chair, à la plus basse température extérieure possible, et s'il est tenu au frais ultérieurement, il se conservera bien pendant un certain temps.

1. Recommandation faite par M. E. Salomon pour un fruitier quelconque. Il dit, en effet, dans le mémoire cité plus haut : « Si l'emplacement dont vous disposez vous le permet, faites deux fruitiers : un pour les poires, l'autre pour les pommes ; vous vous en trouverez bien. »

17. Pêches. — La pêche est un fruit de conservation difficile. Nous avons indiqué dans ce qui précède quelques expériences de conservation. MM. Delion et Lepeu donnent les indications suivantes (le mode d'emballage est celui indiqué plus haut) :

Pêches de Montreuil	}	Température de conservation	+ 1° C.
		Durée de conservation	2 mois 1/2
Pêches de Montbard :		Durée de conservation	3 mois

Voici, d'autre part, les résultats d'expériences faites en Georgie et au Connecticut (États-Unis).

La pêche, qui est introduite dans l'entrepôt frigorifique ferme en chair et vivement colorée, *conserve sa valeur commerciale d'entrée pendant deux à trois semaines, si elle est soumise à une température de 0° C.* Sa qualité peut, de même, être encore maintenue deux à trois jours après son retrait du dépôt, suivant l'élévation de la température extérieure. Après trois semaines d'entrepôt, la qualité du fruit s'altère, quoiqu'il puisse encore continuer à rester *en apparence* ferme en chair et brillant pendant un mois.

Si le fruit est trop mûr quand on le cueille, ou s'il est blet à la suite de traitements défectueux, il se trouve dans des conditions défavorables pour être conservé et ne doit pas, par suite, être entreposé. De même, s'il est trop vert à son entrée au frigorifique, il s'y ride et s'y ratatine parfois considérablement.

Comme pour les poires, l'air de l'entrepôt frigorifique doit être aussi pur que possible.

Le fruit doit être retiré de l'entrepôt à la plus basse température extérieure, maintenu au frais et livré le plus tôt possible à la consommation.

Si le fruit doit être embarqué dans des wagons frigorifiques, l'opération doit se faire de préférence le matin de très bonne heure.

On a essayé de conserver des pêches à des températures de + 4° C. et + 2° C. A + 4° C. la chair commence à tourner au brun au bout de huit à dix jours; le fruit, dans ces conditions, s'altère très promptement après le retrait du dépôt. A + 2° C. le fruit commence à perdre sa valeur commerciale initiale après dix à quinze jours.

A Dartford, on a conservé *pendant deux mois à 0° C.* les variétés suivantes : *Royal George, Crimson Galande, Lady Palmerston.* Mais au bout de ce temps leur goût était médiocre.

18. Prunes. — D'après MM. Delion et Lepeu, on a, pour les prunes Reine Claude,

Température de conservation	+ 0°,5 C.
Durée de conservation	2 mois 1/2

D'après les expériences faites à Dartford, la durée de conservation moyenne serait de *quatre à six semaines suivant les variétés.* La température de conservation serait comprise entre 0° et 2°,2 C. On a obtenu de bons résultats avec les *Greengages*, qui ont été conservées pendant deux mois et demi, — avec les *Orléans, Diamond* et *Sultan*, qui ont été conservés de quatre à six semaines, — avec l'espèce *Victoria*, qui a été conservée pendant neuf semaines. La variété *Monarchs*, qui était trop mûre au moment de son introduction au frigorifique, n'a pu être conservée qu'un mois. La variété *Coe's Golden Drop*, conservée deux mois, avait gardé son goût délicieux, bien que la peau fût un peu ridée.

19. Fraises. — Les fraises doivent être enveloppées dans de la ouate. D'après MM. Delion et Lepeu, les conditions de conservation sont :

Fraises	}	Température de conservation	+ 0°,5 C.
(toutes variétés)		Durée de conservation	2 mois

D'après les expériences de Dartford, la température de conservation serait comprise entre — 1° C. et 0° C.

20. Cerises. — MM. Delion et Lepeu indiquent :

Cerises	}	Température de conservation	+ 0°,5 C.
(rouges Montmorency)		Durée de conservation	2 mois

Comme les fraises, les cerises doivent être enveloppées dans de la ouate ou entourées de liège granulé.

A Dartford, des expériences ont été faites à +5°,6; +2°,2; — 1°. Les cerises maintenues à +5°,6 se sont conservées pendant quinze jours; celles maintenues à +2°,2 étaient encore excellentes au bout de trois semaines; celles maintenues à — 1° se sont conservées fraîches, juteuses et douces pendant un mois.

21. Groseilles. — D'après MM. Delion et Lepeu, les conditions de conservation sont :

Groseilles	}	Température de conservation	+ 0°,5 C.
(groseilles blanches et rouges)		Durée de conservation	1 mois 1/2

Suivant les expériences de Dartford une température de 0° à +2° C. et l'emballage dans du papier de soie paraissent être les meilleures conditions pour conserver les groseilles pendant six semaines.

22. Abricots. — Les expériences de MM. Delion et Lepeu donnent comme conditions de conservation :

Abricots	}	Température de conservation	+ 2° C.
		Durée de conservation	2 mois

Les abricots doivent être enveloppés dans de la ouate comme les pêches.

23. Oranges et citrons. — La meilleure température de conservation est comprise entre +5° C. et +7° C. Ils doivent être entreposés quand ils ne sont pas encore tout à fait mûrs. Ils dégagent une grande quantité de gaz, de telle sorte qu'il faut exercer une aération continuelle de la chambre frigorifique. L'air de cette chambre ne doit pas être trop sec, sans quoi la peau des fruits se riderait. Les oranges peuvent être congelées et dans cet état sont très prisées pendant les chaleurs; mais les oranges congelées se détériorent très rapidement quand on les ramène à la température ordinaire¹.

24. Noix et fruits secs. — La meilleure température de conservation est comprise entre +2° et +4°,5; l'état hygrométrique doit être voisin de 60 0/0.

On les entrepose pendant la saison chaude pour conserver leur goût et les mettre à l'abri de l'attaque des vers.

1. Voir, dans l'article de M. C. AUBERT cité plus haut, les soins que l'on donne en Californie à la culture des fruits citrins (oranges et citrons), à leur cueillette, à leur emballage.

Les fruits secs, tels que les raisins, figes, prunes et dattes, doivent être maintenus au frigorifique de mai à octobre.

25. Bananes. — Les régimes de bananes¹ doivent être cueillis un peu avant maturité si l'on se propose de les exporter au loin. On peut en effet compléter la maturité au lieu d'emploi en plaçant les régimes de fruits dans une chambre chaude à atmosphère sèche. L'emballage se fait dans des caisses à claire-voie avec remplissage des interstices par une matière isolante quelconque, mais bien propre et bien sèche. La cueillette doit d'ailleurs être faite au moment le plus frais de la journée et par un temps sec.

S'il s'agit simplement de conserver le fruit pendant douze à quinze jours, il suffit de le placer dans un magasin bien ventilé à la température de 15° C.

Si la conservation doit être de plus longue durée, les fruits doivent être placés immédiatement après la cueillette dans une chambre de refroidissement où l'on abaisse graduellement et rapidement la température jusqu'à 6° environ, en accompagnant l'action réfrigérante d'une ventilation énergique susceptible de produire à la surface du fruit une très légère dessiccation superficielle.

Au bout de douze à quinze heures ou vingt-quatre heures au maximum, toutes les bananes sont à une température de + 6° environ. On les transporte alors dans des magasins de conservation, où une température de + 4° à + 8° C. avec un degré hygrométrique égal à 60 0/0 est maintenue très régulièrement. Il est important de maintenir aussi régulier que possible le degré de température et celui d'état hygrométrique.

Dans ces conditions on peut conserver les bananes pendant deux mois environ.

Pour le commerce de ces fruits, il est de toute nécessité d'avoir des wagons et des navires frigorifiques pour le transport en même temps que des entrepôts frigorifiques de conservation à l'arrivée. La figure 387 représente le mode de débarquement des bananes à la Nouvelle-Orléans. Nous avons décrit dans le chapitre vi les conditions du transport de ces fruits aux États-Unis dans des trains refroidis en bloc avec leur chargement.

M. de Saumery² estime qu'un régime de bananes de 25 kilogrammes acheté à la Guadeloupe 1 fr. 25 (soit 5 francs les 100 kilogrammes) revient, rendu à Paris, à 11 ou 12 francs et peut être vendu de 14 à 16 francs. Or le même régime de bananes coûte à Londres environ 12 francs; en comptant les frais de transport, l'entrée en France, un régime de bananes



FIG. 387.

Débarquement des bananes à la Nouvelle-Orléans.

1. Ch. LAMBERT, *loc. cit.*

2. DE SAUMERY, *Étude sur la culture et le commerce des bananes*, Paris, 1905.

vendu à Paris et provenant des entrepôts frigorifiques de Londres coûte environ 14 francs à l'acheteur en gros. Il y aurait donc avantage à installer un service de transports frigorifiques entre les colonies françaises, telles que la Guadeloupe et les ports de France.

Voici, d'ailleurs, un tableau intéressant donnant la statistique du commerce des bananes:

TABLEAU LXVI

STATISTIQUE DU COMMERCE DES BANANES

	EXPORTATION ANNUELLE MOYENNE. — QUANTITÉS EN RÉGIMES DE 25 KILOGR.				
	1900	1901	1902	1903	1904
Jamaïque.....	6.250.000	7.000.000	7.300.000	8.000.000	9.350.000
Costa-Rica.....	3.155.000	3.870.457	4.174.199	5.130.063	5.870.000
Panama, Cuba, Nicaragua, Porto-Rico	1.100.000	1.175.000	1.890.000	2.000.000	2.150.000
Canaries.....	1.243.562	1.636.946	1.817.533	2.370.511	"

26. Légumes. — Températures de conservation. — Durées de conservation. — Voici, d'après MM. Delion et Lepeu, les conditions de conservation de quelques légumes.

	TEMPÉRATURE	DURÉE
	DE CONSERVATION	DE CONSERVATION
Choux.....	+ 0°,5 C.	6 mois
Choux-fleurs.....	+ 1° C. à + 2° C.	3 mois
Artichauts.....	+ 1° C.	3 mois
Asperges { (il faut prendre la précaution de les recouvrir constamment d'un linge humide pour les empêcher de se rider.)	+ 1° C.	2 mois
Aubergines.....	+ 3° C.	2 mois
Champignons.....	+ 3° C.	2 mois
Tomates.....	+ 2° C.	2 mois

27. Tomates. — Les *tomates* doivent être emmagasinées un peu avant leur maturité au moment où elles passent du jaune au rouge. Il faut avoir soin d'enlever le pédoncule pour éviter qu'une tache noire se forme au sommet des fruits.

28. Choux. — La conservation des *choux* n'est obtenue qu'au prix de certaines précautions¹.

Pour cette conservation il faut d'abord disposer de *choux tardifs*. En effet, les choux précoces se gardent moins bien que les choux dont la pomme est à peine formée au moment des premières gelées. Il est, en outre, nécessaire d'éviter les choux trop mûrs, dont les feuilles sont susceptibles de se récroqueviller beaucoup plus facilement que les autres.

Il faut n'admettre au frigorifique que des choux fermes et sains.

Il est essentiel de les cueillir quand le temps est sec.

1. A. PERRET, *la Conservation des choux (la Glace et les Industries du froid, 3^e année, mars 1905, n° 3)*.

Il est préférable d'enlever les feuilles extérieures avant de mettre les choux dans la chambre froide.

Il faut éviter que les choux ne s'échauffent pendant leur transport des lieux de production aux chambres froides.

L'air de la chambre froide *ne doit être ni trop sec*, afin d'éviter le dessèchement des produits, *ni trop humide*, afin d'empêcher l'humidité de se déposer à la surface.

La *ventilation de la chambre doit être assez active* à cause de la grande quantité d'eau que renferment les choux.

On place les choux sur des étagères ou dans des mannes en contenant 80 kilogrammes environ, avec un espace libre entre les paniers, afin que l'air puisse circuler facilement.

Enfin les choux doivent être emmagasinés seuls et non avec d'autres légumes ou fruits.

29. Pommes de terre. — La température la plus convenable pour la conservation des pommes de terre est comprise entre $+ 2^{\circ}$ C. et $+ 4^{\circ},5$ C. L'état hygrométrique doit être compris entre 60 et 70 0/0.

Les pommes de terre doivent être emballées dans des mannes ou dans des sacs à tissu lâche; entre deux mannes ou deux sacs doit exister un espace libre, afin de faciliter la circulation de l'air froid.

La durée de conservation est *d'environ six mois*.

D'après Madison Cooper (*Practical Cold Storage*, p. 559), les pommes de terre doivent être conservées dans l'obscurité.

30. Oignons. — La température la plus convenable pour la conservation est comprise entre 0° C. et $+ 2^{\circ}$ C. Les meilleures sortes peuvent être conservées *six à huit mois*.

Les oignons doivent être emballés comme les pommes de terre.

Les chambres où l'on conserve les oignons doivent avoir leurs parois fortement vernies, en particulier, si ces parois sont en bois. Sans cela, l'odeur pénètre en effet dans le bois et ne peut plus être enlevée. Quand la chambre de conservation est vide, il faut avoir soin de la laver soigneusement avec une solution de chlorure de calcium. Le meilleur refroidissement des chambres consiste dans une circulation de saumure avec une ventilation convenable.

CHAPITRE XII

LE FROID DANS L'INDUSTRIE LAITIÈRE¹

I

CARACTÈRES GÉNÉRAUX DU LAIT

1. Définition. — Le lait est une émulsion de matière grasse et de caséine dans une solution de caséine, de lactose et de sels minéraux parmi lesquels domine le phosphate de chaux.

2. Provenance. — Le lait est sécrété par les glandes mammaires des mammifères femelles après la naissance de leurs petits. Nous n'étudierons ici que le lait de vache.

3. Propriétés du lait. — Le lait sain, examiné aussitôt après la traite, est un liquide homogène de couleur blanche ou peu jaunâtre, suivant la nature des fourrages servant à nourrir la vache qui produit ce lait. Il est opaque en masse et translucide en couche mince. Il a une saveur douce, agréable, légèrement sucrée, une odeur spéciale, surtout lorsque l'étable n'est pas tenue proprement.

4. Densité du lait. — Le poids de 1 litre de lait naturel à la température de 15° C. varie de 1.029 à 1.033 grammes; le poids de 1 litre de lait écrémé varie de 1.032 à 1.036 grammes.

5. Chaleur spécifique du lait et de la crème. — La chaleur spécifique du lait a surtout été étudiée par *Fleischmann* : de toutes ses recherches il résulte que la chaleur spécifique du lait est très voisine de celle de l'eau, et qu'en pratique on peut les confondre l'une avec l'autre. Quant à la chaleur spécifique de la crème, elle est voisine de 0,87, la chaleur spécifique de l'eau étant prise comme unité.

6. Point de congélation du lait. — Influence de l'addition de l'eau sur le point de congélation. — Cryoscopie du lait. — Il résulte des recherches de Beckmann, de Jordis et, plus récemment, du D^r Parmentier² que le point de congélation du lait

1. Pour la rédaction de ce chapitre, nous avons fait des emprunts aux publications suivantes : IRMA MARÉCHAL, *Le lait, le beurre et le fromage* (Liège, H. Dessain, 1903); — Ch. MARTIN, *Laiterie* (*Encyclopédie agricole*, Paris, J.-B. Baillière); — Otto KASDORF, *Eis und Kälte im Molkebetrieb*; — STIGGEN, *Die Hygiene der Milch* (Leipzig, Heinsius, 1902); — Loudon M. DOUGLAS, *Refrigeration in the Dairy* (Londres, W. Douglas). — Rapports présentés au Congrès international de laiterie tenu à Paris en octobre 1905. — MADISON COOPER, *Practical Cold Storage*.

2. D^r PARMENTIER, *Comptes rendus de l'Académie de médecine*, avril 1903.

pur et frais, *quelle que soit son origine*, est voisin de $-0^{\circ},55$. Les températures ($-0^{\circ},54$ et $-0^{\circ},57$) représentent les limites extrêmes d'oscillation. L'écémage ne modifie pas le point de congélation; il n'en est pas de même de l'addition d'eau. Celle-ci a pour effet de rapprocher de 0° C. le point de congélation, et cela d'autant plus que la quantité d'eau ajoutée est plus grande. Voici quelques nombres.

TABLEAU LXVII
VARIATIONS, AVEC LE MOUILLAGE, DU POINT DE CONGÉLATION DU LAIT

POINT DE CONGÉLATION	ADDITION D'EAU OU MOUILLAGE
	p. 100
$-0^{\circ},52$ C.	5
$-0^{\circ},51$ C.	10
$-0^{\circ},45$ C.	18
$-0^{\circ},41$ C.	25

Lorsque le point de congélation atteint $-0^{\circ},36$, le mouillage (addition d'eau) est visible à l'œil nu.

Par contre, si le point de congélation est plus bas que $-0^{\circ},57$ C., limite maximum acceptable, le mouillage n'est pas seul en cause. Le lait est altéré soit par suite d'une fermentation lactique trop avancée, soit par suite de l'addition de borate ou de bicarbonate de soude.

7. Point de congélation du lait. — Influence de l'état de santé du galactifère. — Le D^r Parmentier a également signalé l'influence de l'état de santé du *galactifère* (*femme, vache ou chèvre*) sur le point de congélation du lait. Ses résultats ont été confirmés par MM. Guiraud et Lasserre¹ qui ont montré que *tous les laits d'origine pathologique*, notamment les laits d'animaux tuberculeux, *présentent un point de congélation sensiblement inférieur à celui des laits normaux*.

8. Composition du lait. — Le lait contient les principes suivants :

Eau;

Matière grasse ou beurre;

Caséine ou fromage;

Lactose ou sucre de lait;

Sels.

Ces principes se trouvent toujours dans la composition du lait, *mais les proportions dans lesquelles ils y figurent sont variables*.

Le lait de certaines vaches contient plus de beurre; le lait de certaines autres renferme plus de fromage; en outre, le lait de la même vache varie constamment d'une traite à l'autre suivant une foule de circonstances.

Toutefois, on peut dire qu'en moyenne 1 kilogramme de lait contient :

Eau.....	875,	variable de 850 à 900 grammes
Beurre.....	35	— de 20 à 60 —
Caséine.....	35,5	— de 25 à 45 —
Lactose.....	46	— de 35 à 55 —
Sels.....	7,5	— de 5 à 10 —

1. GUIRAUD et LASSERRE, *Influence qu'exerce l'état de santé du galactifère sur le point de congélation du lait* (*Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 22 août 1904; — *L'Industrie frigorifique*, 3^e année, n^o 22, mars 1905).

On dit encore que le lait renferme 12 0/0 de matières sèches et 88 0/0 d'eau, ou à peu près les 9/10 d'eau.

9. Matière grasse du lait. — La matière grasse du lait constitue ce que l'on appelle communément le *beurre*; c'est pourquoi on appelle *lait maigre* celui qui ne contient plus de beurre. Les globules de la matière grasse ne sont visibles qu'au microscope, leur diamètre variant entre 1/100 à 1/600 de millimètre.

La matière grasse du lait est composée de cinq triglycérides à acides fixes (palmitine, stéarine, oléine, butine, myristine) (proportion, 91 0/0) et de quatre triglycérides à acides volatils (butyrine, caproïne, capryline, caprinine) (proportion, 9 0/0). La présence de ces derniers caractérise la matière grasse du lait; les autres graisses et notamment celles d'origine animale n'en renferment pas. Ce sont les glycérides à acides volatils qui interviennent pour produire l'arôme du beurre.

Les globules de matière grasse sont plus légers que le liquide qui les tient en suspension. Aussi, si l'on abandonne le lait à lui-même, la matière grasse ne tarde guère à se rassembler à la partie supérieure entraînant avec elle un peu de lait maigre.

Ce mélange, dont la couleur jaune tranche sur la teinte bleuâtre du reste du liquide, constitue ce que nous appelons la *crème*. En agitant pendant quelque temps la crème ainsi obtenue, les globules de graisse finissent par s'agglomérer en une masse qui n'est autre que le *beurre*; le liquide duquel le beurre s'est séparé constitue le *lait de beurre* ou *babeurre* dont la composition moyenne est la suivante :

	P. 100
Eau.....	91,3
Matière grasse.....	0,5
Caséine.....	3,5
Lactose.....	4,0
Sels.....	0,7

10. Caséine. — La *caséine* ou *fromage* se trouve dans le lait en partie à l'état de suspension (5/6), en partie à l'état de dissolution (1/6). La caséine est la matière albuminoïde ou azotée du lait.

La séparation de la caséine insoluble ou en suspension s'effectue d'elle-même au bout d'un certain temps sous l'action des ferments. Lorsque cette séparation ou coagulation s'est produite sous l'influence de l'acide lactique qui se développe dans le lait aigri, on dit que le lait est *caillé*. C'est la coagulation *naturelle* ou *spontanée*.

On produit plus promptement cette coagulation et on effectue alors ce que l'on appelle la *coagulation artificielle* en mélangeant au lait divers acides à l'exception des acides borique et salicylique. La présure, le tannin, l'alcool, l'alun, certaines plantes (les fleurs de chardon, d'artichaut) produisent le même effet. Au contraire, les bases (bicarbonate de soude), en neutralisant l'acide lactique au fur et à mesure de sa formation, retardent la coagulation.

Si la coagulation a lieu dans du lait non écrémé, la caséine entraîne avec elle la majeure partie de la matière grasse et une partie du phosphate de chaux; on obtient ainsi la matière première des *fromages gras*. Si, au contraire, elle a lieu dans du lait écrémé, elle fournit du *fromage maigre*.

Si l'on met sur une passoire le caillé obtenu soit spontanément, soit artificiellement, il s'en écoule peu à peu un liquide verdâtre, un peu trouble; c'est le *petit-lait*, ou *sérum*, entraînant avec lui une proportion variable de caséine soluble, qui n'est pas utilisée en fromagerie.

11. Sucre de lait ou lactose ou lactine. — Le sucre de lait donne au lait sa saveur douceâtre. Il se rencontre exclusivement dans le lait des mammifères et à l'état de dissolution. On peut l'isoler en évaporant le sérum du lait ordinaire : on obtient un corps blanc, cristallisé, très dur, d'une saveur légèrement sucrée.

Le lactose subit plus particulièrement la *fermentation lactique* ; elle se produit sous l'influence de ferments spéciaux appelés *ferments lactiques*, qui sont les hôtes habituels du lait. Le sucre de lait se transforme en acide lactique qui, comme presque tous les acides, a la propriété de faire coaguler le lait. Quand la fermentation lactique a lieu vers 10° ou 12°, la coagulation se fait lentement et la crème a le temps de se former à la surface du liquide. Mais, si le lait est abandonné à une température plus élevée, 25° par exemple, l'acide lactique se forme rapidement ; il est bientôt en quantité suffisante pour produire la coagulation qui a lieu avant que la crème ait eu le temps de monter ; les globules butyreux sont emprisonnés par le caillé qui tombe au fond du vase. On dit alors que *le lait a tourné*.

Le rôle éminemment utile que remplissent les ferments lactiques c'est d'intervenir dans la *maturation de la crème*. L'acide lactique qu'ils produisent détermine la saponification partielle des glycérides de la matière grasse ; les acides gras volatils mis ainsi en liberté, joints aux produits de la nutrition des microbes, contribuent à donner au beurre un arôme particulier.

12. Sels minéraux ou cendres. — Si on calcine le résidu de l'évaporation du lait, on obtient des cendres, environ 7 grammes par litre. Le phosphate de chaux y entre pour plus de la moitié.

13. Colostrum. — Le lait que donne la vache aussitôt après la *parturition* ou *vélage* s'appelle *colostrum*. Il offre des caractères bien tranchés comme aspect et comme composition. Il est jaune, visqueux, d'un goût âcre et désagréable. Il contient moins d'eau et de sucre que le lait ordinaire, mais il renferme plus de matière grasse, de caséine et de sels ; il est, par conséquent, très nutritif. Légèrement purgatif, il sert à l'expulsion du *méconium*, excrément vert noirâtre, accumulé dans l'intestin du veau avant sa naissance. Le colostrum persiste pendant huit à dix jours ; durant cette période le lait ne peut être admis à la laiterie.

14. Causes qui peuvent faire varier la sécrétion et la composition du lait. — Diverses causes peuvent favoriser la sécrétion du lait.

1° *Le climat.* — Les bonnes laitières se rencontrent généralement sous les climats humides, à température modérée et uniforme (Hollande, Normandie) ;

2° *La race.* — Elle influe à la fois sur la quantité et la qualité du lait. Les vaches de la race de Jersey donnent 1 kilogramme de beurre par 15 litres de lait, tandis qu'il faut 35 à 40 litres de lait de vaches hollandaises (elles fournissent de 3.500 à 4.000 litres par an) pour obtenir la même quantité de beurre ;

3° *Les aptitudes individuelles ;*

4° *L'âge.* — Une vache n'atteint son maximum de production qu'à partir du second ou du troisième vélage ; elle le maintient ordinairement jusqu'à l'âge de neuf ans ;

5° *L'alimentation.* — C'est avec la nourriture verte qu'on obtient le maximum de lait. La carotte rend le lait très butyreux. Les betteraves augmentent la quantité de lait, mais aux dépens de la qualité. Il en est de même des pommes de terre crues ; elles doivent être données en petite quantité. Les boissons chaudes favorisent la sécrétion du lait. Les navets et les feuilles de choux nuisent au parfum du lait et du beurre. Les grains concassés, le son et les farines sont d'excellents aliments. Les tourteaux et les drèches de distillerie ne doivent

jamais être donnés en grandes quantités. Les aliments bruts (foin, paille) donnent le volume de la ration, volume qui a une grande importance chez les ruminants, en ce qu'il favorise la digestion¹.

II

TRAITEMENT DU LAIT A LA FERME

1. Des moyens employés pour conserver le lait. — Le lait est un excellent aliment pour un grand nombre de microbes; introduits dans le liquide, ils s'y développent avec une extrême rapidité, si la température est favorable. Aussi le lait est-il une substance éminemment périssable. Or le lait ne doit être consommé que parfaitement sain, dans un état aussi voisin que possible de celui où il sort du pis de la vache. De là tous les procédés qui ont été préconisés pour arrêter complètement ou seulement enrayer le développement des microorganismes susceptibles de rendre le lait impropre à la consommation². Mais parmi toutes ces méthodes, la seule qui permette de conserver au lait toutes les propriétés organoleptiques qu'il possède au moment de la traite est *l'application du froid*.

2. Le froid n'améliore pas la qualité du lait; il arrête seulement le développement des microorganismes. — Mais, comme nous l'avons dit plusieurs fois au cours de cet ouvrage, le froid ne tue pas les microbes; il ne fait qu'arrêter leur développement. Cet agent de conservation n'améliore pas la qualité des produits qui sont soumis à son action; du lait parfaitement sain maintenu à une basse température se retrouve parfaitement sain au bout d'un certain temps; du lait en partie décomposé au moment de la réfrigération reste dans cet état pendant la durée de son séjour dans des chambres froides; mais la décomposition reprend au point exact où elle s'était arrêtée lorsque le lait est ramené à la température ordinaire.

3. Le traitement hygiénique du lait doit commencer à la ferme. — Pour qu'une laiterie puisse, par une application convenable du froid, produire de bons produits (lait, beurre), il n'est donc pas suffisant que le traitement frigorifique du lait s'y fasse avec les précautions convenables, il faut encore que le lait arrive à la laiterie dans un parfait état de conservation. Il en résulte que *le traitement susceptible de donner un lait parfaitement sain et un beurre de qualité supérieure doit commencer à la ferme dans la stalle de la vache et se continuer dans le transport de la ferme à l'usine*.

4. Importance de l'hygiène de l'étable. — *L'hygiène de l'étable* est, comme la race, l'individualité, l'alimentation, un des facteurs les plus importants de la production d'un lait de bonne qualité. Si les locaux sont bien aérés et bien éclairés, l'atmosphère sera plus pure et moins sujette à contaminer, pendant la traite, le lait recueilli.

1. Voir les mémoires suivants présentés au Congrès international de laiterie tenu à Paris en octobre 1905: *Influence de la race et de l'individu sur le rendement, la qualité et le quantum des différents composants du lait*. Mémoires de MM. LÖNNIS, inspecteur de l'agriculture, à la Haye; — TOUCHARD, directeur de l'École pratique d'agriculture et de laiterie de la Vendée; — Raoul GOUX, *Influence de l'alimentation sur le rendement, la qualité et le quantum des différents composants du lait*; — Mémoires de M. René GUÉRAULT, directeur de la laiterie de Fère-Champenoise; de M. L. MALPEAUX, directeur de l'École pratique d'agriculture du Pas-de-Calais (*Publications de la Fédération internationale de laiterie*, 31, rue Jourdan, Bruxelles).

2. Voir le rapport de M. René GUÉRAULT, au Congrès de laiterie (*L'Industrie frigorifique*, 4^e année, n° 35, avril 1906).

5. L'étable doit être bien éclairée. — Les étables bien éclairées sont plus commodes à tenir en un état de propreté convenable. Comme la lumière possède aussi une action désinfectante, il en résulte qu'un éclairage convenablement établi contribue à assurer un meilleur état hygiénique des vaches. Toutefois, la lumière doit être tamisée, douce, peu éclatante. D'après M. *Baron*, professeur à Alfort¹, les lumières violette et orangée agissent à l'opposé l'une de l'autre, la première favorisant et la seconde troublant par son intensité le repos dont ont besoin les vaches laitières.

Il est bon d'employer pour éclairer les étables des lanterneaux et des fenêtres placées latéralement dans les murs. La surface de ces ouvertures est, en moyenne, 8 à 10 0/0 de la surface du plancher pour les étables d'une largeur de 10 à 20 mètres; elle est de 120/0 pour les étables d'une largeur supérieure à 20 mètres².

6. L'étable doit être bien aérée. — L'étable doit être bien aérée; le volume d'air disponible pour chaque animal doit être égal à environ 25 mètres cubes.

L'atmosphère doit être renouvelée par une énergique ventilation qui chasse l'air corrompu par une forte teneur en CO² et le remplace par de l'air frais appelé par la partie supérieure de l'étable à environ 0^m,30 du toit. L'air frais descend et se mélange à celui qui est dans l'étable. L'air du dehors ne doit pas en effet arriver directement sur les animaux; les baies et les ventilateurs doivent être placés de manière que l'aération soit permanente et ne détermine pas de courants. M. *Jonson* conseille l'emploi de cheminées ou de tuyaux *verticaux* pour l'amenée de l'air; ces tuyaux doivent partir à l'extérieur de la partie inférieure du mur pour déboucher à l'intérieur à la partie supérieure. Comme, en hiver, les murs sont un peu plus chauds que l'air extérieur, les cheminées ainsi établies peuvent servir en même temps à réchauffer l'air. Il est utile de leur donner une section de 12 centimètres carrés; il suffit d'une cheminée pour 10 vaches. L'air vicié doit être expulsé par les cheminées d'évacuation dont l'orifice d'introduction se trouve près du plancher; elles doivent présenter des parois d'au moins 25 centimètres d'épaisseur et avoir 60 à 80 centimètres carrés de section.

7. Propreté de l'étable. — Le plancher d'une étable doit être fait en matériaux imperméables, par exemple en ciment poli à la masse d'acier. Le sol ainsi constitué est très uni, résistant et très peu poreux, mais on peut lui reprocher d'être trop lisse et d'exposer les animaux aux glissades. On évite cet inconvénient en répandant du sable sur le plancher avant l'entrée du bétail. Le plancher peut être encore rendu rugueux en passant sur le ciment poli, mais encore humide, une forte brosse qui y pratique des rainures transversales suffisamment marquées pour donner au pied l'appui nécessaire. De plus, ce plancher doit présenter une pente de 1/30 à 1/40 vers l'arrière de telle sorte que l'urine s'écoule dans la rigole.

Les rigoles doivent toujours être faites en ciment massé et poli afin de pouvoir être bien nettoyées et désinfectées. Elles doivent avoir une largeur de 45 centimètres environ et une profondeur de 10 centimètres avec une légère inclinaison en arrière où s'accumule l'urine: de la sorte la vache couchée ne peut se salir la queue.

Lorsque les murs de l'étable sont construits en briques, l'enduit en ciment poli dont on

1. *BARON* et *DECHAMBRE*, professeurs à Alfort et à Grignon, *Moyens les plus pratiques pour assurer l'entretien de la vache laitière dans d'excellentes conditions hygiéniques et pour éviter les souillures du lait au moment de la traite* (Rapport présenté au Congrès international de laiterie, tenu à Paris en octobre 1905).

2. *JONSON*, directeur de l'Institut agricole de Bollerup (Suède), *Moyens les plus pratiques d'assurer l'entretien de la vache laitière dans d'excellentes conditions hygiéniques et d'éviter les souillures du lait au moment de la traite*. Rapport présenté au Congrès international de laiterie tenu à Paris en octobre 1905.

les recouvre doit atteindre une hauteur de 2 mètres. Quand les murs sont faits en bois, on doit les garnir de planches rabotées et huilées.

Les mangeoires doivent être faites de préférence en ciment poli, ce qui permet de les nettoyer et de les désinfecter.

Pour désinfecter les rigoles et les mangeoires, il faut se garder d'employer des antiseptiques à odeur accentuée, à cause de la propriété qu'a le lait d'absorber facilement les odeurs des diverses substances au voisinage desquelles il est laissé. Pour pratiquer la désinfection d'une vacherie, il faut employer un antiseptique à odeur faible ou nulle. MM. Baron et Dechambre¹ conseillent d'employer une solution de sulfate de cuivre au titre de 40 grammes par litre.

On doit de préférence employer la tourbe comme litière. Dans les écuries à litière de tourbe bien entretenue, on ne constate ni écoulement d'urine dans les caniveaux ni odeur ammoniacale.

8. Précautions à prendre pendant la traite. — Les précautions que l'on doit prendre pendant la traite ont une importance très considérable au point de vue de la conservation du lait. Comme le dit M. René Guérault, dans son Rapport au dernier Congrès International de Laiterie², *la traite domine toute la conservation du lait*. Le lait recueilli dans de bonnes conditions et provenant d'une vache saine contient peu ou point de microbes; il est sensiblement aseptique et possède la faculté de se garder longtemps sans s'altérer. La plupart des microorganismes que l'on découvre dans le lait après la traite y parviennent accidentellement. Les uns proviennent de la partie inférieure des canaux excréteurs des trayons et sortent avec les premières gouttes de lait; d'autres sont apportés par des matières adhérentes au pis de l'animal; d'autres sont amenés par les mains et les vêtements du vacher, par les ustensiles de laiterie incomplètement stériles, en un mot par tout le travail mécanique. D'autre part, on rencontre dans le lait une quantité plus ou moins grande de substances organiques en voie de décomposition : matières excrémentielles, débris de foin, de paille, de poils qui communiquent au lait une odeur et un goût plus ou moins désagréables.

Pour éviter tous ces inconvénients, il faut effectuer la traite avec des précautions que l'on peut résumer de la manière suivante.

9. Éviter tout mouvement dans l'étable. — a) *Avant de traire il convient d'éviter tout mouvement dans l'étable.* — Le transport et la manipulation du foin, de la paille ou d'autres aliments, ont pour résultat que, pendant plusieurs heures, le contenu microbien de l'atmosphère de l'étable est augmenté. Or le foin contient notamment une grande quantité d'*Oidium Lactis*. Il convient donc d'éviter de remuer l'air de l'étable quelque temps avant la traite et pendant la traite.

Pour la même raison, il faut éviter de faire la traite pendant que les vaches mangent.

10. Soins à donner aux trayons. — b) *Avant la traite il faut laver les trayons.* — Les mamelles doivent être entretenues dans un grand état de propreté. Il faut les laver avec de l'eau douce et tiède et les essuyer avec un linge ou une éponge. Il ne faut jamais mettre d'eau froide sur pis, ni le nettoyer avec un antiseptique à odeur forte, afin d'éviter

1. BARON et DECHAMBRE, *loc. cit.*

2. René GUÉRAULT, directeur de la laiterie de Fère-Champenoise, Rapport au Congrès international de laiterie tenu à Paris en octobre 1905.

que celle-ci ne puisse se communiquer au lait. Les vachers suisses, après avoir lavé les trayons, les lubrifient avec de la graisse de bonne qualité ou avec de la vaseline.

11. Propreté du trayeur. — c) *Le trayeur doit revêtir des vêtements propres au moment de la traite et avoir les mains parfaitement propres.* — Certains auteurs conseillent même au trayeur de se couvrir la tête avec un linge propre.

12. Stérilisation des bidons. — d) *Les bidons doivent être stérilisés et fermés.* — Voici quelle est la méthode préconisée par M. Dornic¹ pour la stérilisation des bidons et des couvercles :

1° *Passer les bidons à l'eau bouillante;*

2° *Y introduire un jet de vapeur qui pénètre jusque dans les moindres recoins; il serait mauvais de commencer par le jet de vapeur qui cuirait les restes de lait;*

3° *Les laver à l'eau froide bien propre*².

Le seau à couvercle est plus efficace pour obtenir du lait pur que la filtration du lait recueilli dans un seau ouvert. Empêcher les impuretés de pénétrer dans le lait vaut mieux que de les retirer par filtration après la traite.

M. Boekhot³ propose d'employer un bon seau construit de la manière suivante. Il se compose de trois parties : 1° le seau proprement dit; 2° un tuyau qui joint le seau à l'entonnoir; 3° l'entonnoir. Dans celui-ci se trouve un anneau large percé de trous, auquel on peut attacher une pochette de mousseline. Cette pochette sert non seulement à arrêter les poils, mais elle prévient le jaillissement et l'écumage du lait.

13. Ne pas laisser séjourner le lait à l'étable. — e) *Il ne faut pas laisser le lait à l'étable.* — Le lait contracte facilement dans ce cas l'odeur dite d'étable. Il faut faire sortir les vases à lait au fur et à mesure de leur remplissage.

Aussi la traite à la prairie ou dans un hangar placé à proximité du bâtiment principal des étables est-elle préférable à la traite à l'étable.

14. Laisser écouler les premiers jets de lait. — f) *Il faut laisser s'écouler sans les recueillir les quatre ou cinq premiers jets de lait.*

15. Filtration du lait aussitôt après la traite. — g) *Aussitôt après la traite le lait doit être filtré.* — La filtration est nécessaire pour débarrasser le lait des souillures solides qui sont introduites pendant la traite et qui doivent être éloignées le plus vite possible parce que beaucoup de microbes dangereux sous le rapport de la conservation du lait (microbes anaérobies, microbes du foin, ferments butyriques) adhèrent à leur surface.

Cette filtration a en même temps une grande importance pour l'aération du liquide dont nous verrons plus loin la nécessité.

1. DORNIC, directeur de la station d'industrie laitière de Surgères, *Ramassage et transport du lait pour les laiteries mécaniques et moyens de conservation jusqu'à l'écumage*. Rapport présenté au Congrès international de laiterie tenu à Paris en octobre 1905.

2. Les directeurs de laiteries doivent veiller à ce qu'il ne se forme pas de rouille dans les bidons à lait. En effet, le lait mis au contact de parois rouillées dissout de l'oxyde de fer; il se forme avec l'acide lactique du lactate de fer, corps de saveur très amère. Cette dissolution est particulièrement active dans la crème, grâce à l'acidité élevée de ce liquide. Enfin le lactate de fer se disperse dans tous les produits et arière-produits de la laiterie — L. MARCAS et HUYGHE, directeur et assistant de la Station laitière de l'Etat, à Gembloux (Belgique), *Notes sur certains défauts des beurres doux et salés. Leur origine et la façon de les éviter*. Rapports au Congrès international de laiterie de Paris, tenu en octobre 1905.

3. BOEKHOT, directeur de la section de bactériologie de la Station agricole de l'Etat néerlandais, *Sur la maturation, du fromage*. Rapport au Congrès international de laiterie tenu à Paris, en octobre 1905.

Les appareils employés pour la filtration du lait sont de diverses sortes¹. On distingue :

1° *Les filtres constitués par des matières minérales :*

Sable (*Kröhnke*), gravier (*Karsdorf*), Kieselgur, grains de porcelaine (*Fliegel*), grains de marbre.

A cause de la difficulté du nettoyage de la matière filtrante, ces filtres à grandes puissances filtrantes ne peuvent être employés que dans les grandes laiteries urbaines où l'on dispose d'un personnel exercé.

2° *Les filtres métalliques.* — Ce sont des plaques perforées ou des treillages à mailles plus ou moins serrées. On a construit des appareils dans lesquels les surfaces filtrantes sont inclinées pour permettre aux souillures de gagner une rigole destinée à les recevoir; cette disposition a pour but d'éviter l'accumulation, sur une surface horizontale d'une couche de souillures que le lait est obligé de traverser.

Le nettoyage de ces tamis n'est pas facile.

3° *Les filtres métalliques combinés avec des filtres organiques.* — Entre deux tamis métalliques à mailles plus ou moins serrées, on dispose un disque de ouate ou de cellulose qu'on brûle après chaque opération. Le filtre de *Ulander* appartient à ce type².

En Belgique on se sert d'un large entonnoir à fond mobile; celui-ci est constitué par une pièce que l'on serre sur l'entonnoir au moyen d'un cercle en métal; sur le cercle est tendue une étamine de laine ou une toile bien tendue. Il importe que le tissu soit bien exempt de déchirures, qu'on le nettoie dans de l'eau chaude additionnée de cristaux de soude, enfin qu'on le rince à grande eau³.

16. Réfrigération du lait. — h) *Aussitôt après la filtration, le lait doit être aéré et refroidi.* — La filtration ne retient nullement les microbes. C'est pourquoi, si on n'emploie pas le lait aussitôt après la traite, il convient de le *refroidir* afin de paralyser l'action des microbes.

Le refroidissement est accompagné d'une *aération* du lait. Celle-ci a pour effet de faire disparaître l'odeur d'étable; l'oxygénation, qui se produit alors, entrave aussi le développement de certaines sortes de bactéries.

Cette aération doit naturellement se faire dans un air pur; sans quoi elle est plus nuisible qu'utile.

Les deux opérations de l'aération et de la réfrigération se font généralement en même temps. Les appareils à ruissellement dont on se sert ont été décrits au chapitre IV et sont représentés sur les figures 145 à 153.

La *température limite supérieure* à laquelle on doit refroidir le lait est la *température de 12° C.* Mais dans la plupart des cas on descend jusqu'à + 3° à + 4° C. Il est rare que l'on doive descendre au-dessous de cette température. Il faut d'ailleurs éviter soit de soumettre le lait à un refroidissement trop considérable, soit d'élever trop sa température.

