

A1485
4E

M. Vacheron
R. Pottier 9
Main Alf. F.

LA
RÉFRIGÉRATION
ÉLECTRIQUE
AUTOMATIQUE

(de 1/6^e à 3 CV)

GUIDE DU MONTEUR

par

PIERRE DEGOIX



LIBRAIRIE DES SCIENCES

GIRARDOT et Cie

27, Quai des Grands-Augustins, PARIS-6^e

« Magasin vert »

1942



Il y a quelques années, il était de mode de munir les thermostats d'un relai thermique assurant le déclenchement du thermostat et l'arrêt du moteur lorsque l'intensité prise par celui-ci dépassait un nombre d'ampères fixé par une bobine chauffante

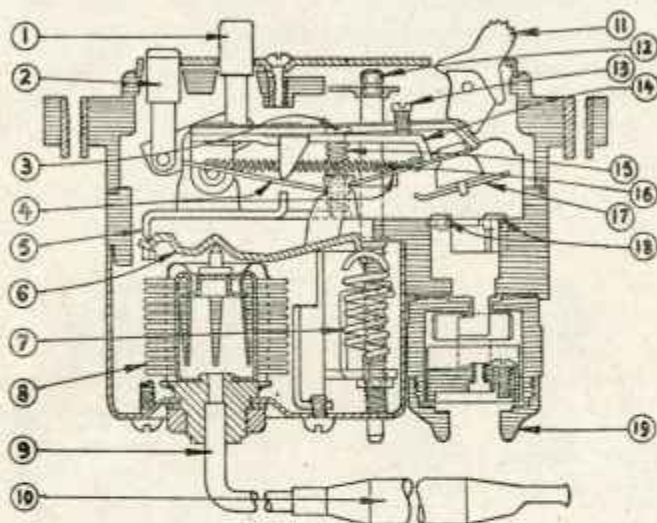


FIG. 46. — Coupe d'un thermostat.

Points principaux :

- 1, 2, Interrupteur basculeur. — 3, Réglage de différentielle. — 6, Levier de commande. — 7, Ressort de réglage. — 8, 9, 10, Train thermostatique. — 11, Interrupteur de dégivrage. — 17, Contact mobile. — 18, Contact fixe. — 19, Protection des connexions électriques.

interchangeable, montée dans le corps du thermostat. Cette pratique, quoique excellente en principe, a été abandonnée, vu les ennuis d'emploi qu'elle présente.

Emploi. — Les thermostats sont généralement employés pour le contrôle de la température sur les meubles ménagers, les conservateurs à crème glacée, les tirages de liquides en cuves, les fabriques de glace à bain de saumure. Dans tous ces cas il s'agit d'un thermostat d'élément, c'est-à-dire d'un thermostat dont le bulbe est en contact thermique direct avec l'élément, ou plongé dans le bain de saumure. La charge du bulbe sera choisie selon la température à laquelle il doit travailler.

Dans les installations commerciales, le thermostat d'élément est fort peu employé comme moyen de contrôle ; mais il arrive



que l'on trouve quelquefois de ces installations contrôlées par des thermostats d'ambiance. Le thermostat d'ambiance peut être un thermostat d'élément muni d'un bulbe spécial à grande surface, destiné à être influencé, non plus par la surface froide de l'évaporateur, mais uniquement par l'air de la chambre froide. En général, quand une chambre a sa température contrôlée de cette façon, on peut poser en principe que c'est dans le but d'en abaisser le prix de vente, et dans ce cas on fait usage d'un thermostat d'ambiance encore beaucoup plus simplifié : le thermostat à bilame. Ce thermostat est basé sur la constatation que tous les métaux se dilatent sous l'action de la chaleur, mais que pour une même température l'allongement n'est pas le même selon le métal employé. En accolant ensemble une lame de métal à fort coefficient d'allongement, et une à très faible coefficient d'allongement, pour une même température, les deux lames subissant des allongements différents, il y aura déformation de l'ensemble, et cette déformation sera proportionnelle à la température.

On dispose généralement l'élément dilatable sous forme de spirale pour lui donner une plus grande longueur, donc une plus grande sensibilité ; le bout libre est muni du contact mobile qui vient s'appuyer ou s'écarter du contact fixe, selon la dilatation, donc selon la température. Une vis de butée assure le réglage de la température. Le système de rupture brusque est dans la plupart des cas un petit aimant permanent.

Il existe également, pour des emplois spéciaux, des thermostats de dégivrage, dont le fonctionnement est inverse ; c'est-à-dire qu'ils coupent le courant pour une élévation de température et le rétablissent pour un abaissement de cette température.

Pressostats.

Dans un thermostat, la pression nécessaire à la dilatation et à la contraction du soufflet, est fournie par l'évaporation ou la liquéfaction d'un liquide contenu dans un bulbe relié par un capillaire audit soufflet. L'évaporation et la liquéfaction de la charge étant produites par les variations de température du bulbe.

Si nous relient le soufflet du thermostat à la partie basse pression de l'installation, au lieu de le relier à un bulbe, nous avons transformé le thermostat en pressostat, appelé aussi contrôleur

basse pression.



Pressostat basse pression. — La partie basse pression d'une installation étant en relation directe avec l'évaporateur, la pression régnant dans cette partie sera la même (aux pertes de charges près) que celle de l'évaporateur. L'évaporateur travaillant toujours en vapeur saturée, la pression sera toujours une fonction directe de la température à l'évaporateur.

Par conséquent, toute variation de température à l'évaporateur se traduira par une variation de pression ; le soufflet subira ces variations de pression et se comportera exactement comme s'il était relié à un bulbe thermostatique. Tout ce qui a été dit au sujet des zones de réglages, différentielle, etc., reste inchangé dans le cas de la marche pressostatique. Nous retrouvons les mêmes caractéristiques de départ constant ou arrêt constant ; et tout ce qui a été dit, à propos de la variété infinie des détails de construction des thermostats, reste valable pour les pressostats basse pression. A noter cependant que les pressostats basse pression ne sont pas munis de dispositif d'arrêt, ou de dégivrage, et que le relai thermique de disjonction n'existe pas. Il existe également des pressostats haute pression ; ces pressostats sont tout à fait semblables à leurs frères basse pression, et en diffèrent seulement par le réglage.

Pressostat haute pression. — Le pressostat haute pression est un appareil qui n'a rien à voir avec le contrôle de température de l'installation. C'est un dispositif de sécurité prévu pour arrêter la machine lorsque, par suite de circonstances imprévues, la pression de refoulement dépasse une certaine limite prédéterminée, pouvant devenir dangereuse pour la machine. Cette limite a été fixée aux environs de 140lbs pour le SO_2 et de 180lbs pour le CH_2Cl sans que ces chiffres soient absolus.

Par raison d'économie on supprime généralement le pressostat haute pression sur les petites installations à chlorure de méthyle ou Fréon, pour les compresseurs fonctionnant avec des températures d'aspiration standard. Dans les installations à anhydride sulfureux, le pressostat haute pression est absolument nécessaire, car ces compresseurs fonctionnent à une pression d'aspiration inférieure à la pression atmosphérique ; en cas de fuite dans le côté basse pression de la machine, le compresseur peut aspirer des volumes d'air tels que la pression au condenseur atteigne des valeurs dangereuses. Dans les installations à CH_2Cl et $\text{C}_2\text{Cl}_2\text{F}_2$, cet inconvénient n'existe pas, la pression d'aspiration pour les températures standard étant au-dessus de la pression atmosphé-



rique : mais il est cependant prudent de monter un contrôleur haute pression pour les puissances supérieures à 1/2 CV inclus, quel que soit le gaz employé. En ce qui concerne les compresseurs à refroidissement par l'eau, le pressostat haute pression est indispensable car en cas d'arrêt intempestif de la circulation d'eau la pression de liquéfaction s'élèverait à des valeurs inadmissibles.

Pressostats combinés. — Certains constructeurs fabriquent des pressostats combinés haute et basse pression. Ces pressostats ne comportent qu'un seul boîtier contenant un système d'interrupteur unique. Les deux soufflets sont fixés sur le boîtier : le soufflet basse pression attaque l'interrupteur par le système classique des deux ressorts de réglage et de différentielle. Le soufflet haute pression est disposé de façon à ce que sa tige vienne buter sur l'interrupteur et couper le courant pour une certaine pression dans ce soufflet. Le soufflet haute pression est généralement muni d'un système de réglage indépendant permettant de régler sa pression de déclenchement, sans que cette modification de réglage apporte de perturbation dans le réglage du système basse pression.

Emploi des thermostats ou pressostats à arrêt constant ou à départ constant. — Nous avons vu que les thermostats ont en principe un bouton de réglage de température à la disposition de l'utilisateur. Ce bouton de réglage peut se trouver placé pour agir, soit sur le ressort de différentielle, soit sur le ressort de réglage. Nous savons qu'en agissant sur le ressort de réglage nous déplaçons à la fois le point d'arrêt et le point de départ, l'écart entre les deux étant réglable par le ressort de différentielle. Si le bouton de réglage à la disposition de l'utilisateur se trouve placé pour agir, non plus sur le ressort de réglage mais sur le ressort de différentielle, nous avons vu que, selon sa position, nous pouvions avoir un appareil à arrêt constant ou à départ constant. Voyons l'emploi de ce genre d'appareils.

Dans une installation frigorifique, la température d'arrêt et la température de départ ont évidemment toutes les deux leur importance, mais cependant, dans certains cas, l'une de ces températures peut avoir une importance prépondérante sur l'autre.

Supposons un tirage de liquide, tirage d'eau fraîche, par exemple. Dans ce cas, la température la plus importante à respecter sera la température d'arrêt, car si l'on venait à dépasser les



limites du réglage on risque le gel de l'eau dans les serpentins refroidisseurs, avec tous les inconvénients que cela comporte. Nous monterons donc sur un tirage de liquide un appareil de contrôle à arrêt constant, de façon que le point d'arrêt ayant été fixé par le réglage fait par le monteur, toutes les modifications de réglage faites par l'usager, à l'aide de son bouton de contrôle, ne pourront porter que sur la température de mise en marche. Par conséquent, dans chaque cas spécial où la température d'arrêt doit être fixée, nous emploierons un appareil de contrôle à arrêt constant.

Inversement, si nous supposons le cas d'une installation de crème glacée, par exemple, la température à respecter et ne pas dépasser sera celle de mise en marche. En effet, quel que soit le point d'arrêt, nous aurons simplement une crème glacée plus ou moins dure, tandis qu'avec un point de départ trop élevé nous risquons de voir alternativement la crème fondre et se reprendre dans de très mauvaises conditions. Il sera monté sur ce genre d'installation un appareil de contrôle à départ constant dont le point de départ est réglé par le monteur, les retouches de réglages faites par l'usager ne pouvant porter que sur le point d'arrêt, donc sans crainte de voir fondre la crème à chaque cycle, par suite d'un dérèglement fait par une personne inexpérimentée.