1. SCHOORS, pharmacien à Liège, *Des effets, au point de vue de l'hygiène, de la filtration du lait; de la réfrigération du lait.* Rapport au Congrès international de laiterie tenu à Paris, en octobre 1905.

2. Voir dans l'ouvrage de KASBOOR (p. 195 et 196) quelques types de filtres rapides.

3. En dehors des filtres, on a songé à employer les écrémeuses centrifuges pour séparer les impuretés du lait, c'est la *turbation*. Ces impuretés, étant plus lourdes, vont à la paroi. Au moyen d'un dispositif spécial, le lait et la crème sont réunis. En Allemagne, Heine a combiné la turbination avec la filtration. Dans son appareil, les impuretés les plus grosses vont se déposer contre la paroi sous forme de boues de turbine, tandis que les plus fines sont arrêtées par un tissu organique épais qui se trouve tendu dans l'appareil et au travers duquel le lait est obligé de passer. Dans les appareils de ce type la séparation de la matière grasse est négligeable.

i) *Le lait refroidi doit être couvert d'une mousseline légère et placé dans un endroit frais, sain et aéré.*

17. Établissement d'une laiterie. — Toutes les opérations de filtrage, d'aération et de réfrigération du lait doivent être effectuées dans un bâtiment, la laiterie, dont la bonne construction est d'une importance particulière.

Le choix de l'*emplacement* d'une laiterie doit être fait avec soin. On doit choisir un endroit bien frais, ombré, sec, de préférence sur une hauteur. Les vallées et les terrains plats et humides ne conviennent pas pour l'établissement d'une laiterie : celle-ci serait bientôt environnée par les eaux de lavage qui, pendant les chaleurs, dégageraient des odeurs malsaines.

La laiterie doit être dans un lieu tranquille, à l'abri des trépidations causées par une force motrice quelconque. Il est nécessaire de l'éloigner des étables, des fumiers, des fosses à purin, des porcheries, des machines à battre, en un mot, de tous les points de la ferme dont les exhalaisons ou les poussières pourraient vicier l'air.

En toute saison, la température ne doit pas monter au-dessus de 12° C., d'où la nécessité de choisir l'exposition au nord toutes les fois que cela est possible. Si l'on se trouve au midi, on fera une plantation d'arbres. Pour que la température reste constante, on installe fréquemment la laiterie dans un lieu légèrement souterrain et voûté. Cette disposition n'est bonne que si on assure la *ventilation et l'écoulement des eaux*.

L'intérieur d'une laiterie doit être spacieux et d'une aération facile. Les fenêtres, munies de châssis à toile métallique, doivent pouvoir être fermées par des croisées vitrées et des volets. Au moyen de ces châssis on peut établir un courant d'air rafraîchissant.

Les murs doivent être épais et même doubles ; il en est de même des portes.

Pour le dallage, comme pour les murs, on doit rechercher des matériaux non poreux ; sinon, le lait s'infiltrerait dans les interstices, y fermente et vicie l'air.

Le sol doit donc être tout à fait imperméable : on le fait en ciment, en bitume, en briques, en dalles de pierre, en carreaux vernis bien cimentés et bien rejointoyés.

Les murs et les plafonds doivent être blanchis avec de la chaux délayée dans du petit lait, ce produit présentant l'avantage de ne pas s'écaille. Pour éviter le développement des moisissures, on peut remplacer le badigeonnage à la chaux par l'emploi du bisulfite de chaux. Dans certaines laiteries on revêt les murs, jusqu'à une hauteur de 1 mètre à 1^m,50, de dalles de pierres ou de marbre, ou encore de plaques de faïence vernissée, faciles à tenir propres.

Les eaux de lavage doivent trouver un écoulement rapide et facile au dehors ; il convient de donner au sol une pente convenable et d'y ménager un égout, qui sera découvert et peu long, afin qu'on puisse le nettoyer aisément. A sa sortie de la laiterie, le conduit de déversement doit être fermé extérieurement par un grillage en fil de fer assez serré et assez résistant pour que, tout en permettant la sortie des eaux et des impuretés, il puisse s'opposer à l'entrée de tout animal nuisible.

Les meilleures tables pour une laiterie sont celles de granit, de verre ou d'ardoise.

Les toitures métalliques doivent être soigneusement écartées. Une excellente disposition est de faire avancer l'égout du toit, comme cela se pratique dans les chalets suisses, afin de rendre plus difficile la pénétration des rayons solaires à l'intérieur de la laiterie.

III

LE TRANSPORT DU LAIT

Le lait produit avec les précautions que nous venons d'indiquer doit être transporté des fermes, soit à la laiterie mécanique où il sera traité pour la fabrication du beurre et du fromage, soit aux laiteries de ville où il sera utilisé pour la consommation. Ce transport doit être effectué avec des précautions sur lesquelles nous allons insister.

1. Ne pas opérer le mélange des traites. — Le lait parfaitement sain doit toujours être *refroidi*. S'il ne l'est pas, il faut se garder d'opérer le mélange d'un lait chaud avec un lait froid; on risque en effet d'amener ainsi dans le lait froid presque aseptique des germes de contamination qui se sont déjà développés dans le lait non refroidi. En particulier, il convient de ne pas mélanger le lait provenant de la traite de veille avec celui de la traite du matin qui est parfois ramassé alors qu'il n'est pas encore froid.

2. Le ramassage du lait pour les beurrieres mécaniques. — Pour les *beurrieres mécaniques*, il suffit que le ramassage du lait dans les diverses fermes se fasse une fois par jour, tous les matins.

Les récipients dont dispose la laitière doivent être bien stérilisés. Nous avons indiqué, dans le paragraphe précédent, le procédé indiqué par M. *Dornic*.

Dans les laiteries coopératives des Charentes et du Poitou¹, les récipients sont des vases de 50 à 100 litres et même 120 litres donnant la facilité de transporter d'assez fortes quantités de lait, 12 à 1.300 litres et plus, dans des véhicules relativement petits. Ces bidons ont l'inconvénient de mélanger des laits de diverses qualités au point de vue des germes qui y sont contenus.

Ces bidons, une fois stérilisés et bien remplis de lait, doivent être fermés hermétiquement pour empêcher pendant le transport l'introduction des poussières et autres impuretés.

3. Conditions que doit remplir le véhicule transporteur du lait. — Le transport du lait se fait généralement par voitures suspendues sur ressorts. En effet les cahots brusques et violents imprimés au liquide ne peuvent que lui nuire, et il peut même en résulter un barattage qui constitue une perte pour l'industriel, le beurre ainsi produit n'étant d'aucun emploi. Ces voitures doivent être munies de bâches pour garantir le lait contre les rayons du soleil. Elles sont généralement à claire-voie pour que l'air puisse circuler autour des bidons; M. *Armand Collard-Bovy*² conseille l'adoption pour les côtés de la caisse d'une disposition analogue à celle des persiennes de fenêtre. Ces voitures doivent être lavées tous les jours et tenues dans un grand état de propreté.

1. DORNIC, *Ramassage et transport du lait pour les laiteries mécaniques et moyen de conservation jusqu'à l'écrémage* (Rapport au Congrès international de laiterie, Paris, 1905. — *L'Industrie frigorifique*, 4^e année, n° 35, avril 1906).

2. A. COLLARD-BOVY, professeur à l'Institut supérieur agronomique et vétérinaire de la nation à Buenos-Ayres (Rapport au Congrès international de laiterie, Paris, 1905. — *L'Industrie frigorifique*, n° 35, 4^e année, avril 1906).

Nous ne connaissons qu'un exemple d'application de l'industrie automobile à la récolte du lait. Il a été tenté par une laiterie d'Eure-et-Loir qui, en remplaçant ses attelages par une automobile d'une puissance de 20 chevaux, a réussi à gagner deux heures sur la durée de sa tournée de cueillette. L'emploi de ce mode de locomotion exige que les bidons soient bien fermés afin d'éviter que l'odeur du pétrole ne se communique au lait.

4. Éviter le barattage pendant le transport. — Pour éviter le barattage pendant le transport, il est nécessaire de remplir complètement les récipients et de placer un flotteur en fer-blanc étamé sur ceux qui sont en partie vides.

5. Frais de transport. — D'après M. Dornic, les frais de transport se montent, en moyenne, à 1 centime par litre de lait. Souvent on donne 1 franc par jour plus 1 centime par litre de lait, ou 4 à 5 francs par jour jusqu'à 500 litres plus 1 centime par litre de lait transporté en sus. Dans beaucoup de laiteries coopératives des Charentes, il y a des entreprises de transport à prix fixe avec lesquelles le marché est passé pour un à trois ans. Dans ce cas, les frais de transport ne dépassent pas 1/2 centime par litre.

6. Heure d'arrivée. — Le service de ramassage doit être tel que tous les laitiers soient rendus à l'usine à onze heures du matin au plus tard, afin que le travail d'écémage puisse être terminé avant midi.

7. Alimentation d'une grande ville. — Adduction du lait frais à Paris. — En France c'est à Paris seulement que le lait amené par voie ferrée correspond à un tonnage réellement considérable et vient d'assez loin pour exiger des mesures spéciales de transport. Le mécanisme de l'adduction du lait frais à Paris est le suivant¹ : De grandes Compagnies se sont constituées, qui ont organisé tout autour de la ville, à des distances variables, des dépôts qui ont la charge de recueillir dans les fermes tout le lait produit dans un secteur déterminé. Le lait, ramassé deux fois par jour, après chaque traite, est conservé dans ces dépôts jusqu'au moment de la remise au chemin de fer qui se fait, soit dans la matinée vers neuf ou dix heures, soit dans la soirée à partir de sept heures.

Le lait voyage en pots de tôle étamée de 20 litres (pot de Paris pesant de 25 à 27 kilogrammes).

La majeure partie du lait amené à Paris est expédiée sur chaque gare d'arrivée par des trains spéciaux, qui quittent le point le plus éloigné entre sept et huit heures du soir, font le ramassage du lait dans les diverses gares intermédiaires et arrivent à Paris entre minuit et deux heures et demie du matin.

Le transport se fait par wagons disposés de telle sorte que l'air circule librement autour des pots et vienne les caresser de toutes parts avec d'autant plus d'intensité, partant d'autant plus de fraîcheur, que le train transporteur marche à une plus grande vitesse.

Dans les wagons découverts, la caisse est à claire-voie et la circulation de l'air se fait tout naturellement. Dans les wagons couverts, les panneaux sont constitués par des planches non jointives, orientées comme les lamelles d'une persienne.

Sur l'ensemble du trafic parisien, il n'y a que trois expéditeurs qui aient isolé la caisse de leur wagon en vue d'y maintenir une température constante, basse en été, tempérée en

1. N. DUGIT-CHESAL, inspecteur des services commerciaux au chemin de fer du Nord, *Transport des produits de laiterie à longues distances par voie ferrée et par eau; Facilités de transport; Tarifs de transport; Exposé pour la France* (Rapport au Congrès international de laiterie, Paris, octobre 1905. — *L'Industrie frigorifique*, 4^e année, n^o 33, février 1906).

hiver de manière à éviter dans le premier cas le réchauffement du lait et dans le second sa congélation ou son trop grand abaissement de température.

8. Transport du lait par wagons isolés. — Alimentation de Berlin. — Nous avons signalé, au chapitre VI (*Transports frigorifiques*), la tentative faite actuellement par le Syndicat des laitiers de Berlin pour amener dans cette dernière ville du lait danois refroidi à $+3^{\circ}$ C. dans les laiteries de départ et transporté dans des wagons-citernes isolés.

IV

LE TRAITEMENT DU LAIT A LA LAITERIE

Les modes de traitement du lait dans les laiteries sont différents suivant les usages auxquels on destine le lait.

1. Lait livré non pasteurisé à la consommation. — Si le lait doit être *livré non pasteurisé à la consommation*, on lui fait subir dans une laiterie de ville les opérations suivantes :

- a) Le lait est *filtré* soit au moyen des types de filtres décrits plus haut, soit par turbination ;
- b) Le lait filtré passe sur un *réfrigérant à ruissellement* où sa *température est abaissée à 4° C.* ;
- c) Le lait est *maintenu jusqu'au moment de la vente à cette température de 4° C.* dans des chambres froides ; il peut être alors contenu soit dans un bassin, soit dans des pots, soit dans des bouteilles.

2. Lait livré pasteurisé à la consommation. — Pour détruire les bactéries pathogènes contenues dans le lait, on le pasteurise souvent avant de le livrer à la consommation. Les opérations auxquelles on soumet le lait sont alors les suivantes :

- α) *Filtrage du lait ;*
- β) *Pasteurisation du lait ;*
- γ) *Réfrigération rapide du lait à la température de 4° C. ;*
- ε) *Maintien du lait à la température de 4° C. jusqu'au moment de la vente.*

Il est absolument nécessaire de produire une *réfrigération très rapide du lait* après la pasteurisation. Un refroidissement lent ferait passer le lait par des températures très favorables au développement des spores qui n'ont pas été tuées par la pasteurisation. Comme les ferments lactiques ont été détruits, il peut se produire dans le lait des altérations. Il est, d'ailleurs, établi qu'un lait se conserve d'autant mieux qu'il a été refroidi plus rapidement. D'autre part, la pasteurisation donne souvent au lait un *goût de cuit* qui diminue sa valeur marchande. Mais, si l'élévation de température n'a pas été poussée trop loin (80° C.), on peut par un refroidissement très rapide parer à cet inconvénient.

3. Pasteurisation du lait. — Dans la pratique de la laiterie, voici les températures¹ qui sont suffisantes pour tuer les germes pathogènes :

Maintenir	70° C.	durant	10	minutes
—	80° C.	—	5	—
—	90° C.	—	2	—
—	95° C.	—	1	—

D'autres auteurs préconisent des températures inférieures à 70° C. Ainsi *Forster* considère comme suffisante la température de 65° C., à la condition de maintenir le lait au moins pendant une demi-heure à cette température. *Russell* et *René Guérault*² prétendent qu'un chauffage de dix minutes à 65° C. suffit pour tuer l'*Oidium lactis*, les mucédinées, les levures, les mycodermes, les microbes pathogènes, les ferments lactiques. Selon le D^r *Schut*³, il vaut mieux faire bouillir le lait sous pression réduite que de le chauffer simplement à la même température ; il préconise comme suffisante pour tuer les microbes pathogènes l'ébullition pendant une demi-heure à 60° C. sous pression réduite. Enfin le D^r *Gerber* propose de chauffer le lait dans des bouteilles pendant une heure à la température de 65° C.⁴

Ces tentatives pour obtenir une pasteurisation convenable du lait à une température inférieure à 70° C. sont provoquées par ce fait que, dès cette température de 70° C., le lait subit des altérations qui s'accroissent rapidement à mesure que la température s'élève. Les matières albuminoïdes enzymatiques qui exercent une action antitoxique et immunisante sur le corps humain subissent une dénaturation au point de vue physiologique. De plus, les ferments lactiques sont détruits, et leur disparition transforme le lait en un bon terrain de culture pour les bactéries qui supportent cette élévation de température.

Ce chauffage à la *température optima* 65-70° C. s'est encore peu répandu dans la pratique de la laiterie. On y effectue le plus souvent la pasteurisation *en chauffant le lait pendant cinq minutes à une température de 80-85° C.*

Pour que la pasteurisation donne de bons résultats, il est nécessaire que le lait soit amené à la température convenable d'une manière progressive et très uniforme. Il faut que le lait ait, *dans toute sa masse*, la température voulue et qu'il soit maintenu un temps suffisant à cette température. Or, il n'en est pas toujours ainsi dans les pasteurisateurs employés généralement dans l'industrie du lait. Celui-ci coule d'une manière continue à l'intérieur d'un vase dont les parois métalliques sont chauffées à la vapeur. Malgré les précautions que l'on prend pour agiter le liquide, toutes ses parties ne sont pas à la même température : celles qui passent au contact des parois métalliques sont portées à une trop haute température et prennent le goût de cuit ; les autres sont souvent à peine chauffées. De plus, le chauffage n'est pas effectué pendant le temps voulu, le lait circulant trop rapidement dans les appareils pour satisfaire à cette condition. La pasteurisation dans les appareils à écoulement continu ne permet donc pas d'obtenir en général un lait suffisamment aseptique. C'est pourquoi M. *Mazé*, chef de travaux à l'Institut Pasteur, s'est préoccupé d'établir un appareil satisfaisant aux conditions suivantes :

a) Pasteurisation effective en vase clos ;

1. SMITH, *The thermal deathpoint of tubercle bacilli in milk and some other fluids* (*The Journal of experimental medicine*, 1899, IV) ; — HESSE, *Ueber das Verhalten pathogener Mikroorganismen in pasteurisierter Milch* (*Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten*, 1900, 34).

2. RENÉ GUÉRAULT, *Principaux défauts des beurres doux et des beurres salés*, Rapport au Congrès international de laiterie, Paris, 1905.

3. SCHUT, *Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten*, 1903, fasc. 2.

4. KASDORF, *Eis und Kälte im Molkereibetrieb*, p. 212.

b) Obtention et constance, pendant un temps déterminé, de la température nécessaire pour détruire tous les ferments du lait;

c) Manifestation du goût de cuit complètement prévenue;

d) Travail sans arrêt et effectué d'une façon pratique.

L'appareil *Mazé* est représenté sur la figure 388.

Il se compose d'un *caléfacteur* A et d'un *recupérateur* ou *réfrigérant* L.

Le *caléfacteur* A comprend une chaudière B, qui renferme un liquide bouillant à une température invariable et fixée à un degré voulu : 65, 70, 75, 80°, ..., suivant le but à atteindre. Ce liquide est chauffé par un serpentín à vapeur d'eau C; ses vapeurs se répandent dans les espaces annulaires E et chauffent les parois multiples sur lesquelles coule le lait à une température invariable.

L'excédent des vapeurs qui n'ont pas été condensées dans l'appareil va se condenser dans

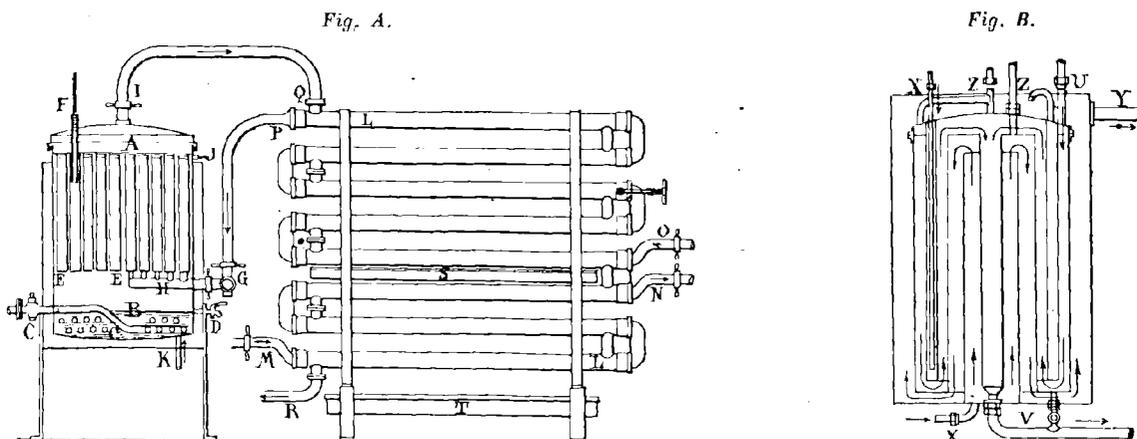


Fig. 388. — Pasteurisateur à lait, système P. Mazé.

Fig. A. — A, caléfacteur, où le lait à pasteuriser circule dans des espaces annulaires; — B, liquide déterminant la température constante; — C, serpentín de chauffe; — D, robinet de jauge; — E, E, espaces annulaires pour les vapeurs chauffantes; — F, thermomètre; — G, robinet d'arrivée du lait à pasteuriser; — H, nourrice de distribution du lait; — I, sortie du lait pasteurisé; — J, passage des vapeurs allant à un condenseur spécial et faisant retour en B par K; — L, réfrigérant récupérateur à tubes concentriques, où circule le lait chaud à refroidir et le lait froid récupérant la chaleur abandonnée; — M, entrée de l'eau dans les éléments inférieurs; — N, sortie d'eau; — O, entrée du lait à pasteuriser; — P, sortie du lait échauffé allant au caléfacteur; — Q, entrée du lait chaud pasteurisé; — R, sortie du lait pasteurisé refroidi; — S, gouttière d'eau d'arrosage des éléments inférieurs; — T, bac recueillant l'eau d'arrosage.

Fig. B. — U, entrée du lait pasteurisé circulant dans un espace annulaire entouré d'eau; — V, sortie du lait refroidi; — X, X, entrées d'eau froide; — Y, sortie d'eau de réfrigération; — Z, Z, dégagements d'air.

un réfrigérant à eau, qui assure le retour du liquide dans la chaudière en K, tout en permettant la rentrée ou la sortie de l'air.

Ce réfrigérant est composé de récipients destinés à isoler de l'air extérieur l'atmosphère intérieure de l'appareil et à éviter toute variation de pression dans l'appareil. L'isolement est obtenu par une soupape de glycérine, dans laquelle barbote l'air; le dispositif adopté empêche l'entraînement de la glycérine dans le serpentín.

Le lait se répand dans les espaces annulaires cylindriques, dans lesquels il est réparti par la nourrice H proportionnellement au volume de ces espaces. Il se répand en nappe horizontale en vertu de sa densité et monte régulièrement pour se réunir dans la chambre du couvercle. Il n'y a donc ni stagnation de liquide, ni formation de poches d'air, inconvénients très graves pour le lait à cause de son altérabilité.

Le *réfrigérant-récupérateur* est composé d'éléments horizontaux formés de deux tubes concentriques, laissant entre eux un espace annulaire aussi mince que l'on veut. Les espaces annulaires communiquent entre eux et forment un chemin de circulation pour le lait pasteurisé qui sort du caléfacteur.

Les tubes internes constituent une chambre unique, avec les coudes (démontables et interchangeable) qui les mettent en communication, parfaitement isolée des espaces annulaires par un joint en caoutchouc.

Le lait froid circule dans les tubes internes et refroidit ainsi le lait chaud, auquel il emprunte sa chaleur. La circulation des deux liquides se fait en sens inverse.

Le réfrigérant agit entièrement comme récupérateur, lorsque le lait pasteurisé est employé à la fabrication du fromage; il doit sortir à 30° environ de l'appareil.

Si le lait est destiné à être transporté ou conservé pendant quelque temps, la réfrigération doit être poussée aussi loin que possible. A cet effet, on fait circuler de l'eau dans les tubes internes des derniers éléments, et on fait couler, sur leur surface externe, de l'eau froide déversée par une gouttière. La réfrigération n'est ainsi limitée que par la température de l'eau. Il est même facile, s'il y a intérêt à le faire, de refroidir au moyen d'une solution incongelable, fournie par une machine frigorifique. Le lait, refroidi vers 0° après une pasteurisation bien conduite, peut se conserver plusieurs jours.

L'emploi d'un réfrigérant-récupérateur est très économique; mais, si l'on ne tient pas à faire la récupération de la chaleur, il est préférable d'employer le réfrigérant (*fig. B*).

Dans cet appareil, le lait circule à l'abri de l'air et en sens inverse de l'eau. Ce réfrigérant présente une très grande surface sous un faible volume. Une vis d'Archimède force le lait à lécher constamment les parois froides du tube de sortie. Le nettoyage en est facile, car la zone refroidissante est fixée au couvercle et s'enlève avec lui, en rendant facilement accessible à la brosse toutes les parois le long desquelles circule le lait.

Le caléfacteur fonctionne comme réchauffeur de lait pour l'écrémage ou pour la mise en présure et comme pasteurisateur.

Pour le réchauffage du lait, on commence par remplir l'appareil; on ouvre alors le robinet de vapeur C, qui amène de la vapeur à la pression d'un 1/2 kilogramme. La température est donnée par un thermomètre F, placé sur le couvercle.

Lorsque cette température est atteinte, on ouvre le robinet d'arrivée du lait G, de façon à maintenir la température au degré voulu.

La surface de chauffe étant très développée, l'appareil a une puissance relativement considérable. Comme la température des vapeurs chauffantes ne dépasse pas au maximum 65°, l'encrassement est impossible.

Quand le caléfacteur fonctionne comme pasteurisateur, le réglage de la température est automatique; il suffit alors de ne pas admettre plus de vapeur que l'appareil n'en peut utiliser, car le débit de l'appareil est limité non par le défaut de chauffage, mais par la lenteur de la réfrigération et par la durée d'action de la température de pasteurisation qui doit être d'autant plus grande que cette température est plus basse. S'il s'agit de pasteuriser du lait pour la fabrication du fromage, on doit chauffer à 65° pendant cinq minutes; pour la crème ou le lait destiné à être vendu en nature, un chauffage de cinq minutes à 69-70° est suffisant. Si on a des doutes sur l'origine du lait, il faut chauffer à 80° pendant cinq minutes; c'est le traitement qui convient le mieux pour les établissements connus sous le nom de *Gouttes de lait*.

Toutes les parties de l'appareil, caléfacteur et réfrigérants, sont accessibles à la brosse. Les tubes du récupérateur sont démontables. Comme il n'y a pas d'encrassement, ni de cuisson de la caséine, le dépôt qui se forme sur les parois est entraîné par l'eau bouillante. Une circulation de vapeur dans tout l'appareil permet de le stériliser après et avant chaque période de travail.

Les résultats obtenus dans la pratique avec le pasteurisateur *Mazé* sont réunis dans le tableau LXVIII.

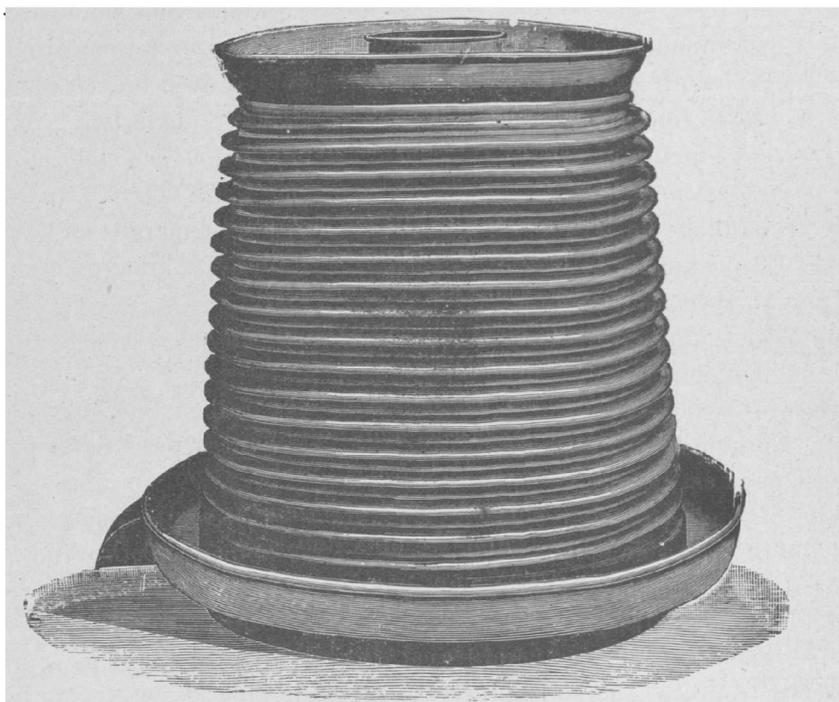
TABLEAU LXVIII

RENDEMENTS OBTENUS DANS LA PRATIQUE PAR LE PASTEURISATEUR MAZÉ

CAPACITÉ DU CALÉFACTEUR EN LITRES	RENDEMENT EN LITRES EN LAIT CHAUFFÉ à 30° par heure	RENDEMENT EN LAIT PASTEURISÉ par heure
50	3.000	500
100	6.000	1.000
200	12.000	2.000

4. Cas où le lait doit être écrémé. — La crème n'est pas pasteurisée; le lait écrémé n'est pas pasteurisé. — Lorsque le lait doit être écrémé, on lui fait subir les manipulations suivantes :

- a) Filtrage du lait;
- b) Réchauffage du lait à une température maximum de 25° à 27° C.



Cliché Loudon M. Douglas.

FIG. 389. — Réfrigérant Capillaire pour la crème.

Comme le fait remarquer M. Dornic¹, la température optima à laquelle on doit réchauffer le lait est celle de la traite. Malheureusement, il est rarement possible d'écrémer le lait immédiatement après sa sortie du pis de la vache et sans chauffage artificiel. Mais la température à laquelle on doit chauffer le lait doit être aussi peu élevée que possible au-dessus de 20° C., afin de ne pas placer le lait dans des conditions de température favorables au

1. DORNIC, *Chauffage du lait avant l'écémage. Règles à suivre : température de chauffage; Importance du système de réchauffeur sur la qualité de la crème et du beurre* (Rapport au Congrès international de laiterie, Paris, 1905); — René GUÉRAULT, *Rapport au Congrès international de laiterie, Paris, 1905*).

développement des microbes. L'effet du chauffage doit être seulement de permettre un bon écrémage, c'est-à-dire une séparation aussi complète que possible des globules gras du lait. Quand on a atteint la température pour laquelle cet effet est produit, on ne doit pas la dépasser. Dans toutes les laiteries coopératives des Charentes et du Poitou, l'écrémage se fait à la température du lait, donc à froid, pendant quatre à cinq mois de l'année (mai à septembre); en hiver, on chauffe au maximum à 25-27° C., quelle que soit la rigueur du temps.

Les observations que nous avons faites à propos des pasteurisateurs peuvent se répéter

ARRANGEMENT OF AUXILIARY CREAMERY

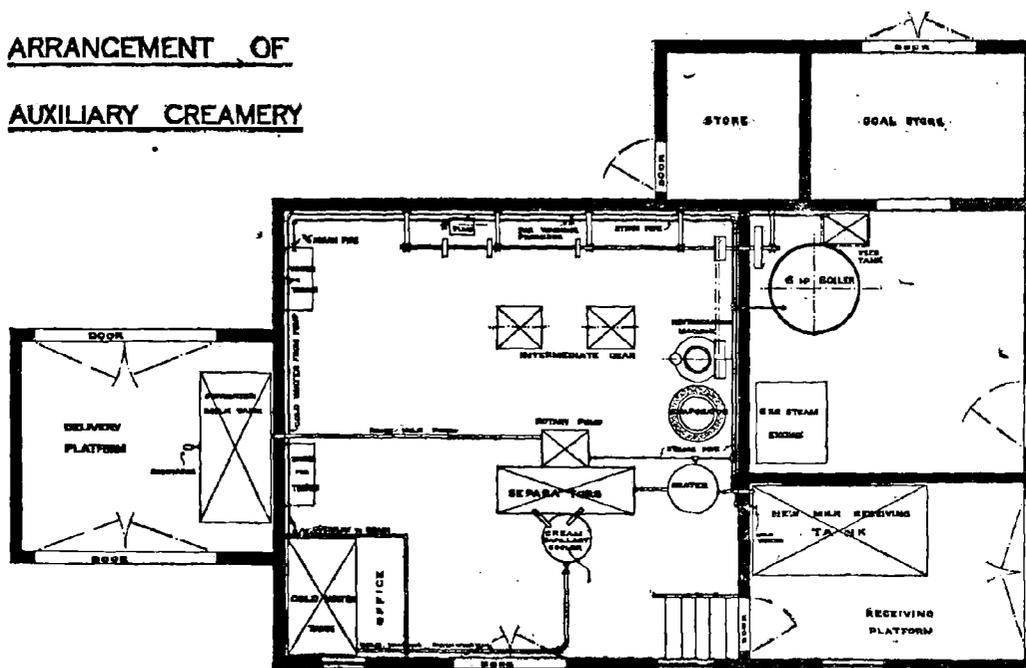


FIG. 390. — Aménagement d'une crèmerie agricole.

6HP boiler, chaudière de 6 chevaux; — Coal store, magasin à charbon; — Cold water delivery, distribution d'eau froide; — Cold water from pump, eau froide venant de la pompe; — Cold water tank, réservoir à eau froide; — Cream capillary cooler, refroidisseur capillaire à crème; — Delivery platform, magasin de livraison; — Discharge, vidange (robinet de); — Door, porte; — Evaporator, évaporateur de la machine frigorifique; — Feed tank, réservoir d'alimentation; — For washing premises, pour laver les locaux; — Heater, réchauffeur; — Intermediate gear, transmission intermédiaire; — New milk receiving tank, réservoir pour le lait frais nouvellement reçu; — Office, bureau; — Overflow to drain, trop-plein; — Pump, pompe; — Receiving platform, magasin de réception; — Refrigerating machine, machine frigorifique; — Rotary pump, pompe rotatoire; — Separators, écrémeuses; — Shelf for tester, matériel de l'essayeur; — Skim milk pipe, tuyauterie pour le lait écrémé; — 6HP steam engine, machine à vapeur de 6 chevaux; — Steam pipe, conduite de vapeur; — Store, magasin; — Water trough, bassin pour l'eau.

pour les réchauffeurs. Un bon réchauffeur doit permettre un chauffage progressif, uniforme; un chauffage inégal, trop brusque ou trop élevé, amènerait certains globules gras à être chauffés en milieu acide à cinq ou six degrés de plus que les autres et produirait une diminution dans la finesse de l'arôme de la crème obtenue.

c) Le lait est centrifugé¹;

d) La crème sortant de l'écrémeuse centrifuge est refroidie le plus rapidement possible à la température de 4° C. La figure 389 représente un réfrigérant à crème.

Le lait écrémé sortant de l'écrémeuse est refroidi le plus rapidement possible à la température de 4° C.

La figure 390 représente l'aménagement d'une crèmerie agricole où se font les opérations que nous venons d'indiquer.

1. Pour la description des écrémeuses centrifuges, nous prions le lecteur de se reporter au *Traité de Laiterie* de M. Ch. MARTIN, p. 109 à 136; — Voir aussi O. KASDORF, *l'Essai des écrémeuses*, Rapport au Congrès international de laiterie, Paris, 1905.

5. Pasteurisation de la crème et du lait écrémé. — Tout le monde est d'accord aujourd'hui sur la nécessité de pasteuriser la crème et le lait écrémé. En effet, le beurre fabriqué avec de la crème non pasteurisée peut, au même titre que le lait en nature, présenter un danger considérable pour l'hygiène publique au point de vue de la propagation de la fièvre typhoïde et surtout de la tuberculose¹. D'autre part, l'industriel laitier trouve dans la crème non pasteurisée une grande quantité de microbes de putréfaction. L'acidité que produisent les ferments lactiques pendant la maturation de la crème nuit au développement de ces microbes; mais ils y vivent tout de même, arrivent parfois à prendre la prédominance sur les ferments lactiques et communiquent au beurre des goûts étrangers désignés sous le nom de goût de poisson, de navets, de betteraves, etc. Si l'on veut obtenir un bon beurre, il faut détruire, au préalable, ces microbes nuisibles et assurer le développement des ferments lactiques par un ensemencement aussi abondant que possible, de façon à ce qu'ils prennent rapidement la prédominance et empêchent le développement des microbes de la putréfaction en élevant immédiatement l'acidité du milieu.

D'autre part, le lait écrémé est employé à l'alimentation des veaux et des porcs, à la panification et à la fabrication des fromages maigres. Il s'en fait maintenant une grande consommation dans les grands centres manufacturiers. A ce titre, sa pasteurisation est donc absolument nécessaire.

La pasteurisation de la crème est généralement effectuée à la température de 80-85° C. Il faut, pour cette pasteurisation, tenir compte des remarques faites plus haut à propos de la pasteurisation du lait.

Après la pasteurisation, la crème qui n'est pas mise à mûrir, doit être immédiatement refroidie le plus rapidement possible à la température de 4° C. La même opération doit être faite sur le lait écrémé.

On a prétendu que la pasteurisation de la crème diminuait la perte en beurre au baratage et avait une influence défavorable sur la qualité du beurre produit. Il n'en est absolument rien, si la pasteurisation est bien faite, et si la crème pasteurisée estensemencée ensuite avec des ferments lactiques sélectionnés.

Quelques auteurs proposent de pasteuriser d'abord le lait avant de l'écramer. MM. *Marcas* et *Henseval*² ont remarqué qu'il est parfaitement possible d'écramer le lait après pasteurisation à 85° à condition de l'écramer à haute température : 60, 70, 80 ou 85° C. A ces températures, on obtient un écrémage presque parfait. L'examen microscopique montre que ce lait renferme moins de granules graisseux que le même lait non pasteurisé et écrémé à 25°. M. *Richard Büsing*, directeur de la laiterie de Strückhausen (grand-duché d'Oldenbourg)³, conseille de refroidir à 50° environ le lait sortant du pasteurisateur et de le centrifuger à cette température.

6. Appareil réchauffeur. — Réchauffeur-refroidisseur. — Refroidisseur Kasdorf. — On peut se servir de la chaleur dégagée pendant son refroidissement par le lait pasteurisé pour échauffer le lait destiné à être centrifugé. L'appareil suivant combiné par O. Kasdorf permet d'arriver à ce résultat⁴. Il est représenté sur la figure 391. Il se

1. L. MARCAS, directeur de la Station laitière de l'État à Gembloux (Belgique), et M. HENSEVAL, directeur du Laboratoire du service de santé et d'hygiène à Bruxelles, *la Pasteurisation de la crème en laiterie*, Rapport au Congrès international de laiterie, Paris, 1905; — René GUÉRAULT, *Principaux défauts des beurres doux et des beurres salés; leur origine et la façon de les éviter*, Rapport au Congrès international de laiterie, Paris, 1905.

2. MARCAS et HENSEVAL, *loc. cit.*

3. R. BUSING, *Erfahrungen mit Kühlmaschinen-Anlagen im Molkereibetrieb (Eis und Kälte-Industrie, t. V, n° 12, 20 décembre 1903)*.

4. KASDORF, *Eis und Kälte im Molkereibetrieb*, p. 200.

compose essentiellement de deux parties : le *réfrigérant intérieur* (*c*), fixé sur un support (*f*), que l'on peut faire mouvoir suivant la verticale; le *manteau extérieur* (*h*), qui sert à produire un premier abaissement de température du lait pasteurisé. Ce dernier est formé d'une plaque de cuivre ondulée de forme conique appliquée hermétiquement sur le manteau (*l*) du réfrigérant intérieur, de telle manière que la surface extérieure du manteau et la surface intérieure de la plaque de cuivre ondulée forment une sorte de serpentín. Dans ce serpentín arrive par le tube *C* le lait pasteurisé venant du pasteurisateur; ce lait s'élève de bas en haut. D'autre part, on fait couler sur la face extérieure de la plaque ondulée, le lait que l'on veut réchauffer en vue de le centrifuger; ce dernier arrive par le canal *A*, est amené, après avoir ruisselé sur la surface extérieure du manteau ondulé, dans une rigole d'où il sort par *B*. Quant au lait pasteurisé qui a subi un premier abaissement de température en circulant entre la plaque ondulée (*h*) et le manteau (*l*), il vient, lorsqu'il est arrivé à la partie supérieure du réfrigérant extérieur, ruisseler sur la surface du réfrigérant intérieur à manteau. Dans le serpentín de ce dernier réfrigérant circule, dans la partie supérieure, de l'eau de puits et, dans la partie inférieure, de la saumure refroidie ou un fluide frigorifère.

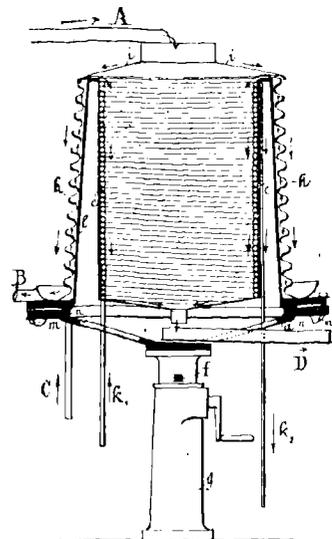


FIG. 391.
Réchauffeur-refroidisseur Kasdorf.

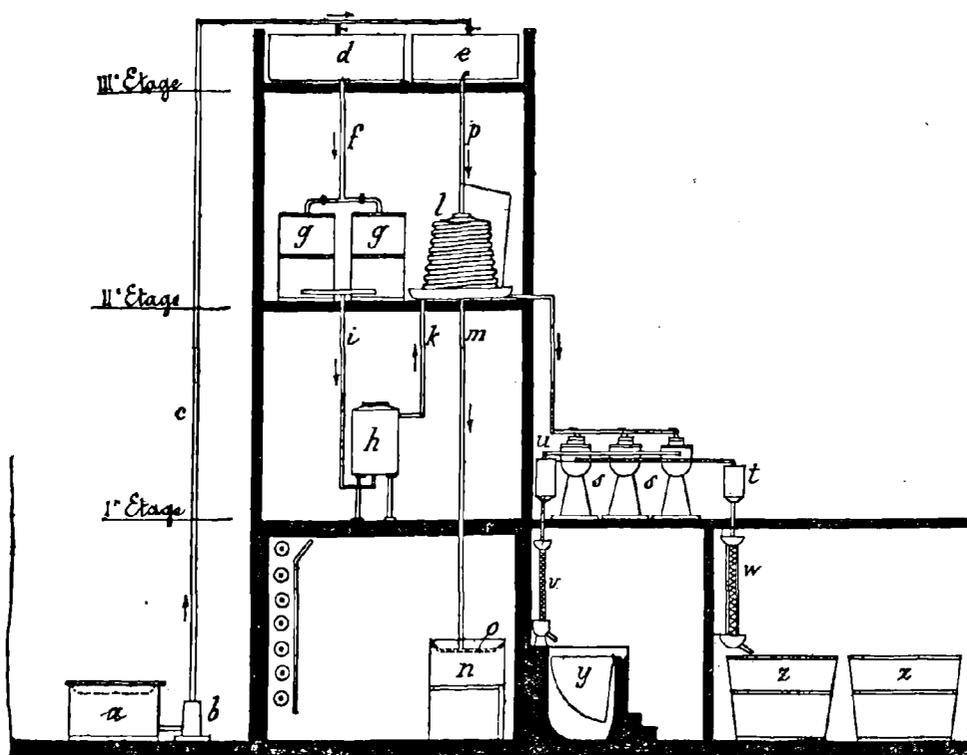
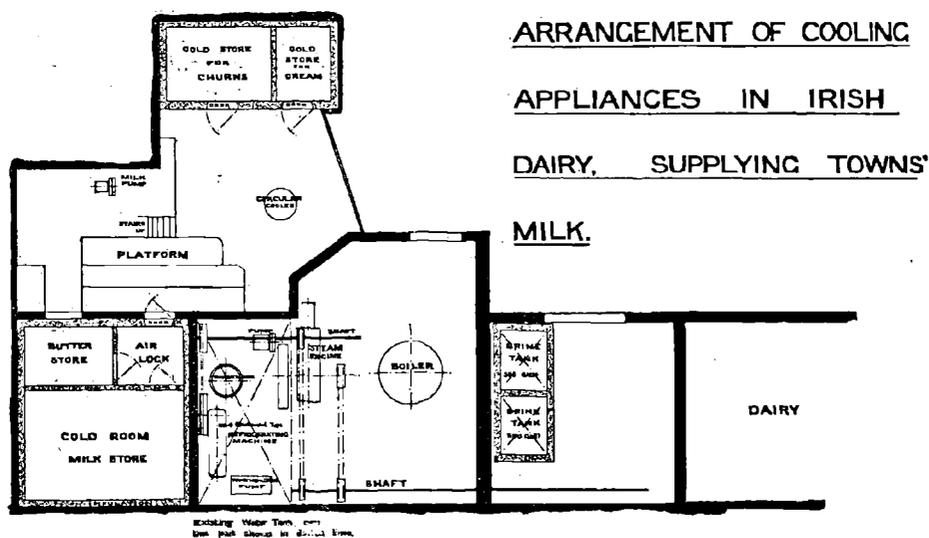


FIG. 392. — Schéma d'une installation de laiterie.

fique. Dans ces conditions, le lait pasteurisé sort en *D* à la température de 4° C. De plus, comme on peut le voir, ce liquide ne s'est pas trouvé pendant son refroidissement en contact avec l'atmosphère extérieure.