Comparaison entre les systèmes de contrôle. — Les installations frigorifiques sont calculées et le matériel choisi pour faire face à des conditions de charges et de températures déterminées. En principe, on prend comme charge la quantité de marchandises annoncée par le client ; à défaut de précision, on détermine cette charge comme devant être environ 150 kgs de marchandise par mètre cube utile. La température ambiante servant de base pour les calculs sera la température maximum rencontrée en été, de façon à déterminer un matériel suffisamment puissant pour faire face à toute éventualité.

Comme en pratique, le commerçant charge sa chambre froide selon les besoins de son commerce ou ses facilités d'achat, il s'ensuit que la charge de la chambre froide est rarement égale à celle qui a servi de base pour les calculs ; elle est tantôt supérieure, tantôt inférieure. De même, la température ambiante est constamment variable. Nous appellerons « charge normale » la charge calorifique qui a été prévue dans les calculs, « charge légère » lorsque nous nous trouverons en dessous de ces conditions, et « surcharge » lorsque ces mêmes conditions de poids



de marchandises et de température seront dépassées. Dans la pratique courante, une chambre froide ne travaillera que rarement à sa charge normale, mais elle sera presque toujours soit dans des conditions de charge légère, soit dans des conditions de surcharge.

Nous avons vu qu'il existait deux genres d'appareils permettant le contrôle automatique d'une chambre froide. Le contrôle par température (thermostat) ou le contrôle par pression (pressostat). Le contrôle par température provoquera les mises en marche et arrêt du groupe compresseur uniquement en fonction de la température de la chambre froide sans tenir compte des conditions de l'évaporateur. Le contrôle par pression provoquera les mises en marche et arrêt du compresseur en fonction des températures de l'évaporateur sans tenir compte des conditions de la chambre froide.

Les deux procédés ont leurs avantages et leurs inconvénients.

A) *Contrôle par pression.* — Le contrôle par pression a un avantage marqué ; avec un réglage correct, l'on peut assurer le dégivrage de l'évaporateur à chaque cycle, mais il a aussi un désavantage qui est de ne pas contrôler directement la température de la chambre froide. Une température trop basse dans la chambre pendant le cycle de marche ne causera qu'une très faible réduction de pression et inversement, toujours pendant le cycle de marche, une température trop élevée ne produira qu'une très faible élévation de pression.

Le résultat est que le rapport entre les temps de marche et les temps d'arrêt est légèrement réduit dans le cas de charge légère et légèrement augmenté pendant les périodes de surcharge. Cependant, ce changement des temps de marche est néanmoins insuffisant pour maintenir une température uniforme dans toutes les conditions de charge.

Dans le cas de charge légère, le pressostat étant réglé pour les conditions de charge normale, le compresseur tournera plus longtemps que le temps nécessaire pour obtenir la température voulue, risquant ainsi d'amener la température de la chambre en dessous du réglage prévu ; de plus, l'apport de chaleur étant réduit, les périodes d'arrêt seront beaucoup plus longues, la circulation d'air se fera mal et l'humidité fera son apparition. Dans le cas de surcharge, les fluctuations de températures peuvent être aussi grandes et la chambre peut prendre des températures élevées indésirables.



B) *Contrôle par température.* — Dans le cas de contrôle par température, le thermostat provoquera la mise en marche du groupe compresseur aussitôt que la température de la chambre froide atteindra le niveau de réglage. Mais dans la plupart des cas, l'évaporateur n'aura pas fini son cycle de dégivrage et, de cycle en cycle, le mal ne fera que s'aggraver, jusqu'au moment où l'évaporateur formera un bloc de glace compact, n'ayant plus de surface de radiation. La température ne descendant plus dans la chambre froide, le thermostat demandera constamment la mise en marche du compresseur, ce qui aura pour effet d'augmenter encore le volume du bloc de glace entourant l'évaporateur.

Si nous réglons le thermostat avec une différentielle suffisante pour assurer le dégivrage dans les conditions de charge moyenne, lorsque nous serons dans le cas de charge légère, les temps d'arrêt seront beaucoup trop longs et nous aurons de grosses fluctuations dans l'humidité relative de la chambre.

De cela, on peut déduire que le seul avantage du contrôle par température est d'empêcher la température de la chambre froide de descendre à un niveau trop bas et d'éviter le gel de la marchandise. Son principal défaut est de ne pas tenir compte des conditions de l'évaporateur et de permettre le gel complet de celui-ci.

C) *Contrôle mixte.* — Dans le but de combiner les avantages du contrôle par pression (dégivrage) et les avantages du contrôle par température (basse température limitée), il est quelquefois fait usage d'un pressostat et d'un thermostat montés en série, de façon que la mise en marche de la machine ne peut être obtenue que lorsque les deux appareils sont enclenchés; par contre le déclenchement de l'un ou de l'autre de ces deux appareils amène l'arrêt de la machine.

Dans le cas de charge légère, le fonctionnement sera similaire au contrôle par température, l'évaporateur refroidissant rapidement la chambre, le thermostat arrêtera le groupe compresseur à la température désirée avant que la pression d'aspiration soit assez basse pour actionner le pressostat; la remise en marche sera également commandée par le thermostat, le pressostat n'entrant pas en jeu puisqu'il est resté dans sa position enclenchée. Dans ces conditions, le thermostat seul assure le départ et l'arrêt du compresseur.

Mais lorsque commence à se faire sentir le trouble apporté par le givrage excessif de l'évaporateur, la pression d'aspiration dans



celui-ci va s'abaisser par suite de la diminution de la radiation et le pressostat arrêtera la machine. La mise en marche ne pourra se refaire que lors du réenclenchement du pressostat, c'est-à-dire après dégivrage complet de l'évaporateur, même si le thermostat enclenche avant.

Dans le cas de marche en surcharge excessive, la température la plus basse étant difficilement atteinte, le thermostat ne coupe pas, et l'installation marche sur le pressostat seul. Cette solution est donc une amélioration très nette sur le contrôle par température seul ou par pression seule ; elle est cependant loin d'être parfaite. Car pendant la période où l'installation marche par contrôle de température, il peut s'accumuler sur l'évaporateur une assez grande quantité de glace avant que le pressostat n'entre en fonction. Aussi, une fois l'installation arrêtée par l'action du pressostat, le temps de dégivrage sera très long et la température de la chambre peut atteindre des niveaux indésirables.

La solution idéale est le système connu aux U. S. A., sous nom de « recycling », exigeant des appareils spéciaux combinant le pressostat et le thermostat et montés de façon à assurer le recommencement du cycle chaque fois que l'un ou l'autre de ces appareils a fonctionné. Nous ne décrirons pas ce procédé, car, à notre connaissance, il n'est pas employé en France, pour le moment du moins.

NOTA. — Il est quelquefois nécessaire de loger le compresseur dans un endroit où il se trouvera à une température plus basse que la chambre froide. Cas courant en campagne, d'un groupe compresseur situé dans une cour où la température est très basse en hiver, alors que la chambre froide se trouve placée dans un magasin, parfois chauffé, et dans tous les cas abrité. Dans ce cas, on peut faire usage d'un contrôle par température monté en parallèle avec un contrôle par pression.



CHAPITRE X

INSTALLATIONS SIMPLES ET MULTIPLES

Installation simple. — Une installation simple (fig. 47), c'est-à-dire à un ou plusieurs évaporateurs travaillant à la même température, est montée avec le matériel que nous avons déjà passé en revue, à savoir : un groupe compresseur de puissance suffisante, un ou plusieurs évaporateurs ayant une surface totale en rapport avec la charge calorifique à absorber. Le groupe compresseur peut être à refroidissement par l'eau ou par l'air, selon

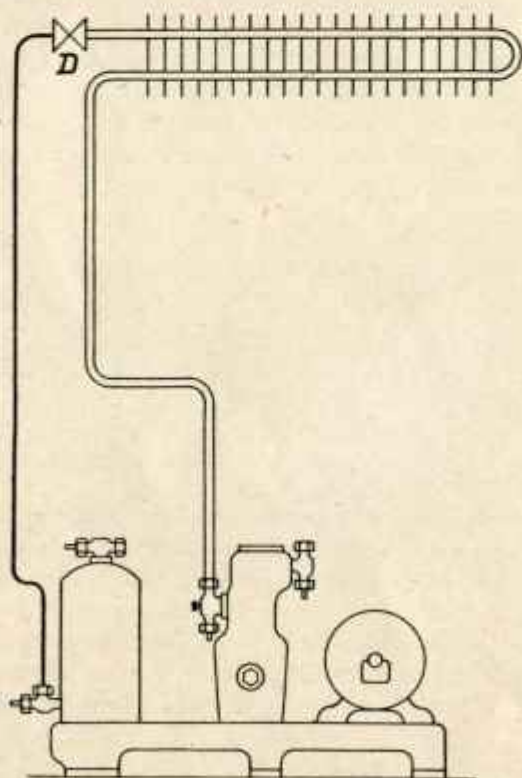


FIG. 47. — Installation à un seul poste de froid.



l'emplacement où il se trouve. Si les moyens d'aération sont suffisants, un groupe à refroidissement par l'air est toujours préférable, vu sa plus grande simplicité. L'évaporateur peut être à flotteur basse pression ou à détenteur ; d'une façon générale, les évaporateurs à flotteurs basse pression ont été abandonnés au profit des évaporateurs à détenteurs, sauf en ce qui concerne les fabriques de glace où ils ont encore une certaine vogue. L'automatisme peut être assuré par thermostat d'élément, thermostat d'ambiance ou, de préférence, par pressostat.

Une telle installation, vu sa simplicité, se passe de commentaires, son fonctionnement ayant déjà été expliqué dans le chapitre des cycles frigorifiques.

Lorsque l'on se trouve en présence d'un évaporateur à dégivrage, nous devons régler notre appareil de contrôle (thermostat ou pressostat), de façon à ce qu'il ne rétablisse le courant que lorsque toute la surface de l'évaporateur est dégivrée ; dans le cas du pressostat, il est possible de prédéterminer approximativement la pression de remise en marche, en réglant le contrôleur à une pression légèrement supérieure à celle qui correspond à la température de zéro degré pour le fluide frigorigène employé.

La pression ou la température d'arrêt ne peut être déterminée que par tâtonnement, car elle est fonction des dispositions locales, notamment de la circulation d'air, et des pertes de charges de la tuyauterie.

Installation à 2 températures. — Lorsque l'installation comporte deux postes travaillant à des températures différentes, le problème se complique légèrement, et nous serons obligés de faire appel à des appareils nouveaux. Nous allons d'abord voir quelle est l'utilité de ces appareils et, dans le chapitre suivant, nous examinerons en détail le fonctionnement de chacun d'eux.