La figure 392 montre l'application de ce réfrigérant dans une laiterie installée pour produire : 1° du lait pasteurisé destiné à être vendu directement ; 2° du beurre et du fromage maigre faits avec de la crème et du lait écrémé non pasteurisés. Le lait arrivant à la laiterie est d'abord débarrassé de ses impuretés par son passage au travers d'un filtre placé sur le bassin *a*. Il est ensuite élevé par une pompe *b* dans les bassins *d* et *e* placés au troisième étage. Le lait destiné à la vente se rassemble dans le bassin *d*, tandis que celui qui doit être soumis à l'écémage vient dans le bassin *e*. Du bassin *d*, le lait se rend par le tuyau *f* dans le filtre *g* ; de là, il passe dans le pasteuriseur *h*. Sans être mis en contact avec l'air extérieur, le lait est conduit par le tuyau *k* dans le réchauffeur-refroidisseur *l* à l'intérieur



Cliché Loudon M. Douglas.

FIG. 393. — Aménagement frigorifique d'une laiterie irlandaise distribuant le lait en ville.

Air lock, sas à air ; — *Boiler*, chaudière ; — *Brine tank*, réservoir à saumure incongelable ; — *500 gallons*, environ deux mètres cubes ; — *Butter store*, magasin à beurre ; — *Circular cooler*, refroidisseur circulaire ; — *Cold room*, chambre froide ; — *Milk store*, magasin à lait ; — *Cold store for churns*, magasin froid pour barattes ; — *Cold store for cream*, magasin froid pour la crème ; — *Condenser*, condenseur de la machine frigorifique ; — *Dairy*, laiterie ; — *Door*, porte ; — *Milk pump*, pompe à lait ; — *Pump*, pompe ; — *Refrigerating machine*, machine frigorifique ; — *Shaft*, arbre de transmission ; — *Stairsup*, escalier ; — *Steam engine*, machine à vapeur ; — *Worthington pump*, pompe Worthington.

Existing water tank over this part shown in dotted lines. — Il existe au-dessus de cette partie un réservoir à eau, figuré en pointillé.

duquel il circule. Sur la surface extérieure de ce réchauffeur-refroidisseur coule du lait froid qui vient du bassin *e* ; ce lait s'échauffe jusqu'à la température de l'écémage en échangeant de la chaleur avec le lait pasteurisé. En même temps, le lait pasteurisé est refroidi à environ 4° C., en ruisselant sur l'appareil intérieur refroidi par de la saumure. Le lait ainsi refroidi coule par le tube *m* dans le bassin *n* placé dans une chambre froide ; il y est conservé à une température d'environ 4° C. Le lait réchauffé par le refroidisseur-réchauffeur *l* arrive par le tuyau *r* dans les écrémeuses *s*. La crème passe alors par *u* sur le réfrigérant *v* dans le bassin à crème *y*, tandis que le lait non écrémé, après avoir ruisselé sur un réfrigérant *w*, coule dans les cuves à fromages *z*.

La figure 393 représente l'aménagement frigorifique d'une laiterie irlandaise installée par la maison *Douglas* de Londres.

V

LA CONGÉLATION DU LAIT

1. Recherches de Duclaux. — *Duclaux*¹ a montré que, lorsqu'on porte du lait à une basse température, il se congèle surtout de l'eau dont les cristaux, en s'enchevêtrant, retiennent à la façon d'une éponge une dissolution plus concentrée des matières en dissolution (sucre de lait, caséine, sels solubles) et des matières en suspension (matières grasses, caséine, phosphate de chaux). Si on abandonne au repos ce mélange hétérogène, il se disloque; le liquide concentré des couches supérieures descend peu à peu dans les couches inférieures; celles-ci contiennent alors un lait plus riche en sucre de lait, caséine et phosphate de chaux que les couches supérieures. Mais la matière grasse ne suit pas dans son mouvement de descente le lait concentré qui imprègne les cristaux. Le lait du bas est un peu moins riche en beurre que le lait du haut. Les globules de matière grasse se sont solidifiés à la basse température à laquelle on les a portés et se sont collés aux cristaux de glace.

Ces remarques permettent de rendre compte de la plupart des faits observés jusqu'ici dans la congélation du lait.

2. Congélation du lait. — Si on *congèle lentement une grande masse de lait*, on observe qu'elle se divise en plusieurs parties. La partie supérieure blanche contient surtout de la matière grasse; la partie inférieure contient beaucoup de caséine, de lactose et de phosphate de chaux; la partie centrale est formée d'une grande quantité de lactose et de caséine. Cette distribution des couches dans une masse de lait congelé a été observée nettement par les D^{rs} *Bordas* et *Raczkowski*. *Duclaux* a fait une observation analogue sur des pains de lait congelé fournis par la maison Gillay de Lille : le liquide provenant de la fonte de la partie inférieure du pain était plus riche que celui de la partie supérieure; de ces deux liquides, l'un était plus dilué que le lait initial, l'autre était plus concentré. En laissant fondre lentement un de ces pains congelés, on avait, à l'origine, un lait très concentré, puis des laits de plus en plus aqueux, jusqu'à de l'eau pure, ou à peine troublée par des globules de matière grasse en suspension : les dernières parties du glaçon, en fondant, donnaient naissance à une écume de plus en plus épaisse formée de globules gras.

3. Congélation rapide de petites masses de lait. — **Lait provenant de leur décongélation.** — Une telle séparation ne s'observe pas lorsque le *lait pris en petites masses est rapidement congelé*. On a donc intérêt dans la pratique à congeler le lait sous un petit volume dans des bouteilles de 1 à 2 litres et à le livrer ainsi à la consommation. Dans ces conditions, si le lait n'est *pas maintenu longtemps à basse température*, il suffit, comme l'a constaté le D^r *Bischoff*², de produire la décongélation totale ou *partielle à la température des eaux de canalisation des villes*, pour avoir un liquide possédant l'aspect, le goût, toutes les qualités du lait pris à la ferme. On obtient le même résultat avec des blocs de lait présentant un plus grand volume (10 à 15 litres). C'est ce qu'a constaté directement M. A. Mille³

1. DUCLAUX, *Sur le lait congelé* (*Annales de l'Institut Pasteur*, t. X, 1896, p. 393).

2. D^r BISCHOFF, *Archiv für Hygiene*, 1903, fasc. 2; — O. KASDORF, *Eis und Kälte in Molkebetrieb*, p. 208.

3. A. MILLE, *Congélation du lait pour le transport à grandes distances* (*L'Industrie frigorifique*, 1^{re} année, n° 6, p. 4).

sur des blocs de lait congelé ayant des diamètres variant de 40 à 85 millimètres et des hauteurs comprises entre 400 et 800 millimètres. Dans le dégel de chaque bloc les différentes parties du lait dégelé présentèrent la même composition.

4. Liquides résultant de la décongélation partielle d'une grande masse de lait. — Il n'en est plus de même lorsqu'il s'agit de gros blocs de lait congelé, par exemple de blocs ayant un diamètre supérieur à 150 millimètres et un volume supérieur à 25 litres.

Dans ce cas, la séparation en diverses couches s'effectue comme nous l'avons dit plus haut. Il en résulte que, *si on puise du liquide avant la fusion totale du bloc de lait, ce liquide n'a pas la constitution du lait normal et, par suite, n'en possède pas la saveur ordinaire; c'est du lait qui, comme on dit souvent, a pris un goût.* Au début de la fusion, on retire du lait concentré et privé de matière grasse; à la fin de la fusion, on a du lait moins concentré qui peut arriver à être de l'eau presque pure.

Au contraire, si on laisse le bloc de lait se fondre complètement, puis qu'on brasse un peu la masse, de façon à en assurer l'homogénéité, on ne trouve aucun goût particulier à ce lait congelé. La moindre pasteurisation, même faite avec précaution à aussi basse température que possible, change le goût bien davantage.

Il résulte immédiatement de ce que nous venons de dire que, *lorsqu'on utilise du lait congelé, il est bon, d'une part, de ne pas séparer en diverses parties le bloc obtenu avec un lait déterminé et, d'autre part, de ne pas puiser le liquide de fusion avant d'avoir laissé fondre complètement le bloc.*

5. Le lait bouilli n'est pas propre à la congélation. — Nous venons de dire, d'après Duclaux, que, pour retrouver un lait ayant les propriétés du lait ordinaire, il suffit de brasser la masse de lait décongelée. En réalité, d'après Otto Kasdorf, il n'en est ainsi que si le lait soumis à la congélation est du lait naturel; dans ce cas, la matière grasse du lait séparée sous forme de globules par la congélation, peut être de nouveau mélangée au sérum après décongélation et échauffement de ce lait. Il n'en est plus de même si le lait a été stérilisé avant d'être congelé, notamment s'il a été porté à l'ébullition. Le Dr Renck a constaté en effet que du lait bouilli, soumis à la congélation, puis décongelé, se couvre de grumeaux jaunes de matière grasse flottant à sa surface. *Du lait bouilli ne doit donc pas être congelé.*

6. Transformations qui se produisent dans une masse de lait maintenu longtemps congelé. — Nous avons supposé que le lait n'était soumis à la congélation que pendant un temps assez court. Lorsque le lait est soumis pendant longtemps à la congélation, il se produit une modification qui a été étudiée par Bischoff¹. Dans la masse décongelée on peut mettre en évidence de petits noyaux floconneux formés principalement d'albumine et de matière grasse. Ces noyaux se comportent différemment suivant le temps pendant lequel le lait a été maintenu congelé. Lorsque la durée de congélation ne dépasse pas quatorze jours, ces noyaux se dissolvent en très grande partie après un échauffement d'une demi-heure à 65° C.; pareille dissolution ne se produit pas à 25° C. et à 37° C., même quand on maintient le lait à ces températures pendant cinq heures. Par l'ébullition du lait au bain-marie, ces flocons se dissolvent immédiatement; le lait décongelé qui a été bouilli filtre en effet facilement au travers d'un filtre en papier gris, alors que le lait fraîchement décongelé ne filtre que très lentement.

1. KASDOHF, *Eis und Kälte im Molkebetrieb*, p. 21.

Cette dissolution s'obtient encore après ébullition lorsque le lait a été congelé pendant un intervalle de temps allant jusqu'à trois semaines. Après quatre ou cinq semaines de congélation, les noyaux floconneux ne peuvent pas être entièrement dissous, même par l'ébullition. Après trois mois de congélation, ils sont devenus totalement insolubles. *On voit donc qu'il ne convient pas de soumettre du lait à la congélation pendant un intervalle de temps supérieur à quatre ou cinq semaines.*

7. Lait réfrigéré. — Procédé Casse. — Au lieu de conserver le lait en le congelant, comme nous venons de l'indiquer, il est préférable d'opérer cette conservation en le refroidissant de la manière suivante.

Dans du lait amené à la température ordinaire, on introduit une masse de lait congelé. Celui-ci, en fondant, abaisse la température du lait liquide et la maintient assez basse pour que la conservation soit possible. Pour maintenir intacts pendant deux ou trois semaines le goût et la qualité du lait, il faut que la masse solide soit environ la moitié de la masse totale du lait.

Ce mode de conservation appliqué pour la première fois en 1893 par l'ingénieur danois Casse, est connu dans l'industrie laitière sous le nom de *Procédé Casse*; le lait ainsi conservé est désigné sous le nom de *lait réfrigéré* (*Kaltnmilch*, en allemand) pour le distinguer du *lait congelé* (*Eismilch*, en allemand).

La première application pratique du procédé Casse est faite en Suède et en Danemark. Les essais préliminaires sont à peine terminés que la Suède envoie à Londres du lait réfrigéré par cette méthode et qu'on utilise cette dernière pour l'alimentation de Copenhague. Une société au capital de un million de couronnes transporte chaque jour 30.000 litres de lait de l'île de Fünen à Copenhague (distance : 160 kilomètres). Dans des laiteries installées à Fünen, le lait est d'abord refroidi à + 2° C. et introduit dans des tonneaux d'une contenance d'environ 500 litres. Le lait liquide, additionné de 50 0/0 de lait congelé, est transporté à Copenhague où il est placé, jusqu'au moment de la vente, dans des chambres froides. Le lait est débité, comme toutes les autres denrées conservées au frigorifique¹.

8. Lait réfrigéré. — Procédé Helm. — Modification du procédé Casse. — Cette méthode n'est pas économique parce que la moitié du lait doit être congelée. Or, pour congeler 1 kilogramme de lait, il faut produire 130 à 140 frigories dont 80 seulement sont dégagées par la fusion du lait solide : il y a donc de ce fait 60 frigories perdues. Si on veut réduire les frais d'exploitation, il est nécessaire de diminuer la quantité de lait congelé dont on additionne le lait liquide.

C'est à ce but que tend l'ingénieur Helm par la méthode suivante : Le lait amené à la laiterie, après avoir été reconnu bon, est d'abord pasteurisé, puis refroidi à la température de + 1° ou + 2° C., au moyen de l'un des appareils que nous avons décrits au chapitre IV de cet ouvrage. Ainsi refroidi, il est versé dans les pots qui serviront à le transporter, puis introduit au frigorifique. Au moment de l'expédition ce lait est, suivant la saison, additionné d'une plus ou moins grande quantité de lait congelé.

9. Lait réfrigéré. — Procédé Bernstein. — Dans le procédé Casse le lait congelé, plus léger que le liquide, flotte à la surface de celui-ci. Les courants qui se forment

¹ HRLM, *Deutsche Vierteljahrsschrift für öffentliche Gesundheitspflege*, t. XXXII; — O. KASDORF, *Eis und Kälte im Molkereibetrieb*, p. 161.

dans le liquide ne sont pas suffisants pour empêcher la matière grasse de monter à la surface. Une agitation convenable serait seule capable d'empêcher cet écrémage; or une telle agitation est impossible à réaliser pendant le transport du lait.

Bernstein a eu l'idée de compenser cet appauvrissement en matière grasse des couches inférieures du lait en produisant au sein de ces couches la fusion d'une masse de lait congelé; cette fusion réalise, en outre, l'abaissement de la température du lait liquide. Dans le procédé *Bernstein*, on n'empêche pas la crème de monter à la surface; mais, tout en refroidissant le lait, on maintient sa teneur en matière grasse à peu près constante, en mélangeant aux couches inférieures du lait refroidi une certaine masse de lait provenant de la fusion de lait congelé de composition normale.

On obtient ce résultat en introduisant un morceau de métal à l'intérieur de la masse de lait congelé, c'est-à-dire en laissant emprisonner un morceau de métal dans la masse du lait au moment de sa solidification. Le morceau de lait solide (contenant le métal) est alors plus lourd que le lait liquide. Il tombe à la partie inférieure du vase contenant le lait à refroidir; en fondant, non seulement il refroidit le lait, mais encore il maintient, malgré la montée de la crème à la surface, sa teneur en matière grasse sensiblement constante.

10. Addition proposée par Bernstein de cultures pures de ferment lactique au lait pasteurisé, puis réfrigéré. — *Bernstein* a d'ailleurs introduit un autre perfectionnement dans la préparation du lait réfrigéré à partir du lait pasteurisé. On sait qu'en échauffant le lait on produit deux sortes de transformations: une réaction chimique qui se manifeste par la coagulation de l'albumine, par la décomposition des sels de chaux; une action bactériologique par laquelle sont détruits les bactéries pathogènes et les microbes de la fermentation lactique. Avec ces derniers disparaît en même temps la possibilité d'entraver d'une manière naturelle le développement des germes peptonisants. Il résulte de là que les bactéries de la putréfaction reprennent le dessus et produisent une décomposition et une destruction des matières albuminoïdes. Il est alors douteux qu'un tel lait constitue un aliment convenable. Il faut remarquer, d'autre part, que la présence des bactéries de la fermentation lactique est nécessaire dans le phénomène de la maturation du fromage.

On peut remédier à ces inconvénients en ajoutant au lait, immédiatement après l'avoir échauffé puis refroidi, du lait aigri ou des cultures pures de ferment lactique. Par là on entrave le développement des germes peptonisants et le lait reprend l'aspect, l'odeur et le goût du lait frais¹.

11. Le froid dans la fabrication du lait condensé. — On fabrique actuellement le lait condensé et le lait pulvérisé² en soumettant ce corps à l'évaporation dans le vide. Cette évaporation rencontre de nombreuses difficultés, nécessite des appareils compliqués et communique au lait une certaine saveur qui n'est pas très agréable. Or, nous avons vu plus haut que la principale action du froid sur le lait consiste dans la séparation de ce corps en deux parties: une partie solide formée d'eau presque pure et une partie liquide dans laquelle se sont concentrés presque tous les éléments du lait, la caséine, le sucre de lait, le phosphate de chaux. Les cristaux de glace retiennent bien entre eux une partie de ce liquide, mais la séparation se fait facilement en essorant ces cristaux ou en les laissant s'égoutter spontanément.

1. Ces renseignements sont empruntés à l'ouvrage d'Otto Kasdorf, p. 463.

2. Voir, pour les diverses préparations du lait en poudre, le mémoire suivant: A. FARINES, chef de laboratoire à l'École nationale d'industrie laitière de Mamirolle, *Laits en poudre*. Rapport au Congrès international de laiterie, Paris, octobre 1905.

On voit donc qu'il est possible de préparer du lait condensé au moyen du froid. Cette méthode n'est pas encore entrée dans la pratique industrielle. Divers procédés de fabrication ont été essayés : le meilleur semble être le procédé *Gürber*.

Il consiste à projeter du lait sur la surface d'un cylindre tournant qui est refroidi intérieurement par un courant de liquide à très basse température. L'eau du lait se dépose en majeure partie sur la surface du cylindre à l'état de glace. Le schéma de l'appareil de Gürber est représenté sur la figure 394. Il se compose d'un tambour horizontal creux 1 à l'intérieur duquel coule de 6 en 7 un liquide froid. Ce tambour réfrigérant 1 est entouré d'un cylindre 3 divisé en trois parties. Dans chacun de ces compartiments, dont les cloisons finissent à une légère distance du tambour réfrigérant, se trouve un appareil terminé par une sorte de pomme d'arrosoir (4,5); cet appareil est disposé de telle manière que de l'extérieur on puisse régler la distance de cette pomme d'arrosoir à la surface du cylindre froid. Le lait arrive par l'ajutage 4 dans le compartiment I. Le cylindre, qui tourne avec une vitesse de 10.000 tours à la minute et qui est refroidi par un liquide porté à -25°C ., produit la concentration du lait en précipitant l'eau sous forme de glace à sa surface. Lorsque la couche de glace est suffisamment épaisse, on déplace latéralement le cylindre de gauche à droite, de telle façon que le compartiment II vienne dans la position marquée en pointillé sur la figure 394 : la pomme d'arrosoir *c* vient en *a*, et la pomme d'arrosoir *d* vient en *b*. Le lait arrivant toujours par 4 sur la partie *b* du cylindre, sa concentration continue. On dirige alors par le tube 5 de la vapeur sur la glace déposée en *a* et on produit la fusion de cette glace.

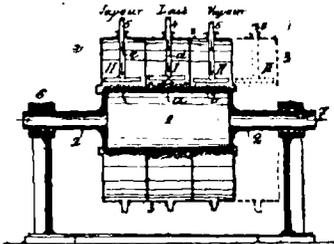


FIG. 394. — Procédé Gürber pour la fabrication par le froid du lait condensé.

Le lait concentré obtenu par cette méthode peut, si l'on veut, être additionné de sucre, de crème ou d'eau; il peut être employé tout aussi bien pour les usages ordinaires que pour l'alimentation des nourrissons. La congélation présente d'ailleurs l'avantage de ne pas dénaturer les substances albuminoïdes.

VI

MATURATION DE LA CRÈME¹. — BARATTAGE

1. Nécessité de la maturation de la crème. — En général, la crème n'est pas barattée dès qu'elle est recueillie. Le barattage d'une crème douce donne un beurre sans arôme, sans saveur, *mais convenant parfaitement pour le commerce d'exportation* parce qu'il se conserve très longtemps.

Pour arriver à donner au beurre le parfum tant recherché, il faut baratter la crème mûrie c'est-à-dire légèrement aigrie ou acidifiée.

L'acidification empêche le développement des ferments de la caséine; elle donne une

¹ DORNIC, *Maturation de la crème; Taux d'écémage; Degré d'acidification optimum suivant les saisons; Emploi de ferments sélectionnés* (Rapport au Congrès international de laiterie, Paris, 1903); — René GUÉRAULT, *Écémage, Maturation de la crème* (Rapport au Congrès international de laiterie, Paris, 1903).

atmosphère d'acide carbonique qui protège les globules gras contre une oxydation plus ou moins intense que l'oxygène pourrait causer et qui serait défavorable à la qualité du beurre. L'acidité favorise la saponification de la matière grasse, c'est-à-dire la mise en liberté de faibles portions des acides volatils odorants qui constituent l'arôme du beurre.

Enfin, sous l'influence de l'acidité du milieu, la caséine est presque précipitée ; elle perd son état floconneux et se trouve sous forme de pellicules faciles à éliminer, d'où un délaitage plus parfait et une conservation plus longue. Le barattage est aussi plus complet, et c'est à cela qu'on doit une augmentation très sensible dans le rendement toutes les fois qu'on travaille une crème acidifiée.

2. Degré d'acidification optimum suivant les saisons. — Le degré de saponification étant fonction du degré d'acidité, pour régler le premier, il est nécessaire de régler le second. Or, si une petite quantité d'acides gras volatils donne au bon beurre son arôme, une trop grande profusion de ces mêmes acides amène dans le produit le goût particulièrement désagréable de *rance*.

Le degré d'acidité peut se régler au moyen de la phénolphtaléine qui ne se colore pas dans un acide, mais prend une couleur rose dans un liquide alcalin. Si on emploie l'*acidimètre Dornic*¹, on peut fixer, pour les crèmes de concentration normale contenant environ 40 0/0 de beurre, l'optimum d'acidification à 60-62° en hiver, 55-56° en été, le degré correspondant à 1 milligramme d'acide lactique pour 10 centimètres cubes de lait ou de crème.

Une crème bien fermentée est unie, sans caillots, d'une saveur acide, fraîche et agréable.

3. Température la plus convenable pour l'acidification de la crème. — Pendant toute la durée de la fermentation, la crème doit conserver une température à peu près constante, d'où la nécessité de la déposer dans un lieu à l'abri, autant que possible, des changements brusques de température. Elle doit aussi être remuée fréquemment (toutes les deux heures environ) afin que l'acidification soit bien uniforme.

La température la plus favorable pour l'acidification de la crème varie entre 12° et 18° C., la plus basse température convenant en été et la plus élevée en hiver.

Dans la presque totalité des laiteries suédoises², on produit la fermentation de la crème à 10° ou 12° C. en été. Vers la fin de la fermentation la température s'élève jusqu'à 13 à 14° C., qui est la température la plus convenable pour le barattage. Pendant la saison d'hiver, la température de la crème est de 14 à 15° C. au commencement; elle s'abaisse généralement de 1 ou de 2° pendant la fermentation.

Cette manière de procéder a l'avantage d'obtenir à la fin de la fermentation une crème qui est à la température voulue pour le barattage; il n'est pas nécessaire de la refroidir.

La durée de la fermentation est de vingt à trente heures.

4. Barattage. — Pour transformer la crème en beurre, on la soumet à une agitation prolongée; cette opération désignée sous le nom de *barattage*, a pour résultat d'agglomérer les globules gras qui nagent dans le sérum.

Les appareils employés pour obtenir le beurre, les *barattes*, sont en nombre considé-

1. Voir la description dans le *Traité de laiterie* de M. Ch. Martin, p. 66.

2. ROSENGREN, instructeur à l'Institut agricole et laitier d'Alnarp (Suède), *Quelle est la température la plus convenable pour l'acidification de la crème?* (Rapport au Congrès international de laiterie, Paris, 1905.)

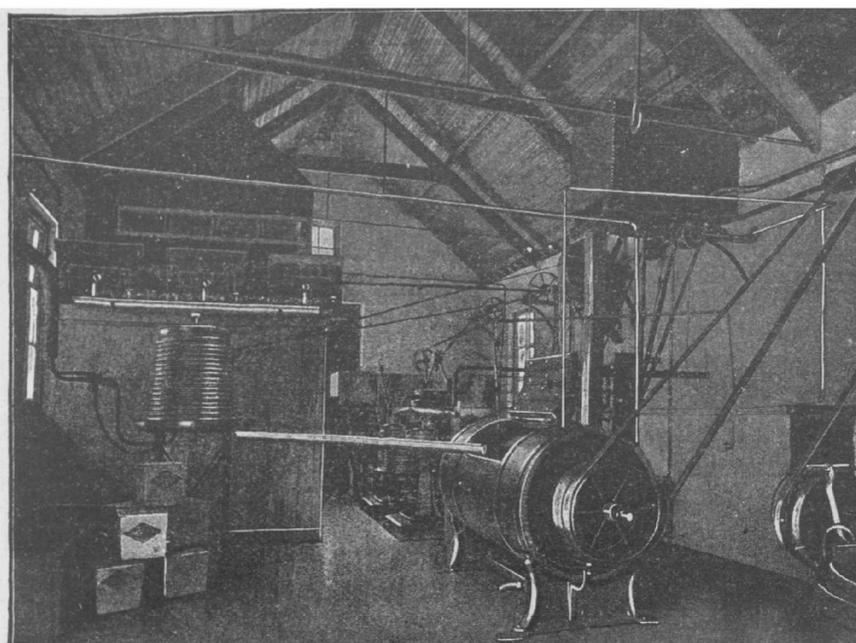
nable. Nous renvoyons, pour leur description, aux divers traités de laiterie¹. La figure 395 représente l'intérieur d'une crèmerie centrale où l'on voit au milieu une baratte mécanique.

5. Température et vitesse du barattage. — Le barattage doit se faire à une température que l'expérience reconnaît favorable et qu'il est difficile de déterminer d'une manière précise. Elle dépend de la nature du liquide que l'on baratte. En général, on baratte

- la crème douce. . . à 12°-14°
- la crème fermentée. à 13°-15°

Ces températures ne sont pas absolues; on peut simplement dire que l'on doit s'attacher à effectuer le barattage en trente à quarante-cinq minutes.

Toutefois, il convient de remarquer que l'on a intérêt à barattler à la plus basse tempé-



Cliché Loudon M. Douglas.

FIG. 395. — Intérieur d'une crèmerie centrale.

A gauche, un refroidisseur capillaire; — au milieu, une baratte; — à droite, l'extrémité du malaxeur.

ture possible. Le beurre contient d'autant moins d'eau que la température initiale du barattage est plus basse. Ainsi on a constaté que, si cette température initiale est de 9°-10° C., le beurre contient 12 0/0 d'eau, mais qu'il en contient 14 0/0 si la température initiale est de 11°-12°.

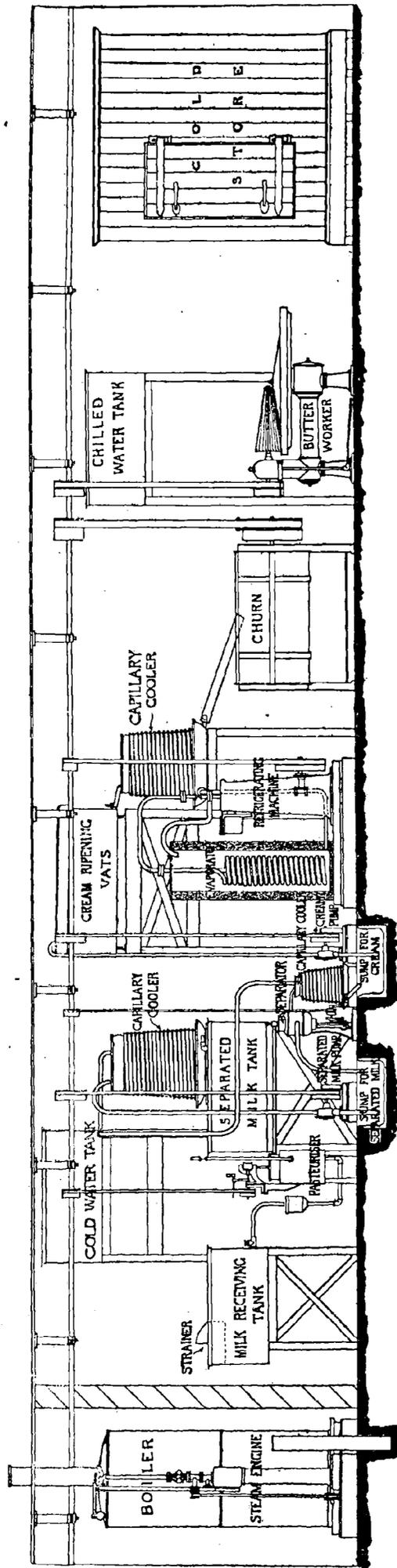
Le réglage de la température de la crème pendant l'opération du barattage peut se faire :

Soit *indirectement*, par l'adjonction à la baratte d'installations de chauffage et de refroidissement (Voir O. Kasdorf, *Eis und Kälte im Molkereibetrieb*, p. 69);

Soit *directement*, par l'introduction dans la baratte d'eau froide ou chaude, d'eau glacée, de lait congelé, de crème congelée, comme l'a proposé Helm.

Une crème traitée à la glace pour le barattage donne un lait battu renfermant à

1. Notamment ceux de Ch. Martin et de Irma Maréchal.



DIAGRAMATIC VIEW OF THE MECHANICAL EQUIPMENT
OF A MODERN CREAMERY BY LOUDON M. DOUGLAS.

Cliché Loudon M. Douglas de Londres.

Fig. 396. — Vue schématique d'une installation mécanique d'une laiterie moderne faite par Loudon M. Douglas.

Boiler, chaudière; — Steam engine, machine à vapeur; — Strainer, tamis; — Milk receiving tank, réservoir à lait; — Pasteuriser, pasteurisateur; — Separator, écremeuse centrifuge; — Sump for separated milk, citerne pour lait écréme; — Separated milk pump, pompe pour le lait écréme; — Capillary cooler, refroidisseur capillaire (à lait); — Separated milk tank, réservoir pour lait écréme; — Capillary cooler, refroidisseur capillaire (à crème); — Sump for cream, citerne à crème; — Cream pump, pompe à crème; — Cream ripening vat, réservoir à mûrir la crème; — Capillary cooler, refroidisseur capillaire (à basse température); — Evaporator, évaporateur de la machine frigorifique; — Refrigerating machine, machine frigorifique; — Churn, baratte; — Butter worker, malaxeur-pétrisseur; — Cold store, magasin frigorifique.

peine 0,1 0/0 de matière grasse, tandis que la même crème barattée à température aussi basse que possible, sans le secours de la glace, laisse un lait battu contenant 0,5 à 0,6 0/0 de graisse. Helm prétend que ce fait s'observe avec de la crème à laquelle on a ajouté du lait congelé ou de la crème congelée.

La vitesse du barattage ne doit être ni trop petite ni trop grande. Un mouvement trop rapide donne au beurre une consistance huileuse ; un mouvement trop lent augmente la durée du barattage.



Cliché Loudon M. Douglas.

FIG. 397. — Groupe frigorigène pour laiterie.
A gauche, la machine frigorifique ; — à droite, l'évaporateur.

On arrête le barattage aussitôt que le beurre est réuni en grumeaux de la grosseur d'un grain de blé ; sans cette précaution, on fatigue le beurre, on gâte son aspect.

D'un autre côté, lorsque le beurre est en grains, le délaitage s'effectue d'une façon plus parfaite.

6. Délaitage. — Lorsque le beurre est réuni en grumeaux dans la baratte, il faut le délaiter, c'est-à-dire le séparer de la plus grande partie du lait battu. On a constaté que les grumeaux de beurre contiennent encore $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{4}$ de leur poids de lait battu. *C'est sur-*

tout d'un bon délaitage que dépend la conservation du beurre. Un beurre mal délaité est de qualité inférieure et devient vite rance.

Le délaitage se fait *soit à l'eau, soit à sec*. Dans le délaitage à l'eau, on lave plusieurs fois le beurre dans la baratte avec de l'eau légèrement salée; dans le délaitage à sec (Danemark, Bretagne) on soumet les grains de beurre à un véritable pétrissage qui expulse le lait battu; ce pétrissage doit se faire au moyen de spatules ou, mieux, d'un malaxeur. *Tout contact du beurre avec la main doit autant que possible être évité.* Il faut proscrire le délaitage à l'eau, lorsque celle-ci renferme du fer, du sulfate de chaux, des matières organiques; il ne faut employer que de l'eau aussi froide (7 à 10° C.) et aussi pure que possible. Le beurre délaité à sec a une saveur plus agréable que le beurre délaité à l'eau; celle-ci enlève plus ou moins au beurre son arôme et son éclat. Aussi, pour le beurre de table, destiné à être mangé frais, préfère-t-on le délaitage à sec. Pour le beurre de conserve, on adopte généralement le délaitage à l'eau; on est plus sûr d'expulser complètement le lait battu.

Le délaitage à sec, facile à pratiquer en hiver, présente des difficultés en été. La glace rend alors de grands services. En effet, si l'on baratte à une température très basse, le beurre se forme dur; il supporte bien le délaitage à sec et sa qualité est supérieure.

7. Malaxage. — Le malaxage remplace le pétrissage; il enlève au beurre la trop grande quantité d'eau et de lait battu; il le rend compact, uniforme dans toute sa masse. Lorsque le beurre est assez ferme, le malaxage se fait immédiatement après le délaitage; sinon, on laisse reposer le beurre pendant quelques heures dans un endroit frais pour qu'il se raffermisse et prenne du corps. *Il ne faut jamais travailler le beurre lorsqu'il est mou.*

Le malaxage s'effectue mécaniquement au moyen d'un appareil appelé *malaxeur*.

On voit un tel appareil sur la figure 396. La figure 397 représente un groupe frigorifère installé dans un grand nombre de laiteries par la firme Douglas de Londres.

Afin de ne pas détruire le grain du beurre, il est important de ne pas prolonger le malaxage sans nécessité; en général, 40 à 15 passages sous le rouleau suffisent. Pour reconnaître si le beurre est assez malaxé, on regarde s'il ne s'écoule plus de lait battu, lorsque le rouleau étend le beurre et si, en coupant celui-ci en tranches minces, il ne sort plus de petites gouttelettes d'eau sous la pression du couteau. Un malaxage incomplet peut faire détériorer le meilleur beurre, en y laissant trop d'eau et de caséine. Un malaxage trop prolongé fatigue le beurre, altère son arôme et lui donne un aspect gras. Le malaxage doit se faire lentement afin de donner à l'eau et au caséum le temps de s'écouler.

VII

LA CONGÉLATION DE LA CRÈME¹

L'industrie de la crème congelée (The ice cream manufacture) pour l'alimentation s'est, dans ces dernières années, considérablement développée aux États-Unis.

¹ J. H. HART, *The application of mechanical refrigeration to ice cream manufacture*; — *The ice cream plant of the BIG STORE* (*Cold Storage and Ice Trade Journal*, février 1906); — *The IXL Cream Company's New Factory* (*Ice and Refrigeration*, t. XXVII, n° 5, novembre 1904).



FIG. 398. — Sortie de la crème du réfrigérant. — IXL Ice Cream Co. (*Ice and Refrigeration*, t. XXVII, n° 5, novembre 1904.)

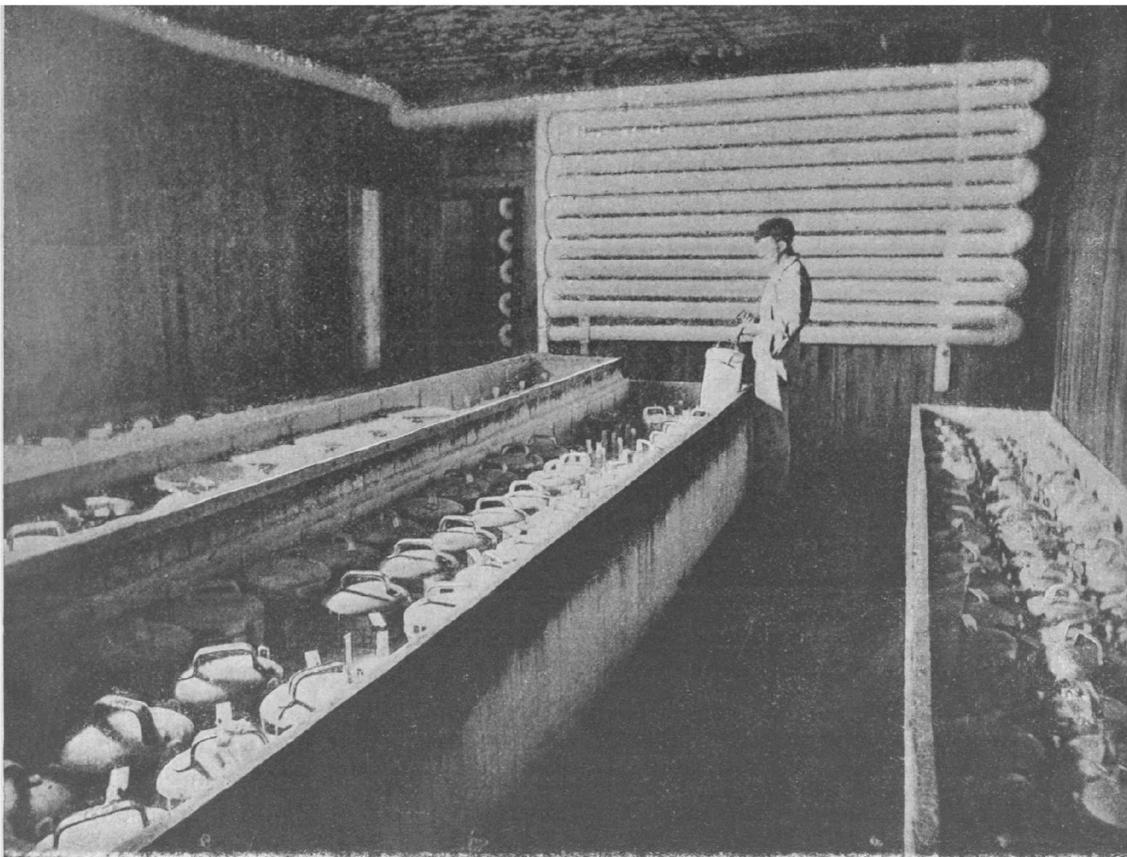


FIG. 399. — Bac de solidification pour la crème congelée. — IXL Ice Cream Co. (*Ice and Refrigeration*, t. XXVII, n° 5, novembre 1904.)

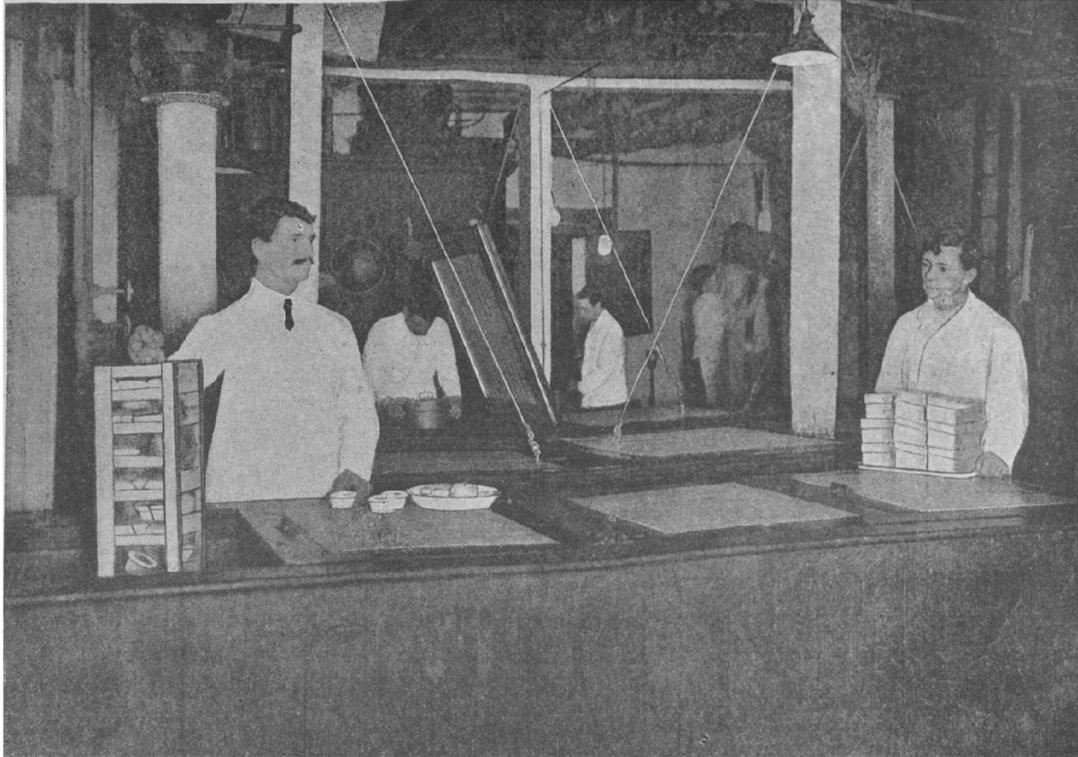


FIG. 400. — Bac de solidification pour la crème congelée (*Cold Storage and Ice Trade Journal*, février 1906).

La série des opérations réalisées pour cette congélation est la suivante :

1° A son arrivée à l'usine, la crème est placée dans une chambre froide de conservation et refroidie à une température comprise entre 0°C . et $+2^{\circ}\text{C}$. L'expérience a montré qu'il y avait intérêt, au point de vue de la qualité du produit obtenu, à traiter non de la crème fraîche, mais de la crème parvenue à un certain degré de maturation.