Reprenons notre installation à deux postes ; supposons que nous ayons à alimenter, à partir d'un compresseur unique, un évaporateur à dégivrage refroidissant une chambre et une fabrique de glace séparées (fig. 48). Le premier problème qui se pose à nous est une question d'automatisme. Il est évident que si nous réglons le contrôleur pressostatique sur les températures de la chambre froide seule, nous n'aurons jamais de glace ; le pressostat étant réglé pour assurer l'enclenchement après dégivrage total de l'évaporateur de la chambre froide, l'évaporateur fabrique de glace sera dégivré également, la glace en cours de formation pendant le cycle de marche fondra pendant le cycle



d'arrêt. Si, d'autre part, nous réglons notre pressostat pour les besoins de la fabrique de glace, la température de la chambre froide risque de descendre beaucoup trop bas et, d'autre part, le dégivrage de l'évaporateur ne sera pas assuré.

Il y a donc nécessité d'intercaler un appareil qui permette de

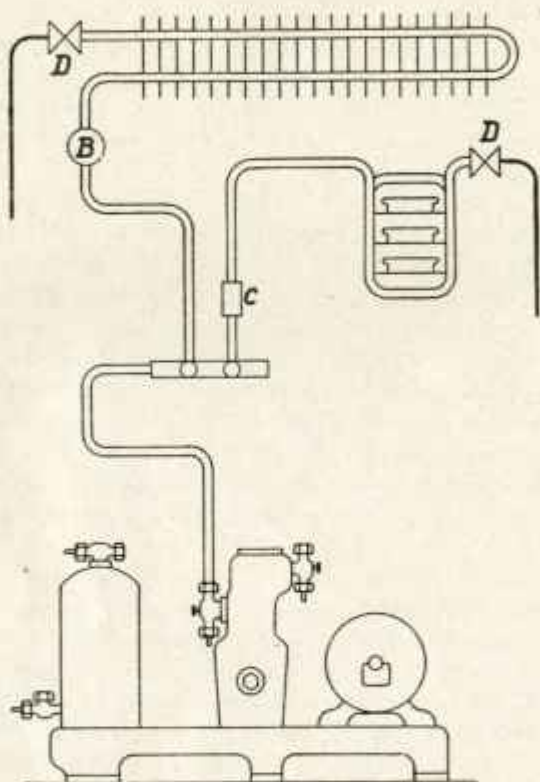


FIG. 48. — Installation à deux températures.

B, Vanne solénoïde, barostat ou vanne à deux températures. — D, Détendeurs. — C, Clapets de retenue.

fermer automatiquement la communication entre le compresseur et l'évaporateur de la chambre froide, lorsque celui-ci a atteint sa température ; le compresseur continuant à aspirer dans l'élément fabrique de glace, jusqu'à ce qu'il ait atteint sa température ; le pressostat étant réglé pour couper à ce moment. Cet appareil doit également ouvrir à nouveau la communication

lorsque l'évaporateur de la chambre froide est dégivré et prêt à recommencer son cycle de marche.

Pour assurer cette indépendance de l'évaporateur de la chambre froide, nous avons plusieurs moyens. Le premier consiste à installer, soit sur la ligne aspiration soit sur la ligne liquide de cet évaporateur, un robinet pouvant interrompre la communication. Ce robinet sera évidemment automatique, c'est la vanne solénoïde, ou vanne électrique. L'ouverture et la fermeture de ce robinet électrique sont commandées par un thermostat contrôlant la température de la chambre froide ou de l'évaporateur. Le second moyen, beaucoup plus usité parce que beaucoup plus simple, consiste dans l'emploi d'un barostat ou d'une vanne à deux températures.

Le barostat est une vanne dont l'ouverture et la fermeture sont contrôlées par la pression d'aspiration. La vanne à deux températures est une vanne dont l'ouverture et la fermeture sont contrôlées par un bulbe thermostatique généralement d'ambiance.

D'autre part, pendant la période d'arrêt, il faut éviter que les vapeurs, venant de l'évaporateur de la chambre froide, viennent se condenser dans l'évaporateur fabrique de glace, qui est beaucoup plus froid. Ceci ayant pour principal inconvénient un apport de chaleur et un dégivrage possible à un évaporateur qui n'en a nul besoin. Il est donc prévu sur le tube d'aspiration de cet évaporateur un check-valve ou clapet de retenue antiretour.

Réglage d'une installation à 2 températures. — Voyons maintenant comment sera réglée une installation telle que nous venons de la décrire.

Tout d'abord, les deux détendeurs alimentant les deux évaporateurs seront réglés à des conditions de surchauffe telles que nous les avons déjà examinées lorsque nous avons décrit les détendeurs.

Le pressostat aura son point de départ réglé sur la température de l'élément à fabrique de glace. De cette façon, si l'évaporateur à glace se réchauffe le premier, c'est lui qui commandera la mise en marche et, dans le cas contraire, la pression fournie par l'évaporateur à dégivrage sera plus que suffisante pour assurer le fonctionnement du pressostat. Le point d'arrêt du pressostat sera évidemment réglé sur l'évaporateur fabrique de glace, car s'il était réglé sur la température de l'évaporateur à dégivrage, nous n'aurions pas de glace pour les raisons précitées.



Le barostat sera réglé pour s'ouvrir à une pression dans l'évaporateur à dégivrage correspondant à la température que l'on aura choisie pour assurer un dégivrage complet. Son point de fermeture sera réglé pour la pression correspondant à la température que l'on veut obtenir dans la chambre.

Pour plus de précision, nous allons suivre le fonctionnement d'une installation de ce genre. Nous supposons une installation marchant au chlorure de méthyle, avec un évaporateur fabriqué de glace travaillant entre -17°C et -6°C , c'est-à-dire entre 4 lbs et 14 lbs de pression d'aspiration et un évaporateur de chambre froide travaillant entre -10°C et $+4^{\circ}\text{C}$, ce qui équivaut en pression à 10 lbs — 28 lbs.

Le pressostat sera réglé pour enclencher à 14 lbs et couper à 4 lbs.

Le barostat devra s'ouvrir à 28 lbs et se fermer à 10 lbs.

Au moment où nous commençons à examiner le fonctionnement, nous supposons les deux évaporateurs à leur température respective la plus froide et l'installation arrêtée.

Le compartiment contenant l'évaporateur fabriqué de glace étant sujet à moins d'ouvertures de porte, en principe, que la chambre froide, nous supposons que celle-ci se réchauffe la première, quoique ceci n'ait aucune importance dans notre argumentation.

La chambre froide ayant un plus grand apport de chaleur va se réchauffer, la pression dans l'évaporateur va s'élever proportionnellement à la température. Lorsque la pression dans cet évaporateur atteindra 28 lbs, le barostat s'ouvre, permettant ainsi aux vapeurs sous pression d'actionner le pressostat.

Le compresseur démarre, aspirant dans les deux évaporateurs, abaissant ainsi la température dans les deux évaporateurs. Lorsque la pression dans l'évaporateur de la chambre froide atteint 10 lbs, le barostat se referme, laissant ainsi le compresseur aspirer dans l'évaporateur fabriqué de glace seul. La pression s'abaisse graduellement dans celui-ci et, lorsqu'elle atteint 4 lbs, le pressostat arrête le compresseur et tout l'ensemble est à nouveau prêt à recommencer le même cycle déjà décrit.

Dans le cas d'emploi d'une vanne thermostatique à deux températures, le fonctionnement est identique, à cette différence près qu'il ne s'agit plus de pressions commandant les ouvertures et fermetures de la vanne, mais uniquement de la température de son bulbe, qui doit être placé dans la chambre froide à contrôler.



Équilibre des charges caloriques. — Le bon fonctionnement d'une installation de ce genre exige que la charge calorique totale soit judicieusement répartie entre les deux postes de l'installation. Si nous supposons une forte disproportion entre la charge calorique des deux évaporateurs, lorsque le compresseur travaillera sur le plus petit et le moins chargé caloriquement des deux évaporateurs, le compresseur sera nettement trop fort pour cet évaporateur seul, et nous aurons des anomalies de fonctionnement. Le compresseur ayant une capacité d'aspiration beaucoup trop forte pour l'évaporateur en question, il aspirera des volumes de vapeurs beaucoup plus grands que ceux que l'évaporateur peut lui fournir ; la pression tombera rapidement dans l'évaporateur, et le pressostat arrêtera la machine. Mais, comme la température voulue n'est pas atteinte dans l'évaporateur, celui-ci continue de vaporiser, la pression remonte rapidement jusqu'au point de départ du pressostat. Le compresseur repartira, aspirant en quelques coups de piston le volume de vapeur formé et insuffisant pour sa trop grosse capacité d'aspiration, entraînant très rapidement une baisse de pression amenant l'arrêt de la machine. Ces mises en marche et arrêts successifs sont appelés « courts cycles ».

Réservoir égalisateur. — Lorsque, par suite des besoins de l'installation, il n'y a pas moyen de répartir équitablement la charge calorique sur les deux éléments, il faudra monter un tank égalisateur sur l'aspiration de l'élément le plus faible. Nous verrons plus loin, au chapitre des refroidisseurs de bière, comment se comporte un tank égalisateur.

Dans l'exemple cité ci-dessus, il s'agit essentiellement d'obtenir deux températures différentes avec un compresseur et un réglage unique. Ces deux températures peuvent être : une chambre froide + une fabrique de glace ; une chambre froide + un tirage à bière ; une chambre froide + une turbine à crème glacée ; un tirage de liquide + crème glacée, etc., le problème reste le même.

Installations à plusieurs températures. — Nous allons maintenant (fig. 49) envisager le cas où nous aurons à réaliser trois températures différentes. Nous supposerons, comme dans le cas précédent, que l'installation comporte un élément à dégivrage travaillant entre -10°C et $+4^{\circ}\text{C}$; un évaporateur fabrique de glace travaillant entre -7°C et -6°C , et que nous avons



comme poste supplémentaire exigeant une troisième température, une cuve de tirage à bière.

Nous ne discuterons pas des détails du tirage à bière que nous aurons l'occasion de voir en détail dans le chapitre des refroidisseurs de liquide. Nous supposerons simplement que la bière

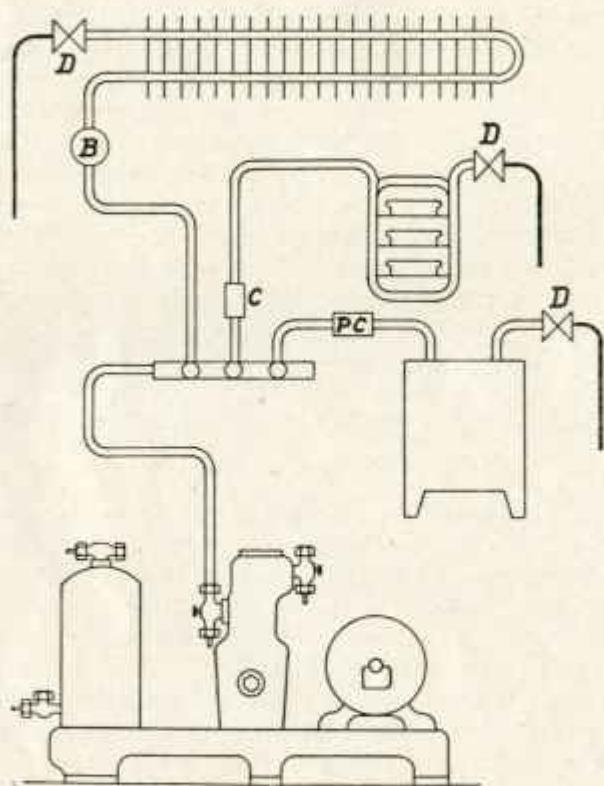


FIG. 49. — Installation à trois températures.