2° La crème est alors placée dans un réfrigérant maintenu à une température comprise entre -9°C . et $-9,5^{\circ}\text{C}$. Elle n'est pas solidifiée, mais elle prend une consistance pâteuse.

3° La crème retirée du réfrigérant, comme le montre la figure 398, est placée dans des pots de dimensions convenables. Ceux-ci sont placés dans un bac dit *bac de solidification*, où la température est maintenue entre -20°C . et -25°C . Au bout d'un temps qui peut varier de deux à quatre heures suivant la masse de la crème, celle-ci est entièrement à l'état solide. Elle est alors prête pour l'expédition dans les pots où elle a été congelée.

Le bac de solidification consiste en un bac bien isolé contenant de la saumure refroidie. Les figures 399 et 400 représentent de tels bacs de congélation ; le bac de la figure 399 est placé dans une chambre maintenue à 0°C . ; dans le bac de la figure 400 on peut plonger des châssis supportant des récipients de formes et de dimensions diverses dans lesquels on livre la crème congelée au consommateur.

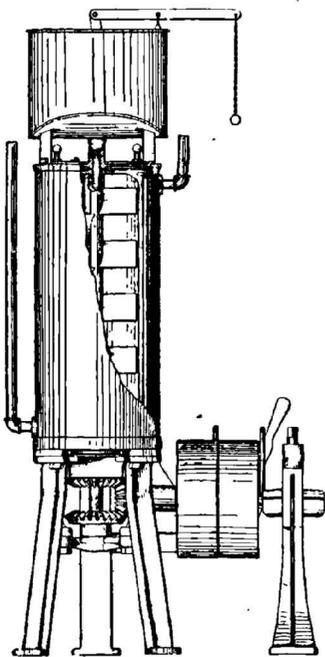


FIG. 401. — Réfrigérant Emery Thompson pour la préparation de la crème congelée (*Cold Storage and Ice Trade Journal*, fév. 1906).

Le réfrigérant maintenu à -9° C. est en principe un récipient métallique dans lequel tourne un agitateur plongé dans la crème. Ce récipient est plongé dans la saumure froide contenue dans un second récipient isolé, ou bien il est entouré d'un serpentín isolé dans lequel circule de la saumure. La figure 401 représente un réfrigérant *Emery Thompson*; sur la figure 402 est représenté un réfrigérant *Walker*. Dans le premier, la crème refroidie et

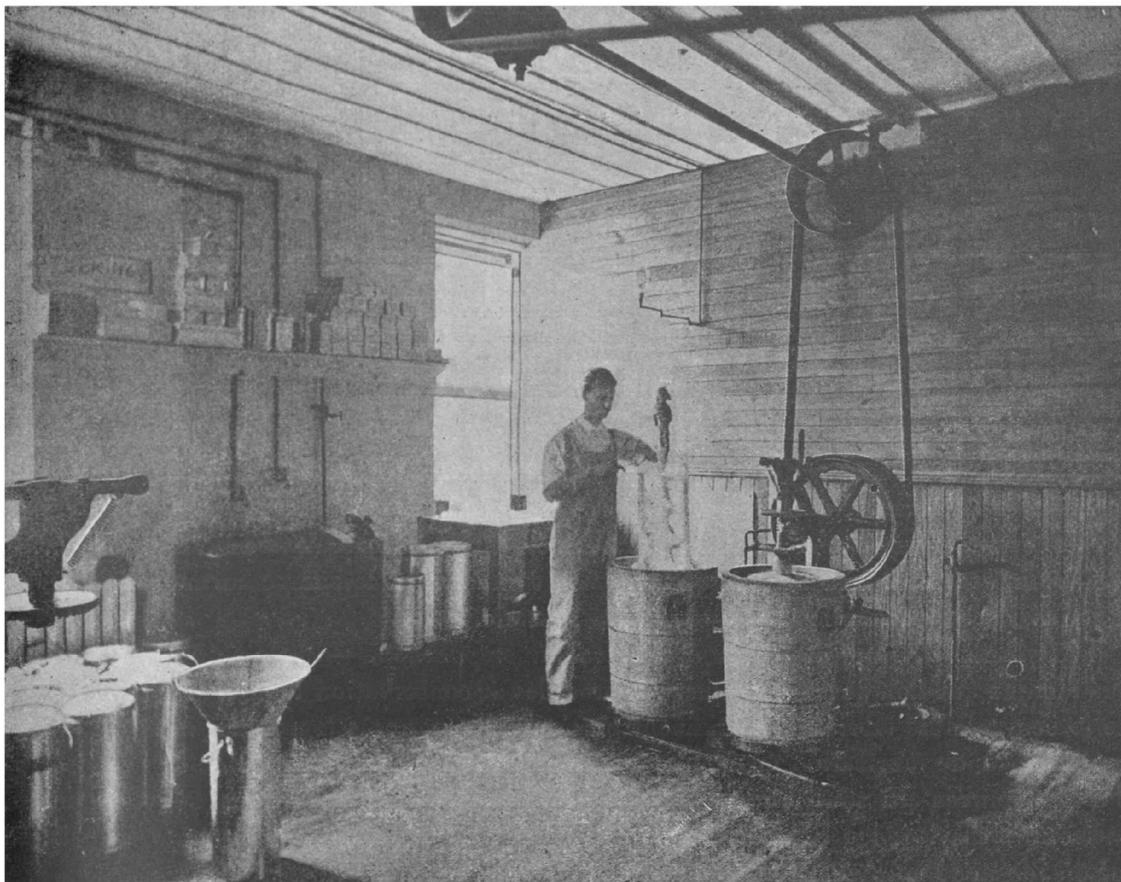


FIG. 402. — Réfrigérant Walker pour la préparation de la crème congelée. — IXL Cream Co
(*Les arts de la Réfrigération*, t. XXVII, n° 5, novembre 1904).

pâteuse est enlevée par une ouverture pratiquée à la partie inférieure; dans le second, le couvercle supérieur du réfrigérant ainsi que l'agitateur doivent être enlevés pour le transport de la crème dans les mouleaux de solidification (*fig. 398*).

D'après M. *Hart*, pour une installation d'hôtel, de restaurant, consommant 600 litres de crème solidifiée par jour, il suffit d'un bac de solidification de $1^{\text{m}3,7}$ environ et d'une machine frigorifique de 9.000 frigories-heure; pour une consommation de 950 litres par jour, il faut une machine frigorifique de 15.000 frigories-heure.

VIII

CONSERVATION DU BEURRE PAR LE FROID¹

1. Circonstances qui influent sur l'altération des beurres. — Avant d'indiquer quelles sont les meilleures conditions à réaliser pour la conservation du beurre dans les chambres froides, il importe de préciser les circonstances qui influent sur l'altération du beurre et en font une denrée éminemment périssable.

a) Action de la proportion d'eau contenue dans le beurre. — Les beurres se conservent d'autant mieux qu'ils contiennent une moins grande quantité d'eau, de caséine et de lactose. Ces dernières substances, extrêmement fermentescibles, sont en effet dissoutes en partie dans l'eau; de plus, elles sont partout réparties dans la pâte même du beurre, et leur extrême divisibilité présente un terrain propice aux germes et à leur rapide multiplication.

b) Action des microbes. — Dans les conditions ordinaires, les ferments qui provoquent la rancidité des beurres sont : l'*Oidium lactis*, le *Cladosporium butyri*, le *Bacillus fluorescens liquefaciens* et quelquefois aussi le *Bacillus prodigiosus*.

Ces ferments étant tous aérobies, le rancissement procède de l'extérieur à l'intérieur.

Il résulte immédiatement de là qu'il est bon d'envelopper le beurre hermétiquement ou, du moins, de lui donner le moins de surface possible.

c) Influence de l'âge du beurre et du mode de préparation. — Cette action des microbes nous indique que l'on devra appliquer les procédés de conservation le plus tôt possible après que le beurre a été fabriqué, notamment presque aussitôt après le malaxage.

Le mode de fabrication du beurre a aussi une influence considérable sur sa conservation. Les beurres qui sont fabriqués avec des crèmes vieilles, trop acides, souvent amères, rancissent très vite; les beurres centrifugés, barattés à trop haute température, résistent mal en raison de leur teneur en eau trop élevée.

Les beurres qui se conservent le mieux sont, d'une part, les beurres centrifugés obtenus avec des crèmes d'acidité normale, barattés rationnellement, et, d'autre part, les beurres de crème pasteurisée.

d) Influence de la pureté et de l'humidité de l'air des entrepôts. — Dans une atmosphère chargée de vapeur d'eau et malgré une température basse, certains ferments poursuivent lentement leur multiplication et déterminent l'altération du beurre au contact duquel ils parviennent facilement.

Il y a donc intérêt à placer le beurre dans une atmosphère froide, sèche et débarrassée des germes qu'elle peut contenir.

e) Influence de l'obscurité. — Duclaux a le premier établi que l'oxygène avait une action sur la substance du beurre. Depuis, d'autres expériences ont été faites qui ont établi qu'en l'absence de la lumière solaire cet effet était nul. Il convient donc de conserver les beurres dans l'obscurité la plus complète.

¹ DORNIC, *Conservation du beurre par le froid sans l'emploi des substances antiseptiques* (*L'Industrie frigorifique*, 4^e année, n° 36, mai 1906).

E. KRUTZ, *Kalllagerung von Butter* (*Eis und Kälte-Industrie*, t. VII, n° 29, 3 avril 1906).

RICHARD BÜSING, *Kalllagerung von Butter* (*Eis und Kälte-Industrie*, t. VII, n° 23, 5 juin 1906).

2. Conditions générales de conservation du beurre. — Les considérations qui précèdent conduisent à énoncer les conditions dans lesquelles le froid peut agir pour donner de bons résultats au point de vue de la conservation du beurre.

Le beurre que l'on veut conserver doit être du beurre de crème pasteurisée ou, tout au moins, du beurre centrifugé, obtenu avec des crèmes d'acidité normale, baratté rationnellement (Voir § VI, *Maturation de la crème, Barattage*).

Ce beurre doit être bien délaité, malaxé avec le plus grand soin. Au sortir du malaxeur, le beurre doit être rapidement refroidi.

Il doit être maintenu dans l'obscurité, enfermé dans une enveloppe hermétiquement close. Le papier parchemin, même bien sec¹, constitue une protection insuffisante. Le pot en grès vernissé, hermétiquement clos, convient dans un grand nombre de cas; dans d'autres, on donnera la préférence à des caisses en bois blanc, au préalable lavées à l'eau bouillante, égouttées, séchées et enfin badigeonnées de colle à la caséine qui leur donnera une imperméabilité suffisante pour des mottes de beurre préalablement enveloppées dans du papier parchemin ou dans du papier sulfurisé.

Comme la surface extérieure du beurre est toujours attaquée la première, il y a intérêt à réduire le plus possible cette surface.

Enfin les mottes de beurre ne doivent pas être trop volumineuses, afin que le froid pénètre rapidement à l'intérieur.

3. Conditions générales que doivent remplir les chambres froides pour la conservation du beurre. — Le beurre préparé avec les soins que nous venons d'indiquer doit, pour la conservation, être introduit dans les chambres froides.

L'air de ces chambres doit être aussi *exempt que possible de germes*. Il doit avoir un état hygrométrique compris entre 75 et 80 0/0, condition qui perd d'autant plus d'importance que l'enveloppe du beurre a une herméticité plus ou moins parfaite.

Le refroidissement d'une chambre à beurre doit donc être effectué par circulation d'air refroidi par un *frigorifère spécial*; l'air d'une chambre à beurre ne doit circuler dans aucune autre chambre d'un entrepôt frigorifique.

La *température* des chambres à beurre doit être *aussi constante que possible*. A ce point de vue de petites chambres sont à préférer à d'immenses pièces.

4. Température de conservation du beurre réfrigéré. — Quand on veut conserver le beurre pendant un *mois à six semaines*, il suffit de le maintenir dans une chambre froide à une température voisine de 0° C., comprise entre 0° C. et +2° C. Dans ces conditions, on ne doit pas avoir de craintes sur le changement d'aspect, de goût, d'arome ou de constitution physique du beurre.

5. Conservation du beurre congelé. — La conservation du beurre peut être portée à *deux ou trois mois*, en le maintenant à une température de — 5° C. à — 6° C.

Il importe qu'au moment de l'introduction dans les chambres froides le beurre soit porté aussi rapidement que possible (vingt-quatre heures) à cette température. Dans ce but, M. *Dornic* préconise de mettre le beurre sous forme de mottes carrées ne dépassant pas 50 kilogrammes.

1. Pour la conservation du beurre, le contact d'une enveloppe humide, papier ou calicot, est très nuisible, du moins quand il ne s'agit pas de très basses températures.

On a parfois **recommandé** le séjour de la matière à réfrigérer dans un local à $+2^{\circ}\text{C}$. ou $+3^{\circ}\text{C}$. avant de la faire entrer dans les salles à -6°C . Ce détail n'a peut-être pas l'importance qu'on semble lui attacher.

Mais, ce qui est incontestable, c'est que la **décongélation** de la marchandise avant sa mise en circulation pour la vente doit se faire avec beaucoup de précautions.

Il est utile de faire passer progressivement la température de -6°C . à 0°C . et à $+3^{\circ}\text{C}$. et $+4^{\circ}\text{C}$., de façon à ménager la structure du beurre ou l'état de la pâte.

Enfin un malaxage est toujours nécessaire avant la mise en vente, **malaxage** qui donne à la pâte l'homogénéité nécessaire et détruit les marbrures fréquemment observées dans la masse entreposée.

D'après M. Dornic, il semble qu'on ne puisse pas compter sur une durée de plus de quatre mois pour la conservation du *beurre de table*, même enfermé dans des enveloppes hermétiquement closes.

IX

LE COMMERCE DU BEURRE

1. Importation du beurre en Angleterre. — L'Angleterre est le pays qui importe le plus de beurres étrangers. Voici des nombres qui montrent le degré d'importance de ces exportations pour divers pays.

TABLEAU LXIX

IMPORTATIONS DE BEURRE EN ANGLETERRE

	1900	1901	1902	1903
	quintaux (50 kilog.)	quintaux (50 kilog.)	quintaux (50 kilog.)	quintaux (50 kilog.)
Danemark.....	1.486.342	1.597.186	1.703.032	1.771.654
Russie.....	209.738	378.472	490.091	484.328
France.....	322.048	311.601	414.240	454.088
Australie.....	511.535	413.134	238.153	369.213
Hollande.....	282.805	298.912	393.261	343.725
Suède.....	196.041	180.212	191.591	212.232
Canada.....	138.313	215.588	285.765	185.464
Etats-Unis.....	56.046	150.126	54.458	42.405
Allemagne.....	36.042	26.983	26.375	12.506
Autres pays.....	139.606	130.696	177.967	185.069

Le Danemark est donc le plus grand fournisseur de beurre de l'Angleterre. Le beurre du Danemark importé en Angleterre, en 1903, représente une valeur de 255 millions de francs. Il convient de remarquer la rapide augmentation de l'importation du beurre russe qui s'est élevée en 1903 à 56 millions de francs. La France, d'abord maîtresse du marché anglais du beurre, se voit maintenant dépassée par le Danemark et la Russie.

2. Efforts tentés par l'Australie pour accroître l'exportation de ses beurres en Angleterre. — Un autre concurrent surgit d'ailleurs. L'Australie fait tous ses efforts pour accroître l'exportation de ses beurres en Angleterre¹.

Le Gouvernement de Victoria n'a reculé devant aucune dépense pour augmenter ses chances de succès; il a fait venir les meilleurs professeurs de laiterie du Danemark, de l'Allemagne, de la Suisse; il a pris en main la surveillance de l'exportation. Il a porté son attention sur le mode d'emballage. Aujourd'hui toutes les caisses employées pour l'exportation des beurres d'Australie ont 12 pouces de côté (soit environ 30^{cm},5); leur poids à vide ne dépasse pas 11 livres anglaises (environ 5 kilogrammes), et l'épaisseur des planches employées est de 19 millimètres environ. Ces planches doivent être parfaitement sèches et avoir été exposées à l'air, afin de ne pas communiquer au beurre un goût désagréable. Les caisses ayant déjà été employées, mal faites ou non munies d'étiquettes marquées au feu, ne sont pas acceptées pour l'exportation: toute indication peinte est défendue. Ces caisses doivent être tapissées intérieurement d'un parchemin végétal et contenir 57 livres de beurre (26^{kg},85) poids net, de façon qu'à l'arrivée il n'en reste pas moins de 56 livres anglaises (25^{kg},4)². Les caisses d'exportation doivent être livrées dans les frigorifiques du Gouvernement au moins six jours avant le départ du bateau. En effet, le beurre doit d'abord subir une température de + 5° C. environ avant d'être congelé, puis il doit être progressivement refroidi, de façon que, lors de l'embarquement, sa température soit de — 4° C. Avant d'être expédiés, les beurres sont examinés avec le plus grand soin.

3. L'industrie beurrière au Canada. — Le Canada fait aussi tous ses efforts pour favoriser le développement de l'industrie beurrière en vue de l'exportation³.

En 1897, le Parlement a été sollicité de sanctionner un arrangement accordant une prime de 100 dollars (500 francs), payable en trois versements annuels, à chaque beurrerie pourvue de chambres frigorifiques, le tout subordonné aux conditions suivantes :

1° Construction de chambres frigorifiques suivant les plans et devis fournis par le Ministère de l'Agriculture;

2° Maintien d'une basse température durant la fabrication du beurre et envoi de rapports indiquant le relevé quotidien de cette température;

3° Fabrication d'une certaine quantité de beurre durant la saison.

Jusqu'en 1903, 496 beurreries avaient reçu le premier versement de 50 dollars (250 francs); 346 avaient reçu le second versement de 25 dollars (125 francs), et 210 avaient reçu la prime entière.

Nous avons montré, dans l'*Introduction*, le développement du commerce d'exportation du beurre du Canada vers le Royaume-Uni, grâce à l'emploi de chambres frigorifiques à bord des navires. Voici quelques-unes des températures qui ont été relevées dans les chambres frigorifiques des steamers servant au transport du beurre.

1. A. BAUDRY, ingénieur à Kieff (Russie), *L'Industrie frigorifique en Australie, l'exportation des beurres* (*L'Industrie frigorifique*, 3^e année, n° 22, mars 1905).

2. Il y a en effet perte de poids par évaporation de l'eau. Du beurre, enveloppé dans du papier parchemin, et maintenu dans une chambre froide à la température de — 3° C. (le degré hygrométrique étant 70 0/0), a perdu en six mois d'entreposage 5 0/0 de son poids environ.

3. *Chambres frigorifiques dans les beurreries du Canada. Le froid artificiel et l'Industrie laitière au Canada* (Rapport du Ministère de l'Agriculture, *L'Industrie frigorifique*, 3^e année, n° 25, juin 1905).

TABLEAU LXX

TEMPÉRATURES DES CHAMBRES FROIDES DE BATEAUX SERVANT AU TRANSPORT DU BEURRE

COMPAGNIES DE NAVIGATION	LIGNES	TEMPÉRATURES MOYENNES	
		LA PLUS HAUTE	LA PLUS BASSE
Pacific Canadian.....	Montréal à Bristol.	+ 3°,3 C.	— 4°,4 C.
Dominion Line.....	Id.	— 1°,1 C.	— 12°,8 C.
Donaldson.....	Montréal à Glasgow.	+ 3°,9 C.	— 3°,9 C.
Allan Line.....	Id.	+ 1°,7 C.	— 8°,3 C.
Dominion Line.....	Montréal à Liverpool.	+ 2°,2 C.	— 12°,2 C.
Allan Line.....	Id.	+ 4°,4 C.	— 9°,4 C.
Thomson.....	Montréal à Londres.	+ 6°,1 C.	— 7°,2 C.
Allan Line.....	Id.	+ 1°,7 C.	— 4°,4 C.
Manchester Lines.....	Montréal à Manchester.	+ 0°,6 C.	— 5°,6 C.

NOTA. — En moyenne générale, la température des cales frigorifiques est comprise entre — 7°,5 et + 2°,5.

4. **Le commerce du beurre en Danemark.** — Malgré les efforts de l'Australie et du Canada, le Danemark semble être encore pour longtemps le maître du marché anglais des beurres. Son exportation de beurre en Angleterre a en effet doublé de 1892 à 1903.

Voici, d'ailleurs, un tableau des exportations danoises de beurre, depuis le 1^{er} octobre jusqu'au 30 septembre des années indiquées ci-dessous (Voir tableau LXXI).

TABLEAU LXXI

COMMERCE DU BEURRE AU DANEMARK

	1899-1900	1900-1901	1901-1902	1902-1903
<i>Exportations du Danemark vers :</i>	quintaux (50 kilog.)	quintaux (50 kilog.)	quintaux (50 kilog.)	quintaux (50 kilog.)
Angleterre.....	1.444.644	1.577.969	1.682.739	1.736.434
Allemagne.....	38.605	66.126	64.971	76.049
Suède.....	3.987	6.241	3.434	3.549
Norvège.....	190	1.540	959	1.520
Pays-Bas.....	24	50	43	62
Belgique.....	505	303	571	623
Espagne.....	316	»	»	»
France.....	29	7	11	11
Amérique.....	243	145	123	23
Indes Orientales.....	1.330	940	862	845
Autres pays.....	1.585	1.995	1.397	617
TOTAUX.....	1.491.458	1.655.316	1.755.110	1.819.430
<i>Importations en Danemark. Beurre venant de :</i>				
Suède.....	162.510	156.449	192.397	162.521
Russie (Finlande).....	222.510	296.935	286.189	252.069
Allemagne.....	11.134	5.669	8.432	8.270
Amérique.....	447	4.494	430	1.559
Angleterre.....	2.807	2.153	4.478	2.379
Autres pays.....	332	233	237	861

Des 1.820.000 quintaux de beurre qui ont été exportés du 1^{er} octobre 1902 au 30 septembre 1903, 1.460.000 quintaux sont de la production danoise, tandis que le reste est importé de Russie et de Suède.

Nous donnons d'ailleurs, à la suite du tableau des exportations, un tableau des importations de beurre en Danemark.

Une partie de ce beurre importé est, en partie, exportée de nouveau, en partie employée pour la consommation indigène. On dépense d'ailleurs beaucoup de margarine pour remplacer le beurre dans l'alimentation du pays.

5. Le commerce du beurre en Russie. — La *Russie* et principalement la *Sibérie* sont, après le Danemark, les plus grands exportateurs de beurre du monde entier. Cette exportation a considérablement augmenté depuis quelques années. En 1898, il n'y avait en Sibérie que 140 laiteries; en 1902, il y en avait 2.500.

Voici, d'après le *Wjestnik Finanzow*, quelques nombres indiquant l'importance de cette exportation.

TABLEAU LXXII
EXPORTATION DES BEURRES RUSSES

PORT RUSSE D'EXPORTATION	ANNÉES						
	1899	1900	1901	1902	1903	1904	1905
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
St-Petersbourg...	1.500,375	3.237,966	2.252,381	1.832,431	1.570,367	5.405,40	2.964,78
Riga	64,013	1.328,926	13.697,022	18.385,371	18.921,701	16.003,26	19.623,24
Reval.....	1.793,184	9.591,637	9.032,456	8.493,571	336,675	163,80	131,04
Libau.....	119,083	343,374	2.401,652	2.635,591	225,471	573,30	98,28
Nowy-Port.....	127,093	839,999	622,702	1.696,755	1.851,104	1.818,18	2.211,30
Windau.....	»	»	»	»	12.898,890	15.167,88	13.071,24
TOTAUX..	3.603,748	15.341,902	28.026,213	33.043,719	35.804,208	39.131,82	38.099,88

La majeure partie de ces exportations va en Angleterre, en Allemagne et même en Danemark; une très petite quantité est expédiée en Turquie et en Asie.

Le tableau LXXIII montre les variations dans les exportations des beurres de la *Finlande*.

TABLEAU LXXIII
EXPORTATION DES BEURRES FINNOIS

	kilogrammes		kilogrammes
1897.....	14.561.000	1902.....	9.669.000
1898.....	12.380.000	1903.....	10.297.000
1899.....	10.088.000	1904.....	12.198.000
1900.....	9.824.000	1905.....	16.068.000
1901.....	8.972.000		

La valeur du beurre exportés s'est élevée, en 1905, à 45.000.000 de francs contre 34.250.000 en 1904 et 37.875.000 en 1897. Il y a dix ans, 42,30/0 de cette exportation allaient directement en Angleterre et 40,70/0 en Danemark, d'où le beurre était souvent exporté de nouveau vers

l'Angleterre. Dans ces dernières années, la Finlande s'est efforcée de développer ses relations directes avec l'Angleterre. En 1905 (mois de janvier à novembre), 71,2 0/0 des beurres finnois ont été vendus directement en Angleterre, tandis qu'il n'en a été envoyé au Danemark que 18,3 0/0.

6. Les importations de beurre en Allemagne. — L'Allemagne est surtout importatrice de beurre. Voici quelques nombres indiquant les quantités importées.

TABLEAU LXXIV

IMPORTATIONS DE BEURRE EN ALLEMAGNE

BEURRE VENANT DE	1896	1897	1898	1899	1900
	tonnes (1000 kil.)				
Autriche-Hongrie	3.166	2.944	3.296	4.481	5.018
Russie	2.212	2.857	2.581	2.277	3.666
Pays-Bas	1.037	2.205	3.417	4.426	5.829
France	190	202	194	205	214
Suisse	79	71	80	73	65
Italie	87	56	63	64	91
Etats-Unis	900	1.124	346	391	641
TOTAUX	7.674	9.456	9.977	11.917	15.524

7. Le commerce du beurre en Autriche-Hongrie. — L'Autriche-Hongrie doit être comptée au nombre des pays exportateurs de beurre.

Voici, pour l'année 1901, quelques chiffres.

IMPORTATION		EXPORTATION	
QUINTAUX MÉTRIQUES (100 kilogrammes)	VALEUR EN FRANCS	QUINTAUX MÉTRIQUES (100 kilogrammes)	VALEUR EN FRANCS
667	120.193	74.748	13.330.799

Cette exportation se fait surtout en Allemagne. L'importation dans ce pays du beurre austro-hongrois, qui n'était que de 25.780 quintaux métriques en 1890, était en 1902 de 64.000 quintaux métriques représentant une valeur de 12.500.000 francs.

La Hongrie joue un grand rôle dans cette exportation. Voici, en effet, le relevé des exportations de beurre hongrois.

TABLEAU LXXV

EXPORTATIONS DE BEURRES HONGROIS

ANNÉES	EXPORTATION DE BEURRE HONGROIS	
	EN TOTALITÉ	VERS L'ALLEMAGNE
	quintaux métriques (100 kilogr.)	quintaux métriques (100 kilogr.)
1895.....	8.686	520
1896.....	10.875	665
1897.....	11.177	522
1898.....	15.352	832
1899.....	19.793	2.560
1900.....	31.785	9.276
1901.....	45.651	18.474
1902.....	51.189	19.395

On voit que, dans ces dernières années, la Hongrie a dirigé sur l'Allemagne environ 40 0/0 de son exportation beurrière.

8. Le commerce du beurre en France. — L'exportation du beurre en France est caractérisée par les nombres suivants :

	1899	1900	1901
Kilogrammes.....	22.283.507	20.257.094	19.553.826

L'importation est représentée par les quantités suivantes :

	1899	1900	1901
Kilogrammes.....	6.264.516	6.150.441	6.110.181

Le beurre importé nous vient principalement de Belgique, d'Italie, de Hollande.

9. Les exportations de beurre de la République Argentine. — La *République Argentine* fait aussi des efforts pour approvisionner le marché anglais du beurre. Les exportations ont commencé en 1891. Elles ont été de 1.500.000 kilogrammes en 1901, de 4.250.000 kilogrammes en 1902 et 6.500.000 kilogrammes en 1903. Les 80 0/0 de ce beurre vont en Angleterre; le reste est expédié au Brésil et dans l'Afrique du Sud.

10. Les exportations de beurre de la Nouvelle-Zélande. — Les envois de beurre de la *Nouvelle-Zélande* en Angleterre prennent aussi de l'importance : ils ont été en

	kilogrammes
1893-1894 de.....	2.900.000
1898-1899 de.....	5.100.000
1902-1903 de.....	13.200.000

X

SCHEMA DE LA FABRICATION DU FROMAGE

1. Fromage. — On donne le nom de *fromage* au produit résultant de la fermentation du *caillé*.

2. Lait employé. — On peut faire cailler le lait sans l'écrémer ; alors le fromage contient, outre la caséine, la plus grande partie de la matière grasse du lait : c'est un *fromage gras*.

Avec du lait pur additionné d'une certaine quantité de crème provenant d'un autre lait, on fait des *fromages extra-gras ou double-crème*.

On peut aussi écrémer partiellement le lait ou bien mélanger la traite du soir écrémée avec la traite du matin non écrémée ; le fromage que l'on obtient ainsi est *demi-gras*.

Enfin, si l'on a enlevé toute la crème du lait, le fromage obtenu est un *fromage maigre*.

3. Principales opérations de la fabrication. — La fabrication de tous les fromages a pour point de départ la coagulation de la caséine ; le traitement du caillé obtenu et les fermentations auxquelles on le soumet diffèrent suivant l'espèce de fromage. Malgré ces différences on peut distinguer dans chaque fabrication les opérations fondamentales suivantes :

- 1° *La coagulation de la caséine ;*
- 2° *La séparation du caillé ;*
- 3° *L'expression du petit-lait ;*
- 4° *La salaison ;*
- 5° *La mise au séchoir ;*
- 6° *L'affinage à la cave.*

Avant d'être salé, le caillé égoutté peut être pressé, pétri, émietté et enfin mis en moule ; il peut aussi subir une légère cuisson et fournir les *fromages à pâte cuite ou de chaudière*.

4. Coagulation de la caséine. — Le lait se coagule spontanément sous l'action d'un grand nombre de substances ayant chacune une influence spéciale sur la nature du caillé qu'elles produisent. Les sucres de certains végétaux, tels que le caille-lait, la granette, l'oseille, les fleurs d'artichaut, communiquent au coagulum le goût qui leur est particulier ; les acides et surtout l'acide lactique donnent un caillé dur, désagréable au goût, de conservation difficile et dépourvu de phosphate de chaux après l'égouttage, par suite de la solubilisation de la partie de cet élément en suspension dans le lait frais.

Il est donc nécessaire pour fabriquer un bon fromage de faire cailler le lait encore doux en y ajoutant de la *présure*.

5. Présure. — La *présure* est une diastase, un ferment soluble que l'on trouve non seulement dans la muqueuse stomacale et sur la tunique musculaire externe de la caillette

des jeunes ruminants soumis au régime lacté, mais encore dans l'estomac des oiseaux et des poissons, dans certaines graines à l'état de repos ou de germination¹. Le plus souvent on emploie, pour préparer les présures du commerce, des caillettes de veau ou de mouton, les premières étant plus recherchées que les secondes².

Les présures liquides du commerce ont une force coagulatrice qui est en moyenne égale à 1/10.000, c'est-à-dire que 1 litre de présure peut faire cailler 10.000 litres de lait.

6. Propriétés et action de la présure. — Si l'on emploie relativement beaucoup de présure, le caillé est ferme et sec, le petit-lait s'en sépare vite; si la quantité de présure est très faible, la caséine se coagule lentement, le caillé reste mou, le petit-lait s'en sépare difficilement. La température est naturellement supposée la même dans les deux cas.

Entre le temps de la coagulation et la quantité de matière coagulante, il existe une relation que l'on a traduite par la loi suivante:

A une même température les durées de coagulation sont en raison inverse des quantités de présure employées.

Cette loi n'est vraie que lorsque les quantités de présure employées ne sont ni trop grandes, ni trop faibles et que la température du lait que l'on veut coaguler reste comprise entre 18 et 40° C. Une très faible quantité de présure peut ne pas déterminer de coagulation; une dose exagérée rend le liquide épais, mais ne le coagule pas.

La durée de la coagulation peut aussi varier suivant la composition du lait; il suffit de très faibles différences dans la quantité des matières minérales, surtout des phosphates, pour la faire osciller dans des limites très larges.

7. Influence de la température. — C'est à 37° C. que la coagulation se fait le mieux; au-dessus et au-dessous de cette température la force coagulante de la présure va en diminuant progressivement. A 55° et à 15° la présure n'agit plus.

8. Séparation du caillé. — Le caillé jouit par lui-même de la propriété de se rétracter dès qu'il est formé; il exsude alors un sérum citrin, presque incolore; il l'exsude d'autant plus rapidement que la coagulation a été plus prompte et la température plus élevée.

On profite de cette rétractibilité pour expulser du caillé la plus grande partie du sérum qu'il contient. Le caillé se purge par ses surfaces libres et, comme les couches superficielles abandonnées par le sérum peuvent encore se contracter, elles forment peu à peu autour du fragment une enveloppe cohérente qui rend plus difficile le départ du sérum des couches profondes. Aussi convient-il de procéder à la *division du caillé*.

9. Division du caillé. — Il faut, dans cette opération, faire d'abord attention à ne réduire aucune portion du caillé en bouillie. D'autre part, il faut conserver une égalité aussi parfaite que possible entre la grosseur des fragments, afin qu'ils se purgent tous avec la même vitesse et qu'à un moment donné, ayant à peu près tous la même composition et la même constitution, on puisse les souder en une masse homogène.

10. Formation du gâteau. — La caséine conserve pendant ce travail une plasticité dont on profite pour souder, en une masse compacte, les fragments épars dans le liquide. C'est ce que l'on appelle former le gâteau.

1. DUCLAUX, *Traité de Microbiologie*, t. II.

2. Pour la préparation de la présure, voir IRMA MARÉCHAL, *Traité de laiterie*, p. 109; — HOUDET, directeur de l'École nationale d'industrie laitière de Mamirolle (Doubs), *Des Présures* (Rapport au Congrès international de laiterie, Paris, 1905).

11. Expression du petit-lait. — Pression et cuisson des fromages. — La composition et la consistance du gâteau varient avec le mode de fabrication. Très aqueux pour les fromages à pâte molle et à maturation rapide, ce gâteau est plus compact et plus serré pour les fromages de garde et ceux qui sont fabriqués à plus haute température.

Il y a deux moyens d'expulser le sérum :

1° *L'action de la chaleur ou la cuisson* ;

2° *La pression.*

La *cuisson* doit se faire en remuant sans cesse le caillé de manière que toute la masse ait la même température et qu'ainsi le fromage soit bien homogène. Il faut chauffer très lentement ; en chauffant trop vite, on risquerait de former à la surface des fragments une enveloppe élastique et imperméable qui empêcherait le petit-lait de sortir. Lorsque la cuisson a été bien conduite, les grumeaux du caillé ont, au moment où l'on a atteint le degré voulu, une consistance plus ou moins gélatineuse et jouissent déjà de la propriété de se souder.

Dans la fabrication du *gruyère*, le plus important des fromages cuits, le problème consiste à éliminer une certaine quantité de sérum, mais aussi à en laisser une portion qui est nécessaire. Si on ne chauffe pas assez, il reste trop de petit-lait dans la pâte, la fermentation est active, le goût devient aigre, le fromage ne se conserve pas. Si, au contraire, on chauffe trop, la pâte est sèche et la fermentation se produit difficilement.

Certains fromages sont soumis à une *pression* plus ou moins énergique. Cette opération a pour but de donner au produit une forme déterminée, d'enlever le petit-lait en excès et de former la croûte. La pression exerce une grande influence sur la maturation du fromage et, par suite, sur ses qualités futures. En effet, si on presse fortement, on enlève beaucoup de petit-lait, la pâte devient dure, la fermentation est plus lente. Pour que la pression s'effectue convenablement, il ne faut pas qu'elle soit trop forte au début, sinon la croûte se forme immédiatement, et le petit-lait qui se trouve encore à l'intérieur ne peut plus s'écouler.

12. Salage. — Le *salage* a pour but de communiquer à la pâte un goût spécial qui fait rechercher davantage le produit. Le salage contribue aussi à prolonger la conservation du fromage. Enfin il attire à la surface une partie de l'eau qui s'évapore.

Le plus souvent la salaison s'effectue en recouvrant uniformément d'une mince couche de sel fin, pur et sec, une face et le pourtour du fromage ; aussitôt que le sel est absorbé, on retourne le fromage et on sale l'autre face.

13. Maturation. — Il est peu de fromages qui soient consommés aussitôt après la fabrication, c'est-à-dire à l'état frais. La plupart sont soumis à une fermentation qui leur fait acquérir des propriétés spéciales. C'est à cette fermentation que l'on donne le nom de *Maturation* du fromage.

14. Maturation des fromages à pâte molle (Camembert, Brie). — Théorie de M. Mazé. — Pour analyser les phénomènes qui se produisent pendant la maturation du fromage, nous allons prendre l'exemple des fromages à pâte molle. M. Mazé, chef de laboratoire à l'Institut Pasteur, a donné de la fermentation de ces fromages une théorie très simple qui rend compte de tous les phénomènes observés par les praticiens¹.

¹ P. MAZÉ, *Recherches sur une méthode rationnelle applicable à la fabrication des fromages avec du lait pasteurisé etensemencé de cultures de ferments purs* (Rapport au Congrès international de laiterie, Paris, octobre 1905).

Le lait utilisé dans la fabrication du Brie et du Camembert doit être abondamment pourvu de ferments lactiques. Ces ferments sont emprisonnés dans le caillé, dont ils augmentent rapidement l'acidité et facilitent l'égouttage. On favorise la multiplication de ces ferments pendant la coagulation qui se fait à 30° d'une manière suffisamment lente (de trois à cinq heures). Ce sont les ferments lactiques enfermés dans le caillé qui ont une action prépondérante dans la maturation du fromage.

Le caillé égoutté et sorti du moule se recouvre bientôt d'une végétation abondante où dominent les moisissures, les levures, les mycodermes et les oïdiums. Ces espèces recherchent de préférence les caillés acides; leur rôle consiste surtout à détruire l'acide lactique et le sucre de lait.

Lorsque la surface du caillé est devenue neutre ou légèrement alcaline, apparaissent ce qu'on a appelé les ferments du *Rouge*, à cause de la teinte d'abord jaune orangé, puis de plus en plus rouge, prise alors par le fromage. Lorsque le *Rouge* est formé, on voit la caséine se solubiliser peu à peu en commençant par l'extérieur, et de là, la liquéfaction gagne tout le fromage. Toutes ces transformations qui coïncident avec l'apparition du *Rouge* ont été attribuées aux ferments qui le constituent. Aussi les a-t-on désignés spécialement sous le nom de ferments de la caséine.

En réalité, toutes les espèces bactériennes qui se développent dans le lait secrètent une diastase, la *caséase*, qui solubilise la caséine et la dégrade en produits plus simples. Toutes ces espèces sont donc des ferments de la caséine; elles se différencient par leur capacité plus ou moins grande à sécréter la caséase. De plus, cette diastase n'agit qu'en milieu alcalin ou faiblement acide.

Les ferments du *Rouge* secrètent de la caséase qui agit sur la caséine aussitôt que la surface est devenue neutre ou légèrement alcaline. Mais cette action directe de ces ferments semble se localiser à la surface du fromage. Comme tous les ferments des matières azotées, les ferments du *Rouge* forment de l'ammoniaque. Ce corps se répand dans l'atmosphère ou se diffuse dans l'intérieur de la pâte qui prend alors une réaction légèrement alcaline. A mesure que l'alcalinisation s'avance, on voit s'opérer la liquéfaction partielle de la caséine. Mais cette solubilisation n'est pas due exclusivement à l'ammoniaque; car, s'il en était ainsi, la pâte deviendrait amère et piquante, saveur très fréquente dans les fromages de médiocre qualité.

L'affinage des fromages qui ne peut pas être réalisé par la caséase sécrétée par les ferments du *Rouge*, qui ne doit pas être effectué par l'ammoniaque, est assuré par les ferments qui se sont développés dans la masse du caillé, c'est-à-dire presque exclusivement par les ferments lactiques. Ceux-ci secrètent en effet de la caséase qui, à peu près inactive dans le caillé fortement acide, commence à produire son action dès que l'ammoniaque, produite par les ferments du *Rouge* et en partie diffusée dans la masse du caillé, a considérablement diminué l'acidité de celui-ci. Les ferments lactiques n'agissent donc pas exclusivement sur le sucre de lait. Tant que les végétations superficielles détruisent l'acide lactique à mesure qu'il se produit, les ferments lactiques transforment de nouvelles quantités de sucre de lait en acide lactique. Quand il n'y a plus de lactose, les ferments lactiques se nourrissent exclusivement de caséine.

Ainsi la fabrication des fromages à pâte molle repose entièrement sur l'intervention des ferments lactiques. Toutes les autres fermentations qui se déroulent simultanément ou successivement, à la surface des fromages surtout, sont des auxiliaires de la fermentation (lactique). Elles ont surtout pour but de produire une sorte d'épuration chimique du fromage qui doit être débarrassé des acides qui rendent la maturation impossible) et de donner

naissance à de petites quantités d'ammoniaque sans laquelle l'affinage ne se ferait pas bien.

Ce n'est pas à dire pour cela que les ferments autres que les ferments lactiques, ne jouent pas un autre rôle. Les ferments du *Rouge* protègent la matière grasse du fromage contre l'oxydation, en empêchant complètement l'accès de l'oxygène dans l'intérieur de la pâte. Les fromages qui se dessèchent rancissent en quelques heures, parce que, dans ces conditions, les ferments du *Rouge* deviennent inactifs et permettent à l'oxygène de pénétrer dans la masse du fromage. A côté de leur rôle chimique les moisissures, notamment le *Penicillium Album*, empêchent aussi la pénétration de l'oxygène dans l'intérieur de la pâte et préviennent le rancissement de la crème. Enfin les ferments lactiques eux-mêmes développent dans le caillé le goût de noisette qu'ils produisent dans la crème, arôme qui doit se retrouver dans le fromage affiné, si la fabrication est bien conduite.

15. Pratique de l'affinage. — Nous venons de tracer à grandes lignes les réactions que les diverses espèces sont susceptibles de produire pour réaliser un bon affinage. Mais le caillé est un milieu de culture très favorable au développement des microorganismes; les espèces nuisibles capables de développer des produits de mauvaise odeur sont aussi nombreuses, sinon plus, que les espèces utiles. Pendant que le fromage est acide, ces espèces nuisibles sont moins à craindre. Aussi pendant l'évolution des champignons (de huit à douze jours suivant la saison) les fromages peuvent-ils supporter dans le *séchoir* une température de 13° à 15° C. Mais, dès que le *Rouge* apparaît, c'est-à-dire dès que le milieu commence à être alcalin, il est nécessaire de placer les fromages à une température défavorable au développement des ferments nuisibles. Cette température est au plus de 10° à 12° C. Les fromages doivent donc être placés dans une chambre maintenue à cette température. C'est donc à partir de l'apparition du *Rouge* qu'il est nécessaire d'employer le froid, si on ne possède pas de caves bien fraîches.