D, Détendeurs. — B, Vanne à deux températures, barostat ou vanne solénoïde. — C, Clapet de retenue. — PC, Vanne à pression constante.

doit être tirée à $+8/+9^{\circ}\text{C}$ au robinet, ce qui nous donnera une température de $+3/+4^{\circ}\text{C}$ au bain ; la température au serpentin évaporateur ne devra en aucun cas descendre au-dessous de -4°C , car il faut évidemment avoir un écart de température entre le bain réfrigérant et le fluide frigorigène, soit une pression de 17 lbs. Nous voulons maintenir, dans cet



évaporateur, une pression et une température aussi constantes que possible, dont la limite inférieure est de $-4^{\circ}\text{C}/17\text{ lbs}$ par exemple. Il faut surtout éviter que la pression d'aspiration descende en dessous de cette limite, pour éviter le gel de la bière dans les serpentins de tirage. Il faut éviter également que la pression, et par conséquent la température, ne s'élève au-dessus de la limite fixée, de façon à pouvoir obtenir au robinet de tirage une bière de température aussi uniforme que possible ; c'est-à-dire que l'appareil régulateur de cet évaporateur doit avoir une différentielle aussi faible que possible. Sur cette installation, en plus du barostat réglant la température de l'élément à dégivrage, nous emploierons une vanne à pression constante sur l'aspiration de l'évaporateur de la cuve à bière. Le pressostat continuant, comme dans le cas précédent, à régler la température de l'évaporateur le plus froid, c'est-à-dire la fabrique de glace et assurant par la même occasion les mises en marche et arrêts de l'ensemble de l'installation.

La vanne à pression constante est, comme son nom l'indique, un appareil qui, monté sur le tube d'aspiration, maintient dans l'évaporateur une pression aussi uniforme que possible. La vanne à pression constante est réglable, et, pour un réglage donné, une très légère élévation de pression au-dessus de la pression de réglage entraîne l'ouverture de la vanne, alors que, inversement, une très légère baisse de pression en dessous de cette pression de réglage maintient la valve fermée ; différentielle presque nulle.

Nous avons déjà examiné le fonctionnement des autres parties de l'installation, aussi nous n'y reviendrons pas, mais nous allons y intercaler le fonctionnement de la cuve à bière. Lorsque la température de l'évaporateur de la cuve à bière s'élève au-dessus du niveau de réglage, la pression augmentant également au-dessus de la valeur prévue, la vanne à pression constante s'ouvre, et si le compresseur est en marche, il aspire directement dans l'évaporateur de la cuve à bière; dans le cas où l'installation est arrêtée, la pression venant de la cuve à bière est suffisante pour provoquer l'enclenchement du pressostat et entraîner le démarrage du groupe compresseur.

Donc, on le voit, quoique chaque poste soit indépendant au point de vue température, il n'en est pas moins vrai que chacun d'eux peut commander la mise en marche du groupe compresseur, lorsque sa température le demande.

Nous venons de voir, dans les trois installations présentées en exemple, qu'il est très facile de réaliser le contrôle automatique



de température pour : 1° une température standard ; 2° une ou plusieurs températures au-dessus de la température standard ; 3° une ou plusieurs températures en dessous de la température standard ; et qu'avec l'aide de barostats, vannes à deux températures, vannes à pression constante et vannes solénoïdes accouplées avec des thermostats, nous pouvions réaliser, dans une installation multiple, n'importe quelle diversité de température qu'il nous plaira.

D'une façon générale, le contrôle par barostat à pression est préféré au contrôle par vanne à deux températures thermostatique, parce que le réglage par pression correspond mieux à une « moyenne » de température de l'élément à contrôler, que dans le cas de contrôle thermostatique, où seul le bulbe est influencé.

Quand à l'emploi de vannes solénoïdes électriques accouplées avec une commande par thermostat, c'est en principe une solution plus coûteuse, mais plus souple, dont l'emploi est un cas d'espèce et qui a surtout l'avantage sur le barostat de permettre un réglage manuel à la disposition du client, à l'aide du bouton de réglage du thermostat.

En principe, les barostats sont à ouverture et fermeture brusques (snap action), faisant ainsi le réglage par tout ou rien, alors que, en général, les vannes à deux températures thermostatiques sont à action progressive ; assurant une ouverture et une fermeture lente par étranglement, donc se prêtant moins bien à un contrôle pressostatique. Nous noterons au passage que les barostats et les vannes thermostatiques à deux températures sont tous les deux des vannes à deux températures. Cependant, dans la pratique, on emploie le nom de barostat pour les types de vannes actionnées par la pression, alors que l'on donne le nom de vannes à deux températures à celles manœuvrées par la température.



CHAPITRE XI

APPAREILLAGES DIVERS

Check-valve. — Le check-valve (fig. 50), ou clapet de retenue, est un simple petit clapet maintenu sur son siège par un ressort léger; son rôle est d'éviter, dans une installation multiple, que les vapeurs venant des éléments les plus chauds, ne viennent se condenser dans les éléments les plus froids, ce qui aurait pour résultat un réchauffage de ces éléments et des excès de liquide au démarrage.

Le clapet de retenue a évidemment un sens de montage généralement indiqué par une flèche sur le corps de l'appareil; il a le grave défaut de restreindre assez fortement le passage des gaz et, par conséquent, d'apporter une assez forte perte de charge dans le tube d'aspiration sur lequel il est monté. Lorsque l'on procède à un réglage de pressostat contrôlant les températures d'un élément muni de check-valve, il y a lieu de prendre en considération cette chute de pression et de se souvenir que la pression dans l'évaporateur sera supérieure à celle lue sur le manomètre d'aspiration fixé sur le compresseur. La valeur de cette chute de pression est fonction de divers facteurs locaux et ne peut pas être prédéterminée.

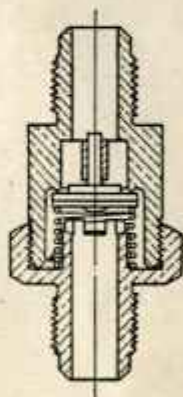


FIG. 50. — Clapet de retenue ou check-valve.

Vannes à eau (fig. 51). — Dans un groupe compresseur avec condenseur refroidi par circulation d'eau, il y a lieu, par raison d'économie, d'interrompre cette circulation pendant l'arrêt du compresseur et de la rétablir lorsque le compresseur est en marche. Ces ouvertures et fermetures du circuit d'eau de condensation doivent être automatiques. Ce rôle est confié à des appareils appelés vannes à eau; la commande de ces vannes peut être électrique, pressostatique ou thermostatique.



Les vannes à eau thermostatiques sont encore toutes nouvelles et par conséquent fort peu répandues. Les vannes à eau électriques ont été peu à peu abandonnées à cause des nombreux ennuis de tout ordre qu'elles apportaient. L'on peut donc dire, sans grande chance de contradiction, que le seul type de vanne à eau employé est le modèle pressostatique, qui comporte d'ailleurs de nombreux avantages, notamment de régler le débit d'eau exactement selon les besoins du condenseur.

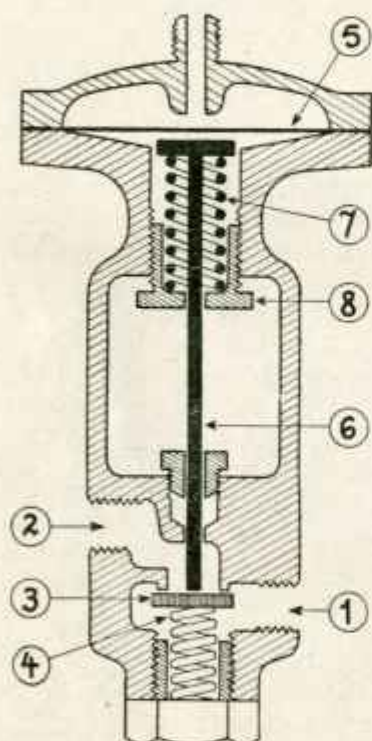


Fig. 51. — Schéma de vanne à eau à pression.

à l'aide d'une tige 6. La pression sur le diaphragme est équilibrée par un ressort 7, dont on peut varier la tension en agissant sur l'écrou de réglage 8.

La vanne à eau étant connectée comme il est dit plus haut, lorsque le compresseur est arrêté, le ressort 7 est réglé de façon à ce que le clapet de vanne à eau repose sur son siège. Lorsque le compresseur tourne, la pression augmente progressivement

Les vannes à eau, tout comme les détendeurs, peuvent être à soufflet ou à diaphragme, leur fonctionnement étant identique.

Pour expliquer le fonctionnement d'une vanne à eau, nous nous reporterons à la figure ci-jointe, montrant la coupe d'une vanne à eau à diaphragme.

Dans le corps de la vanne, à la partie inférieure, se trouvent deux orifices destinés à recevoir les raccord d'entrée d'eau 1 et de sortie d'eau 2. Ce passage peut être fermé par un clapet 3, rappelé sur son siège par un ressort 4. Dans la partie supérieure du corps de la vanne à eau se trouve un diaphragme 5, dont la face supérieure est soumise à la pression régnant dans la partie haute pression de l'installation. L'emprunt du gaz est fait en général sur la tête du compresseur. Le diaphragme transmet au clapet 3 la poussée qu'il reçoit

dans le condenseur et également dans la tête de la vanne à eau. La pression sur la face supérieure du diaphragme, arrivée à une valeur déterminée, repousse celui-ci qui, à son tour, par l'intermédiaire de la tige 6, ouvre le clapet livrant passage à l'eau de circulation. Le débit d'eau sera proportionnel à la pression, donc aux besoins du condenseur. On peut régler la température au condenseur en retardant ou avançant le point d'ouverture de la vanne à eau à l'aide de l'écrou de réglage 8 qui, variant la tension du ressort de réglage 7, s'opposera, plus ou moins, à la pression du condenseur agissant sur l'autre face du diaphragme.

Lorsque le compresseur se met en marche, la circulation ne s'établit pas instantanément parce qu'il se passe un certain temps avant que des volumes de gaz suffisants soient refoulés au condenseur pour en élever la température et la pression. En marche normale, le débit d'eau sera proportionnel à la pression du condenseur, toute élévation de pression repoussera le diaphragme plus fortement, amenant une plus grande ouverture du clapet ; l'augmentation de débit d'eau qui en résulte produit un plus grand effet de refroidissement dans le condenseur, ce qui entraîne une diminution de pression et une diminution d'ouverture de la vanne à eau. Un régime stable s'établit bientôt, et le débit de la circulation d'eau se règle automatiquement sur les besoins du condenseur. Lorsque le compresseur s'arrête, la pression et la température ne tombant pas d'un seul coup, l'eau continue de circuler jusqu'à ce que le condenseur soit suffisamment refroidi pour que la pression se soit abaissée au point de fermeture de la vanne à eau. L'ouverture, de même que la fermeture, étant fonction de la pression, sont très progressives.

Si le débit d'eau est insuffisant, la pression au condenseur reste très élevée et il faut dépenser une force motrice accrue pour entraîner le compresseur, indépendamment des autres ennuis que comporte une pression de refoulement élevée. Si au contraire le débit d'eau est trop grand, il n'y aura aucun ennui au point de vue du fonctionnement de la machine, mais ceci représente une dépense supplémentaire parfaitement inutile :



FIG. 52. — Vanne à eau à pression.

aussi est-il nécessaire de régler les vannes à eau de façon que leur débit soit adapté aux besoins du compresseur. En petite réfrigération, il est d'usage de régler le débit d'eau de façon à ce qu'elle ne s'échauffe pas de plus de 10° C pendant son passage dans le condenseur. Une économie sur l'eau de circulation est une dépense en plus en force motrice, aussi est-il bon de ne pas chercher à trop restreindre le débit comme les usagers ont souvent tendance à le demander.



FIG. 53. — Vanne à eau combinée, avec sécurité haute pression.

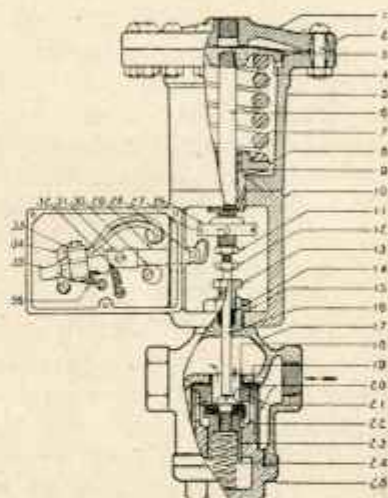


FIG. 54. — Coupe de vanne à eau combinée, avec sécurité haute pression.

Parties principales :

3, Diaphragme. — 5, Corps de vanne. — 6, Tige de commande. — 7, Ressort de réglage. — 9, Guide de la tige de réglage. — 11, 12, Écrou et contre-écrou de poussoir. — 14, Presse étoupe. — 16, Poussoir de clapet. — 20, Siège de clapet. — 22, Clapet. — 23, Ressort de clapet. — 25, Bouchon embase.

Certains modèles de vannes à eau sont munis d'un interrupteur électrique à contacts secs ou à mercure (fig. 53-54), pouvant couper soit directement le courant du moteur soit l'excitation du relai de démarrage. Dans ce cas, la vanne à eau remplit en plus de son rôle celui de contrôleur de sécurité à haute pression.

Voici un petit tableau donnant des réglages standard de vannes à eau pour différentes températures et différents gaz.



Réglages Standard de vannes à eau
pour l'emploi en SO² et CH²Cl

Entrée d'eau T ° C	Sortie d'eau			
	SO ² T ° C	LBS au conden- seur	CH ² Cl T ° C	LBS au conden- seur
10	22	44	23	69
15	26	53	27	82
21	31	63	32	95
26	35	74	36	110
32	40	87	41	125
38	45	104	45	142

plus ou moins 5 lbs

Vannes solénoïdes. — La vanne solénoïde, ou vanne électrique, est un simple robinet à pointeau manœuvré électriquement. Les vannes solénoïdes peuvent être montées sur l'aspiration pour interrompre la veine gazeuse, ou sur le tube de liquide pour fermer l'alimentation de liquide à l'évaporateur à contrôler. On emploie de préférence les vannes solénoïdes sur la ligne liquide parce qu'il est plus facile d'obtenir l'étanchéité du pointeau avec un liquide qu'avec du gaz. La vanne solénoïde se monte toujours avec un thermostat, chargé de couper et rétablir le courant dans la bobine d'excitation de la vanne. Le thermostat peut être un thermostat d'élément ou d'ambiance ; lorsque le thermostat atteint sa température de réglage prévue, il coupe le circuit de la vanne solénoïde, amenant ainsi la fermeture de celle-ci ; l'évaporateur correspondant se trouve hors circuit. Lorsque le thermostat se réchauffe à sa température d'enclenchement, il rétablit le circuit sur la bobine d'excitation de la vanne solénoïde, provoquant son ouverture, remettant l'évaporateur en circuit.

Une vanne solénoïde a sa bobine d'excitation prévue pour donner un champ magnétique suffisant pour attirer le pointeau. En changeant de bobine, bien s'assurer qu'elle correspond au même type de vanne, sinon l'attraction peut être insuffisante pour lever un pointeau plus lourd. Les bobines ne sont prévues que pour un seul courant ; bien s'assurer du voltage, d'une part, et de la



nature du courant, d'autre part, continu ou alternatif et fréquence. La consommation de courant électrique est de l'ordre de 10 à 15 watts dans les petits modèles généralement employés en réfrigération automatique.

En courant continu, il est fréquent d'observer des grillages de bobine ; ces accidents sont dus à l'extra-courant de rupture qui est assez élevé du fait que les nombreuses spires de la bobine représentent un coefficient de self-induction important. Un remède consiste à monter aux bornes de la bobine un condensateur de capacité convenable pour absorber cet extra-courant. Le condensateur devra avoir un isolement au minimum du triple de la tension de service. Quelquefois, une résistance remplace la capacité.



Fig. 55. — Vanne solénoïde.

L'orifice de passage doit être suffisant pour laisser passer la quantité de fluide nécessaire à l'évaporation. Un orifice trop petit créera une chute de pression et une alimentation insuffisante de l'évaporateur.

A titre d'indication, le tableau suivant nous donnera la capacité des vannes solénoïdes en fonction d'une ouverture, d'une chute de pression donnée et du fluide employé, pour une vanne montée sur la ligne liquide.

Données numériques sur les vannes solénoïdes.

Orifice	Chute de pression en lbs	Frigories-heure		
		F 12	CH ² Cl	SO ²
$\frac{3}{8}$ pouces 4.76 3/16	2	8.000	17.500	20.000
	5	12.500	29.000	32.500
	10	17.500	40.000	45.000
$\frac{1}{2}$ pouces 5.55 7/32	2	9.000	22.000	25.000
	5	14.000	35.000	44.000
	10	20.000	49.500	65.000

Dans le cas où la vanne solénoïde est montée sur la ligne aspiration, la capacité est fonction de l'ouverture, de la chute de pression, du fluide employé et de la pression à l'entrée de la vanne. Sans vouloir entrer dans de grands détails, d'ailleurs inu-



tiles, on peut considérer la capacité comme étant le $1/10^e$ des chiffres ci-dessus. Ceci, à titre purement indicatif d'un ordre de grandeur.

Description. — Une vanne solénoïde (fig. 56) se compose d'un corps de vanne ayant un raccord d'entrée 1 et un raccord de sortie 2. Le passage peut être interrompu par une masse de fer doux 4 formant noyau magnétique. L'étanchéité est assurée par une cheminée 5 soudée ou vissée sur le corps de vanne et dans laquelle le pointeau peut se mouvoir. La bobine d'excitation 6 entoure cette cheminée et le tout est recouvert d'une cloche de protection 7. Lorsque le courant d'excitation parcourt la bobine, la masse de fer doux se trouve violemment attirée sous l'action du champ magnétique, ouvrant ainsi le passage au fluide. Le courant étant coupé, le pointeau retombe de lui-même sur son siège. Les bobines d'excitation sont calculées de façon à obtenir une levée franche du pointeau avec seulement 90 % du voltage indiqué.

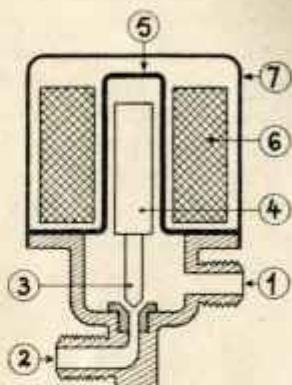


FIG. 56. — Coupe schématique d'une vanne solénoïde.

Vanne à pression constante. — Une vanne à pression constante est un clapet de retenue réglable, que l'on monte sur la tuyauterie d'aspiration d'un évaporateur dans une installation multiple, pour limiter la température la plus basse de cet évaporateur, lorsque cette température, si elle est trop basse, peut présenter des inconvénients, comme dans le cas des tirages de liquides.

La vanne à pression constante s'ouvre et se ferme pour une très légère différence de pression en plus ou en moins de la pression de réglage; en d'autres termes, la différentielle extrêmement faible peut être considérée comme nulle. Cet appareil ne peut donc en aucun cas remplacer un barostat. Le barostat permet de fixer de façon précise les températures d'arrêt et de départ, tandis que la vanne à pression constante assure seulement un contrôle de la limite inférieure de température, laissant entièrement libre la limite supérieure de température.

Si nous supposons une vanne à pression constante réglée à 17 lbs, montée sur l'aspiration d'un évaporateur fonctionnant au



chlorure de méthyle, par exemple, nous serons assurés que la pression ne descendra jamais en dessous de 17 lbs dans cet évaporateur, c'est-à-dire que notre température aura sa limite inférieure fixée à -4° C. Quant à la température supérieure, elle sera contrôlée par le pressostat de l'installation : le dégivrage d'un élément demandant une température précise de remise en marche, la vanne à pression constante ne peut être employée dans ce cas, le pressostat de l'installation pouvant être, par ailleurs, réglé pour la remise en marche d'une fabrique de glace ; donc, dès l'ouverture de la vanne à pression constante, il remettra l'installation en marche, sans assurer le dégivrage de l'évaporateur contrôlé par la vanne à pression constante.

Description. — Une vanne à pression constante se présente sous la forme d'un corps de vanne (fig. 57) portant un raccord 1

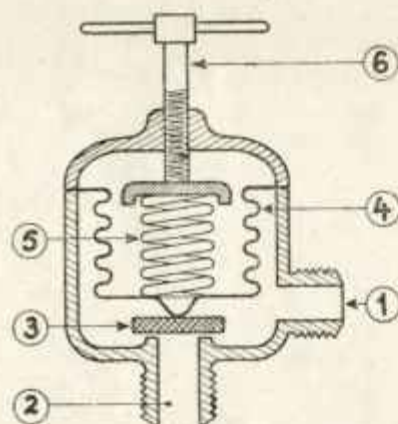


FIG. 57. — Vanne à pression constante.

relié à l'évaporateur à contrôler et un raccord 2 relié à la conduite d'aspiration. Le passage des gaz est obturé par un clapet 3 maintenu sur son siège par un ressort 5 dont la tension peut être variée à l'aide d'une vis de réglage 6 ; l'étanchéité et la commande du clapet sont assurés par un soufflet 4.