La présence des espèces nuisibles se manifeste au moment où l'on sort les produits de la cave; elles se développent rapidement sous l'influence de la température élevée des appartements, et les fromages à pâte molle les mieux réussis ne tardent pas à couler en devenant amers et piquants. Aussi les produits sortis de cave doivent-ils être consommés aussitôt.

16. Emploi de ferments sélectionnés. — Pour remédier à ces accidents, M. *Mazé* conseille de détruire dans le lait tous les mauvais ferments qu'il a récoltés un peu partout. La nature et le rôle des espèces utiles étant déterminés, on pourra, après pasteurisation, les introduire dans le lait ou dans les fromages de façon à reproduire la fermentation indispensable au succès de la fabrication. Cette méthode établie par des essais de laboratoire a déjà donné dans l'industrie des résultats satisfaisants entre les mains de MM. *Guérault-Godard* à la laiterie de Fère-Champenoise.

17. Résumé des principaux points de la fabrication des fromages. — Nous pouvons résumer de la manière suivante les principales précautions que l'on doit prendre dans la fabrication des fromages :

- 1° Emploi d'un lait de bonne qualité, exempt de colostrum et d'impuretés, provenant de vaches saines et bien nourries;
- 2° Emploi d'une bonne présure et à dose soigneusement mesurée;
- 3° Coagulation du lait à la température reconnue la plus favorable et dans le temps déterminé;
- 4° Division du caillé avec précaution;

- 5° Séparation complète du petit-lait par un égouttage à une température convenable ou par une pression graduée, plus forte sur la fin ;
 6° Salaison du fromage avec du sel pur et sec ;
 7° Mise au séchoir et affinage à la cave en observant journallement les conditions de température, d'aération, propres à chaque fromage ;
 8° Entretien minutieux de la fromagerie et de tous les appareils employés à la fabrication des fromages¹.

XI

LE FROID DANS LA FABRICATION DU FROMAGE

1. Conservation du fromage parvenu à l'état de maturité. — Si on veut conserver au fromage son état naturel, il ne faut pas le soumettre à l'action de températures trop basses. *Otto Kasdorf* a soumis des échantillons de fromages maigres et de fromages gras à une température de -10° C. à -14° C. Le fromage gras se congela plus difficilement que le fromage maigre ; mais tous les échantillons se comportèrent de la même façon après quatorze jours de conservation à ces basses températures. Ils se réduisirent en miettes une fois revenus à la température ordinaire. Le même phénomène fut observé sur des fromages maintenus quatre semaines à des températures variant entre -8° C. et -6° C. Du fromage maigre conservé deux mois et demi dans une chambre froide à -3° C. ne présenta ce caractère qu'à un faible degré. Enfin, à la condition de maintenir un certain degré d'humidité dans la chambre froide, *Otto Kasdorf* put garder à -2° C. du fromage et lui conserver pendant cinq mois sa valeur commerciale.

Les conditions les plus convenables pour la conservation du fromage sont les suivantes :

Une température comprise entre -2° C. et $+2^{\circ}$ C. ; cette température doit être aussi constante que possible ; ses variations ne doivent pas dépasser 1° . L'état hygrométrique de l'air de la chambre froide doit être compris entre 75 0/0 et 80 0/0 ; cet air doit être aussi pur que possible.

2. Maturation du fromage. — Les circonstances les plus favorables à la maturation du fromage sont moins bien connues ; les uns préconisent des températures voisines de $+10^{\circ}$ C., les autres préfèrent $+3^{\circ}$ C. à $+4^{\circ}$ C. Cependant il résulte d'expériences² faites en Amérique et plus particulièrement au Canada sur du *Cheddar* que ces conditions de maturation sont les suivantes :

Le fromage au sortir de la presse est d'abord introduit dans une chambre froide à la température de 4° C. environ, l'état hygrométrique étant d'environ 90 0/0. Au fur et à mesure de la maturation, la température doit s'élever lentement et l'état hygrométrique doit s'abaisser

1. Voir, dans le *Traité de Laiterie* de M^{me} Irma Maréchal, un tableau des températures pour la mise en présure et des durées de coagulation des principales espèces de fromages.

2. On trouvera le détail de ces expériences dans l'ouvrage d'*Otto Kasdorf* (p. 25 et 174) et dans la *Revue générale du lait*, Bruxelles, III, n^o 6 et 12.

Voir aussi : *Die Behandlung von Käse bei tiefen Temperaturen* (*Eis und Kälte-Industrie*, t. VI, n^o 9, 5 novembre 1904) ; — MADISON COOPER, *Practical Cold Storage*, chap. XII, p. 235.

progressivement. La limite supérieure de la température est 8° à 10° C. ; la limite inférieure de l'état hygrométrique est 80 0/0.

On voit donc que, dans les chambres de maturation pour le fromage, on doit pouvoir régler la température et l'état hygrométrique. Au Canada, on fait ce réglage d'une manière primitive; la chambre à maturation est en communication avec des caisses contenant des copeaux de sapin humides, sur lesquels un ventilateur fait circuler de l'air. L'ingénieur Raffay a proposé un appareil plus commode pour rendre l'air humide; il se compose d'une bande d'étoffe grossière courant sur des rouleaux et maintenue humide.

D'après M. E. Marre¹, ce procédé de maturation, par un réglage convenable de la température des chambres froides et de leur état hygrométrique, commence à être appliqué par les industriels qui fabriquent le *Roquefort*. Les fromages, salés, piqués, enveloppés dans une feuille d'étain (afin d'éviter la dessiccation et l'oxydation de la matière grasse), sont refroidis au voisinage de 0° C. Au fur et à mesure des demandes, la maturation de certaines chambres est activée par un réglage approprié de la température et de l'état hygrométrique. Enfin les fromages sont transportés dans une cave naturelle de Roquefort² [température : 7° à 8° C. ; état hygrométrique : 90 0/0] pour y terminer leur affinage et perdre, à l'air libre de cette cave, le léger goût de renfermé qu'ils peuvent avoir contracté au réfrigérant; ils sont ensuite livrés à la consommation.

XII

LE COMMERCE DU FROMAGE

1. Commerce du fromage en Angleterre. — L'Angleterre est le grand pays importateur de fromages.

Le tableau LXXVI donne le chiffre des importations depuis 1896.

TABLEAU LXXVI

IMPORTATIONS DE FROMAGES EN ANGLETERRE

	quintaux (50 kilog.)		quintaux (50 kilog.)
1896	2.244.525	1900	2.705.878
1897	2.603.178	1901	2.586.837
1898	2.339.452	1902	2.546.212
1899	2.384.069	1903	2.604.214

L'Angleterre consomme environ 5.400.000 quintaux (50 kilogrammes) de fromage par an; la production indigène se monte à environ 3.000.000 de quintaux; l'importation fournit l'excédent nécessaire à la consommation.

Le tableau LXXVII montre quels sont les pays qui importent le fromage en Angleterre.

1. E. MARRE, *le Roquefort*. E. Carrère, Rodez, 1906; H. Dunod et E. Pinat, Paris, 1906.

2. Dans les caves naturelles de Roquefort, il se produit en été un courant d'air froid et très humide qui vient de la partie supérieure au travers des cheminées naturelles dites *fleurines*, qui se sont formées dans une falaise à la base de laquelle ces caves sont creusées; lorsque le vent du Midi souffle et en été, la vitesse de ces courants d'air atteint jusqu'à 3 mètres à la seconde. D'ailleurs une cave, pour être bonne, doit recevoir assez d'air de ses fleurines pour que le volume total de cet air soit renouvelé au moins trois fois par jour.

TABLEAU LXXVII

PAYS IMPORTATEURS DE FROMAGES EN ANGLETERRE

FROMAGES VENANT DE	1900	1901	1902	1903
	quintaux (50 kil.)	quintaux (50 kil.)	quintaux (50 kil.)	quintaux (50 kil.)
Canada	1.511.872	1.547.739	1.709.565	1.848.152
Etats-Unis	680.583	540.102	390.479	360.916
Hollande	327.382	315.923	284.020	302.361
Australie	81.003	79.243	51.882	56.339
France	35.110	26.833	36.801	35.992
Autres pays	69.928	76.997	73.465	90.454

On voit que le Canada est le grand fournisseur de fromages de l'Angleterre : ses importations en Angleterre vont en augmentant, au détriment de celles des États-Unis qui ont diminué de près de moitié depuis 1900.

2. Commerce du fromage en Allemagne. — L'Allemagne importe aussi une grande quantité de fromages.

Le tableau LXXIX donne les importations, et le tableau LXXVIII les exportations pendant ces dernières années.

TABLEAU LXXVIII

IMPORTATIONS DE FROMAGE EN ALLEMAGNE

ANNÉES	HOLLANDE	SUISSE	FRANCE	GRANDE BRETAGNE	ITALIE	AUTRICHE	RUSSIE	AUTRES PAYS	TOTAL
	kilogrammes	kilogrammes	kilogrammes	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilogrammes
1892.....	3.181.400	4.190.600	517.100	60.300	88.600	121.900	86.900	23.400	8.270.200
1893.....	2.208.500	4.422.600	499.000	»	95.600	112.000	59.600	89.000	8.487.200
1894.....	3.995.500	3.942.800	489.200	»	104.800	122.500	57.700	104.200	8.816.700
1895.....	4.336.400	4.095.100	535.100	»	109.600	133.400	»	138.700	9.348.300
1896.....	5.014.400	4.163.000	592.700	»	117.400	155.800	»	152.500	10.195.800
1897.....	6.100.100	4.699.000	651.300	»	148.600	154.400	»	178.500	11.931.900
1898.....	7.347.300	5.405.400	745.400	»	163.500	181.200	109.400	92.000	14.044.200
1899.....	8.116.900	5.765.000	794.300	»	171.800	190.500	122.200	101.800	15.262.500
1900.....	8.243.300	6.913.500	835.000	»	256.000	194.800	113.700	85.800	16.642.100
1901.....	8.641.500	6.510.600	862.800	66.000	242.600	198.100	125.000	89.100	16.669.700
1902.....	9.017.200	5.214.600	938.400	75.300	281.400	200.500	135.800	43.300	15.906.500
1903.....	9.448.100	5.072.700	1.022.300	76.900	310.600	190.100	113.300	31.400	16.265.400

TABLEAU LXXIX
EXPORTATIONS DE FROMAGES ALLEMANDS

ANNÉES	VERS LA BELGIQUE	VERS LA FRANCE	VERS L'ITALIE	VERS LA SUISSE	VERS LA 6 ^{de} BRETAGNE	VERS LA RUSSIE	VERS LES AUTRES PAYS	TOTAL
	kilogrammes	kilogrammes	kilogrammes	kilogrammes	kilogrammes	kilogrammes	kilogrammes	kilogrammes
1893....	»	752.900	»	398.400	203.600	»	583.300	1.734.600
1894....	»	913.700	»	472.400	70.800	»	506.700	2.096.400
1895....	»	808.600	255.200	608.300	24.700	»	468.900	2.211.800
1896....	»	608.400	224.000	513.500	»	»	469.400	1.840.000
1897....	79.200	442.300	70.400	447.200	»	»	320.600	1.359.700
1898....	78.200	430.900	14.500	435.000	»	1.200	188.200	1.148.000
1899....	»	436.000	»	406.600	»	»	303.300	1.145.900
1900....	120.800	463.100	»	376.400	»	»	202.100	1.162.400
1901....	122.000	659.600	»	418.100	»	»	257.100	1.456.800
1902....	116.800	624.600	»	418.900	»	»	254.900	1.415.200
1903....	134.300	421.800	»	432.300	»	»	287.800	1.276.200

3. Commerce du fromage en France. — La France fabrique surtout le *Camembert*, le *Brie*, le *Cantal* et le *Roquefort*¹.

La fabrication du *Camembert* remonte à 1791; du Calvados elle s'est étendue dans les départements voisins où de nombreuses usines se montent tous les jours. Actuellement on compte dans le Calvados 50 fromageries produisant par an plus de 14 millions de Camemberts.

Entre Lisieux et Orbec, que sépare une distance de 20 kilomètres à peine, on compte 6 fromageries dont certaines reçoivent de 8 à 10.000 litres de lait par jour. Le canton de Saint-Pierre-sur-Dives compte à lui seul plus de 25 fabriques de Camembert. Le canton de Livarot (situé entre Saint-Pierre-sur-Dives et Orbec) fabrique le Camembert de septembre à mai et le Livarot pendant les mois d'été. Dans le département de l'Eure, le fromage de Camembert se fait dans 25 usines. La fromagerie de Saint-Symphorien à 7 kilomètres au sud de Pont-Audemer reçoit plus de 9.000 litres de lait; celle du Tremblay, près de Bernay, traite par jour de 18 à 22.000 litres de lait. Le département de l'Orne envoie sur le marché plus de 3 millions de Camemberts. La Seine-Inférieure n'a que 8 à 10 établissements industriels; les fromages de Gournay (ou Neufchâtel) consomment le lait du pays; on y fait peu de Camemberts. Dans ces quatre départements, l'industrie fromagère représente une valeur totale supérieure à 80 millions de francs.

Le *Brie* dont la fabrication remonte à plusieurs siècles a une production encore importante dans les fermes des arrondissements de Meaux, Coulommiers et Fontainebleau qui font chacune de 10 à 40 fromages par jour. Mais la fabrication industrielle du Brie se fait surtout dans la Meuse où la fromagerie de Maison du Vel reçoit environ 18.000 litres de lait par jour.

A côté du Brie il faut placer le *Petit-Brie* ou *Coulommiers* qui se fait dans toutes les usines de l'Est.

Dans la Marne les fromageries se sont groupées autour de Châlons, Épernay; elles font

¹ MRSNIL, chef de laboratoire de la station Roger pour l'amélioration des fromages, *Fromages, Conclusions pratiques; Recherches récentes sur la fabrication des fromages à pâte molle* (Rapport au Congrès international de laiterie, Paris, 1905); — E. MARRE, *le Roquefort*, E. Carrère, Rodcz, 1906.

du Coulommiers et du Brie. La fromagerie de MM. Guérault-Godard à Fère-Champenoise traite par jour de 10 à 15.000 litres de lait dans un pays où, il y a quelques années, l'élevage de la vache laitière était presque inconnu.

La fabrication du *Cantal* se développe beaucoup à l'heure actuelle. Dans le département du Cantal plus de 3.000 vaches laitières fournissent leur lait pour ce fromage ; la laiterie de M. Seronde, à Riom-ès-Montagne, entre Mauriac et Murat, reçoit par jour à elle seule plus de 6.000 litres de lait.

Les Bries et les Camemberts sont généralement consommés au bout de quelques semaines; parfois même ils sont vendus dès que le *Penicillium* (ou moisissure) a poussé, c'est-à-dire huit à dix jours après la fabrication. Les Bries sont peu exportés ; ils sont vendus le plus souvent sur les marchés de Meaux et de Paris.

Les Camemberts, en raison de leur dimension plus restreinte, peuvent plus facilement être exportés ; leurs principaux débouchés sont : la Belgique, l'Angleterre, l'Espagne, l'Allemagne et les États-Unis. L'usine Prevet, à Meaux, a trouvé le moyen de conserver les fromages dans des boîtes métalliques et de pouvoir ainsi les envoyer aux colonies où les fromages à pâte molle étaient jusqu'alors inconnus. En suivant une technique spéciale dans la stérilisation des produits, cette usine a pu expédier des Bries, des Coulommiers, des Camemberts parfaitement conservés en Afrique, en Asie et dans le monde entier.

L'industrie du *Roquefort* a pris un développement considérable et n'a cessé de prospérer depuis 1800, ainsi que le prouvent les chiffres de production ci-après contenus dans le tableau LXXX. Actuellement, la production annuelle est de 7.000.000 de kilogrammes environ. Cela représente, à un prix moyen de 200 francs les 100 kilogrammes, un chiffre d'affaires d'environ 14.000.000 de francs. Cette industrie est concentrée tout entière à Roquefort, petit chef-lieu de canton de l'arrondissement de Saint-Affrique (Aveyron). Il y a actuellement, à Roquefort, 12 à 15 maisons qui exploitent une soixantaine de caves. Le tableau LXXXI donne les noms des principales maisons avec le nombre de kilogrammes de fromage qu'elles affinent par an. Le *Roquefort* est vendu dans le monde entier, aux États-Unis, dans l'Amérique du Sud, en Angleterre, en Allemagne, en Autriche, etc... ; son prix, soit en gros (180 à 250 francs les 100 kilogrammes), soit au détail, est supérieur à celui des autres fromages.

TABLEAU LXXX

DÉVELOPPEMENT DE L'INDUSTRIE DU ROQUEFORT

En 1800, on a affiné à Roquefort	250.000 kilogrammes de fromage
En 1820, —	300.000 —
En 1830, —	800.000 —
En 1840, —	750.000 —
En 1850, —	1.400.000 —
En 1860, —	2.700.000 —
En 1867, —	3.250.000 —
En 1877, —	4.000.000 —
En 1888, —	5.000.000 —
En 1890, —	5.200.000 —
En 1891, —	5.500.000 —
En 1892, —	6.000.000 —
En 1900, —	6.500.000 —

TABLEAU LXXXI

PRODUCTION DES PRINCIPALES MAISONS DE ROQUEFORT

NOM DE LA MAISON	DATE de la FONDATION	POIDS DE FROMAGES EXPÉDIÉS par an
		kilogrammes
Société des Caves réunies (1842) et Société des Caves et des Producteurs réunis (1881), aujourd'hui <i>Société anonyme des Caves et des Producteurs de fromage de Roquefort</i>	1896	3.800.000
Louis Rigal.....	—	1.000.000
Société Nouvelle de Roquefort.....	1899	840.000
Grande Société P. Lebrou et C ^{ie}	1900	380.000
Maria Grimal.....	—	330.000
Sarrouy, Robert et C ^{ie}	—	300.000
Société anonyme des propriétaires.....	—	220.000
Syndicat des Producteurs de Dourdou et des Causses.....	—	120.000
Beffre.....	—	90.000

Malgré l'importance de ces industries, la France importe une quantité de fromage plus considérable que celle qu'elle exporte. Voici quelques chiffres :

	1899	1900	1901
	kilogrammes	kilogrammes	kilogrammes
Exportations.....	7.835.823	8.376.828	8.074.803
Importations.....	17.529.158	19.339.290	19.066.505

Les pays qui importent en France sont la Suisse, la Hollande, l'Italie et l'Allemagne.

TABLEAU LXXXII

IMPORTATIONS DE FROMAGES EN FRANCE

	1899	1900	1901
	kilogrammes	kilogrammes	kilogrammes
Suisse.....	6.036.379	7.884.884	7.667.662
Hollande.....	7.139.561	5.855.162	6.284.966
Italie.....	1.106.321	1.113.137	1.145.917
Allemagne.....	436.000	463.100	659.600

La France exporte des fromages vers la Belgique, l'Allemagne, l'Algérie, l'Angleterre.

TABLEAU LXXXIII

EXPORTATIONS DE FROMAGES FRANÇAIS

	1899	1900	1901
	kilogrammes	kilogrammes	kilogrammes
Vers la Belgique.....	2.285.558	2.531.916	2.113.926
Allemagne.....	794.300	835.000	862.800
Algérie.....	1.768.530	1.772.910	1.701.998
Angleterre.....	609.253	664.744	609.253

4. Exportation de fromages de la Suisse vers les États-Unis. — Remarquons que, dans ces dernières années, la Suisse a importé aux États-Unis une grande quantité de fromages, soit :

6.125.000 francs en 1902,
6.900.000 francs en 1903.

5. Exportation de fromages de la Nouvelle-Zélande en Angleterre. — Enfin la Nouvelle-Zélande expédie aussi du fromage en Angleterre. Cette exportation a été en :

	quintaux métriques (100 kilog.)
1893-1894.....	23.000
1898-1899.....	34.000
1902-1903.....	37.000

XIII

EXEMPLES DE CALCUL DE LA PUISSANCE FRIGORIFIQUE
D'UNE MACHINE A FROID POUR LAITERIE¹

1. Refroidissement d'une chambre à conservation de beurre. — Une chambre frigorifique doit être refroidie au moyen d'une solution de sel marin (1/5 kilogramme de sel par kilogramme d'eau). La chambre a 5 mètres de long, 2 mètres de large et 3 mètres de haut. On veut utiliser dans ce but la circulation de 1.000 litres de solution saline qui doit, au moyen de la machine à froid, être refroidie de + 1° C. à - 9° C. *Quelle est la puissance frigorifique de la machine à froid que l'on doit employer?*

D'après le tableau XXIII, la solution saline contenant 0^{ks},2 de NaCl par kilogramme de solution a un poids spécifique égal à 1,15 et une chaleur spécifique égale à 0,815. Le poids de la solution saline est alors

$$1000 \times 1,15 = 1.150 \text{ kilogrammes.}$$

La température de cette masse de solution saline doit être abaissée de $1 + 9 = 10$ degrés; il faut donc enlever par kilogramme de solution

$$0,815 \times 10 = 8,15 \text{ grandes calories.}$$

On doit faire absorber à toute la masse

$$8,15 \times 1150 = 9.400 \text{ calories environ.}$$

Ce nombre de calories doit être majoré de 30 0/0, pour tenir compte des pertes par rayonnement, conductibilité, etc... Le nombre de grandes calories qui doivent être absorbées par cette masse de solution saline est donc

$$9400 + 2800 = 12.200 \text{ calories.}$$

1. D'après OTTO KASDORF. *Eis und Kälte im Milkereibetrieb*, p. 54-57.

Cette installation nécessite donc une machine d'une puissance frigorifique horaire de 12.200 frigories, si on veut que le refroidissement soit effectué en une heure. Comme la chambre a un volume de 30 mètres cubes, il faut par mètre cube une machine d'une puissance frigorifique horaire de

$$\frac{12200}{30} = 407 \text{ frigories environ.}$$

Les conditions de température et de circulation de la saumure que nous venons d'indiquer sont celles qui sont généralement réalisées *pour les chambres de conservation du beurre* dans les conditions normales d'une installation de laiterie.

Pour calculer un projet de machine frigorifique pour laiterie, on peut admettre qu'il faut dépenser 400 à 500 frigories (ou absorber 400 à 500 calories) par mètre cube de chambre froide destinée à la conservation du beurre.

Par exemple, si l'on veut refroidir une chambre froide de 10 mètres de long, 3 mètres de large et 2 mètres de haut (volume = 60 mètres cubes), il faut une machine frigorifique capable d'absorber

$$60 \times 450 = 27.000 \text{ calories,}$$

si l'abaissement de température doit être réalisé en une heure la puissance frigorifique horaire doit être de 27.000 frigories; mais, si l'abaissement de température doit être réalisé en trois heures, la puissance frigorifique horaire sera seulement de

$$\frac{27000}{3} = 9.000 \text{ frigories.}$$

2. Production de glace. — Avec de l'eau à la température de 18° C., on veut produire 100 kilogrammes de glace par heure. *Calculer la puissance frigorifique de la machine à glace qui est nécessaire.*

L'eau doit être : 1° refroidie de 18° à 0° C.; — 2° congelée à 0° C.; — 3° refroidie de 0° C. à — 7° C., afin que la glace formée ne fonde pas trop facilement.

Il faut, pour ces opérations, absorber

$$100 \times 18 + 100 \times 80 + 0,5 \times 100 \times 7 = 10.150 \text{ calories}$$

(on prend égale à 0,5 la chaleur spécifique de la glace).

Si on ajoute pour les pertes par rayonnement, conductibilité, etc., un nombre de calories qui est les 30 0/0 du nombre précédent, on voit qu'il faut absorber par heure

$$10150 + 3045 = 13.195, \text{ soit } 13.200 \text{ calories environ.}$$

La puissance frigorifique horaire de la machine doit être de 13.200 frigories.

Pour obtenir dans les mêmes conditions 1 kilogramme de glace par heure, il faudrait absorber

$$\frac{13.200}{100} = 130 \text{ calories environ.}$$

Pour les petites installations, on peut admettre que, pour produire 1 kilogramme de glace, il faut absorber 130 calories. Pour les grandes installations, ce nombre est un peu trop grand et peut être réduit à 120 calories.

3. Machine frigorifique pour une laiterie dans laquelle on doit refroidir une chambre à conservation de beurre et produire de la glace. — Dans une laiterie on veut :

1° Refroidir une chambre à conservation de beurre ayant 4 mètres de long, 2 mètres de large et 1^m,80 de haut ;

2° Produire 50 kilogrammes de glace par heure.

Quelle est la puissance frigorifique de la machine qui est nécessaire pour réaliser ces conditions ?

Pour obtenir 50 kilogrammes de glace, il faut dépenser

$$130 \times 50 = 6.500 \text{ frigories.}$$

Pour refroidir une chambre à conservation de beurre du volume d'environ 15 mètres cubes, faut dépenser

$$13 \times 450 = 6.750 \text{ frigories.}$$

Il faut donc dépenser en tout 13.250 frigories.

Si le refroidissement doit être effectué en une heure, il faut que la machine frigorifique ait une puissance horaire de 13.000 à 13.500 frigories.

4. Machine frigorifique pour refroidissement d'une certaine masse de lait. — Dans une laiterie, la machine frigorifique est uniquement employée à refroidir en moyenne 2.500 litres de lait de 16° C. à 4° C. Ce refroidissement doit être effectué en trois heures. Quelle est la puissance frigorifique de la machine nécessaire pour atteindre ce résultat ?

Le nombre de calories à absorber est, si on prend la densité du lait égale à l'unité, égal à

$$12 \times 2500 = 30.000 \text{ grandes calories.}$$

Comme ces calories doivent être absorbées en trois heures, on voit qu'il faut une machine de puissance frigorifique horaire égale à 10.000 frigories.

Si, comme nous l'avons vu au chapitre IV, on commence par refroidir le lait de 16° à 11° C. au moyen d'eau de puits, on réalise une économie sérieuse sur la puissance frigorifique de la machine qui doit refroidir ce lait de 11° à 4° C.

En effet, pour refroidir le lait de 11° à 4° C., c'est-à-dire de 7°, il faut absorber

$$7 \times 2500 = 17.500 \text{ calories.}$$

Il suffit donc d'absorber par heure $\frac{17500}{3} = 5.900$ calories environ.

La machine frigorifique doit avoir une puissance frigorifique horaire de 5.900 frigories au lieu de 10.000 frigories comme dans le cas précédent.

5. Problème général du calcul d'une machine frigorifique pour laiterie.

— Dans une laiterie on veut effectuer à la fois les opérations suivantes :

- a) Refroidir 500 kilogrammes de lait de + 12° à + 4° C. ;
 - b) Refroidir 100 kilogrammes de crème de + 12° à + 6° C. ;
 - c) Produire 50 kilogrammes de lait congelé ;
 - d) Refroidir une chambre à conservation de beurre de 24 mètres cubes.
- Ces opérations doivent être effectuées en deux heures.

Quelle est la puissance frigorifique horaire de la machine qui est nécessaire pour arriver à ce but ?

Il faut absorber :

- | | |
|---|---------------------------------|
| a) pour refroidir les 500 kil. de lait de $+ 12^{\circ}$ à $+ 4^{\circ}$ C..... | $8 \times 500 = 4.000$ calories |
| b) pour refroidir 100 kil. de crème de $+ 12^{\circ}$ à $+ 6^{\circ}$ C..... | $6 \times 100 = 600$ — |
| c) pour produire 50 kil. de lait congelé..... | $130 \times 50 = 6.500$ — |

(On suppose qu'il faut absorber la même quantité de chaleur pour congeler 1 kilogramme de lait que pour congeler 1 kilogramme d'eau.)

- | | |
|---|-----------------------------------|
| d) pour refroidir une chambre à beurre de 24 mètres cubes.. | $450 \times 24 = 10.800$ calories |
|---|-----------------------------------|

On doit donc absorber en deux heures

$$4000 + 600 + 6500 + 10800 = 21.900 \text{ calories.}$$

La machine frigorifique doit donc avoir une puissance frigorifique horaire de 11.000 frigories environ.

CHAPITRE XIII

CONSERVATION DES ŒUFS PAR LE FROID¹

1. Les divers modes de conservation des œufs. — Avantages de la conservation par le froid. — La conservation des œufs est certainement une des applications les plus délicates de l'industrie frigorifique. Cependant, à la suite de diverses expériences, il existe aujourd'hui une série de règles assez précises qui permettent de garder des œufs pendant six mois, ce qui est amplement suffisant dans la pratique.

Ce mode de conservation se répand de plus en plus en France et à l'étranger, notamment aux États-Unis, en Russie, Belgique, Australie et surtout en Allemagne où les dépôts frigorifiques *ad hoc* les mieux compris se trouvent à Berlin, Hambourg, Nuremberg et Cologne.

La conservation par réfrigération nécessite naturellement une organisation plus compliquée et plus coûteuse que les autres procédés par emballage à l'aide d'un corps gras, par immersion dans l'eau de chaux ou dans une solution de verre soluble¹.

Mais elle présente sur ces derniers le précieux avantage de permettre à l'agriculteur de pouvoir garder chez lui, outre les œufs, des produits agricoles très divers (beurre, viande, fruits, etc...) sans crainte qu'ils s'abîment et pendant tout le temps nécessaire pour attendre le relèvement des cours. Ce procédé permet aussi de porter les œufs à la conserve aussitôt

1. Pour la rédaction de ce chapitre, nous avons puisé des renseignements dans les publications suivantes : Camille PARST, *Conservation des œufs par réfrigération (L'Industrie frigorifique, 2^e année, n° 9, février 1904)*; — Otto KASDORF, *Eis und Kälte im Molkebetrieb*, p. 184; *Die Kälte bei der Eierkonservierung*; — H. MSTR, *Die Aufbewahrung von Eiern in Kallagerhäusern (Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie, 10^e année, avril 1903, p. 75)*; — Constanz SCHMITZ, *Kallagerung von Eiern (Eis und Kälte-Industrie, t. V, n° 9, 5 novembre 1903)*; — MADISON COOPER, *Practical Cold Storage*, chapitre x.

2. On a conservé des œufs en les enduisant de paraffine. 1 kilogramme de paraffine suffit pour 3 000 œufs. Mais ce procédé prend trop de temps et n'est pas pratique.

L'eau de chaux est employée universellement en France. C'est le procédé qui donne le moins de déchet, tout en étant le plus simple et le moins coûteux. Il consiste à mettre 3 ou 4 kilogrammes de bonne chaux vive dans 40 litres d'eau, à brasser bien à intervalles pendant quelques heures; à laisser déposer; à verser ensuite la solution claire, additionnée ou non de 1 kilogramme de sel, sur les œufs préalablement placés dans une jarre ou un baril étanche. Ce procédé a de multiples inconvénients. Il communique à l'œuf une odeur de chaux. D'autre part, le jaune se sépare du blanc, vient se coller sur la coquille et se répand sur le plat dès qu'on casse l'œuf. L'albumine prend une teinte jaunâtre et une odeur de vieux.

Le verre soluble est recommandé par la station expérimentale du Dakota du Nord (États-Unis). Le verre soluble se trouve dans le commerce sous forme d'un liquide sirupeux qui est un mélange de silicate de potasse et de silicate de soude. On recommande de dissoudre un volume de ce liquide sirupeux dans 10 volumes d'eau : 1 litre de cette solution suffit pour environ dix douzaines. On doit éviter d'employer un verre soluble qui aurait une réaction alcaline. Quant à l'eau, elle doit être très pure; il est bon de la faire bouillir, puis de la laisser refroidir avant de faire la solution. Celle-ci doit être versée avec précaution dans un récipient absolument propre; si l'on emploie des tonneaux en bois, il est indispensable de les traiter préalablement à l'eau bouillante. Enfin, on devra conserver les œufs dans un endroit frais; car, si la température était trop élevée, le silicate se déposerait sur la coquille et les œufs ne se conserveraient pas bien. Ce procédé n'est pas non plus exempt de reproches. La coquille des œufs conservés dans le verre soluble est sujette à craquer dans l'eau bouillante. De plus, lorsque cette conservation se prolonge au delà de trois ou quatre mois, l'albumine contracte une odeur de savon qui est encore plus accentuée quand on prépare des œufs pochés.

qu'ils sont produits, sans qu'on soit obligé d'attendre d'en avoir récolté une assez grande quantité, ce qui empêche toujours d'obtenir des œufs d'une fraîcheur parfaitement égale après la durée de leur conservation.

2. Détériorations que doit empêcher la conservation des œufs. — La conservation des œufs par le froid exige un certain nombre de manipulations très délicates qui ont pour but d'empêcher :

1° *Le développement sur la coquille de l'œuf d'une végétation parasitaire blanchâtre et invisible, communiquant à la matière alimentaire une saveur de moisi, appelée goût fort;*

2° *L'évaporation d'une partie de l'eau contenue dans l'intérieur de l'œuf, ce qui augmente défavorablement le volume de sa chambre à air;*

3° *L'adhérence du jaune à la coquille.*

Nous allons indiquer quelques règles qui président à cette conservation, au point de vue :

1° Du choix des œufs à introduire au frigorifique;

2° Du mode de traitement à l'intérieur du frigorifique (température, humidité de l'air, circulation de l'air froid);

3° De la manipulation des œufs à la sortie.

3. Quels œufs convient-il d'introduire au frigorifique ? — Nous avons insisté, dans l'*Introduction*, sur la nécessité qu'il y avait, pour la bonne conservation des denrées alimentaires, de n'introduire dans les chambres froides que des produits en parfait état de conservation. Nous sommes revenus, dans les chapitres précédents, sur cette condition indispensable. Nous la rappelons ici à propos des œufs.

Il est essentiel de n'introduire au frigorifique que des œufs parfaitement frais.

Il convient, de plus, que la surface extérieure de la coquille soit aussi nette que possible.

Des œufs qui ont été exposés à une température élevée ne sont pas propres à la conservation au frigorifique. C'est le cas des œufs qui ont subi un long transport pendant lequel ils ont pu s'échauffer.

Il ne faut introduire dans les chambres froides que le moins possible d'œufs fécondés, le germe se développant facilement dès que, dans le transport, les œufs sont portés un temps très court à une température élevée¹.

Le triage, l'essai et le mode d'emballage des œufs sont donc des opérations de la plus grande importance. Nous allons maintenant les décrire avec soin.

4. Saison la plus favorable pour emmagasiner des œufs. — La meilleure saison pour emmagasiner les œufs de conserve (quel que soit d'ailleurs le procédé employé) coïncide avec les mois de mars, avril et mai. En effet, les œufs possèdent, durant ce trimestre printanier, le maximum de qualités organoleptiques; en outre, la chaleur de l'été favorise beaucoup le travail des microbes et le développement du germe de l'œuf. Des expériences ont montré que des œufs emmagasinés en juillet donnent 20 0/0 de déchet, tandis que ce dernier est à peine de 5 0/0 quand l'emmagasinement a lieu en avril. On a reconnu aussi qu'à cette époque la conservation des œufs peut commencer sept à huit jours (au maximum dix à douze jours) après leur ponte, alors qu'en juillet il est dangereux d'opérer sur des œufs ayant plus de cinq à six jours.

¹ Les œufs fécondés peuvent, à la rigueur, être également conservés, à la condition qu'ils soient ramassés de grand matin et placés immédiatement dans un lieu frais afin d'empêcher toute évolution du germe.

5. Transport des œufs au frigorifique. — Mode d'emballage. — Les œufs destinés à la réfrigération doivent être expédiés au frigorifique le plus tôt possible après leur ponte. Ce transport doit être effectué de préférence la nuit, en évitant de trop brusques changements de température et un trop long contact avec des substances hygrométriques, comme la paille hachée ou non, la sciure de bois, les copeaux de bois, etc.

6. L'humidité est particulièrement nuisible à la conservation des œufs. — Recherches de M. Gayon. — *L'humidité est en effet particulièrement nuisible à la conservation des œufs.*

Panceri¹ et après lui M. Gayon² ont, en effet, démontré que, dans certaines conditions d'humidité, des moisissures peuvent germer sur la coquille et pénétrer ensuite dans l'intérieur de l'œuf. Les spores, en germant, ne tardent pas à couvrir la surface de la coque d'un lacis de tubes de mycélium. On peut concevoir dès lors que l'un de ces tubes, arrivé en rampant jusque sur les bords d'un des pores de la coquille, s'y glisse et pénètre ensuite jusqu'au blanc.

7. Mode d'emballage adopté en Allemagne. — On évite ces inconvénients, en Allemagne, en transportant les œufs dans des caisses spéciales, à séparations de carton ondulé (Wellpappe), chacune des cases contenant un œuf.

Ce que nous venons de dire sur le rôle de l'humidité à la surface de la coquille de l'œuf nous montre qu'il ne faut pas laver cette coquille pour la nettoyer, mais que ce nettoyage doit être fait à sec.

8. Le mirage des œufs. — Description des apparences observées avec des œufs frais, des œufs pourris et des œufs renfermant des moisissures. — Avant d'être introduits au frigorifique, les œufs doivent être classés et mirés, afin de séparer ceux qui sont parfaitement sains de ceux qui présentent un commencement de décomposition. Cette opération est très importante et doit être faite avec le plus grand soin.

Le mirage consiste à regarder une lumière à travers un œuf. Supposons qu'un observateur se place avec une bougie dans une chambre noire, et que, saisissant l'œuf aux deux extrémités de son grand axe, il l'interpose entre l'œil et la bougie.

Dans ces conditions, un œuf complètement *sain et frais* apparaît *transparent et teinté en rose clair*, soit uniformément, soit avec un ton qui se fonce vers le centre. Un œuf un peu vieux, mais sain, présente un ton plus rouge, un peu marbré, limité vers le gros bout à une couleur grise, uniforme, qui correspond à la chambre à air, et dont l'étendue augmente avec l'âge de l'œuf. *Les œufs pourris sont complètement opaques. Ce caractère leur est commun avec les œufs couvés.* Mais les œufs couvés se distinguent des œufs pourris en ce que la chambre à air des premiers occupe un grand espace, d'où il résulte qu'au mirage la région opaque se termine brusquement à une zone grise et transparente. Enfin, lorsqu'un œuf renferme des moisissures, on aperçoit, au milieu d'une aire teintée de rose, une tache de diamètre variable, foncée, noire, qui tantôt se déplace dans l'œuf quand on le retourne, tantôt, et c'est le cas le plus fréquent, paraît être adhérente à la coque ou terminée à la chambre

1. P. PANCERI, *De la coloration de l'albumine d'un œuf de poule et des cryptogames qui croissent dans les œufs* (*Atti della Società italiana di Scienze naturali*, t. II, 1860).

2. U. GAYON, *Recherches sur les altérations spontanées des œufs* (Thèse de la Faculté des Sciences de Paris, 13 mars 1875).

Dans ce travail, M. Gayon montre, par des expériences très nettes, que des moisissures peuvent exister dans des œufs sans qu'elles aient eu pour origine des spores poussés à l'extérieur; des spores susceptibles de se développer plus tard existent dans certains œufs, au moment même où ils sont pondus.

Enfin l'eau par elle-même n'est pas une cause de putréfaction des œufs. On peut, en effet, faire entrer de l'eau distillée bouillie ou de l'eau de levure bouillie (eau pure contenant des éléments nutritifs) dans des œufs vieux ou jeunes sans pour cela provoquer leur putréfaction.

à air. Cette apparence justifie l'expression que l'on applique dans le commerce et dans la ferme, aux œufs moisis; on dit, en effet, qu'ils sont *tachés* ou qu'ils ont la *tache*.

La méthode du mirage est, pour un observateur exercé, un moyen très sûr et très sensible pour suivre, sans avoir besoin d'ouvrir l'œuf, la marche de certains phénomènes qui se produisent à son intérieur. C'est ainsi que C. Dareste¹ a pu, par ce moyen, suivre à travers la coque, les premiers développements de l'embryon, reconnaître ses mouvements et constater son état de vie ou de mort. Cette méthode a permis à M. Gayon², dans ses *Recherches sur les altérations spontanées des œufs*, de savoir chaque jour l'état d'altération des œufs mis en expérience et de ne les ouvrir qu'au moment opportun.

Dans l'industrie des œufs, on se sert d'appareils marchant automatiquement qui per-

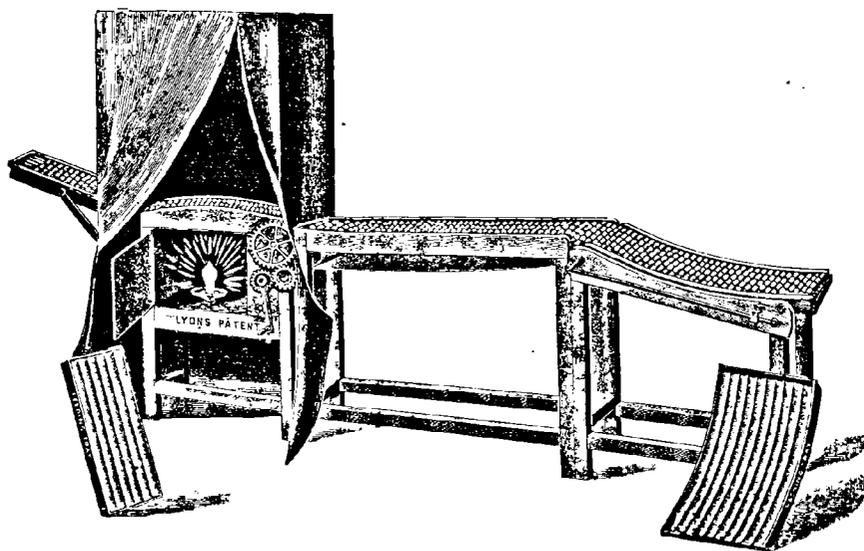


FIG. 403. — Mireuse mécanique pour les œufs.

mettent de mirer à la fois un grand nombre d'œufs. Au lieu d'employer une bougie, il est préférable de se servir d'une lampe électrique pour éclairer les œufs. La figure 403 représente l'un de ces appareils à mirage des œufs.

9. Emballage des œufs dans les chambres froides. — Quand les œufs ont été triés de cette manière, ils sont placés dans des caisses³ à séparations de carton ondulé dont nous avons parlé plus haut. Le bois de ces caisses doit être parfaitement sec et sans odeur. Les œufs doivent être placés dans les compartiments en carton ondulé de manière à être baignés d'air de tous côtés; les caisses elles-mêmes doivent être disposées dans la chambre froide de telle façon qu'elles puissent être aussi baignées d'air de tous côtés; il est avantageux d'établir dans ce but des tablettes *ad hoc*. Dans tous les cas, il faut éviter de placer ces caisses les unes sur les autres de telle façon que l'air ne circule pas facilement autour d'elles: il faut laisser entre elles un espace de 25 à 40 millimètres⁴. Il n'est pas bon de placer

1. C. DARESTE, *Mémoire sur la production artificielle des monstruosité dans l'espèce de la poule* (*Annales des Sciences naturelles, Zoologie*, 4^e série, t. XVIII, p. 245, 1862).

2. U. GAYON, *loc. cit.*, p. 7.

3. Les caisses introduites au frigorifique auront les mêmes dimensions que celles usitées dans le commerce, afin de pouvoir servir également à expédier les œufs au marché. Les caisses de 500 œufs auront : 0^m,92 de long, 0^m,48 de large sur 0^m,18 de hauteur. Celles pour 60 douzaines mesureront : 0^m,97 × 0^m,48 × 0^m,22. Celles de 90 douzaines 0^m,87 × 0^m,48 × 0^m,32. Celles de 120 douzaines : 1^m,97 × 0^m,48 × 0^m,22.

4. On compte que, par mètre cube de chambre froide, on peut mettre dix à douze caisses de 30 douzaines; comme œuf pèse de 40 à 50 grammes, cela fait par mètre cube de 150 à 200 kilogrammes d'œufs.

les œufs dans la chambre froide sans les emballer; car, outre les chances que l'on a de les briser, il peut se produire au contact des œufs des dépôts d'humidité qu'il convient d'éviter.

10. Température et degré hygrométrique des chambres froides. — Le degré hygrométrique des chambres froides doit être compris entre 70 et 75 0/0; il est bon de ne pas dépasser 75 0/0.

Aussi la conservation des œufs dans les maisons glacières n'est-elle pas possible.

La température ne doit jamais descendre au-dessous de 0° C., parce que les œufs seraient alors congelés.

En Allemagne, on admet que la meilleure température de conservation est + 1° C., avec une variation de température en plus ou moins qui ne dépasse pas 1° : *les limites de température des chambres doivent donc être 0° C. et + 2° C. Il importe que la température reste aussi constante que possible; ses variations doivent être au maximum de 2°.* Un entrepôt à viande ne convient nullement pour la conservation des œufs; les variations de température y sont trop considérables et le degré hygrométrique est trop élevé.

Aux États-Unis, on préfère pour la conservation des œufs une température plus élevée. On estime que + 4°,4 C. est une température permettant de mieux conserver à l'œuf son bon goût de fraîcheur que la température de + 1° C. On pense, en outre, que cette dernière température a l'inconvénient de durcir le jaune et d'éclaircir le blanc de l'œuf, surtout quand l'emmagasinage se prolonge; on prétend aussi que, lorsque l'œuf est trop refroidi, il exige à la sortie du dépôt un temps beaucoup trop long pour transpirer et qu'il porte souvent des points noirs autour du germe. Enfin, d'après M. Langwoorthy, les œufs conservés dans le voisinage de 0° C. doivent être consommés peu de temps après leur sortie de la chambre, tandis que ceux conservés entre + 2° C. et + 4°,4 C. peuvent être gardés encore un certain temps sans que leur goût soit altéré.

Quelques praticiens anglais prétendent même qu'une température pouvant varier entre + 4° C. et + 7° C. donne aussi de bons résultats.

Quoi qu'il en soit, on peut dire que jusqu'ici le *plus grand nombre d'entrepôts frigorifiques pour œufs ont adopté la température de + 1° C. à + 2° C.*

11. Modes de refroidissement des chambres froides. — Renouvellement de l'air. — Le système de refroidissement des chambres a une grande importance.

Le système de refroidissement par détente directe n'est pas à conseiller parce que les variations de température des chambres doivent être réduites au minimum.

Le système par circulation de liquide incongelable a l'inconvénient de rendre trop humide l'air des chambres; on est souvent obligé d'assécher l'atmosphère de la chambre avec de la chaux vive ou du chlorure de calcium.

Le système du frigorigère a l'inconvénient inverse de trop dessécher l'air¹.

1. Il convient, toutefois, de remarquer que la firme allemande Humboldt a installé à Cologne une chambre frigorifique à œufs dont le refroidissement est obtenu par une circulation artificielle d'air froid : l'air chaud venant de la chambre de conservation passe sur le serpentín du réfrigérant à ammoniaque (procédé de la détente directe), situé en dehors de cette chambre.

Cette chambre frigorifique à œufs fait partie du grand entrepôt frigorifique du nouveau marché de Cologne (Die neue Hauptmarkthalle). Il y existe deux telles chambres qui ont les dimensions suivantes :

1 ^{re} chambre froide	{	Chambre froide :	350 mètres carrés de superficie....	1.281 mètres cubes
		Antichambre froide :	53	181
2 ^e chambre froide	{	Chambre froide :	433	1.316
		Antichambre froide :	99	295

L'entrepôt frigorifique de Monte-Carlo (*fig. 235*) contient aussi une chambre à œufs refroidie par le même système à air refroidi par circulation autour d'un serpentín réfrigérant.

Le meilleur procédé est le *système mixte*, produisant le refroidissement par frigorifère et par circulation de liquide incongelable. Il convient de bien disposer les canaux d'amenée de l'air froid et de faire en sorte que cet air froid ne vienne pas frapper directement les œufs. Dans ce but les caisses qui sont auprès des ouvertures d'arrivée de l'air froid, sont recouvertes de papier paraffiné afin de garantir les œufs.

Il ne suffit pas de brasser l'air des chambres froides, il faut encore le renouveler de temps à autre ; ce renouvellement doit se faire une fois par jour ou seulement une fois tous les deux jours.

12. Retournement des œufs. — Enfin, quelque soit le système de refroidissement des chambres froides, il est à conseiller de retourner deux fois par semaine les œufs qu'elle contient.

Tout ce que nous venons de dire concernant la température et le degré hygrométrique des chambres de conservation des œufs ne s'applique qu'aux œufs de poule.

13. Œufs de canard et œufs d'oie. — Il semble que les conditions de conservation ne soient pas les mêmes pour les œufs de canard et les œufs d'oie. Des expériences d'ailleurs peu nombreuses faites jusqu'ici, il résulte que, pour des *œufs de canard*, la température des chambres doit être comprise entre -1° C. et 0° C., et l'état hygrométrique de l'air compris entre 65 0/0 et 75 0/0.

14. Précautions à prendre dans la sortie des œufs des chambres froides. — La sortie des œufs des chambres froides doit s'effectuer avec le plus grand soin. En effet, si les œufs passent brusquement à une température moyenne de 15° C., ils se recouvrent aussitôt de rosée. Or on sait combien cette humidité est préjudiciable ; d'ailleurs des œufs qui suent perdent de 5 à 10 0/0 de leur valeur commerciale.

Il convient donc de placer d'abord les œufs dans une chambre dite *chambre de sortie* (voir *fig. 235*) dont la température est intermédiaire entre la température du frigorifique et la température de l'air extérieur ; l'air de cette chambre doit être assez sec pour que son point de rosée soit inférieur à celui qui correspond à la température des chambres froides, c'est-à-dire que la tension de la vapeur d'eau dans cet air doit être inférieure à la tension maximum de la vapeur d'eau à la température des chambres froides. Avec cette précaution les œufs réfrigérés à la température du frigorifique peuvent être introduits dans la chambre à température intermédiaire sans qu'il se dépose d'humidité sur eux.

On réalise cet état de l'air de la chambre de sortie en faisant circuler cet air dans un refroidisseur porté à une température inférieure à celle de la chambre froide et en réchauffant ensuite cet air à la température voulue. Ces opérations sont réalisées dans des appareils construits par la firme Humboldt à Kalk près de Cologne (*Maschinenbau-Anstalt Humboldt*)¹.

Lorsqu'on n'a pas une chambre de sortie construite d'après le type que nous venons d'indiquer, on peut opérer de la manière suivante. On porte les œufs au sortir du frigorifique dans une chambre à une température d'environ $+6^{\circ}$ C. contenant de l'air aussi sec que possible. Après deux jours de séjour dans cette chambre, les œufs sont transportés dans une autre chambre à une température de $+12^{\circ}$ C., dont l'air est également aussi sec que possible. De cette dernière chambre les œufs sont transportés à l'extérieur.

1. Pour les détails du mode d'installation de ces chambres de décongélation Humboldt, voir le plan de l'installation de l'entrepôt frigorifique du nouveau marché de Cologne (*Eis und Kälte-Industrie*, t. VI, n° 20, 20 avril 1905).

15. La chambre de conservation des œufs doit être séparée des autres chambres froides d'un entrepôt. — Enfin dans les entrepôts frigorifiques où l'on conserve diverses denrées alimentaires (viande, poisson, gibier) il convient de séparer complètement la chambre à œufs des autres chambres de l'entrepôt, surtout lorsque le refroidissement est réalisé par circulation artificielle d'air¹. On évite ainsi la mauvaise influence des odeurs des autres denrées.

16. Durée de conservation des œufs. — Lorsque toutes les précautions que nous venons d'indiquer ont été prises, on peut conserver les œufs *pendant six mois au maximum*.

Il faut d'ailleurs remarquer que les œufs ainsi conservés doivent être livrés à la consommation, le plus tôt possible après leur sortie du frigorifique; leur séjour à l'étalage des marchands est loin d'améliorer leur qualité.

Les œufs conservés durant six mois ne conviennent pas pour la coque; il est préférable de les manger en omelette.

17. Les entrepôts frigorifiques pour la conservation des œufs. — Il y a en Amérique d'immenses dépôts pour la conservation des œufs. On estime en effet que 3 millions de caisses de 30 douzaines sont entreposées dans les dépôts frigorifiques des États-Unis: il y en a 400.000 à 500.000 à Chicago et 350.000 à New-York.

A Sidney (Nouvelle-Galles du Sud) l'emmagasinage des œufs dans les chambres froides a donné d'excellents résultats². En 1898, la quantité confiée aux frigorifiques n'était que de 11.000; l'année suivante, elle atteignait 93.000 douzaines et 96.000 en 1900. 4.000 caisses représentant 144.288 douzaines furent déposées en 1901-1902; 3.624 caisses (130.464 douzaines) en 1902-1903. Les 4.200 caisses emmagasinées en 1903-1904 forment un ensemble de 151.200 douzaines.

En France, M. de Loverdo a installé à Rennes un entrepôt capable de contenir plus d'un million d'œufs: le refroidissement des pièces est réalisé par le procédé mixte consistant dans un refroidisseur Fixary à dégivrement et un faisceau de tuyaux. Les machines frigorifiques sont des machines à anhydride sulfureux du type Delion et Lepeu.

La maison Lebrun de Nimy (Belgique) a installé à Bruxelles et à Anvers deux grands entrepôts pour la conservation du beurre et des œufs. Une installation intéressante a été faite en Suisse, dans un sanatorium pour tuberculeux *A l'Aigle Suisse*: il s'agissait de conserver en parfait état les œufs que les malades gobent ou sucent crus. L'installation a été faite par la Société Gènevoise à l'aide d'une machine à anhydride sulfureux de 7.000 calories. En Allemagne, il faut citer les entrepôts de la *Société des halles et marchés frigorifiques A. G. (Gesellschaft für Markt- und Kühlhallen A. G.)* à Hambourg, Berlin et Nüremberg; le frigorifique de *Gottfried Linde* à Cologne, les chambres frigorifiques du *Nouveau Marché* de Cologne et le frigorifique des *Glacières de l'Allemagne du Nord (Norddeutschen Eiswerke)* à Berlin.

Il convient d'ajouter à cette liste le frigorifique que vient de faire construire la laiterie coopérative d'Ollendorf (Hanovre) de concert avec la Chambre d'Agriculture de la province

1. Lorsqu'on réalise le refroidissement par circulation artificielle d'air dans des entrepôts où on conserve diverses denrées, il convient d'avoir un refroidisseur d'air spécial pour chaque denrée. C'est ce qui a été fait au nouveau marché de Cologne où il y a deux chambres froides pour les œufs, une pour la viande, une pour le poisson, deux pour le gibier et la volaille, une pour le fromage: il y a cinq refroidisseurs d'air (deux pour les œufs, un pour la viande, un pour le poisson, un pour le gibier et la volaille).

La chambre à fromage n'est pas refroidie par circulation d'air.

On retrouve les mêmes dispositions dans le frigorifique de Monte-Carlo (fig. 234 et 235).

2. G. BUIAC, *L'Industrie frigorifique en Australie; le Frigorifique du gouvernement; conservation des œufs à Sydney (L'Industrie frigorifique, 2^e année, n° 16, septembre 1904)*.

du Hanovre. Ce magasin a été terminé en février 1904; l'emmagasinage des œufs commença à la mi-avril et, à la date du 5 mai, 45.000 œufs environ avaient été déjà entreposés¹. Les dimensions de cet entrepôt sont telles qu'on peut y loger 150.000 œufs disposés en caisses de 300 œufs. L'installation du magasin frigorifique à œufs d'Ollendorf se distingue de celle des magasins analogues existant déjà en Allemagne par l'appareil appelé *Accumulateur de froid* et par un dispositif spécial pour la purification de l'air. L'accumulateur de froid consiste en un appareil à congélation, dans lequel une certaine quantité d'eau est mise à congeler, afin qu'en cas de non-fonctionnement de la machine la température ne s'élève pas brusquement.

18. Autres procédés de conservation des œufs. — Séparer le blanc et le jaune. — Mélange du blanc et du jaune. — Terminons cette étude en indiquant deux nouveaux procédés américains de conservation des œufs destinés à la pâtisserie.

I. *On commence par séparer les blancs et les jaunes*; on place alors respectivement ceux-ci dans des burettes qui, une fois cachetées, sont mises dans un flacon contenant de la glace ou dans des chambres dont la température est + 2° C. Il suffit alors d'ouvrir les burettes quand on veut utiliser leur contenu. On commence à employer beaucoup ce système en Russie.

II. *On fait du blanc et du jaune d'œuf un mélange intime*, car le jaune séparé se conserve difficilement à l'état liquide, les températures très basses produisant une sorte de cuisson. Ce mélange est versé dans des boîtes en fer-blanc; il est essentiel que les boîtes soient parfaitement étamées, car la rouille qui se produirait aurait un effet pernicieux. Les procédés diffèrent légèrement, soit que l'on ferme hermétiquement les boîtes, soit qu'on y laisse une couche d'air ou non.

D'après les expériences faites, la meilleure température pour la conservation des œufs par ce procédé est — 7° C.².

19. Les importations d'œufs en Angleterre. — Donnons, pour terminer ce chapitre, quelques indications sur le commerce des œufs.

En 1903, les importations d'œufs en Angleterre³ sont indiquées dans le tableau LXXXIV.

Ce tableau est très intéressant. Il nous montre que le Danemark, tout en accroissant son exportation d'œufs (elle a doublé depuis 1896), a augmenté assez la qualité de ses œufs pour qu'ils soient maintenant vendus au même prix que les nôtres; or ceux-ci avaient encore, il y a quelques années, une supériorité incontestée. Ce succès du Danemark est dû à la bonne installation de ses entrepôts et transports frigorifiques qui lui permettent d'amener sur le marché de Londres des œufs en parfait état de conservation. Lorsque les œufs français sont bons, ils font encore prime; mais ils arrivent souvent plus ou moins avariés, ce qui cause la diminution de leur faveur et, par suite, des importations en Angleterre.

1. Conservation des œufs par le froid au Hanovre (*L'Industrie frigorifique*, 2^e année, n° 15, août 1904).

2. Nous indiquons ce dernier mode de conservation d'après *L'Industrie frigorifique* (2^e année, n° 14, juillet 1904, p. 222); mais nous n'en connaissons pas les détails et nous ne savons quelle valeur il faut y attacher.

3. En Angleterre, on compte souvent les œufs par *gros-cents*; un *gros-cents* d'œufs comprend 120 œufs. Les caisses à œufs employées en Angleterre contiennent 12 gros-cents d'œufs ou 1.440 œufs. Un gros-cents pèse 13-18 lbs (pounds avoir-du-poids) ou 6 à 8 kilogrammes. 1 œuf pèse donc en moyenne 50 à 70 grammes. La Ligue agraire Irlandaise envoie en Angleterre des caisses de 1.200 œufs ayant 203 × 61 × 25 centimètres et des caisses de 600 œufs ayant 106 × 61 × 25 centimètres.

TABLEAU LXXXIV
IMPORTATIONS D'ŒUFS EN ANGLETERRE

	NOMBRE D'ŒUFS	VALEUR	PRIX MOYEN DE LA DOUZAINÉ
	en millions de douzaines	en millions de francs	francs
Russie	68,0	46,65	0,68
Danemark	38,5	41,20	0,934
Allemagne	30,9	24,875	0,805
Belgique	22,9	18,15	0,792
France	16,0	16,75	0,954
Canada	5,6	5,475	0,979
Autres pays	16,6	12,35	0,744
TOTAUX.....	198,5	165,450	

20. **Le commerce des œufs en Allemagne.** — Le marché allemand des œufs est surtout un marché d'importation.

L'Allemagne a en effet importé¹ :

En 1901 : Œufs	} En poids (quintaux métriques, 100 kilogrammes).	1.164.865
		Valeur en francs..... 130.966.250
En 1902 : Œufs	} En poids (quintaux métriques, 100 kilogrammes).	1.281.538
		Valeur en francs..... 144.012.500

Le tableau LXXXV donne la répartition d'une partie de ces importations.

L'Autriche (en particulier la Galicie) et la Russie sont les principaux fournisseurs d'œufs de l'Allemagne. L'importation de l'Autriche a passé de 377.544 quintaux métriques en 1895 à 539.389 quintaux métriques en 1902. On peut dire que 45 0/0 des œufs importés en Allemagne sont fournis par l'Autriche.

TABLEAU LXXXV
IMPORTATIONS D'ŒUFS EN ALLEMAGNE

	1897 (quintaux métriques)	1898 (quintaux métriques)	1899 (quintaux métriques)	1900 (quintaux métriques)	1901 (quintaux métriques)
Autriche	410.450	458.240	519.660	531.740	516.120
Russie	470.890	471.720	479.340	503.200	501.480
Italie	80.520	80.330	76.280	85.940	69.310
Pays-Bas	14.510	16.880	19.860	22.850	23.100
Roumanie	9.850	15.690	20.130	19.190	19.240

L'exportation en œufs de l'Allemagne est très faible par rapport à son importation. La valeur des œufs exportés en 1902 ne s'est élevée qu'à 887.500 francs pour une valeur des œufs importés supérieure à 144.000.000 de francs.

1. Ces renseignements sont empruntés à l'ouvrage d'Otto Kasdorf (*Eis und Kälte im Molkereibetrieb*, p. 303). On y trouve le quintal métrique (100 kilogrammes) indiqué par l'abréviation *dz*, c'est-à-dire *Doppelzentner* ou *Meterzentner*. Zentner = 50 kilogrammes = 1 quintal.

En 1901, le quintal métrique d'œufs valait 112 fr. 40 environ. Les moins chers ont été les œufs russes (103 fr. 75); les plus chers ont été les œufs italiens (147 fr. 50); les œufs roumains se sont payés 118 fr. 75, et les œufs autrichiens 116 fr. 25.

21. Le commerce des œufs en Autriche-Hongrie. — Les exportations en œufs de l'Autriche-Hongrie ont été :

1899	1.040.475 quintaux métriques
1900	1.087.875 —
1902	1.203.247 —

Les principaux pays où ces œufs sont importés sont : l'Allemagne, l'Angleterre, la Suisse et les Pays-Bas. Le 1,2 million de quintaux métriques exportés en 1902 représente une valeur de 100.700.000 francs. Entre l'Autriche et la Hongrie le commerce des œufs est très actif. L'Autriche a tiré en 1902 de la Hongrie pour 17.000.000 de francs d'œufs et en 1903 pour 16.000.000 de francs.

L'importation des œufs en Autriche-Hongrie n'est pas très importante.

Elle s'est montée en :

1899	423.090 quintaux métriques
1900	393.494 —
1902	493.203 —

La plus grande partie de ces œufs vient de Russie, de Roumanie et de Bulgarie. La valeur de ces importations est, en moyenne, de 32.000.000 de francs contre une moyenne de 100.000.000 de francs d'exportations.

22. Le commerce des œufs en Russie. — Les œufs représentent un des plus importants articles d'exportation de la Russie; dans ces dernières années, il a en effet été exporté une quantité d'œufs dont la valeur représente 50.000.000 de roubles ou

$$3,93 \times 50.000.000 = 196.500.000 \text{ de francs.}$$

Le mouvement d'affaires dans l'intérieur du pays n'est pas moins important; les chemins de fer seuls ont transporté 12.000.000 pud d'œufs ou

$$16,38 \times 12.000.000 = 196.560.000 \text{ kilogrammes ou } 196.560 \text{ tonnes.}$$

Les tableaux LXXXVI et LXXXVII donnent des renseignements sur ces exportations.

TABLEAU LXXXVI

EXPORTATION DES ŒUFS RUSSES

	1900	1901	1902	1903	1904	1905
Nombre en millions d'œufs. . . .	1.776	1.966	2.228	2.775	2.752	2.960
Valeur en milliers de roubles [1 rouble = 3 fr. 93].	31.313	35.392	38.627	51.089	54.329	»

TABLEAU LXXXVII

DÉTAIL DES EXPORTATIONS DES OEUFS RUSSES

EXPORTATION PAR	1904	1905
	millions d'œufs	millions d'œufs
Saint-Petersbourg	297	353
Riga	1.153	1.299
Libau	38	34
Wirballen	158	150
Mlawa	61	46
Alexandrowo	42	30
Sosnowice	91	108
Radziwilow	406	87
Wolotschisk-frontière	154	139
Wolotschisk-douane	253	327
Husiatyn	93	89

Le chemin de fer a d'ailleurs transporté les poids suivants d'œufs :

1901	1902	1903
	milliers de pud (1 pud = 16 ^{kg} ,38)	
9.832	10.465	12.280

Enfin les transports par chemin de fer effectués vers Saint-Petersbourg ont été plus particulièrement les suivants :

1901	1902	1903
	milliers de pud (1 pud = 16 ^{kg} ,38)	
2.391	2.199	2.188

ANNEXES

TABLEAU LXXXVIII

COMPARAISON DU THERMOMÈTRE CENTIGRADE ET DU THERMOMÈTRE FAHRENHEIT

FAH.	CENT.	FAH.	CENT.	FAH.	CENT.	FAH.	CENT.	FAH.	CENT.
— 30	— 34,4	5	— 15	39	3,9	73	22,8	107	41,7
— 29	— 33,9	6	— 14,4	40	4,4	74	23,3	108	42,2
— 28	— 33,3	7	— 13,9	41	5	75	23,9	109	42,8
— 27	— 32,8	8	— 13,3	42	5,6	76	24,4	110	43,3
— 26	— 32,2	9	— 12,8	43	6,1	77	25	111	43,9
— 25	— 31,7	10	— 12,2	44	6,7	78	25,6	112	44,4
— 24	— 31,1	11	— 11,7	45	7,2	79	26,1	113	45
— 23	— 30,6	12	— 11,1	46	7,8	80	26,7	114	45,6
— 22	— 30	13	— 10,6	47	8,3	81	27,2	115	46,1
— 21	— 29,4	14	— 10	48	8,9	82	27,8	116	46,7
— 20	— 28,9	15	— 9,4	49	9,4	83	28,3	117	47,2
— 19	— 28,3	16	— 8,9	50	10	84	28,9	118	47,8
— 18	— 27,8	17	— 8,3	51	10,6	85	29,4	119	48,3
— 17	— 27,2	18	— 7,8	52	11,1	86	30	120	48,9
— 16	— 26,7	19	— 7,2	53	11,7	87	30,6	121	49,4
— 15	— 26,1	20	— 6,7	54	12,2	88	31,1	122	50
— 14	— 25,6	21	— 6,1	55	12,8	89	31,7	123	50,6
— 13	— 25	22	— 5,6	56	13,3	90	32,2	124	51,1
— 12	— 24,4	23	— 5	57	13,9	91	32,8	125	51,7
— 11	— 23,9	24	— 4,4	58	14,4	92	33,3	126	52,2
— 10	— 23,3	25	— 3,9	59	15	93	33,9	127	52,8
— 9	— 22,8	26	— 3,3	60	15,6	94	34,4	128	53,3
— 8	— 22,2	27	— 2,8	61	16,1	95	35	129	53,9
— 7	— 21,7	28	— 2,2	62	16,7	96	35,6	130	54,4
— 6	— 21,1	29	— 1,7	63	17,2	97	36,1	131	55
— 5	— 20,6	30	— 1,1	64	17,8	98	36,7	132	55,6
— 4	— 20	31	— 0,6	65	18,3	99	37,2	133	56,1
— 3	— 19,4	32	0	66	18,9	100	37,8	134	56,7
— 2	— 18,9	33	0,6	67	19,4	101	38,3	135	57,2
— 1	— 18,3	34	1,1	68	20	102	38,9	136	57,8
0	— 17,8	35	1,7	69	20,6	103	39,4	137	58,3
1	— 17,2	36	2,2	70	21,1	104	40	138	58,9
2	— 16,7	37	2,8	71	21,7	105	40,6	139	59,4
3	— 16,1	38	3,3	72	22,2	106	41,1	140	60
4	— 15,6								

TABLEAU LXXXIX

RELATIONS ENTRE LES UNITÉS DU SYSTÈME MÉTRIQUE ET LES UNITÉS ANGLAISES ET AMÉRICAINES

Unités de longueur

1 inch.....	vaut	25,4	millimètres	1 millimètre.....	vaut	0,0394	inch
1 foot.....	—	30,5	centimètres	1 mètre.....	—	3,28	feet
1 yard.....	—	0,9144	mètre	1 mètre.....	—	1,094	yard
1 mile.....	—	1,6093	kilomètre	1 kilomètre.....	—	0,6214	mile
1 rod, pole ou perch (16,5 feet; 5,5 yards).	—	5,03	mètres	1 mètre.....	—	0,198	rod, pole ou perch
1 furlong (40 rods)....	—	201,2	mètres	1 mètre.....	—	0,005	furlong
1 league (3 miles)....	—	4,83	kilomètres	1 kilomètre.....	—	0,207	league
1 fathom (6 feet).....	—	1,83	mètres	1 mètre.....	—	0,546	fathom
1 cable's length (120 fa- thoms).....	—	219,6	mètres	1 mètre.....	—	0,0045	cable's length
1 palm (3 Inches)....	—	76,2	millimètres	1 millimètre.....	—	0,013	palm
1 hand (4 Inches).....	—	101,6	millimètres	1 millimètre.....	—	0,0098	hand
1 span (9 Inches).....	—	228,6	millimètres	1 millimètre.....	—	0,0043	span

Unités de surface

1 square inch.....	vaut	6,4516	centim. carrés	1 centimètre carré....	vaut	0,155	square inch
1 square foot.....	—	0,093	mètre carré	1 mètre carré.....	—	10,763	square feet
1 square yard.....	—	0,836	mètre carré	1 mètre carré.....	—	1,196	square yard
1 acre.....	—	40,47	ares(100mètres carrés)	1 are (100 m. carrés)..	—	0,0247	acre
1 square mile (Section of land in the United States surveys).....	—	2,59	kilom. carrés	1 kilomètre carré.....	—	0,3861	square mile
1 rood.....	—	10,12	ares	1 are.....	—	0,099	rood

Unités de volume

1 cubic inch.....	vaut	16,39	cent. cubes	1 cent. cube.....	vaut	0,061	cubic inch
1 cubic foot.....	—	0,02832	mètre cube	1 mètre cube.....	—	35,3156	cubic feet
1 cubic yard.....	—	0,7646	mètre cube	1 mètre cube.....	—	1,3078	cubic yard

Unités employées dans la mesure des liquides

1 gill.....	vaut	11,83	centilitres	1 centilitre.....	vaut	0,084	gill
1 pint(liquid measure).	—	47,32	centilitres	1 centilitre.....	—	0,021	pint (liquid measure)
1 quart (liquid mea- sure).....	—	0,9563	litre	1 litre.....	—	1,05	quart (liquid measure)
1 gallon U. S.	—	3,8	litres	1 litre.....	—	0,263	gallon U. S.
1 Imperial gallon.....	—	4,54	litres	1 litre.....	—	0,22	Imperial gal- lon
1 ton of petroleum (275 imperial gallons ou 360 U. S. gallons) ...	—	12,485	hectolitres	1 hectolitre.....	—	0,08	ton of petro- leum
1 barrel.....	—	1,192	hectolitre	1 hectolitre.....	—	0,843	barrel

Unités employées dans la mesure des substances sèches

1 pint (dry measure) ..	vaut	55,07	centilitres	1 centilitre.....	vaut	0,018	pint(dry mea- sure)
1 quart (dry measure).	—	1,10	litre	1 litre.....	—	0,909	quart (dry measure)

ANNEXES

561

1 bushel.....	vaut	35,24	litres	1 litre.....	vaut	0,028	bushel
1 peck.....	—	8,80	litres	1 litre.....	—	0,114	peck
1 english quarter(8 bushels).....	—	290,78	litres	1 litre.....	—	0,00344	english quarter
1 english bushel.....	—	36,35	litres	1 litre.....	—	0,027	english bushel

Unités de poids

1 grain.....	vaut	0,065	gramme	1 gramme.....	vaut	15,43	grains
1 ounce.....	—	28,35	grammes	1 gramme.....	—	0,035	ounce
1 pound, avoir-du-poids (1 lb).....	—	0,454	kilogramme	1 kilogramme.....	—	2,205	pounds
1 hundred weight (1 Cwt.).....	—	50,80	kilogrammes	1 kilogramme.....	—	0,020	Cwt
1 ton, 2240 lbs (long ton).....	—	1016,06	kilogrammes	1 tonne.....	—	0,985	long ton
1 ton, 2000lbs (short ton).....	—	907	kilogrammes	1 tonne.....	—	1,10	short ton
1 bushel malt (english) (40 pounds).....	—	18,16	kilogrammes	1 kilogramme.....	—	0,055	bushel malt (english)
1 bushel malt (american) (34 pounds)....	—	15,44	kilogrammes	1 kilogramme.....	—	0,064	bushel malt (american)
1 bushel barley (american) (38 pounds)....	—	17,25	kilogrammes	1 kilogramme.....	—	0,058	bushel barley (american)

Unités de pression

1 pound per square inch.	vaut	0,0703	kilogramme par cent. carré	1 kilogr. par cent. carré.	vaut	14,22	pounds per sq. inch
1 pound per square foot..	—	4,882	kilogrammes par cent. carré	1 kilogr. par mètre carré.	—	0,205	pound per sq. foot

Unités thermiques

1 degree Fahrenheit.....	vaut	0,556	degré Centigrade	1 degré Centigrade.....	vaut	1,8	degree Fahrenheit
1 B. T. U. (British thermal Unit).....	—	0,255	grande calorie	1 grande calorie.....	—	3,92	B. T. U.
1 ton refrigerating capacity (Ton of refrigeration) :							
Angleterre : 318.080 B. T. U..... vaut 81.285,12 grandes calories (81.300 en nombres ronds)							
États-Unis : 284.000 B. T. U..... — 72.576 grandes calories (73.000 en nombres ronds)							
1 ton of refrigeration des États-Unis représente à peu près la quantité de chaleur qu'il faut absorber pour produire une demi-tonne de glace.							

Unités de travail et de puissance mécanique

1 foot-pound.....	vaut	0,1383	kilogrammètr.	1 kilogrammètre.....	vaut	7,233	feet-pounds
1 horse-power (H. P.)....	—	1,014	cheval-vapeur (76,041 mkgr./sec = 550 foot pounds/sec).	1 cheval-vapeur.....	—	0,986	H. P.

Unités de puissance frigorifique

1 ton refrigerating capacity per day :							
Angleterre (13.255 B. T. U. environ par heure) vaut 3.400 frigories-heure environ.							
États-Unis (12.000 B. T. U. environ par heure) — 3.000 frigories-heure environ.							
1 gallon-degré par minute vaut 110,26 frigories-heure (0,032 tonne frigorifique anglaise ; 0,037 tonne frigorifique des États-Unis)							

PRÉDUCTION ET UTILISATION DU FROID

TABLEAU XC

RELATIONS ENTRE LES UNITÉS DU SYSTÈME MÉTRIQUE ET LES UNITÉS RUSSES

Unités de longueur

UNITÉS	MÈTRE	VERCHOC	ARCHINE	SAGÈNE	VERSTE
Mètre.....	1	22,50	1,41	0,47	0,934
Verchoc.....	0,04	1	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{48}$	»
Archine.....	0,709	16	1	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{1.500}$
Sagène.....	2,13	48	3	1	$\frac{1}{500}$
Verste.....	1,07	»	1.500	500	1

Unités de surface

Unité agraire = déciatine = 2.400 sagènes carrées = 1,0925 hectare.
1 hectare vaut 0,9153 déciatine.

Unités de capacité

UNITÉS	LITRE	VÉDRO	TCHETVÉRIK
Litre.....	1	0,081	0,038
Védro.....	12,3	1	0,47
Tchetvérik.....	26,3	2,13	1

Unités de poids

UNITÉS	GRAMME	DOLI	SOLOTNIK	LIVRE
Gramme.....	1	22,5	0,234	0,0024
Doli.....	0,04	1	$\frac{1}{96}$	$\frac{1}{9.216}$
Solotnik.....	4,265	96	1	$\frac{1}{96}$
Livre.....	416,6	9.216	96	1

1 Pod = 16,38 kilogrammes
1 Berkovitz = 163,8 kilogrammes.

OUVRAGES ET PÉRIODIQUES CONSULTÉS

- BLANCARNOUX. — *Essai théorique et pratique sur l'Isolation thermique des appareils et des bâtiments* (Paris, V^e Dunod, 1904).
Cold Storage and Ice Trade Journal (New-York).
- G. DÖDERLEIN. — *Prüfung und Berechnung ausgeführter Ammoniak-Kompressions-Kälte-maschinen an Hand des Indikator-Diagramms* Berlin, R. Oldenbourg, 1903).
Eis und Kälte-Industrie (Berlin, Constanz Schmitz).
- FAUCHER. — *Les Machines frigorifiques* (Extrait des *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils*, avril 1892).
FAUCHER. — *Moyens de développer l'élevage du bétail dans les Colonies Françaises* (Congrès Colonial de 1903. Montluçon, Herbin, 1903).
- FAUCHER. — *L'élevage aux Colonies et l'Importation en France des viandes conservées frigorifiquement* (Congrès Colonial de 1904, Paris, éditions de la *Revue Générale des Colonies*, 1904).
- FAUCHER et LEJEUNE. — *Note sur l'application des machines frigorifiques au séchage de l'air soufflé dans les Hauts-Fourneaux* (Procédé James Gayley) (Extrait du journal *La Glace et les Industries du Froid*, janvier 1903, Paris, Bernard).
- FAUCHER. — *La question de la Boëtte à Terre-Neuve* (Extrait du journal *La Glace et les Industries du Froid*, novembre 1904, Paris, Bernard).
- La Glace et les Industries du Froid* (Paris, Bernard).
- GEORG. GÖTTSCHE. — *Die Kältemaschinen*. 2^e édition (Hambourg, Johannes Kriebel, 1904).
- GRÜNZWEIG et HARTMANN. — *Zur Technik der Kälte-Industrie* (récemment traduit en français). (Ludwigshafen am Rhein.)
- HEINEL. — *Bau und Betrieb von Kältemaschinenanlagen* (Münich et Berlin, R. Oldenbourg, 1906).
- HELM. — *Die Milchbehandlung* (Leipzig, Heinsius, 1903).
- Ice and Refrigeration* (Nickerson and Collins C^o., Chicago, New-York).
- L'Industrie frigorifique* (Paris, H. Dunod et E. Pinat).
- KASDORF. — *Eis und Kälte im Molkereibetrieb* (Leipzig, Heinsius, 1904).
— *Bau und Einrichtung von Molkereien* (Leipzig, Heinsius, 1904).
- LAMBERT. — *Le froid industriel et ses applications* (Extrait des *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils*, août 1898.)
- LAMBERT. — *Le froid industriel*. Applications des appareils frigorifiques à l'industrie de la pêche. Conférence faite à Boulogne-sur-Mer, le 31 octobre 1902.
- LAMBERT. — *La pêche à Terre-Neuve* (mai 1904).
- LAMBERT. — *Dessiccation de l'air par les souffleries des Hauts-Fourneaux* (décembre 1904).
- RITCHIE LEASK. — *Refrigerating machinery* (London, Simpkin Marshall, 1901).
- LEHNERT. — *Moderne Kältetechnik* (Leipzig, J.-J. Weber, 1905).
- J. LEVEY. — *Refrigeration Memoranda* (Chicago, Nickerson et Collins, 1904).
- H. LORENZ. — *Machines frigorifiques*. Traduction française de P. Petit et J. Jacquet (Paris, Gauthier-Villars).
- H. LORENZ. — *Neuere Kühlmaschinen, ihre Konstruktion, Wirkungsweise und industrielle Verwendung* (Berlin, R. Oldenbourg, 1901).
- H. LORENZ. — *Technische Wärmelehre* (Berlin, R. Oldenbourg, 1904).
- LOUDON M. DOUGLAS. — *Refrigeration in the Dairy* (London, Putney, William Douglas and Sons).
- DE LOVERDO. — *Le froid artificiel et ses applications* (Paris, V^e Dunod, 1905).
- DE LOVERDO. — *Construction et agencement des abattoirs* (Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1906).
- E. LÜHMANN. — *Die Fabrikation des flüssigen Kohlendäure* (Berlin, Max Brandt, 1904).
- MADISON COOPER. — *Practical Cold Storage* (Chicago, Nickerson and Collins C^o, 1905).
- E. MARCHAL. — *Les viandes de boucherie conservées par le froid* (Paris, Asselin et Houzeau, 1895).
- DE MARGHENA. — *Machines frigorifiques à air* (*Encyclopédie des Aide-Mémoire Léauté*, Paris, Gauthier-Villars).

- De MARCHENA. — *Machines frigorifiques à gaz liquéfiables* (*Encyclopédie des Aide-Mémoire Léauté*, Paris, Gauthier Villars).
- E. MARRE. — *Le Roquefort* (Rodez, E. Carrère, 1906).
- PELLETREAU. — *Le froid industriel et ses applications* (*Bibliothèque du mois scientifique et industriel*, 8, rue Nouvelle, Paris).
- A. PERRET. — *Les Machines à glace* (Paris, Bernard, 1904).
- P. PETIT. — *Brasserie et malterie* (Paris, Gauthier-Villars, 1904).
- LETYD I. REDWOOD. — *Theoretical and Practical Ammonia Refrigeration* (New-York, Spon and Chamberlain, 1904).
Revue de mécanique (Paris, H. Dunod et E. Pinat).
- G. RICHARD. — *Les Machines frigorifiques à l'Exposition de 1889* (Paris, Bernard).
- G. RICHARD. — *Revue de mécanique* (janvier, mars, mai 1897, août 1899).
- G. RICHARD. — *Les Machines frigorifiques à l'Exposition de 1900. La mécanique à l'Exposition de 1900, t. III.* (Paris, Dunod).
- H. RIETSCHEL. — *Leitfaden zum Berechnen und Entwerfen von Lüftungs- und Heizungs-Anlagen* (Berlin, J. Springer, 1902).
- X. ROCQUES. — *Les industries de la conservation des aliments* (Paris, Gauthier-Villars, 1906).
- LOUIS M. SCHMIDT. — *Artificial Ice Making and Refrigeration* (London, Sampson Low, 1904).
- CONSTANZ SCHMIDT. — *Die Conservierung von Nahrungsmitteln durch Kälte* (Vortrag gehalten auf der 74. Versammlung Deutscher Naturforscher und Aerzte in Carlsbad, 23 septembre 1902).
- NORMAN SELFE. — *Machinery for Refrigeration* (New-York, H. S. Rich).
- J. E. SIEBEL. — *Compend of Mechanical Refrigeration* (New-York, H. S. Rich).
- PETER STAHL. — *Die Isolierung und Ventilation als wichtigste Faktoren für Natureis-Kühlanlagen* (Nürnberg, chez l'auteur, Badstrasse 4).
- PETER STAHL. — *Schutz gegen Wärme* (Nürnberg, chez l'auteur, Badstrasse 4).
- R. STETEFELD. — *Die Eis und Kälteerzeugungs-Maschinen* (Stuttgart, Max Waag, 1901).
- ALOIS SCHWARZ. — *Die Eis und Kühlmaschinen* (Münich, R. Oldenbourg, 1888).
- OSCAR SCHWARZ. — *Bau, Einrichtung und Betrieb öffentlicher Schlacht- und Viehhöfe* (Berlin, J. Springer, 1903).
- GARDNER T. VOORHEES. — *Indicating the Refrigerating Machine* (New-York, H. S. Rich).
- WALLIS-TAYLER. — *Refrigeration, Cold Storage and Ice-Making* (London, Crosby Lockwood and Son, 1902).
- WALLIS-TAYLER. — *Refrigerating and Ice-Making Machinery* (London, Crosby Lokwood and Son, 1902).
- WALLIS-TAYLER. — *The Pocket Book of Refrigeration* (London, Crosby Lockwood and Son, 1902).
- WENDER. — *Die Kohlensäure Industrie* (Berlin, Max Brandt, 1901).
- WILDER. — *The Modern Packing House* (Chicago, Nickerson and Collins, 1905).
- HAL WILLIAMS. — *Mechanical Refrigeration* (London, Whittaker, 1903).
- Zeitschrift für die gesamte Kälte-Industrie* (Berlin, R. Oldenbourg).
- Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure* (Berlin, J. Springer).
- ZEUNER. — *Technische Thermodynamik* (Leipzig, A. Félix, 1904).