Si nous supposons la vanne réglée à une pression quelconque, 17 lbs par exemple, tant que la pression intérieure de l'évaporation sera inférieure à 17 lbs, le clapet restera sur son siège, appuyé par le res-

sort 5. Lorsque la pression s'élève dans l'évaporateur, elle agit sur le soufflet 4 qu'elle cherche à repousser lorsque cette pression intérieure devient égale ou légèrement supérieure à la poussée du ressort 4, elle repousse le soufflet qui ouvre le clapet, permettant au compresseur d'aspirer dans l'évaporateur, ou permettant à la pression de l'évaporateur d'aller actionner le pressostat selon le cas.

Barostats. — Un barostat est une vanne automatique dont l'ouverture et la fermeture sont commandées par la pression de



l'évaporateur à contrôler. Le barostat est à action rapide (snap action), c'est-à-dire à fermeture et ouverture brusques. Dans une installation multiple, on emploiera le barostat chaque fois que l'on désire contrôler exactement les deux points de réglage d'un évaporateur, mise en marche et arrêt; c'est-à-dire lorsque l'on désire une température précise d'arrêt pour assurer un minimum dans une chambre froide et une température précise de remise en marche, pour assurer le dégivrage de l'évaporateur.

Il existe de nombreux modèles de barostats, dont la présentation varie suivant les constructeurs; de toute façon, que le barostat soit à soufflet ou à diaphragme, les principes de fonctionnement restent les mêmes. Malgré la diversité de présentation, un barostat doit toujours présenter une entrée et une sortie de gaz, le passage étant obturé par un clapet ou un pointeau, lequel est commandé par un soufflet ou un diaphragme, le réglage étant assuré par un ressort et un dispositif de différentielle.

Les barostats étant très souvent une cause de soucis pour les monteurs, nous croyons bien faire de nous étendre un peu sur ce sujet et de faire la description de deux types de barostats différents, l'un à diaphragme, l'autre à soufflet.

a) *Barostat à soufflet.* — Pour la description d'un barostat à soufflet, nous nous servons de la figure ci-jointe (fig. 58), représentant schématiquement un modèle présenté par la maison Sauter. Le corps de barostat présente un raccord 1 relié à l'évaporateur, et un raccord de sortie 2, connecté avec la tuyauterie générale d'aspiration. Ce corps de barostat porte un siège qui peut être fermé par un pointeau 3 solidaire d'un soufflet 4. Ce soufflet est repoussé vers le siège de pointeau par un ressort 5 dont la tension est réglable par un écrou 6. Une tige de commande 7 est fixée par une de ses extrémités au soufflet et porte à l'autre extrémité deux petites gorges circulaires superposées. Dans ces petites gorges viennent s'appliquer trois petites billes poussées par des ressorts, ces ressorts étant comprimés par des petits pistons qui prennent appui sur l'intérieur conique d'une bague de réglage 8 se vissant sur le corps du barostat. Le tout est recouvert d'un capot de protection 9.

Le fonctionnement est le suivant :

Les gaz venant de l'évaporateur à contrôler entrent dans le corps de barostat par le raccord d'entrée 1 et ont tendance à refouler le soufflet 4 et à ouvrir le pointeau 3. Le ressort de réglage 5 s'oppose à cette ouverture. Plus le ressort 5 sera



comprimé par l'écrou 6, plus il faudra une forte pression, donc une haute température à l'évaporateur, pour repousser le soufflet et inversement. La zone de réglage s'obtiendra en serrant plus ou moins cet écrou 6, à visser pour obtenir une température plus élevée et à dévisser pour obtenir une température plus basse. D'autre part, le mouvement de la tige de réglage peut être rendu plus libre ou plus dur, selon la pression des billes dans les gorges

circulaires. Cette disposition permet de faire passer brusquement les billes de la gorge supérieure à la gorge inférieure et *vice versa*, nous permettant ainsi de varier la différentielle. La variation de pression sur les billes s'obtient en vissant plus ou moins l'écrou de différentielle 8 qui, par sa conicité intérieure, enfoncera plus ou moins les petits pistons dans les canaux guides du corps de barostat. Visser l'écrou 8 augmente la différentielle; le dévisser la diminue. De par le principe même de cet appareil, une variation de différentielle entraîne une variation de la zone de réglage; il faudra donc choisir la différentielle

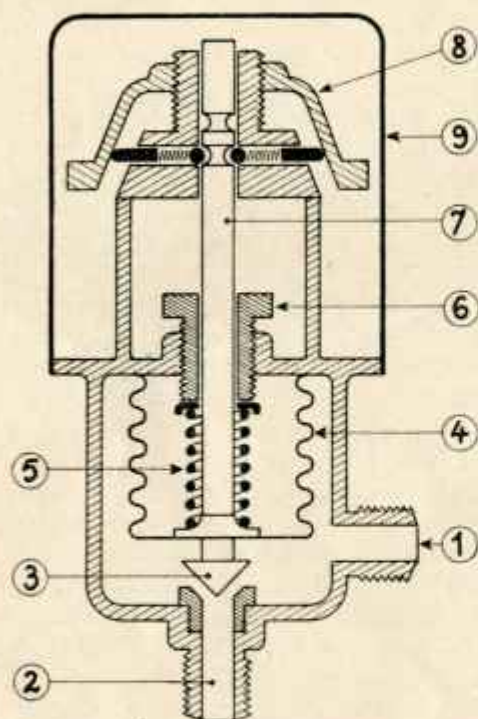


FIG. 58. — Coupe schématique d'un barostat à soufflet.

désirée, puis ensuite chercher le réglage voulu avec l'écrou 6.

Si nous supposons le barostat monté sur un évaporateur travaillant avec de l'anhydride sulfureux et que nous voulions régler cet évaporateur pour fonctionner entre 8 pouces de vide et 10 lbs de pression, par exemple, il nous faudra régler le barostat pour obtenir une différentielle de 14 lbs (2 pouces de vide égalent 1 lb de pression) et, ensuite, agir sur l'écrou de réglage pour amener l'ouverture du barostat à 10 lbs.



b) *Barostat à diaphragme* (fig. 59). — Voici, maintenant, un autre type de barostat remplissant le même office et travaillant sur les mêmes principes, mais de réalisation toute différente. Nous en suivrons la description sur le schéma ci-joint (fig. 59). Un corps de barostat porte le raccord 1 en relation avec l'évaporation à contrôler et le raccord 2, qui est connecté avec l'aspiration du compresseur. Un pointeau 3 peut venir interrompre le passage du gaz. Ce pointeau est maintenu ouvert par un ressort 4, dont la tension est fixe. D'autre part, la partie supérieure du barostat est munie d'un diaphragme de commande; ce diaphragme est déformable et peut, par détente brusque, occuper les deux positions figurées en pointillé sur le schéma. (Ces deux positions ont été figurées à dessein beaucoup plus écartées que dans la réalité). Un ressort 6, dont la tension peut être variée par un écrou de réglage 7, repousse continuellement ce diaphragme. Le pointeau 3 peut se visser ou dévisser dans une pièce porte-pointeau 8, c'est-à-dire s'allonger ou se raccourcir à volonté. Le vissage ou le dévissage du pointeau est obtenu à l'aide d'une clé 9, accessible de l'extérieur, et qui est engagée dans une tige méplate prolongeant le pointeau lui-même.

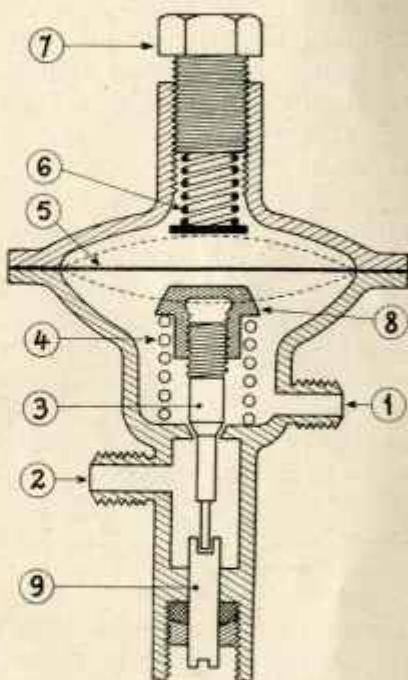


FIG. 59. — Barostat à diaphragme.

Lorsque la pression dans le corps du barostat est supérieure à la pression fournie par le ressort 6, le diaphragme se trouve repoussé vers le haut, permettant au ressort 4 d'ouvrir le pointeau et inversement; la température s'abaisse à l'évaporateur, la pression sous le diaphragme diminuant, le ressort 6 repousse le diaphragme, qui appuyant sur la tête du pointeau, l'oblige à se fermer. L'écrou 7 est donc l'écrou de réglage qui nous permettra de varier la zone de température contrôlée par le barostat.

tat. La différentielle s'obtient par allongement ou raccourcissement du pointeau lui-même. Nous allons examiner comment l'on obtient cette différentielle. Le ressort 6 accompagne le diaphragme dans toute sa course. Si nous supposons le barostat ouvert, c'est-à-dire le diaphragme déformé vers le haut, la pression diminuant sous sa face inférieure, le ressort 6 commence à le repousser; puis, au cours de sa course descendante, le diaphragme va rencontrer la tête de pointeau 8, repoussée par le ressort 4, dont il aura à vaincre la résistance pour amener le pointeau à son point de fermeture. L'on conçoit que plus le pointeau sera court, plus il faudra l'accompagner, c'est-à-dire comprimer le ressort 4, pour l'amener à sa fermeture, et vice versa plus on aura allongé le pointeau, moins il faudra comprimer le ressort 4 pour obtenir la fermeture. Les phénomènes inverses se produisant lors de la course d'ouverture.

La différentielle sera réglée par allongement et raccourcissement du pointeau. Visser ou dévisser l'écrou de réglage, élève ou abaisse à la fois la pression d'ouverture et de fermeture d'une quantité égale : plus on visse, plus on augmente la température. Le réglage de la différentielle agit sur le point d'ouverture sans changer le point de fermeture.

Il existe de nombreux autres modèles de barostats ayant chacun leurs particularités ; les décrire tous serait inutile puisque, en réalité, ils travaillent tous sur le même principe, et les deux réalisations différentes que nous avons présentées le démontrent suffisamment. En résumé, un évaporateur contrôlé par un barostat se comporte exactement comme s'il était monté seul sur un groupe compresseur commandé par un pressostat individuel.