TABLE DES FIGURES

	Pages.
1. Schéma de l'installation du premier bateau aménagé par <i>Charles Tellier</i> avec des machines et des cales frigorifiques.....	4
2, 3, 4. Schémas de machines frigorifiques.....	6-7
5. Usines <i>G. H. Hammond Co, Chicago</i> ; vue de l'une des chambres de réfrigération des quartiers de bœuf.....	12
6. Usines <i>G. H. Hammond Co, Chicago</i> ; vue de l'une des chambres de réfrigération des porcs.....	12
7. Chambre froide pour la conservation des griffes de muguet.....	40
8. Isothermes d'un fluide.....	46
9 et 10. Schémas des états d'un fluide s'écoulant dans un tuyau.....	51-53
11. Schéma des états du fluide au voisinage du robinet détendeur d'une machine frigorifique.....	62
12. Diagramme théorique d'un compresseur.....	66
13. Diagramme réel d'un compresseur à AzH^3	90
14. Diagrammes d'un compresseur à AzH^3 pris de chaque côté du piston.....	94
15. Diagramme réel d'un compresseur à SO^2	99
16. Diagramme réel d'un compresseur à CO^2	99
17. Dispositif permettant l'étranglement de l'orifice d'aspiration.....	101
18. Diagrammes des divers modes de réglage de la puissance frigorifique d'une machine.....	102
19. Accroissement de l'espace nuisible.....	103
20. Diminution de la période d'aspiration.....	104
21. Compresseur de machine à ammoniacque, type <i>Linde</i>	105
22. Compresseur <i>Linde</i> (modèle le plus petit).....	106
23. Machine frigorifique <i>Linde</i> (type le plus puissant construit en Europe).....	106
24. Compresseur <i>Kitton</i>	107
25. Compresseur à simple effet <i>Frick</i>	107
26. Compresseur à simple effet <i>Hercule</i>	107
27. Compresseur de la <i>Buffalo Refrigerating Machine Co</i>	108
28. Compresseur de la <i>Buffalo Refrigerating Machine Co</i>	108
29. Compresseur <i>Pontifex</i>	109
30. Compresseur <i>Hall</i>	110
31. Piston de compresseur à AzH^3 ou à SO^2	111
32. Compresseur horizontal de <i>La Vergne</i> à double effet (type 1896).....	112
33. Compresseur vertical de <i>La Vergne</i>	113
34. Schéma du cylindre d'un compresseur à SO^2	113
35. Piston d'une machine à CO^2	113
36. Appareil pour fabriquer les cuirs emboutis des pistons.....	113
37. Presse-étoupes <i>Linde</i>	114
38. Pompe d'alimentation d'huile des presse-étoupes <i>Linde</i>	114
39. Presse-étoupes de <i>The Linde Ice Machine, Fred. Wolf, Chicago</i>	115
40. Presse-étoupes installé par la maison <i>Lebrun</i> sur quelques compresseurs à AzH^3	115
41. Presse-étoupes du compresseur <i>Dubern</i>	116
42. Presse-étoupes <i>Fizary</i>	117
43. Circulation d'huile dans la lanterne des presse-étoupes <i>Fizary</i>	117
44. Presse-étoupes <i>Friese</i>	117
45. Compresseur compound à AzH^3 <i>Linde</i>	118
46. Compresseur <i>Lebrun</i>	118
47. Section d'un compresseur <i>Westinghouse</i>	119
48. Compresseur <i>Sterne</i>	120
49. Section d'un compresseur compound à AzH^3 <i>Antarctic</i>	121
50. Commande d'un compresseur compound <i>Antarctic</i>	121

	Pages.
51. Schéma d'un presse-étoupes de compresseur à SO ²	122
52. Presse-étoupes <i>Pictet</i>	122
53. Presse-étoupes <i>Riedinger</i> (Compresseur à CO ²).....	123
54. Appareil à fabriquer les manchettes d'un presse-étoupes de compresseur à CO ²	123
55. Schéma du presse-étoupes <i>Hall</i> (Compresseur à CO ²).....	124
56. Graisseur à glycérine (<i>Machine Hall</i>).....	125
57. Presse-étoupes <i>Braugnard</i> (Compresseur à CO ²).....	126
58. Accident causé par la rupture d'une tige de soupape sans retenue.....	126
59. Vitesses moyennes d'écoulement du fluide frigorifique au travers des soupapes d'aspiration et de refoulement entièrement ouvertes.....	128
60. Vitesses moyennes du piston.....	128
61. Détermination des vitesses du piston au moment où les soupapes d'admission et de refoulement sont ouvertes à leur maximum.....	129
62. Soupapes <i>Linde</i>	133
63. Soupapes <i>Vilter</i>	134
64. Soupapes <i>Pictet</i>	134
65. Soupape à dash-pot du compresseur <i>Hercule</i>	135
66. Soupape à levée réglable de <i>Seyboth</i>	135
67. Soupapes de la <i>York Manufacturing Co.</i>	136
68. Compresseur <i>Diedrich et Cramer</i>	136
69. Compresseur horizontal de <i>La Vergne</i> (type 1905).....	137
70. Soupape d'admission à deux retenues du compresseur <i>Herrick</i>	137
71. Soupapes du compresseur <i>Sterne</i>	138
72 à 77. Clapet <i>Gutermuth</i>	139
78 et 79. Clapet <i>Gutermuth</i>	140
80. Compresseur à AzH ³ <i>Triumph</i>	141
81 à 94. Diagrammes d'indicateur pris sur un compresseur.....	142
95. Compresseur <i>Frick</i> vertical accouplé avec une machine à vapeur horizontale.....	143
96. Schéma de la commande par balancier d'un compresseur <i>Hercule</i> à simple effet.....	143
97. Couplage en tandem d'un compresseur avec un moteur.....	144
98. Couplage en parallèle au moyen d'une courroie.....	144
99. Couplage direct en parallèle.....	144
100. Couplage direct en parallèle (compresseur double).....	144
101. Robinet de réglage des machines à AzH ³	147
102. Valve de la <i>York Manufacturing Co.</i>	147
103. Valve <i>Frick</i>	148
104. Robinet de réglage à pointeau de la <i>Buffalo Refrigerating Machine Co.</i>	148
105. Robinet détendeur automatique <i>Linde</i>	148
106. Robinet rotatif <i>Linde</i>	149
107. Séparateur d'huile <i>Linde</i>	149
108. Séparateur d'huile <i>Halmagis</i>	150
109. Appareil à retenir les battitures.....	151
110. Robinet régulateur des machines à CO ²	151
111. Soupape à disque de sûreté <i>Hall</i>	152
112. Condenseur à immersion.....	166
113. Élément de condenseur à immersion.....	166
114. Condenseur à immersion à SO ² construit par la firme <i>Borsig</i> pour le frigorifique des abattoirs de Berlin.....	167
115. Condenseur à immersion, type <i>Linde</i>	167
116. Condenseur compound à immersion, type <i>Norman Selfe</i>	168
117. Condenseur à ruissellement.....	169
118. Condenseur compound à ruissellement, type <i>Norman Selfe</i>	170
119. Condenseur à ruissellement (type <i>Buffalo Refrigerating Machine Co.</i>).....	171
120. Tuyau de condenseur à ruissellement <i>Lebrun</i>	171
121. Condenseur à ruissellement <i>Fred. W. Wolf</i>	171
122. Condenseur à double tuyau (type <i>Buffalo Refrigerating Machine Co.</i>).....	172
123. Condenseur à doubles tuyaux <i>Westertlin et Campbell</i>	173
124. Combinaison d'un condenseur à ruissellement avec un condenseur à doubles tuyaux (type <i>Buffalo Refrigerating Machine Co.</i>).....	173
125. Condenseur-réceptif.....	174

TABLE DES FIGURES

567

	Pages.
126. Condenseur tubulaire à SO ²	175
127. Condenseur horizontal à SO ² (<i>Delion et Lapeu</i>).....	176
128. Refroidisseur de vapeur et refroidisseur de liquide.....	177
129. Refroidisseur d'eau de condensation.....	178
130. Refroidisseur d'eau de condensation.....	178
131. Refroidisseur d'eau de condensation (type <i>Körting</i>).....	178
132. Tour pour le refroidissement de l'eau de condensation (type de la <i>Ruemmel-Dawley Manufacturing Co.</i>).....	179
133. Tour pour le refroidissement de l'eau de condensation (type de la <i>Wheeler Condenser and Engineering Co.</i>).....	179
134. Réfrigérant des machines à SO ² <i>Pictet</i>	180
135. Schéma des connexions de l'ensemble d'une machine frigorifique.....	180
136 et 136 bis. Ensemble général d'une salle de machines à CO ² , type <i>Hall</i> . Plan et élévation.....	182-183
137. Refroidissement intérieur des pots à lait.....	186
138. Refroidissement d'un liquide au moyen d'un appareil plongeant à son intérieur.....	187
139. Forme particulière du réfrigérant plongé dans un liquide.....	187
140. Drapeau pour le refroidissement du moût en brasserie.....	187
141. Installation de refroidissement des cuves de fermentation d'une brasserie (type <i>Frick</i>).....	188
142. Appareil <i>Mendès</i> pour l'extraction du sulfate de soude.....	188
143. Réfrigérant <i>Baudelot</i>	189
144. Réfrigérant <i>Baudelot</i>	189
145. Réfrigérant à lait.....	190
146. Réfrigérant à lait.....	190
147. Réfrigérant cylindrique à manteau.....	191
148. Réfrigérant cylindrique à détente directe (type <i>Schlüter et Gsell</i>).....	191
149. Réfrigérant à lait. Emploi d'eau glacée et d'eau de puits.....	192
150. Réfrigérant à lait. Emploi de saumure refroidie par de la glace.....	192
151. Réfrigérant à lait. Emploi d'eau de puits et d'un mélange réfrigérant.....	193
152. Réfrigération du lait ou de la crème. Appareil <i>Douglas</i>	193
153. Appareil <i>Douglas</i> à refroidir le lait fraîchement traité.....	194
154 à 160. Figures schématiques.....	196-204
161. Rouleau de feutre.....	208
162. Mode d'application du feutre.....	208
163. Matelas <i>Cabot</i>	208
164. Mode d'emploi des matelas isolants <i>Cabot</i>	209
165. Mode d'emploi du matelas isolant <i>Cabot</i> préconisé par <i>Madison Cooper</i>	209
166. Laine minérale en plaques.....	212
167. Méthode de <i>Madison Cooper</i> pour l'application de la laine minérale en plaques.....	213
168. Isolement fait contre un mur en briques avec des plaques de laine minérale.....	213
169. Isolement fait contre un mur en briques avec assises de liège, couches de papier imperméable alternées et couches de ciment.....	215
170. Isolement avec plaques de liège contenant des liteaux noyés dans leur masse.....	215
171. Méthode de <i>Madison Cooper</i> pour l'application contre un mur d'un isolement en liège.....	215
172 à 187. Divers isolements.....	219
188. Emploi de briques creuses comme isolement.....	229
189. Mur isolé à l'épreuve du feu.....	230
190. Plafond isolé au moyen d'agglomérés de liège.....	234
191. Isolement d'un plafond.....	235
192. Plafond isolé à l'épreuve du feu.....	235
193. Porte de chambre froide.....	238
194. Tuyau d'aération pour le renouvellement de l'air des chambres frigorifiques.....	240
195 à 198. Elévateur-antichambre hermétique (type <i>Wills</i>).....	241
199. Elévateur-antichambre hermétique.....	242
200. Schéma du mode de refroidissement par détente directe.....	245
201. Schéma du mode de refroidissement par circulation de saumure.....	246
202. Tuyaux de refroidissement groupés au plafond.....	248
203. Mode de groupement au plafond des tuyaux de réfrigération.....	248
204. Tuyaux de refroidissement lisses suspendus au plafond d'une cave de brasserie (type <i>Frick</i>).....	248
205. Mode de suspension au plafond des tuyaux de réfrigération lisses (type <i>Frick</i>).....	249
206. Tuyaux de réfrigération suspendus au plafond d'une cave de fermentation d'une brasserie (type <i>Frick</i>).....	249

	Pages.
207. Tuyaux de réfrigération installés le long des parois.....	250
208. Autre mode d'installation des tuyaux de refroidissement. Circulation naturelle défectueuse de l'air.....	250
209. Dispositif produisant une très faible circulation.....	250
210. Dégivrage des tuyaux.....	251
211. Dégivrage des tuyaux.....	252
212. Refroidissement externe.....	253
213. Dispositif des tuyaux pour réaliser la réfrigération externe.....	253
214. Autre position des tuyaux pour la production du refroidissement externe.....	253
215. Dispositif des tuyaux pour refroidissement externe.....	253
216. Dispositif des tuyaux pour refroidissement externe.....	254
217. Dispositif des tuyaux pour refroidissement externe (Méthode de <i>Saint-Clair</i>).....	254
218. Installation de circulation de saumure de la maison <i>Stamford</i> de Londres.....	254
219. Circulation artificielle de l'air.....	255
220. Circulation artificielle de l'air.....	256
221. Circulation artificielle de l'air (Méthode de <i>Madison Cooper</i>).....	256
222. Mode de circulation artificielle de l'air proposé par <i>Madison Cooper</i>	256
223. Schéma du réfrigérant <i>Fixary</i>	257
224. Refroidisseur <i>Fixary</i>	257
225. Schéma d'un frigorifère à disque (type <i>Linde</i>).....	262
226. Frigorifère <i>Linde</i> de l'abattoir de Mayence. Vue extérieure du frigorifère.....	262
227. Autre vue extérieure du frigorifère <i>Linde</i> de l'abattoir de Mayence.....	263
228. Frigorifère <i>Linde</i> de l'abattoir de Mayence; coupe du frigorifère.....	263
229. Schéma d'un frigorifère à ruissellement.....	264
230. Schéma d'un frigorifère <i>Borsig</i> à ruissellement.....	264
231. Frigorifère à ruissellement construit par la firme <i>A. Borsig</i> de Berlin pour le frigorifique de l'abattoir d'Offenbach.....	264
232. Frigorifère à ruissellement construit par la Société <i>A. Borsig</i> pour les abattoirs de Berlin.....	265
233. Frigorifère <i>Mignon et Rouart</i>	266
234 et 235. Entrepôt frigorifique pour toutes denrées de la <i>Société du frigorifique de Monte-Carlo</i>	268-269
236. Petite installation de réfrigération de boucherie par détente directe de l'anhydride sulfureux....	277
237. Plan des chambres frigorifiques pour la vente en gros des porcs (Réfrigération par détente directe de CO ² , installation <i>Eug. Clar</i>).....	278
238. Installation frigorifique par détente directe de CO ² . Vue du compresseur à CO ² avec son moteur électrique.....	279
239. Installation de chambres frigorifiques pour la vente en gros des porcs.....	280
240. id. id. id.	281
241. Plan de l'installation générale de l'entrepôt frigorifique du <i>marché de Feltre</i> à Nantes.....	282
242. Distribution de froid <i>Branson</i>	284
243. Distribution de froid de <i>Saint-Louis</i>	284
244. Wagon <i>Hall</i> construit par la <i>Société Dyle et Bacalan</i>	295
245. Wagon <i>Hall</i> construit par la <i>Société Dyle et Bacalan</i>	296
246. Détails de l'isolement d'un wagon.....	297
247. Détails de l'isolement d'un wagon.....	298
248. Réfrigération des trains de bananes; vue extérieure du bâtiment isolé et refroidi dans lequel on introduit les trains en état complet de chargement.....	300
249 à 251. Schéma de l'installation de <i>Springfield</i> pour la réfrigération des trains de bananes en état complet de chargement.....	301
252. Vue de l'intérieur du bâtiment isolé et refroidi dans lequel sont introduits les trains de bananes en état complet de chargement.....	302
253. Vue intérieure du bâtiment isolé et refroidi dans lequel ont été introduits les wagons.....	302
254 et 255. Installation de <i>Springfield</i> pour la réfrigération des trains de bananes.....	303
256. Intérieur d'un wagon-glacière (<i>Laiteries coopératives des Charentes, État français</i>).....	305
257. Coupe transversale d'un wagon-glacière (<i>Laiteries coopératives des Charentes, État français</i>).....	305
258. Wagon-glacière des <i>Laiteries coopératives des Charentes</i>	306
259. Wagon-glacière de la <i>Société des wagons et entrepôts frigorifiques de France (Wagon de l'Ouest aménagé)</i>	306
260. Wagon-glacière de la <i>Société des wagons et entrepôts frigorifiques de France</i> . Coupe longitudinale du wagon montrant la disposition du bac à glace.....	307
261. Wagon-glacière de la <i>Société des wagons et entrepôts frigorifiques de France</i> . Coupe transversale avec indication de la circulation d'air.....	307

TABLE DES FIGURES

569

	Pages.
262. Wagon-glacière de la <i>Société des wagons et entrepôts frigorifiques de France</i> . Plan du wagon avec disposition du bac à glace B et des trappes de chargement A.....	307
263. Wagon <i>Davis</i>	308
264 et 265. Wagon de la <i>C^{ie} Wickes Refrigerator Car</i> . Détails d'un bac à glace.....	309
266 à 270. Wagon frigorifique <i>Eastman</i>	310-311
271. Wagon de la firme <i>Bohn Siphon Refrigerator Car</i>	311
272. Wagon frigorifique <i>Trapp</i>	312
273. Renouvellement de l'air dans le wagon frigorifique de <i>Görlitz</i>	312
274 à 279. Wagon de la <i>Société des magasins et transports frigorifiques de France</i>	313-314
280. Wagon réfrigérant portant une machine frigorifique.....	316
281. Wagon portant une machine frigorifique. Détails de la commande du compresseur rotatif et du moteur à pétrole <i>M</i>	317
282 à 286. Train frigorifique <i>Linde</i>	317-318
287. Intérieur d'un wagon réfrigérant à accumulateur de froid (<i>Thouars</i>).....	319
288-289. Wagon <i>Aero-Thermic</i> de <i>The Intercontinental Railway Company Limited</i>	320
290. Coupe au maître d'un navire en fer.....	323
291. Carlingue et varangues.....	323
292. Coque isolante en contact avec la coque en fer.....	324
293. Coque isolante non en contact avec la coque en fer.....	324
294 à 302. Isolement des diverses parties d'un navire.....	325-327
303. Machine frigorifique duplex marine <i>Hall</i> de 200.000 frigories-heure.....	330
304. Machine frigorifique marine <i>Hall</i> , type vertical.....	330
305. Machine marine <i>Hall</i> , type vertical à un seul compresseur.....	331
306. Bateau pour le transport des bananes.....	332
307. Compresseur horizontal à <i>AzH³ Linde</i> , type marine.....	333
308. Vue de l'une des pompes à saumure de l'installation frigorifique pour bateau transporteur de fruits.....	333
309. Steamers « <i>San José</i> », « <i>Simon</i> », « <i>Esparta</i> ». Plan du pont supérieur montrant l'installation des machines frigorifiques.....	334
310. Schéma d'une installation frigorifique de navire avec machine frigorifique dans l'entrepont.....	335
310 bis. Coupe d'un navire aménagé pour le transport des fruits coloniaux.....	335
311. Chargement d'un train frigorifique en Géorgie.....	336
312. Train frigorifique arrêté devant un cold store spécialement affecté aux fruits en Géorgie.....	337
312 bis. Magasinage des denrées et transport par chaland frigorifique.....	338
313. Mouleau pour la fabrication de la glace.....	343
314. Isolement d'un bac à glace.....	346
315. Bac à glace avec tuyauterie de réfrigération placée au fond du bac.....	347
316. Bac à glace de 10 tonnes de l'abattoir de Berlin.....	350
317. Bac à glace de la brasserie <i>Gabriel et Richter</i> à Neu-Weissensee, près de Berlin.....	351
318. Sortie des blocs de glace des mouleaux.....	352
319. Fabrication de la glace en plaques.....	353
320. Fabrication de glace en plaques (type <i>Eclipse, Frick Company</i>).....	354
321. Solidification d'une masse d'eau en un seul bloc (<i>The Cell System</i>).....	354
322-323. Modes de construction du sol d'une glacière.....	357
324. Appareil <i>Montupet</i> à double effet.....	358
325. Appareil à production d'eau distillée utilisant indirectement la vapeur d'échappement d'une machine à vapeur.....	359
326. Production d'eau distillée pour la fabrication de la glace-cristal (Utilisation directe de la vapeur d'échappement).....	361
327. Production d'eau distillée pour la fabrication de la glace-cristal (type de la firme <i>Triumph</i> de Cincinnati).....	361
328. Ensemble schématique des appareils de distillation des vapeurs d'échappement.....	362
329. Rebouilleur et écumeur de <i>La Vergne</i>	363
330. Ecumeur et rebouilleur <i>Triumph</i>	363
331. Rebouilleur <i>Fred. Wolf</i> avec écumeur indépendant.....	364
332. Ecumeur et rebouilleur de la <i>York Manufacturing Co</i>	364
333. Ecumeur et rebouilleur <i>Frick</i>	364
334. Ecumeur et rebouilleur <i>Wingrove</i>	365
335. Rebouilleur à vide de <i>La Vergne</i>	365
336 et 337. Installation de l'entrepôt frigorifique de <i>Leipzig</i>	366-367

	Pages.
338. Appareil <i>Douane</i> condensant la vapeur d'échappement dans le vide.....	368
339. Baudelot de grandes dimensions construit par la firme de <i>La Vergne</i>	385
340. Schéma d'une installation de brasserie (firme <i>Tuxen and Hammerich</i> , Copenhague).....	390
341 et 342. Refroidissement des cuves de fermentation.....	391-392
343. Cave de garde d'une brasserie.....	397
344 et 345. Brasserie <i>Gabriel et Richter</i> à Neu-Weissensee, près Berlin.....	411-412
346. Chambre des machines de la brasserie <i>Gabriel et Richter</i> à Neu-Weissensee.....	413
347. Compresseur <i>Borsig</i> à SO ² en fonctionnement à la <i>Hirschbrauerei A. G. Köln-Bayenthal</i>	413
348. Condenseur à ruissellement de la machine frigorifique à SO ² de la brasserie <i>Gabriel et Richter</i> à Neu-Weissensee, près de Berlin.....	414
349. Cave de garde de la brasserie <i>Gabriel et Richter</i>	414
350. Installation frigorifique de l'abattoir municipal de <i>Berlin</i>	418
351. Hall d'intercommunication de l'abattoir d' <i>Offenbach</i> (construction <i>A. Borsig</i> de Berlin).....	419
352. Le frigorifique de l'abattoir de <i>Mayence</i> (construit par la Société <i>Linde</i>).....	420
353 et 354. Usine frigorifique de la <i>Société Nantaise des glaciers et entrepôts frigorifiques du marché de Feltre à Nantes</i>	424-425
355. Chambre froide de l'abattoir de <i>Cologne</i> (construction <i>Humboldt</i> à Kalk, près Cologne).....	426
356. Chambre froide de l'abattoir d' <i>Offenbach</i> (construction <i>A. Borsig</i> de Berlin-Tegel).....	427
357. Chambre froide de l'abattoir de <i>Berlin</i> (construction <i>A. Borsig</i> de Berlin-Tegel).....	427
358. Chambre froide de l'abattoir de <i>Mayence</i> (construction <i>Linde</i>).....	428
359. Antichambre froide du frigorifique de l'abattoir de <i>Berlin</i> (construction <i>A. Borsig</i> de Berlin-Tegel).....	432
360. Antichambre froide du frigorifique de l'abattoir de <i>Cologne</i> (construction <i>Humboldt</i> de Kalk, près Cologne).....	432
361. Antichambre froide pour le gros bétail. Installation de l'abattoir d' <i>Offenbach</i> (construction <i>A. Borsig</i> de Berlin-Tegel).....	433
362. Entrée du frigorifique de l'abattoir d' <i>Offenbach</i> (construction <i>A. Borsig</i> de Berlin-Tegel).....	434
363. Salle à salaison de l'abattoir de <i>Berlin</i> (construction <i>A. Borsig</i> de Berlin-Tegel).....	435
364 et 365. Salle des machines de l'abattoir de <i>Cologne</i> (construction <i>Humboldt</i> de Kalk, près Cologne).....	436-437
366. Préparation et emballage des moutons congelés destinés à l'exportation.....	444
367 à 371. Installation frigorifique pour volailles et gibier.....	454-455
372. Chalutier à vapeur avec chambres froides pour le poisson.....	460
373. Machine <i>Chiossone</i> pour la production de la neige artificielle.....	461
374. Chambre de congélation pour le poisson.....	462
375. Serpentins situés à l'intérieur d'une chambre de congélation pour le poisson.....	463
376. Chambre froide pour le poisson. Schéma de l'installation des serpentins dans lesquels circule de la saumure froide.....	464
377. Chambre de conservation du poisson congelé.....	465
378. Arrimage du poisson dans les bassins de congélation.....	466
379 et 380. Pomme <i>Wagener</i>	478
381 et 382. Pomme <i>Tompkins King</i>	479
383 et 384. Pomme verte de <i>Rhode Island</i>	479
385 et 386. Pomme de <i>York Imperial</i>	481
387. Débarquement des bananes à la Nouvelle-Orléans.....	487
388. Pasteurisateur à lait, système <i>P. Mazé</i>	504
389. Réfrigérant capillaire pour la crème (type <i>Douglas</i>).....	506
390. Aménagement d'une crèmerie (<i>Douglas</i>).....	507
391. Réchauffeur-refroidisseur <i>Kasdorf</i>	509
392. Schéma d'une installation de laiterie.....	509
393. Aménagement d'une laiterie irlandaise distribuant le lait en ville (<i>Douglas</i>).....	510
394. Procédé <i>Gürber</i> pour la fabrication par le froid du lait condensé.....	515
395. Intérieur d'une crèmerie centrale (<i>Douglas</i>).....	517
396. Vue schématique d'une installation mécanique d'une laiterie moderne faite par <i>Loudon M. Douglas</i>	518
397. Groupe frigorifique pour laiterie (<i>Douglas</i>).....	519
398. Crème congelée. — Sortie de la crème du réfrigérant.....	521
399. Bac de solidification pour la crème congelée.....	521
400. Bac de solidification pour la crème congelée.....	522
401. Réfrigérant <i>Emery Thompson</i> pour la préparation de la crème congelée.....	522
402. Réfrigérant <i>Walker</i> pour la préparation de la crème congelée.....	523
403. Mireuse mécanique pour les œufs.....	550

TABLEAUX NUMÉRIQUES

	Pages.
I. Exportations de viandes congelées de la République Argentine depuis 1900 jusqu'à 1904.	14
II. Production journalière en 1904 de diverses usines à viande congelée de la République Argentine.	15
III. Importation en 1902 de la viande congelée ou réfrigérée en Angleterre	15
IV. Navires frigorifiques important en Angleterre des denrées conservées par le froid	17
V. Navires dont les chambres frigorifiques ont une capacité de plus de 5.600 mètres cubes (200.000 pieds cubes) qui importent en Grande-Bretagne des denrées conservées par le froid	18
VI. Entrepôts frigorifiques de quelques villes du Royaume-Uni.	24
VII. Les applications du froid en Allemagne.	26
VIII. Les applications du froid en France.	32
IX. Tensions de vapeur des fluides employés dans les machines frigorifiques à gaz liquéfiables	45
X. Valeurs des volumes spécifiques $s(T)$ et $\sigma(T)$ pour les gaz liquéfiables employés le plus souvent dans les machines frigorifiques	46
XI. Constantes critiques des gaz liquéfiables employés dans les machines frigorifiques	48
XII. Chaleurs de vaporisation des gaz liquéfiables employés dans les machines frigorifiques.	49
XIII. Valeurs de la chaleur du liquide	50
XIV. Valeurs de $\Sigma(T)$ et de $\frac{r(T)}{T}$ pour les divers fluides employés dans les machines frigorifiques.	57
XV. Dimensions des séparateurs d'huile des machines à AzH ³	150
XVI. Valeurs des coefficients de transmission de la chaleur pour des surfaces séparant deux fluides sous divers états.	154
XVII. Valeurs de \mathfrak{S}_m calculées par la formule $\mathfrak{S}_m = \frac{\mathfrak{S}_a + \mathfrak{S}_e}{\log \text{nep} \frac{\mathfrak{S}_a}{\mathfrak{S}_e}}$	155
XVIII. Longueurs des serpentins réfrigérants des machines à AzH ³ (tuyaux à surface extérieure lisse).	157
XIX. Dimensions des serpentins d'un réfrigérant plongé dans la saumure et du bac à saumure correspondant (machines à AzH ³).	161
XX. Dimensions de condenseurs à immersion pour machines à AzH ³	161
XXI. Dimensions de condenseurs à ruissellement pour machines à AzH ³	164
XXII. Dimensions de condenseurs à ruissellement pour machines à AzH ³	165
XXIII. Solutions de chlorure de calcium et de chlorure de sodium (poids spécifiques, points de congélation, chaleurs spécifiques des solutions à divers degrés de concentration)	181
XXIV. Solutions de chlorure de magnésium (poids spécifiques, points de congélation, chaleurs spécifiques des solutions à divers degrés de concentration).	184
XXV. Valeurs des coefficients de conductibilité intérieure des isolants employés dans les entrepôts frigorifiques.	200
XXVI. Calories transmises par mètre carré et par heure à travers des parois de 0 ^m ,150 d'épaisseur d'isolant compris entre deux panneautages simples de 22 millimètres d'épaisseur.	202
XXVII. Valeurs du coefficient de transmission K pour divers murs dont les faces sont en contact avec l'air.	205
XXVIII. Valeurs du coefficient de transmission K pour plafonds, planchers, fenêtres, de constructions diverses	206
XXIX. Valeurs du coefficient de transmission K pour toits de constructions diverses isolés ou non avec des agglomérés de liège.	207
XXX. Valeurs du coefficient de transmission K pour divers isolements.	216

	Pages.
XXXI. Tensions maxima de la vapeur d'eau contenue dans 1 mètre cube d'air saturé	244
XXXII. Nombre de mètres cubes de chambre froide nécessitant la production de 3.000 frigories-heure.	270
XXXIII. Nombre de frigories-heure nécessaires pour refroidir 1 mètre cube de chambre d'entrepôt frigorifique (température maxima extérieure : 30° C.)	271
XXXIV. Longueurs en mètres des tuyaux de 25 millimètres de diamètre intérieur nécessaires pour refroidir 1 mètre cube de chambre d'entrepôt frigorifique.	272
XXXV. Nombre de mètres cubes de chambre d'entrepôt frigorifique refroidis par 1 mètre de tuyaux de 25 millimètres de diamètre intérieur.	273
XXXVI. Chaleurs spécifiques et compositions de denrées alimentaires souvent conservées dans les entrepôts frigorifiques	274
XXXVI bis. Développement des chambres à glace dans les stations des chemins de fer sibériens. . .	291
XXXVII. Durée moyenne de congélation de l'eau contenue dans des mouleaux (température de la saumure comprise entre — 10° et — 8°)	345
XXXVIII. Durées en heures, d'après Siebert, de la congélation des blocs de glace préparés dans des mouleaux, pour diverses températures de la saumure et différentes épaisseurs de ces blocs	345
XXXIX. Dimensions de bacs à glace pour la production de la glace en blocs (mouleaux) (température de réfrigération : — 10°)	348
XL. Nombre et dimensions des mouleaux qu'il convient de placer dans un bac à glace pour produire 907 kilogrammes de glace (short ton) par vingt-quatre heures (température de congélation : — 9° C.)	349
XLI. Nombre et dimensions des mouleaux qu'il convient de placer dans un bac à glace pour produire 907 kilogrammes de glace (short ton) par vingt-quatre heures (température de congélation : — 13°,5 C.)	349
XLII. Correspondance entre les définitions des divers degrés de dureté de l'eau adoptés dans divers pays	373
XLIII. Fabrication de la glace aux États-Unis	376
XLIV. Prix moyens de la glace en gros et en détail dans quelques villes des États-Unis	377
XLV. Importation de glace en Allemagne.	379
XLVI. Exportation de glace de l'Allemagne vers différents pays	379
XLVII. Le marché allemand de la glace dans les deux premiers mois de l'année 1906. Comparaison avec les mois correspondants de 1904 et 1905	379
XLVIII. Poids spécifiques à 15°,6 et chaleurs spécifiques du moût de bière	386
XLIX. Comparaison des indications des divers saccharomètres	387
L. Dimensions de la partie du Baudelot refroidie par la détente de AzH ³ liquide	389
LI. Nombre moyen de bêtes abattues par an dans les villes allemandes (d'après O. Schwarz)	422
LII. Tableau donnant pour quelques villes allemandes de plus de 50.000 habitants la superficie des chambres froides de l'abattoir	423
LIII. Tableau donnant pour l'Allemagne le prix de location de 1 mètre carré de surface de case.	429
LIV. Mode de fonctionnement de quelques frigorifiques d'abattoirs allemands (d'après O. Schwarz). . .	430
LV. Développement de l'entrepôt frigorifique des pommes aux États-Unis	470
LVI. Exportations par chemin de fer des fruits de la Californie	471
LVII. Expédition par mer des fruits de la Californie	471
LVIII. Déchets constatés sur les pommes enveloppées et non enveloppées conservées dans une chambre froide.	478
LIX. Influence sur la conservation des pommes de la température à laquelle le fruit est porté à la sortie des chambres froides	480
LX. Pourcentage des pommes atteintes de l' <i>apple scald</i>	481
LXI. Pourcentage de pommes <i>Baldwin</i> atteintes de <i>scald</i> à diverses époques de la saison d'entrepôt	481
LXII. Variétés de pommes qui sont les plus sujettes à la maladie du <i>scald</i>	482
LXIII. Développement du <i>scald</i> dans un lot de pommes <i>Baldwin</i> retirées du frigorifique et maintenues à diverses températures.	483
LXIV. Influence, sur le développement du <i>scald</i> , de la durée de l'intervalle de temps écoulé entre la cueillette et l'entrepôt au frigorifique	483
LXV. Influence de l'emballage du fruit sur le développement du <i>scald</i>	484
LXVI. Statistique du commerce des bananes.	488
LXVII. Variations, avec le mouillage, du point de congélation du lait	491
LXVIII. Rendements obtenus dans la pratique par le pasteurisateur Mazé.	506
LXIX. Importations de beurre en Angleterre.	526
LXX. Températures des chambres froides de bateaux servant au transport du beurre.	528
LXXI. Commerce du beurre au Danemark	528

TABLE DES TABLEAUX NUMÉRIQUES

573

	Pages.
LXXII. Exportation des beurres russes	529
LXXIII. Exportation des beurres finnois.	529
LXXIV. Importations de beurre en Allemagne	530
LXXV. Exportations de beurres hongrois	531
LXXVI. Importations de fromages en Angleterre	538
LXXVII. Pays importateurs de fromages en Angleterre	539
LXXVIII. Importations de fromages en Allemagne.	539
LXXIX. Exportations de fromages allemands.	540
LXXX. Développement de l'industrie du Roquefort	541
LXXXI. Production des principales maisons de Roquefort	542
LXXXII. Importations de fromages en France	542
LXXXIII. Exportations de fromages français	542
LXXXIV. Importations d'œufs en Angleterre	555
LXXXV. Importations d'œufs en Allemagne	555
LXXXVI. Exportations des œufs russes.	556
LXXXVII. Détail des exportations des œufs russes.	557

ANNEXES

LXXXVIII. Comparaison du thermomètre centigrade et du thermomètre Fahrenheit	559
LXXXIX. Relations entre les unités du système métrique et les unités anglaises et américaines	560
XC. Relations entre les unités du système métrique et les unités russes	562

TABLE DES MATIÈRES

[Les nombres inscrits entre parenthèses indiquent les numéros des pages]

INTRODUCTION

LE DÉVELOPPEMENT DE L'INDUSTRIE FRIGORIFIQUE

- Pages.
1. Difficultés que présentent, durant l'été, la conservation et le transport des denrées alimentaires (1). — 2. Divers procédés de conservation des denrées alimentaires (1). — 3. La dessiccation employée comme moyen de conservation (2). — 4. Les conserves alimentaires (2). — 5. La salaison employée comme moyen de conservation (2). — 6. Les agents antiseptiques employés comme moyen de conservation (2). — 7. La conservation par le froid est la seule qui maintienne les produits dans leur primitif état de fraîcheur (2). — 8. Création et utilisation du froid industriel. *Charles Tellier* (3). — 9. Machines frigorifiques (5). — 10. Principe des machines frigorifiques à absorption (5). — 11. Principe des machines à détente d'un gaz (6). — 12. Principe des machines à compression et à évaporation d'un gaz liquéfiable (7). — 13. Fabrication de la glace. Son développement aux Etats-Unis (7). — 14. Conservation des denrées alimentaires (8). — 15. Préjugés des consommateurs français contre les produits conservés par le froid (8). — 16. Les marchés anglais sont alimentés en produits exotiques bien conservés par le froid (8). — 17. Conditions de conservation par le froid : nécessité d'une température constante (9). — 18. Conditions de conservation par le froid : nécessité d'une aération et d'un état hygrométrique convenables (9). — 19. Conditions de conservation par le froid : n'introduire dans les chambres frigorifiques que des produits en bon état de conservation (9). — 20. Conditions de conservation par le froid : congélation et décongélation progressives (10). — 21. Conditions particulières d'emballage, de température de réfrigération, de qualité du produit à choisir (10). — 22. Développement de l'industrie frigorifique aux Etats-Unis (10). — 23. L'industrie frigorifique au Canada (13). — 24. L'industrie frigorifique dans la République Argentine (13). — 25. Les importations frigorifiques en Angleterre (15). — 26. La flotte frigorifique anglaise (16). — 27. Importation du beurre en Angleterre (16). — 28. Importation des œufs en Angleterre (16). — 29. Le lait congelé du Danemark à Londres (22). — 30. Importation des fruits de l'Australie, du Cap, de la Tasmanie (22). — 31. Les entrepôts frigorifiques en Angleterre (22). — 32. L'industrie frigorifique en Danemark (23). — 33. L'industrie frigorifique en Russie (28). — 34. Les abattoirs frigorifiques. Leurs avantages. Utilité de l'emploi des frigorifiques pour la charcuterie (28). — 35. Les abattoirs et l'industrie frigorifique en Allemagne (29). — 36. L'industrie frigorifique en Italie (30). — 37. L'importation frigorifique du poisson frais en Suisse. Réexpédition dans divers pays de l'Europe de ce poisson conservé au frigorifique (31). — 38. Conservation du poisson au moyen de la glace. Ses inconvénients (31). — 39. Situation déplorable de l'industrie frigorifique en France (32). — 40. Il n'existe actuellement en France que deux abattoirs pourvus de frigorifiques (32). — 41. Le froid industriel dans l'industrie laitière et beurrière française (33). — 42. Les wagons frigorifiques en France (34). — 43. Utilisation du froid pour la conservation de la boîte ou appât destiné à la pêche de Terre-Neuve (34). — 44. Emploi de la boîte congelée à Terre-Neuve et au Canada (36). — 45. Utilisation du froid industriel en chocolaterie (37). — 46. Utilisation du froid industriel en brasserie (37). — 47. Utilisation du froid industriel en sériciculture (37). — 48. Utilisation du froid industriel en horticulture (38). — 49. Utilisation du froid industriel en parfumerie (41). — 50. Utilisation du froid industriel dans la préparation des extraits pharmaceutiques, dans la fabrication du sulfate de soude, dans l'industrie de la margarine (41). — 51. Application du froid industriel à l'essai des matériaux

	Pages.
de construction (41). — 52. Application du froid industriel à la conservation des cadavres dans les morgues (41). — 53. Application du froid industriel au rafraîchissement des salles de spectacle (41). — 54. Palais de glace (42). — 55. Application du froid industriel au fonçage des puits dans les terrains mouvants et détremés (42). — 56. Desséchage de l'air insufflé dans les hauts fourneaux par congélation de la vapeur d'eau (42).	43

CHAPITRE I

ÉTUDE DES MACHINES FRIGORIFIQUES A GAZ LIQUÉFIÉS PAR COMPRESSION

§ I

Rappel de quelques propriétés des vapeurs saturées

1. Tension de vapeur saturée (44). — 2. Accroissement à température constante de la pression sur un fluide (44). — 3. Volumes spécifiques du liquide saturé et de la vapeur saturée (45). — 4. Isothermes d'un fluide (46). — 5. L'isotherme $\alpha\beta\delta$ sépare les parties du plan POV, où les isothermes ont une partie rectiligne, des parties où les isothermes n'ont pas de partie rectiligne (48). — 6. Etat critique (48). — 7. Chaleur de vaporisation (48). — 8. Chaleur du liquide (49).	49
--	----

§ II

Les deux principes fondamentaux de la thermodynamique. Énoncé et applications

1. Énoncé du principe de l'équivalence de la chaleur et du travail (50). — 2. Equation du mouvement permanent d'un fluide dans un tuyau. Application de l'équation (2) (51). — 3. Energie interne d'un mélange contenant une proportion x de vapeur saturée (54). — 4. Énoncé du principe de Carnot-Clausius (56). — 5. Variation d'entropie dans la vaporisation d'un liquide à une certaine température (56). — 6. Énoncé de la formule de Clapeyron (57). — 7. Transformation adiabatique d'un mélange de liquide et de vapeur saturés (58).	59
---	----

§ III

Actions sur les métaux des fluides employés dans les machines frigorifiques

1. Ammoniaque (59). — 2. Anhydride carbonique (60). — 3. Anhydride sulfureux (61).	61
--	----

§ IV

Théorie des machines frigorifiques à gaz liquéfiable. Le compresseur fonctionne en régime humide

1. Application des principes de la thermodynamique aux transformations d'une masse fluide dans une machine à gaz liquéfiable (61). — 2. Calcul du travail qu'il faut fournir au compresseur (65). — 3. Diagramme théorique du compresseur (66). — 4. Le travail à fournir au compresseur peut se calculer au moyen du diagramme théorique comme si le contour de ce diagramme théorique était un cycle fermé (67). — 5. Puissance frigorifique par coup de piston. Puissance frigorifique par unité de masse du fluide circulant dans la machine. Puissance refroidissante du condenseur (67). — 6. Dans le fonctionnement du compresseur en régime humide, la vapeur doit être saturée et sèche à la fin de la compression (69). — 7. Rendement thermique indiqué (70). — 8. On doit fonctionner avec la température la plus élevée possible au réfrigérant (70). — 9. Puissance frigorifique par heure (70). — 10. Exemple numérique (71). — 11. Expressions approchées de la puissance frigorifique par heure et du rendement thermique indiqué (72). — 12. Influence de l'espace nuisible du compresseur (73). — 13. Rendement en volume théorique du compresseur (73). — 14. Rendement en volume de construction du compresseur (73). — 15. Rendement en volume véritable du compresseur (75). — 16. Expression de la puissance frigorifique indiquée par heure (en tenant compte de l'espace nuisible) (75). — 17. Principe de la nouvelle théorie donnée par Lorenz du fonctionnement du compresseur en régime humide (76).	77
--	----

§ V

Théorie des machines frigorifiques. Le compresseur fonctionne en régime sec

1. Étude des transformations de la vapeur saturée sèche aspirée dans le cylindre du compresseur (77). — 2. Comparaison numérique de la marche d'un compresseur en régimes sec et humide (79). —	77
---	----

3. Contradiction entre la théorie et l'expérience (80). — 4. Dans la marche en régime humide l'hypothèse de l'homogénéité du mélange fluide aspiré est en contradiction avec les faits observés (80). — 5. Retour à la théorie du fonctionnement du compresseur en régime humide. Théorie de Lorenz (80). — 6. Raison pratique pour laquelle il y a intérêt, dans les machines à anhydride sulfureux, à fonctionner en régime sec (82). — 7. Exemple numérique. Fonctionnement en régime sec d'un compresseur à ammoniac. Caractéristiques d'un compresseur rapportées à l'unité de volume de vapeur aspirée ou au volume-unité balayé par le piston (82).	87
--	----

CHAPITRE II

LES COMPRESSEURS

§ I

Détermination du volume réel d'un compresseur

1. Volume théorique d'un compresseur (88). — 2. Diamètre théorique d'un compresseur (89). — 3. Puissance théorique à fournir au compresseur. Rendement indiqué théorique (89). — 4. Causes qui rendent nécessaire un accroissement du volume théorique d'un compresseur et une augmentation du travail indiqué qui doit lui être fourni (90). — 5. Forme du diagramme réel d'un compresseur (90). — 6. Influence sur l'accroissement du volume théorique du compresseur de la chaleur cédée par le milieu extérieur au réfrigérant (91). — 7. Influence de l'existence de l'espace nuisible sur l'accroissement du volume théorique du compresseur (92). — 8. Influence de la dépression à l'aspiration sur l'accroissement du volume théorique du compresseur (92). — 9. Influence du manque d'étanchéité des organes du compresseur sur l'accroissement de son volume théorique (94). — 10. Détermination dans un avant-projet du volume véritable d'un compresseur (96). — 11. Détermination du travail indiqué qu'il faut réellement fournir à un compresseur (97). — 12. Influence sur l'accroissement du travail indiqué théorique de la surpression au refoulement du fluide à l'extérieur du compresseur (98). — 13. Rendements thermiques indiqués réels pour les machines à AzH ³ , SO ² , CO ² . Valeurs données par Stetefeld (99). — 14. Rendements thermiques indiqués réels pour les machines à AzH ³ . Valeurs données par d'autres ingénieurs (100). — 15. Equivalence des machines à AzH ³ , SO ² , CO ² , au point de vue de la puissance frigorifique spécifique (100). — 16. Utilité de la marche à puissance frigorifique réduite (101). — 17. Réglage de la puissance frigorifique d'une machine à froid par modification du fonctionnement du compresseur (101). — 18. Etranglement de l'orifice d'aspiration (101). — 19. Retour vers l'aspiration des vapeurs comprimées (102). — 20. Accroissement du volume de l'espace nuisible (103). — 21. Diminution directe du volume aspiré ou de la période d'aspiration (103). — 22. Comparaison des dispositifs précédents au point de vue économique (103).	104
--	-----

§ II

Construction des compresseurs

1. Définition d'un compresseur. Types de compresseurs (104). — 2. Cylindres des compresseurs des machines à ammoniac (105). — 3. Cylindres des compresseurs des machines à anhydride sulfureux (109). — 4. Cylindres des compresseurs des machines à anhydride carbonique (111). — 5. Pistons des compresseurs à AzH ³ et à SO ² . Diminution de l'espace nuisible (111). — 6. Tiges des pistons des compresseurs à SO ² (112). — 7. Pistons des compresseurs à CO ² (113). — 8. Presse-étoupes des compresseurs à AzH ³ . Presse-étoupes du type Linde; presse-étoupes <i>Linde, Lebrun, Dubern</i> , de la <i>Buffalo Refrigerating Machine Co</i> (114). — 9. Presse-étoupes des compresseurs à AzH ³ . Presse-étoupes <i>Fixary</i> . Presse-étoupes de la <i>Société française de constructions mécaniques</i> (116). — 10. Presse-étoupes des compresseurs à AzH ³ . Presse-étoupes <i>Friese</i> (117). — 11. Compresseur à AzH ³ tandem compound de la <i>Société Linde</i> . Le presse-étoupes est sur le compresseur à basse pression (117). — 12. Suppression du presse-étoupes sur la tige du compresseur. Compresseur à AzH ³ <i>Lebrun</i> (118). — 13. Le presse-étoupes de la tige du piston du compresseur n'est soumis qu'à la pression du réfrigérant. Compresseur <i>Stern</i> . Compresseur <i>Antarctic</i> (120). — 14. Presse-étoupes des compresseurs à SO ² . Presse-étoupes <i>Pictet</i> (122). — 15. Presse-étoupes des compresseurs à CO ² . Presse-étoupes <i>Riedinger</i> (122). — 16. Presse-étoupes des compresseurs à CO ² . Presse-étoupes <i>Hall</i> (123). — 17. Presse-étoupes des compresseurs à CO ² . Presse-étoupes <i>Braugnard</i> (126). — 18. Conditions que doivent remplir les soupapes des compresseurs (126). —	
---	--

	Pages.
19. Formules empiriques pour le calcul des ressorts des soupapes d'un compresseur (127). — 20. Exemple numérique de calcul des soupapes d'un compresseur (130). — 21. Autres formules empiriques relatives à la construction des ressorts cylindriques en fil rond (132). — 22. Types de soupapes; soupapes <i>Linde</i> , <i>Vilter</i> , <i>Pictet</i> (133). — 23. Comment on évite les ruptures de tige. Freinage progressif (134). — 24. Comment on évite la chute des soupapes dans le cylindre (135). — 25. Soupapes très légères en forme de plaques. Soupapes du type <i>Clapet Gutermuth</i> (137). — 26. Dispositif employé pour réduire la dépression à l'aspiration (138). — 27. Etude de la marche d'un compresseur au moyen des diagrammes d'indicateur (141). — 28. Couplage des compresseurs avec les machines motrices (143). — 29. Dimensions de l'installation d'un compresseur (145). — 30. De la puissance réelle nécessaire pour actionner un compresseur (146)	147
§ III	
Robinet régulateur. — Séparateur d'huile	147
1. Robinet détenteur simple. Compresseur à AzH^3 (147). — 2. Robinet détenteur automatique de <i>Linde</i> (148). — 3. Robinet rotatif <i>Linde</i> (148). — 4. Séparateur d'huile (compresseur à AzH^3). Séparateur d'huile <i>Linde</i> . Séparateur d'huile <i>Halmagis</i> (149). — 5. Dimensions à donner aux séparateurs d'huile (compresseurs à AzH^3) (150). — 6. Appareil à retenir les battitures qui peuvent se trouver dans les serpentins (150). — 7. Séparateur d'huile et robinet détenteur des machines à CO_2 (151). — 8. Organe de sûreté et joints des machines à CO_2 (151).	152
CHAPITRE III	
CONDENSEURS OU LIQUÉFACTEURS. — RÉFRIGÉRANTS OU ÉVAPORATEURS	153
1. Condenseur à immersion. Condenseur à ruissellement (153). — 2. Transmission de la chaleur d'un fluide à un autre séparés par une paroi métallique (153). — 3. Valeurs du coefficient de transmission de la chaleur (cas des fluides employés dans les machines frigorifiques) (154). — 4. Calcul de la surface d'un serpentín (154). — 5. Cas d'un réfrigérant à saumure (156). — 6. Règle pratique adoptée aux Etats-Unis pour la construction des serpentins de réfrigérants à AzH^3 plongés dans la saumure (156). — 7. Calcul d'un condenseur à immersion : masse d'eau de réfrigération (158). — 8. Calcul d'un condenseur à immersion : surface extérieure du serpentín du condenseur (159). — 9. Données pratiques relatives aux serpentins des condenseurs (160). — 10. Règles pratiques adoptées aux Etats-Unis pour la construction des serpentins (160). — 11. Calcul d'un condenseur à ruissellement (162). — 12. Dimensions de condenseurs à ruissellement employés aux Etats-Unis (machines à AzH^3) (163). — 13. Modes de construction des condenseurs à immersion (166). — 14. Modes de construction des condenseurs à immersion. Condenseurs compound (167). — 15. Condenseurs à ruissellement (168). — 16. Condenseurs à doubles tuyaux (172). — 17. Condenseurs cylindriques ou condenseurs-récipients (174). — 18. Condenseurs tubulaires à SO_2 (175). — 19. Installation d'un refroidisseur de liquide à la suite du liquéfacteur, d'un refroidisseur de vapeur avant l'entrée au condenseur (176). — 20. Réservoir à liquide (Liquid Receiver) (177). — 21. Refroidisseurs d'eau de condensation (177). — 22. Réfrigérant (178). — 23. Disposition générale d'une installation (178). — 24. Saumure. Points de congélation et chaleurs spécifiques à divers degrés de concentration (178). — 25. Préparation de la saumure (184)	184
CHAPITRE IV	
LE REFROIDISSEMENT DES LIQUIDES APPLICATIONS A LA LAITERIE ET A LA BRASSERIE	185
1. Modes de refroidissement des liquides (185). — 2. Réfrigération au moyen de la glace (185). — 3. Réfrigération par échange de chaleur entre deux liquides séparés par une paroi métallique (185). — 4. Appareils à cuve. Refroidissement intérieur des pots à lait. Refroidissement au moyen d'un serpentín plongeant dans le liquide (186). — 5. Appareil refroidisseur à courants parallèles, à contre-courant (188). — 6. Appareils à contre-courant et à ruissellement (189). — 7. Réfrigérants cylindriques (190). — 8. Comment on peut obtenir des liquides réfrigérants dans les installations de laiterie (191). — 9. Avantages des réfrigérants à ruissellement et à contre-courant (193).	194

CHAPITRE V

L'ENTREPOT FRIGORIFIQUE

§ I

Les matières isolantes

193

1. Importance du bon isolement d'une chambre frigorifique (195). — 2. Qualités que doit présenter un bon isolant pour chambre frigorifique (195). — 3. Coefficient de conductibilité (196). — 4. Coefficient de transmission de la chaleur. Formule de Pécelet (197). — 5. Comment on peut réaliser la mesure pratique de K par la méthode de Fourier (198). — 6. Comment on détermine généralement le coefficient K (199). — 7. Valeurs des coefficients de conductibilité et des coefficients de transmission (200). — 8. La conductibilité d'un isolant s'accroît rapidement avec son degré d'humidité (201). — 9. Calcul du coefficient de transmission K d'un milieu composé de divers isolants (202). — 10. Air (207). — 11. Feutre (208). — 12. Matelas isolants (208). — 13. Rubéroid (210). — 14. Papier P. et B. (210). — 15. Crin animal. Plumes (210). — 16. Sciure de bois (210). — 17. Copeaux de bois (210). — 18. Bois employés dans les isollements (211). — 19. Balle de riz (211). — 20. Tourbe (211). — 21. Cendres de houille. Cendres de bois. Poudre de craie. Kieselguhr (211). — 22. Amiante (211). — 23. Laine minérale (211). — 24. Liège (213). — 25. Liège granulé (213). — 26. Briques de liège (213). — 27. Panneaux de liège (214). — 28. Modes de fixation des briques ou des panneaux de liège (214). — 29. Coquilles calorifuges (215). — 30. Charcoal (216). — 31. Coefficients de transmission de la chaleur pour quelques isolants composés (216). — 32. Valeur de K qui convient à un isolement économique et pratique (220). 220

§ II

Construction d'un magasin frigorifique

220

1. Fondations isolantes (220). — 2. Plancher isolant (222). — 3. Exemples de planchers isolants construits en Angleterre et en Amérique (223). — 4. Murs et parois isolantes (224). — 5. Il n'est pas bon de ménager des matelas d'air dans les murs en maçonnerie des entrepôts frigorifiques (224). — 6. Bourrages au moyen de matières isolantes des intervalles laissés libres dans les murs en maçonnerie (225). — 7. Le bourrage des murs en maçonnerie au moyen de matières isolantes n'est pas à recommander (225). — 8. Murs en maçonnerie massifs. Isolement intérieur ou extérieur des murs (225). — 9. Doit-on isoler l'intérieur ou l'extérieur d'un bâtiment frigorifique? Isolement extérieur; ses avantages; difficultés qu'il présente (226). — 10. Isolement intérieur; ses inconvénients (227). — 11. Divers modes d'isolement des parois de frigorifiques. Emploi des agglomérés de liège (227). — 12. Autres modes de construction de l'isolement des murs. Cloisons bouvetées séparées par des matelas isolants. Emploi de briques creuses (228). — 13. Parois isolantes dans les frigorifiques anglais ou américains (229). — 14. Cloisons de séparation pour entrepôts frigorifiques (232). — 15. Plafonds de frigorifiques (234). — 16. Toit (235). — 17. Peintures et enduits sur les parois intérieures des frigorifiques (236). — 18. Portes (236). — 19. Fenêtres. Baies vitrées (239). — 20. Aération ou renouvellement de l'air (239). — 21. Grues et monte-charges (240). — 22. Élévateur-antichambre hermétique (type *Wills*) (242). 243

§ III

Modes de réfrigération des chambres frigorifiques d'un entrepôt

243

1. Quantité de chaleur dégagée dans le refroidissement d'un volume déterminé d'air humide (243). — 2. Refroidissement direct par vaporisation de l'agent frigorifique. Refroidissement par l'intermédiaire de la saumure (245). — 3. Classification des procédés de refroidissement par détente directe (246). — 4. Classification des procédés de refroidissement par l'intermédiaire d'un liquide incongelable (246). — 5. Frigorifères (247). — 6. Combinaison de la détente directe avec l'action intermédiaire de la saumure (247). — 7. Circulation naturelle et circulation artificielle de l'air (247). — 8. Refroidissement interne par détente directe ou par circulation de saumure (247). — 9. Tuyaux généralement employés pour le refroidissement des chambres (250). — 10. Dégivrage des tuyaux (251). — 11. Refroidissement externe par détente directe ou par circulation de saumure. Circulation naturelle de l'air (253). — 12. Inconvénients que présentent les installations

	Pages.
frigorifiques avec circulation naturelle de l'air (255). — 13. Circulation artificielle de l'air (255). — 14. Refroidisseur Fixary (257). — 15. Principe des frigorifères (<i>Mignon et Rouart</i>) (258). — 16. Recherches de MM. <i>Stetefeld, Baier</i> et <i>Bongert</i> sur l'action désinfectante exercée sur l'air par la saumure des frigorifères (260). — 17. Divers types de frigorifères (262). — 18. Frigorifères à disque. Appareil <i>Linde</i> (262). — 19. Frigorifères à ruissellement (263). — 20. Refroidissement mixte (266). — 21. Entretien des frigorifères (267). — 22. Nombre de frigories à produire pour refroidir un espace déterminé. Premières règles pratiques pour avant-projet (267). — 23. Nombre de frigories nécessaires pour refroidir un espace déterminé. Règles pratiques plus précises (267). — 24. Refroidissement interne par détente directe avec des machines à AzH^3 . Premières règles pratiques pour avant-projet donnant les longueurs de tuyaux lisses à employer (271). — 25. Refroidissement interne avec des machines à AzH^3 . Règles pratiques plus précises donnant les longueurs de tuyaux lisses à employer (272). — 26. Calcul du nombre de frigories nécessaires pour refroidir le contenu des chambres frigorifiques (273). — 27. Comparaison entre le refroidissement par détente directe et le refroidissement par circulation de saumure (275). — 28. Rapidité de l'abaissement de température des locaux au moyen de la détente directe (275). — 29. Variations de température des locaux dans l'emploi de la détente directe (275). — 30. Danger de dégagement des gaz nuisibles à la conservation des denrées (275). — 31. La simplicité du mode d'installation fait souvent préférer le refroidissement par détente directe (276). — 32. En général, dans les grandes installations de refroidissement d'air avec fabrication de glace, le système de refroidissement par saumure est préférable au système de refroidissement par détente directe (276). — 33. Développement en Europe du mode de réfrigération par détente directe. Petites installations à SO^2 et à CO^2 . Entrepôt frigorifique du marché de Feltre à Nantes (277). — 34. Distribution du froid par conduites dans quelques villes des Etats-Unis (282).	285

CHAPITRE VI

LES TRANSPORTS FRIGORIFIQUES

§ I.

Les wagons frigorifiques

286

1. Historique du développement aux Etats-Unis de l'emploi des wagons frigorifiques. Wagons ventilés (286). — 2. Wagon <i>J.-B. Lutherland</i> de Détroit (Michigan) (286). — 3. Wagon <i>Davis</i> de Détroit (Michigan). Succès obtenus dans le transport des fraises et de la viande de bœuf (287). — 4. <i>Parker Earle</i> . Ses essais de transport de fraises au moyen de caisses réfrigérantes (287). — 5. Wagon <i>Tiffany</i> . Transport des viandes (287). — 6. Le transport des fruits et légumes prend de l'extension en 1877 (287). — 7. Compagnie fondée par <i>Earle et Thomas</i> . Son développement (287). — 8. Les transports actuels de fruits et légumes (288). — 9. Durée de séjour maximum des fruits d'été dans les wagons-glacières (288). — 10. Tarifs de transport des fruits à partir de <i>Jacksonville</i> (Floride) (288). — 11. Tarifs de transport des fruits à partir de l' <i>Arkansas</i> et du territoire indien (289). — 12. Tarifs de transport des fruits à partir de <i>Tyler</i> (Texas) (289). — 13. Les wagons frigorifiques au <i>Canada</i> (289). — 14. Les wagons réfrigérants en <i>Russie</i> (290). — 15. Les wagons-glacières en <i>Grande-Bretagne</i> (291). — 16. Les wagons-glacières et les transports des produits de laiterie en <i>Allemagne</i> (292). — 17. Les wagons-glacières en <i>France</i> . Les wagons du réseau de l' <i>État</i> , de la <i>Société anonyme des magasins et transports frigorifiques de France</i> , de la <i>Société des wagons et entrepôts frigorifiques de France</i> , des <i>Laiteries coopératives des Charentes et du Poitou</i> (293). — 18. Différentes sortes de wagons frigorifiques (295). — 19. Isolement des wagons. Wagon <i>Hall</i> construit par la <i>Société Dyle et Bacalan</i> (295). — 20. Autres modes de construction de wagons isolés (296). — 21. Wagon isolant. Réfrigération de trains entiers avec leur chargement (299). — 22. Wagons-glacières (304). — 23. Wagons-glacières entièrement fermés. Circulation d'air par différence de densités (308). — 24. Wagons-glacières entièrement fermés. Circulation d'air par ventilateurs (312). — 25. Wagons-glacières à renouvellement d'air (312). — 26. Wagons réfrigérants proprement dits (313). — 27. Wagons réfrigérants portant individuellement une machine frigorifique (313). — 28. Trains frigorifiques (317). — 29. Wagons réfrigérants à accumulateur de froid. Wagons à refroidissement par saumure (318). — 30. Wagons à refroidissement par détente directe d'ammoniaque (321).	321
--	-----

Navires frigorifiques

1. Difficultés que l'on rencontre dans l'installation des cales de navires frigorifiques. Parois unies des chambres frigorifiques (322). — 2. Inconvénients que présente une grande profondeur de cale (322). — 3. Le rivetage de la coque doit être effectué avec le plus grand soin (322). — 4. Conditions particulières que doit remplir l'isolement d'une coque de navire (322). — 5. La coque intérieure d'isolement peut être en contact ou non avec la coque en fer (324). — 6. Isolement du fond d'un navire (325). — 7. Isolement des côtés d'un navire (325). — 8. Isolement des serres de renfort de côté (326). — 9. Isolement des dessous de ponts (326). — 10. Isolement du côté supérieur du pont (326). — 11. Isolement des cloisons (327). — 12. Isolement du tunnel (327). — 13. Isolement des écoutilles (327). — 14. Isolement des mâts et ventilateurs (327). — 15. Isolement des épontilles et échelles de cale (327). — 16. Garnissage du fond des cales et des côtés (327). — 17. Tubes à thermomètres destinés à prendre la température des cales (328). — 18. Ventilation des cales et des bouchains (328). — 19. Des isolants à employer à bord des bateaux (328). — 20. Machines frigorifiques. Anhydride carbonique (329). — 21. Machines frigorifiques. Ammoniaque (332). — 22. Machines frigorifiques. Anhydride sulfureux. Chlorure de méthyle (334). — 23. Place des machines frigorifiques (334). — 24. Précautions à prendre pendant l'embarquement et le débarquement des denrées (336) 340

CHAPITRE VII

FABRICATION DE LA GLACE

Procédés de fabrication de la glace

1. Différentes sortes de glace artificielle (341). — 2. Opacité de la glace. Expériences de MM. Cottarel et Papin (341). — 3. Circonstances qui influent sur l'aspect de la glace au moment de sa formation (342). — 4. Circonstances favorables ou défavorables à l'obtention de la glace transparente (342). — 5. Tous les microorganismes contenus dans l'eau se retrouvent dans la glace préparée au moyen de cette eau (342). — 6. Les microorganismes sont concentrés dans le noyau opaque des blocs de glace translucide (343). — 7. Le noyau opaque des blocs de glace translucide peut être supprimé (343). — 8. Fabrication de la glace en blocs ou en plaques (343). — 9. Mouleaux (343). — 10. Les gros blocs de glace coûtent plus cher à produire que les petits (344). — 11. Quelques valeurs de la durée moyenne de la congélation de l'eau dans les mouleaux (344). — 12. Bacs à glace (345). — 13. Position du serpentín réfrigérant dans le bac à glace. Agitation de la saumure. Mouvement d'avancement donné aux séries de mouleaux (347). — 14. Glace translucide. Production par agitation mécanique de l'eau à congeler. Agitation de l'eau des mouleaux par le procédé des bouteilles de la Société Dyle et Bacalan (351). — 15. Sortie des mouleaux du bac à glace. Transport au bac de démoulage. Enregistreur automatique des démoulages (354). — 16. Fabrication de la glace en plaques. Le mode de fabrication dit à cellules (353). — 17. Emmagasiner et vente de la glace (354). — 18. Emplacement et disposition des glacières. Leur refroidissement (355). — 19. Construction du sol des glacières (356). — 20. Transport de la glace (357). — 21. Glace stérilisée. Production d'eau distillée (357). — 22. Production d'eau distillée par distillation directe (357). — 23. Appareil Montupet à distillation à triple effet; utilisation directe de la vapeur vive d'une chaudière. Appareil utilisant indirectement la vapeur d'échappement d'une machine (358). — 24. Utilisation directe de la vapeur d'échappement. Principe de l'installation (360). — 25. Utilisation de la vapeur d'échappement. Nécessité de produire dans certains cas de la vapeur additionnelle (362). — 26. Diverses formes adoptées pour l'écumeur et le rebouilleur. Conditions d'un bon fonctionnement de ces appareils (363). — 27. Utilisation de la chaleur produite par la condensation de la vapeur d'échappement (363). — 28. Utilisation de la vapeur d'échappement. Sa condensation dans le vide (368). — 29. Filtres (369). — 30. Dimensions de quelques installations (369). — 31. Défauts de la glace (370). — 32. Glace à aspect laiteux (370). — 33. Glace à noyau blanc (370). — 34. Glace à noyau couleur de rouille (371). — 35. Couleur, goût et odeur de certaines glaces préparées au moyen d'eau distillée (371). — 36. Conditions que doit remplir l'eau pour pouvoir être employée à la fabrication de la glace-cristal par la méthode des mouleaux (371). — 37. Dureté d'une eau. Dureté permanente ou stable. Dureté passagère ou instable (372). — 38. Définitions du degré de dureté de l'eau dans les

	Pages.
divers pays (372). — 39. Valeurs de la dureté que ne doit pas dépasser une eau employée pour la fabrication de la glace par la méthode des mouleaux (373). — 40. Conditions que doit remplir l'eau pour pouvoir être employée à la fabrication de la glace par la méthode des plaques (373). — 41. Comparaison entre la méthode des mouleaux et la méthode des plaques (374)	374

§ II

Le commerce de la glace	374
--------------------------------	-----

1. La glace aux <i>États-Unis</i> . Commerce d'exportation (374). — 2. La glace aux <i>États-Unis</i> . Récolte et consommation de la glace naturelle (375). — 3. La glace aux <i>États-Unis</i> . Production globale de la glace artificielle (375). — 4. La glace aux <i>États-Unis</i> . Prix de la glace (376). — 5. La glace aux <i>États-Unis</i> . Répartition de la production de la glace (378). — 6. La glace aux <i>États-Unis</i> . Entrepôts froids (378). — 7. Le marché <i>allemand</i> de la glace de 1900 à 1906. (378) — 8. Prix de la glace artificielle en <i>Allemagne</i> (380)	380
---	-----

CHAPITRE VIII

LE FROID EN BRASSERIE	381
------------------------------	-----

1. Schéma de la fabrication de la bière (381). — 2. Les emplois du froid en brasserie (383). — 3. Estimation grossière du nombre de frigorifiques à produire pour les diverses applications du froid dans une brasserie (384). — 4. Refroidissement du moût (384). — 5. Degré <i>Balling</i> ; extrait pour cent d'un moût; comparaison des indications d'un saccharomètre <i>Balling</i> avec d'autres saccharomètres; nombre de frigorifiques à produire pour le refroidissement du moût (386). — 6. Dimensions de la partie du <i>Baudelot</i> refroidie par la machine frigorifique. Cas des machines à AzH^3 (388). — 7. Cas où dans la partie inférieure du <i>Baudelot</i> circule de l'eau glacée (389). — 8. Refroidissement des liquides en fermentation (390). — 9. Quantité de chaleur dégagée par les liquides en fermentation (392). — 10. Caves de fermentation. Nécessité de la ventilation. Réfrigération par un courant d'air froid et sec (394). — 11. Caves de fermentation. Murs intérieurs. Éclairage. Disposition des cuves (396). — 12. Caves de garde (397). — 13. Calcul du nombre de frigorifiques à produire pour maintenir les caves d'une brasserie à une température convenable (397). — 14. Nombre de frigorifiques à produire pour compenser l'échauffement des caves de brasserie (avant-projet) (401). — 15. Description des tuyaux à employer pour refroidir les caves de brasserie (circulation de saumure) (401). — 16. Longueurs de tuyaux employés pour refroidir les caves de brasserie (circulation de saumure) (402). — 17. Description des tuyaux employés pour refroidir les caves de brasserie (détente directe) (404). — 18. Longueurs de tuyaux à employer pour refroidir les caves de brasserie (détente directe) (405). — 19. Longueurs de tuyaux à employer pour refroidir les caves de brasserie. Cas où le compresseur ne marche que <i>h</i> heures par jour (407). — 20. Calcul d'une installation frigorifique pour brasserie (407). — 21. Refroidissement de la bière pour l'embouteillage (409). — 22. Conservation de la levure (410). — 23. Conservation du houblon (410). — 24. Description d'une installation frigorifique de brasserie (410)	414
---	-----

CHAPITRE IX

CONSERVATION PAR LE FROID DE LA VIANDE ET DU GIBIER	
--	--

§ I

Les frigorifiques dans les abattoirs	415
---	-----

1. De l'utilité des frigorifiques pour les bouchers détaillants (415). — 2. De l'utilité des frigorifiques pour les éleveurs (416). — 3. La conservation de la viande dans les armoires-glacières est un procédé déplorable (416). — 4. La conservation de la viande dans les maisons-glacières (417). — 5. Situation et construction des chambres froides (417). — 6. Dimensions des chambres froides proprement dites. Superficie (421). — 7. Dimensions des chambres froides proprement dites. Hauteur (425). — 8. Cases ou loges des chambres froides proprement dites (426). — 9. Antichambres froides (432). — 10. Salle pour salaisons (434). — 11. Bacs à saumure des salles à salaisons (435). — 12. Mode de refroidissement des salles à salaisons (438)	438
--	-----

§ II

Viande réfrigérée et viande congelée

Pages.
438

1. Viande réfrigérée (438). — 2. Préparation de la viande réfrigérée. Essorage ou ressuage (438). — 3. Préparation de la viande réfrigérée. Réfrigération (439). — 4. Conditions dans lesquelles les veaux habillés de leur peau, le sang des animaux sont admis au frigorifique (439). — 5. Renouvellement de l'air du frigorifique (440). — 6. Durée de conservation maximum de la viande réfrigérée (440). — 7. La viande réfrigérée a les mêmes propriétés comestibles et la même qualité commerciale que la viande fraîche. Expériences faites par la chambre syndicale de la boucherie de Paris (440). — 8. La viande réfrigérée supporte bien l'étal (441). — 9. La viande réfrigérée supporte bien le transport (441). — 10. Aspect extérieur de la viande réfrigérée. Perte de poids dans la conservation au frigorifique (441). — 11. Viande congelée. Congélation rapide. Congélation lente (442). — 12. Préparation de la viande congelée. Choix des bêtes avant l'abat (442). — 13. Préparation de la viande congelée. Précautions à prendre au moment de l'abatage et du dépeçage (443). — 14. Préparation de la viande congelée. Précautions à prendre pour le transport des quartiers de viande (443). — 15. Préparation de la viande congelée. Essorage. Congélation. Emmagasiner (443). — 16. Caractères physiques des viandes congelées (444). — 17. Précautions à prendre pour obtenir la décongélation des viandes conservées par le froid (445). — 18. Comestibilité des viandes congelées. Expériences de *M. Armand Gautier* (445). — 19. La viande congelée revenue à la température normale se conserve bien (446). — 20. Transport de la viande congelée. Expériences de transport dans les wagons ordinaires à marchandises des compagnies de chemins de fer (446). 447

§ III

Calcul d'une installation frigorifique d'abattoir

447

1. Données pour un avant-projet (447). — 2. Calcul détaillé d'une installation frigorifique (448). 452

§ IV

Conservation de la volaille et du gibier

453

CHAPITRE X

CONSERVATION DU POISSON

457

1. Poisson réfrigéré. Poisson congelé (457). — 2. Quelle sorte de poisson doit-on introduire au frigorifique (457). — 3. Poisson réfrigéré. Sa conservation (457). — 4. Transport du poisson réfrigéré (458). — 5. Les procédés actuels de conservation du poisson au moyen de la glace sont déplorables (458). — 6. Nécessité de l'installation de chambres frigorifiques à bord des chalutiers à vapeur (459). — 7. Emploi de la neige artificielle (459). — 8. Machine à produire la neige (459). — 9. Congélation du poisson. Son développement aux *Etats-Unis* (461). — 10. Congélation du poisson. Description d'une installation à réfrigération mécanique (462). — 11. Congélation du poisson. Manière de le préparer (465). — 12. Congélation du poisson. Perte de qualité pendant l'entreposage (467). — 13. Congélation du poisson. Limites de la durée de la conservation. Prix de la conservation aux *Etats-Unis* (468). 468

CHAPITRE XI

CONSERVATION PAR LE FROID DES FRUITS ET DES LÉGUMES

469

1. La conservation des fruits par le froid a d'abord été essayée en *France*. Installation de *M. E. Salomon* de Thomery (469). — 2. La conservation des fruits au *Cap*. Le commerce avec l'*Angleterre* (469). — 3. La conservation des fruits aux *Etats-Unis* (470). — 4. Les transports frigorifiques et le commerce des fruits de la *Californie* (471). — 5. Récentes expériences de conservation faites en *France* par *M. Loiseau* (472). — 6. Expériences de *MM. Delion et Lepeu* (473). — 7. Conditions pour opérer en toute sécurité la conservation des fruits et légumes (473). — 8. Qualité du produit (474). — 9. Tem-

	Pages.
pérature de conservation (475). — 10. Degré hygrométrique (475). — 11. Aération (476). — 12. Emballage et disposition des caisses dans les chambres froides (476). — 13. Précautions à prendre à l'entrée et à la sortie (477). — 14. Pommes (477). — 15. Pommes. Maladies cryptogamiques. <i>Apple Scald</i> (480). — 16. Poires (484). — 17. Pêches (483). — 18. Prunes (483). — 19. Fraises (486). — 20. Cerises (486). — 21. Groseilles (486). — 22. Abricots (486). — 23. Oranges et citrons (486). — 24. Noix et fruits secs (486). — 25. Bananes (487). — 26. Légumes. Températures de conservation. Durées de conservation (488). — 27. Tomates (488). — 28. Choux (488). — 29. Pommes de terre (489). — 30. Oignons (489).	489

CHAPITRE XII

LE FROID DANS L'INDUSTRIE LAITIÈRE

§ I

Caractères généraux du lait 490

1. Définition (490). — 2. Provenance (490). — 3. Propriétés du lait (490). — 4. Densité du lait (490). — 5. Chaleur spécifique du lait et de la crème (490). — 6. Point de congélation du lait. Influence de l'addition de l'eau sur le point de congélation. Cryoscopie du lait (490). — 7. Point de congélation du lait. Influence de l'état de santé du galactifère (491). — 8. Composition du lait (491). — 9. Matière grasse du lait (492). — 10. Caséine (492). — 11. Sucre de lait ou lactose ou lactine (493). — 12. Sels minéraux ou cendres (493). — 13. Colostrum (493). — 14. Causes qui peuvent faire varier la sécrétion et la composition du lait (493) 494

§ II

Traitement du lait à la ferme 494

1. Des moyens employés pour conserver le lait (494). — 2. Le froid n'améliore pas la qualité du lait; il arrête seulement le développement des microorganismes (494). — 3. Le traitement hygiénique du lait doit commencer à la ferme (494). — 4. Importance de l'hygiène de l'étable (494). — 5. L'étable doit être bien éclairée (495). — 6. L'étable doit être bien aérée (495). — 7. Propreté de l'étable (495). — 8. Précautions à prendre pendant la traite (496). — 9. Eviter tout mouvement dans l'étable (496). — 10. Soins à donner aux trayons (496). — 11. Propreté du trayeur (497). — 12. Stérilisation des bidons (497). — 13. Ne pas laisser le lait séjourner à l'étable (497). — 14. Laisser écouler les premiers jets de lait (497). — 15. Filtration du lait aussitôt après la traite (497). — 16. Réfrigération du lait (498). — 17. Etablissement d'une laiterie (499). 499

§ III

Le transport du lait 500

1. Ne pas opérer le mélange des traites (500). — 2. Le ramassage du lait pour les beurrieres mécaniques (500). — 3. Conditions que doit remplir le véhicule transporteur de lait (500). — 4. Eviter le barattage pendant le transport (501). — 5. Frais de transport (501). — 6. Heure d'arrivée (501). — 7. Alimentation d'une grande ville. Adduction du lait frais à *Paris* (501). — 8. Transport du lait par wagons isolés. Alimentation de *Berlin* (502). 502

§ IV

Le traitement du lait à la laiterie 502

1. Lait livré non pasteurisé à la consommation (502). — 2. Lait livré pasteurisé à la consommation (502). — 3. Pasteurisation du lait (503). — 4. Cas où le lait doit être écrémé. La crème n'est pas pasteurisée; le lait écrémé n'est pas pasteurisé (506). — 5. Pasteurisation de la crème et du lait écrémé (508). — 6. Appareil réchauffeur. Réchauffeur-refroidisseur. Refroidisseur *Kasdorf* (508). 510

§ V

La congélation du lait 511

1. Recherches de *Duclaux* (511). — 2. Congélation du lait (511). — 3. Congélation rapide de petites masses de lait. Lait provenant de leur décongélation (511). — 4. Liquides résultant de la décon-

TABLE DES MATIÈRES

585

Pages.

gélation partielle d'une grande masse de lait (512). — 5. Le lait bouilli n'est pas propre à la congélation (512). — 6. Transformations qui se produisent dans une masse de lait maintenu longtemps congelé (512). — 7. Lait réfrigéré. Procédé *Casse* (513). — 8. Lait réfrigéré. Procédé *Helm* (513). — 9. Lait réfrigéré. Procédé *Bernstein* (513). — 10. Addition proposée par *Bernstein* de cultures pures de ferment lactique au lait pasteurisé, puis réfrigéré (514). — 11. Le froid dans la fabrication du lait condensé (514). 515

§ VI

Maturation de la crème. Barattage 515

1. Nécessité de la maturation de la crème (515). — 2. Degré d'acidification optimum suivant les saisons (516). — 3. Température la plus convenable pour l'acidification de la crème (516). — 4. Barattage (516). — 5. Température et vitesse du barattage (517). — 6. Délaitage (519). — 7. Malaxage (520). 520

§ VII

La congélation de la crème 520

§ VIII

Conservation du beurre par le froid 524

1. Circonstances qui influent sur l'altération des beurres (524). — 2. Conditions générales de conservation du beurre (525). — 3. Conditions générales que doivent remplir les chambres froides pour la conservation du beurre (525). — 4. Température de conservation du beurre réfrigéré (525). — 5. Conservation du beurre congelé (525). 526

§ IX

Le commerce du beurre 526

1. Importation du beurre en *Angleterre* (526). — 2. Efforts tentés par l'*Australie* pour accroître l'exportation de ses beurres en *Angleterre* (527). — 3. L'industrie beurrière au *Canada* (527). — 4. Le commerce du beurre en *Danemark* (528). — 5. Le commerce du beurre en *Russie* (529). — 6. Les importations de beurre en *Allemagne* (530). — 7. Le commerce du beurre en *Autriche-Hongrie* (530). — 8. Le commerce du beurre en *France* (531). — 9. Les exportations de beurre de la *République Argentine* (531). — 10. Les exportations de beurre de la *Nouvelle-Zélande* (531). 531

§ X

Schéma de la fabrication du fromage 532

1. Fromage (532). — 2. Lait employé (532). — 3. Principales opérations de la fabrication (533). — 4. Coagulation de la caséine (532). — 5. Présure (532). — 6. Propriétés et action de la présure (533). — 7. Influence de la température (533). — 8. Séparation du caillé (533). — 9. Division du caillé (533). — 10. Formation du gâteau (533). — 11. Expression du petit-lait. Pression et cuisson des fromages (534). — 12. Salage (534). — 13. Maturation (534). — 14. Maturation des fromages à pâte molle (*Camembert*, *Brie*). Théorie de *M. Mazé* (534). — 15. Pratique de l'affinage (536). — 16. Emploi de ferments sélectionnés (536). — 17. Résumé des principaux points de la fabrication des fromages (536) 537

§ XI

Le froid dans la fabrication du fromage 537

1. Conservation du fromage parvenu à l'état de maturité (537). — 2. Maturation du fromage (537) . . . 538

§ XII

Le commerce du fromage 538

1. Commerce du fromage en *Angleterre* (538). — 2. Commerce du fromage en *Allemagne* (539). —

	Pages.
3. Commerce du fromage en <i>France</i> (540). — 4. Exportation de fromages de la <i>Suisse</i> vers les <i>États-Unis</i> (543). — 5. Exportation de fromages de la <i>Nouvelle-Zélande</i> en <i>Angleterre</i> (543)	543

§ XIII

Exemples de calcul de la puissance frigorifique d'une machine à froid pour laiterie 543

1. Refroidissement d'une chambre à conservation de beurre (543). — 2. Production de glace (544). — 3. Machine frigorifique pour une laiterie dans laquelle on doit refroidir une chambre à conservation de beurre et produire de la glace (545) — 4. Machine frigorifique pour refroidissement d'une certaine masse de lait (545). — 5. Problème général du calcul d'une machine frigorifique pour laiterie (545).	546
--	-----

CHAPITRE XIII

CONSERVATION DES ŒUFS PAR LE FROID 547

1. Les divers modes de conservation des œufs. Avantages de la conservation par le froid (547). — 2. Détériorations que doit empêcher la conservation des œufs (548). — 3. Quels œufs convient-il d'introduire au frigorifique? (548). — 4. Saison la plus favorable pour emmagasiner les œufs (548). — 5. Transport des œufs au frigorifique. Mode d'emballage (549). — 6. L'humidité est particulièrement nuisible à la conservation des œufs. Recherches de M. <i>Gayon</i> (549). — 7. Mode d'emballage adopté en <i>Allemagne</i> (549). — 8. Le mirage des œufs. Description des apparences observées avec des œufs frais, des œufs pourris et des œufs renfermant des moisissures (549). — 9. Emballage des œufs dans les chambres froides (550). — 10. Température et degré hygrométrique des chambres froides (551). — 11. Modes de refroidissement des chambres froides (551). — 12. Retournement des œufs (552). — 13. Œufs de canard et œufs d'oie (552). — 14. Précautions à prendre dans la sortie des œufs des chambres froides (552). — 15. La chambre de conservation des œufs doit être séparée des autres chambres froides d'un entrepôt (553). — 16. Durée de conservation des œufs (553). — 17. Les entrepôts frigorifiques pour la conservation des œufs (553). — 18. Autres procédés de conservation des œufs. Séparer le blanc et le jaune. Mélange du blanc et du jaune (554). — 19. Les importations d'œufs en <i>Angleterre</i> (554). — 20. Le commerce des œufs en <i>Allemagne</i> (555). — 21. Le commerce des œufs en <i>Autriche-Hongrie</i> (556). — 22. Le commerce des œufs en <i>Russie</i> (556)	557
---	-----

ANNEXES

OUVRAGES ET PÉRIODIQUES CONSULTÉS

TABLE DES FIGURES

TABLEAUX NUMÉRIQUES

ERRATA

Page 71 :

Au lieu de : la *tonne frigorifique anglaise* vaut donc 81.285,12 grandes calories; lire : la *tonne frigorifique anglaise* vaut donc 81.269,44 grandes calories.

Page 71 :

Au lieu de : et par suite 72.576 grandes calories; lire : et par suite 72.562 grandes calories.

Page 561 :

Au lieu de :

Angleterre : 318.080 B. T. U..... vaut 81.285,12 grandes calories (81.300 en nombres ronds)

États-Unis : 284.000 B. T. U. vaut 72.576 grandes calories (73.000 en nombres ronds)

Lire :

Angleterre : 318.080 B. T. U..... vaut 81.269,44 grandes calories (81.300 en nombres ronds)

États-Unis : 284.000 B. T. U..... vaut 72.562 grandes calories (72.600 en nombres ronds)

L'Industrie Frigorifique

REVUE COMMERCIALE, INDUSTRIELLE ET TECHNIQUE

PARAISANT TOUS LES MOIS

Organe du Syndicat général de l'Industrie frigorifique

(SYNDICAT DE PROPAGANDE)

Publié sous le patronage et avec le concours d'un Comité de Rédaction

COMPOSÉ DE

MM. D'ARSONVAL, O. ✱, Membre de l'Institut ;
BUQUET, O. ✱, Directeur de l'École Centrale ;
CACHEUX, ✱, Président-fondateur des Écoles de Pêcheries ;
DESVIGNES, Représentant de la Société Linde ;
DOUANE, Ingénieur-Constructeur ;
LAMBERT, Ingénieur ;

MM. J. JAPY, ✱, Industriel ;
L. MARCHIS, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux ;
MENDES, Directeur de la Société industrielle des Procédés Raoul Pictet ;
DE MARCHENA, Ingénieur ;
MAX DE NANSOUTY, O. ✱, Rédacteur technique au *Temps* ;
ZEMETTE, Ingénieur-Administrateur-Délégué de la C^{ie} F^{se} des Moteurs à gaz et Constructions mécaniques.

RÉDACTEUR EN CHEF :
Léon NERDEUX
Ingénieur E. C. P.

DIRECTEUR :
Émile MALAQUIN
Secrétaire général du Syndicat

DIRECTION et RÉDACTION : 49, Quai des Grands-Augustins, PARIS

Prix de l'abonnement annuel : France, 12 fr. ; Étranger, 14 fr.
La livraison, 1 fr. 25

ENVOI GRATUIT D'UNE LIVRAISON SUR DEMANDE