Vanne thermostatique à deux températures. — Ces vannes thermostatiques sont destinées à être employées dans les installations multiples à températures différentes. Elles règlent la quantité de fluide frigorigène aspiré en fonction directe de la température ambiante ou du fluide à refroidir (bain de saumure). Ces vannes permettent donc, contrairement aux barostats qui fonctionnent par tout ou rien, un réglage progressif et par conséquent permettent de maintenir la température avec des variations insignifiantes. En cas de l'emploi de ces vannes, la commande du compresseur est effectuée normalement par pressostat.

L'ouverture et la fermeture de la vanne se fait d'une façon très progressive et est commandée uniquement par la tempé-



rature. De par sa construction, la vanne est équilibrée, c'est-à-dire qu'elle est insensible aux variations de pression qui peuvent se produire entre l'entrée et la sortie, et n'ont de ce fait besoin que d'une très faible force pour les manœuvrer. Elles sont très sensibles et obéissent aux moindres variations de la température du bulbe.

Description (fig. 60). — Une vanne à deux températures se compose d'un corps de vanne ayant une entrée et une sortie 8 et 10. Dans l'intérieur se déplace une tige 11, formant tiroir

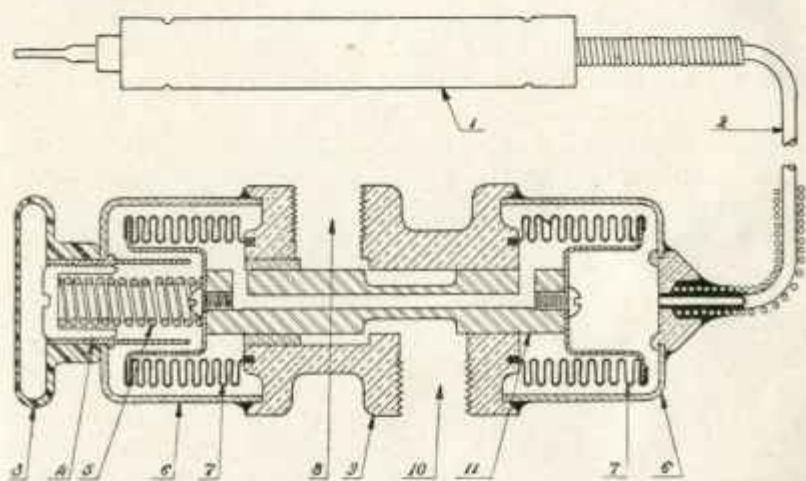


FIG. 60. — Vanne thermostatique à deux températures.

et pouvant obturer l'un des passages. Cette tige est commandée par un soufflet 7, relié par un tube capillaire 2 à un bulbe 1. A l'autre extrémité de la tige 11 se trouve un second soufflet servant à l'étanchéité de la vanne ; un ressort 5, dont la tension peut être variée à l'aide de l'écrou de réglage 4, s'oppose à la poussée du soufflet de commande. La tige 7 est creuse et met en communication les deux soufflets, de façon que la pression intérieure à l'intérieur de ces deux soufflets, soit toujours égale, réalisant ainsi l'équilibre de la vanne.

Fonctionnement. — Lorsque le bulbe se réchauffe, la pression du fluide qu'il contient augmente et vient agir sur le soufflet de commande qui repousse la tige-tiroir 11, ouvrant ainsi le passage au gaz. Le ressort de réglage 5 s'oppose plus ou moins à cette ouverture, selon le degré de serrage de l'écrou 4. Plus le



ressort sera comprimé, plus il faudra une forte pression pour l'écraser, donc une plus haute température au bulbe et inversement. Il n'y a aucun réglage de différentielle. La vanne à deux températures permet de régler directement la plus basse température de l'évaporateur contrôlé, mais ne permet pas de fixer exactement la température la plus haute, d'où incertitude du dégivrage. Elle agit, en somme, à la façon d'une vanne à pression constante, mais d'une manière beaucoup plus souple et est actionnée directement par la température même de la chambre à contrôler au lieu d'être manœuvrée par la pression de l'évaporateur. La vanne à deux températures doit être montée, de préférence, en dehors de l'ambiance à contrôler ; le bulbe étant comme de bien entendu dans cette ambiance.

Filtres. — Les filtres sont des appareils bien souvent omis sur les installations, malgré leur utilité incontestable. Bien des ennuis de détendeurs ou pointeaux de flotteurs obstrués auraient pu être évités par l'emploi judicieux de filtres, que l'on a supprimés par raison d'économie. En principe, il devrait y avoir un filtre principal sur le départ liquide, à la sortie du réservoir de liquide du groupe compresseur, et un filtre auxiliaire plus petit à l'entrée de chaque organe traversé par le fluide liquide (détendeurs, vannes, solénoïdes, etc.).

Un filtre doit être prévu de construction facilement démontable, pour permettre un nettoyage aisé, ou le remplacement de la toile métallique filtrante, lorsqu'elle est détériorée. L'examen de l'intérieur d'un filtre renseigne aussitôt sur l'état de propreté du fluide et de l'huile à l'intérieur d'une installation. La surface filtrante doit être prévue en rapport avec la quantité de liquide qui doit la traverser dans un temps donné ; un filtre ayant une surface insuffisante sera bouché plus rapidement qu'un filtre de grande surface, et, de plus, apportera une trop grande résistance au passage du fluide frigorigène.

Déshydrateurs (fig. 61). — Les déshydrateurs ou sècheurs, dont nous avons déjà dit quelques mots dans un chapitre précédent, sont des appareils que l'on monte sur le passage du fluide soit en phase liquide, soit en phase vapeur. Le but de ces appareils est de retenir un certain pourcentage d'humidité. Souvent le déshydrateur est également muni d'un dispositif de filtrage. Les déshydrateurs montés sur le passage du liquide sont, en prin-



cipe, chargés à l'alumine activée. L'alumine activée peut absorber environ 10 à 14 % de son poids d'eau ; elle a l'avantage d'être insoluble dans l'huile et le fluide liquide et, de plus, elle est régénérable. Lorsque l'alumine est saturée d'humidité, après démontage du déshydrateur, on l'étale sur une plaque et un chauffage au rouge sombre évacue toute trace d'humidité. Le déshydrateur doit alors être réassemblé et soigneusement bouché pour éviter qu'il ne s'humidifie en stock avant son réemploi. Il n'y a, en principe, aucun inconvénient à laisser monter, sur une installation, un déshydrateur à l'alumine activée, pendant un temps assez long ; cependant, il faut se souvenir que lorsque l'alumine est saturée elle ne peut plus fixer d'autre quantité d'humidité, et de plus, une partie de l'eau fixée peut, dans certaines conditions,

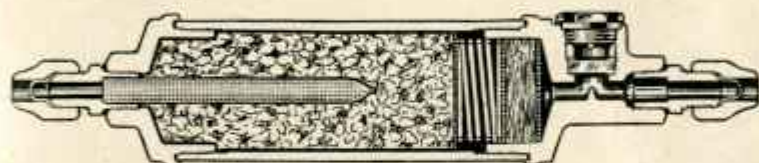


FIG. 61. — Coupe d'un déshydrateur muni d'un voyant de liquide à la sortie.

être remise en liberté dans le circuit frigorifique ; il y a donc lieu d'enlever le déshydrateur lorsque l'on juge qu'il a rempli son office. Lorsque le pourcentage d'humidité à fixer est assez élevé, il peut y avoir lieu de monter successivement plusieurs déshydrateurs. Les déshydrateurs au chlorure de calcium, appelés plus généralement sécheurs, sont, en principe, montés sur le passage du fluide en phase vapeur. Ils sont d'un volume beaucoup plus gros, de façon à réduire le plus possible les pertes de charges ou chute de pression. Le chlorure de calcium a l'avantage de retenir de plus grands volumes d'eau que l'alumine activée, mais, par contre, présente l'inconvénient d'être soluble dans l'huile et le frigorigène liquide. Le chlorure de calcium, ainsi entraîné, se dépose dans l'installation apportant des anomalies de fonctionnement ; aussi est-il expressément recommandé de ne pas laisser un sécheur au CaCl_2 plus de 24 à 48 heures maximum sur une installation. Lorsque l'on est en présence d'une installation très humide, il est quelquefois nécessaire de monter conjointement un sécheur et un ou plusieurs déshydrateurs. Le CaCl_2 n'est pas récupérable.

Séparateurs d'huile (fig. 62). — Les vapeurs refoulées par le compresseur entraînent toujours avec elles une certaine quantité d'huile, qui accompagne le fluide frigorigène dans tout son circuit. Cette huile tapisse les parois intérieures du condenseur et de l'évaporateur, et forme une couche isolante, gênant les échanges thermiques entre le fluide frigorigène et le médium à refroidir, d'une part ; et entre le fluide frigorigène et l'eau ou l'air de refroidissement, d'autre part ; amenant ainsi une perte de rendement de 15 à 20 % environ, d'après des estimations américaines. Il est donc extrêmement intéressant d'empêcher l'huile d'atteindre les évaporateurs où elle n'a, d'ailleurs, absolument rien à faire, si ce n'est du mal. Il est même extraordinaire de penser que les fabricants se sont ingéniés, par tous les moyens, à obtenir la séparation de l'huile et du gaz à leur retour au compresseur, mais ont, à de rares exceptions près, tenté de l'empêcher de se répandre dans l'installation. Dans la plupart des cas ils ont été obligés de procéder à cette séparation pour éviter le pompage de l'huile et les ennuis qui en découlent, mais n'ont rien fait pour l'empêcher de quitter le compresseur et ont considéré l'entraînement d'huile comme un mal inévitable et se sont contentés d'augmenter proportionnellement la surface des évaporateurs pour contrebalancer la perte de rendement due au film d'huile. Il est surtout utile d'empêcher les entraînements d'huile dans les installations à basse température, car le mélange d'huile et de fluide frigorigène ne s'évapore pas à la même température que le fluide frigorigène pur, obligeant ainsi à évaporer à une pression plus basse, ce qui entraîne, comme nous le savons, une baisse de rendement du compresseur. Egalement, dans les installations multiples, la vitesse du gaz n'est pas égale dans tous les évaporateurs, car la charge calorique n'étant pas la même, la rapidité d'évaporation est différente. Il est logique que l'huile se trouve beaucoup plus facilement entraînée dans les évaporateurs où le gaz circule rapidement et que, au contraire, il y ait accumulation d'huile dans les évaporateurs à faible vitesse de circulation. Sans entrer intimement dans les calculs d'établissement d'un séparateur d'huile, il vient cependant à l'idée que le volume de celui-ci devra être proportionnel à la quantité de gaz devant le traverser en un temps donné. Il devra avoir un volume suffisant pour que le gaz perde suffisamment de vitesse pour pouvoir déposer l'huile qu'il avait en suspension. Dans le cas d'un séparateur trop grand, le gaz refoulé séjournera trop longtemps dans le séparateur qui agira alors à la façon d'un pré-



condenseur ; une partie du fluide se condensera dans le séparateur et retournera au carter de compresseur avec l'huile séparée. Dans ce cas, le remède sera pire que le mal, car une partie du fluide frigorigène sera en court-circuit. On voit qu'il est absolument nécessaire d'éviter la condensation du fluide à l'intérieur du séparateur, en maintenant une vitesse de gaz suffisante et également en isolant les parois du séparateur pour éviter le rayonnement. Si le séparateur est trop petit, les vapeurs refoulées le traverseront avec une telle vitesse que peu d'huile se trouvera retenue

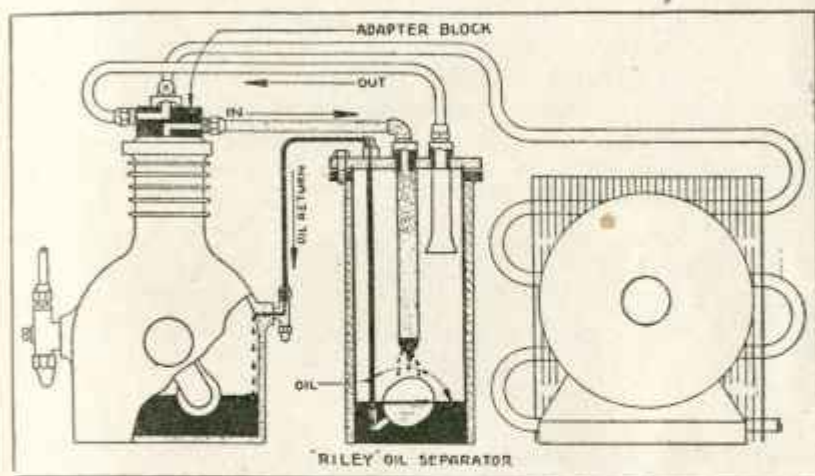


FIG. 62. — Montage schématique d'un séparateur d'huile sur un groupe compresseur.

et le compresseur se comportera comme si le séparateur n'existait pas. Le rôle du séparateur d'huile est d'arrêter au passage l'huile contenue dans les vapeurs refoulées par le compresseur et d'assurer le retour de l'huile au carter du compresseur.

Les principaux avantages d'un séparateur d'huile automatique sont :

- 1° Un niveau d'huile toujours correct dans le compresseur ;
- 2° Le fluide frigorigène s'évapore toujours à son véritable point d'ébullition ;
- 3° Meilleur rendement des évaporateurs dû à l'élimination du film d'huile, ce qui permet de bien meilleurs échanges thermiques ;
- 4° Suppression des bouchons d'huile dans les évaporateurs ;



5° Diminution des corps étrangers et saletés entraînés, qui se trouvent localisés dans le fond du séparateur.

Le séparateur doit se monter sur le tube de refoulement joignant le compresseur au condenseur ; il doit être monté aussi près que possible du compresseur, de façon que les vapeurs y entrant n'aient pas eu le temps de perdre leur chaleur de compression pour éviter un commencement de liquéfaction. Dans le but d'éviter cette liquéfaction, nous avons vu que le séparateur doit être isolé ; nous éviterons également de le monter directement dans le courant d'air des ventilateurs.

Un séparateur d'huile se compose, en principe, d'un récipient étanche comportant une entrée et une sortie de gaz. Dans le fond du récipient est monté un système flotteur du genre des flotteurs haute pression que nous avons déjà décrits ; ce système flotteur assure le retour de l'excédent d'huile au carter du compresseur. Il est également prévu un bouchon de vidange permettant de nettoyer le fond du récipient.

Jusqu'à présent, malgré le très grand intérêt que présentent les séparateurs d'huile, ils ne sont utilisés que sur les machines puissantes. Mais leur utilité est aussi incontestable sur les petites machines commerciales, et il est très regrettable que, dans un but d'économie, les fabricants ne les emploient pas d'une façon plus courante.

Echangeurs de température. — Les vapeurs quittant l'évaporateur sont toujours dans un état de surchauffe légère pour éviter l'entraînement de gouttelettes de liquide dans le tube d'aspiration. L'entraînement de gouttes de liquide non vaporisées présente, comme principal inconvénient, un givrage du tube d'aspiration, et même un givrage possible du corps de compresseur ; ce qui, en plus des frigories perdues, cause des entraînements d'huile. Pour maintenir cet état de surchauffe de la vapeur quittant l'évaporateur, nous sommes obligés de ne pas maintenir l'évaporateur complètement plein de liquide, c'est-à-dire que nous abandonnons volontairement une partie de sa surface d'échange pour produire la surchauffe. On peut remédier à cet état de choses par l'emploi d'échangeurs de température. Avec un échangeur de température l'on peut se contenter d'une surchauffe beaucoup moins importante, c'est-à-dire que l'on peut employer la totalité, ou presque, de la surface d'échange de l'évaporateur. Les gouttelettes de liquide non vaporisées et entraînées dans le tube d'aspiration vont être employées utilement. Le liquide venant



du réservoir du condenseur arrive au détendeur à une température voisine et légèrement supérieure à celle de l'eau ou de l'air de refroidissement ; en entrant dans l'évaporateur, ce liquide sera d'abord obligé de se refroidir à la température de l'évaporateur avant d'entrer en ébullition, consommant ainsi des frigories en pure perte pour son propre refroidissement. L'échangeur de température, comme son nom l'indique, permettra l'échange de température entre le gaz à basse température quittant l'évaporateur et le liquide à température plus élevée y arrivant. Les quelques gouttes de liquide non vaporisées quittant l'évaporateur vont se vaporiser dans l'échangeur de température en refroidissant le liquide qui y circule à contre-courant, d'où gain double : d'une part, augmentation de la surface utile de l'évaporateur par diminution de la surchauffe et, d'autre part, refroidissement du liquide arrivant au détendeur, donc diminution d'une cause de

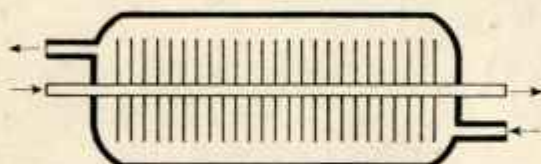


FIG. 63. — Échangeur de température.

perte de frigories dépensées pour refroidir ce liquide. Le gaz arrive parfaitement sec au compresseur, diminuant considérablement les chances de pompage d'huile.

L'échangeur de température le plus simple consiste à faire, avec le tube d'aspiration à la sortie de l'évaporateur, une boucle de la longueur de deux fois l'évaporateur, et à y fixer le tube liquide sur toute la longueur. Dans cet échangeur rudimentaire, les contacts thermiques étant mauvais, on apportera une grosse amélioration en soudant les deux tubes entre eux. Ce travail peut être fait en atelier et dans ce cas, l'échangeur se présentera sous forme d'une couronne de tube double portant à chaque extrémité ses raccords de liquide et de gaz. En général, on se sert de téls spéciaux. Dans ce cas, le tube de liquide est placé à l'intérieur du tube d'aspiration, présentant ainsi toute sa surface pour l'échange des températures. Le liquide voyage dans un sens à l'intérieur du petit tube et le gaz, dans l'autre sens, à l'intérieur de l'espace annulaire compris entre le petit tube et le tube le plus gros.

Il a été également conçu d'autres systèmes d'échangeurs de température ; aux U. S. A., certains fabricants spécialisés pré-



sentent des échangeurs de température très compacts dont l'encombrement très restreint permet l'emploi dans n'importe quel cas. Ce système d'échangeur de température se présente (fig. 63) sous la forme d'un cylindre fermé ayant à chacune de ses extrémités un raccord d'entrée et de sortie pour le passage du gaz ; à l'intérieur, le liquide circule dans un autre tube plus petit et muni d'ailettes augmentant considérablement sa surface. Les surface et les volumes sont calculés en fonction des puissances frigorifiques indiquées par le constructeur. La surface d'un échangeur, quel que soit son modèle, doit être proportionnée au nombre de calories à échanger. Les longueurs et diamètres de tube, employés pour la fabrication d'échangeurs, sont donnés dans le tableau ci-après :

Pour un évaporateur de 0 à 650 frigories-heure :

3 mètres de tube 1/2 pouce.

3 m. 75 de tube 1/4 pouce.

Pour un évaporateur de 650 à 1.250 frigories-heure :

3 m. 75 de tube 5/8.

4 m. 50 de tube 1/4.

Pour un évaporateur de 1.250 à 2.000 frigories-heure :

5 m. 50 de tube 5/8.

6 m. 50 de tube 1/4.

Nous terminerons ces quelques mots sur les échangeurs en déplorant que, toujours sous prétexte de diminution de prix de revient, la plupart des installateurs suppriment cet accessoire dont l'utilité est cependant incontestable dans une installation commerciale.



CHAPITRE XII

REFROIDISSEMENT DES LIQUIDES

En réfrigération automatique, les liquides que l'on est appelé à refroidir sont dans la plupart des cas, soit de l'eau, soit plus couramment de la bière. Le refroidissement du lait, étant différent, sera traité à part, à la suite de ce chapitre. Les problèmes à solutionner dans le cas de tirage d'eau glacée et dans le cas de tirage de bière étant sensiblement les mêmes, nous envisagerons exclusivement dans ce qui va suivre le cas du tirage de bière, de beaucoup le plus répandu.

Tirage de bière. — Les facteurs dont nous aurons à tenir compte dans l'établissement d'un tirage de bière seront : d'abord le volume à refroidir, puis la température à obtenir au robinet de tirage en fonction de la température de la bière en fût ; le facteur « temps » est également considérable.

Sans entrer dans les détails de fabrication de la bière, il est cependant bon de savoir qu'elle est le produit d'une fermentation alcoolique d'un moût houblonné et sucré partant de l'orge malté, obtenu par des procédés de brassage appropriés. Il reste dans le produit fini un certain pourcentage de matières hydrocarbonées et azotées, et également des cellules de levure qui seront sujettes par la suite à continuer la fermentation, d'où la nécessité de freiner cette fermentation nuisible par une température de conservation suffisamment basse pour la neutraliser. La température théorique de conservation de la bière est de environ $+1^{\circ}\text{C}/+2^{\circ}\text{C}$. Mais on obtient des conservations d'une durée suffisante chez les détaillants, avec des chambres de conservation où la température est voisine de $+4^{\circ}$ à $+6^{\circ}\text{C}$. De l'avis des usagers, la meilleure température de tirage au robinet est d'environ $+8^{\circ}$ à $+9^{\circ}\text{C}$. Les bières pâles s'accoutent mieux d'une température un peu plus basse, $+7/+8^{\circ}\text{C}$, alors que les bières foncées se tirent à $+10^{\circ}\text{C}$.



Lorsque la température est trop basse, toutes les qualités de la bière ne sont pas mises en évidence, elle reste plate et presque sans mousse, elle est trouble ; on dit que la bière est « cassée ». L'acide carbonique ne se dégage pas en quantité suffisante et le produit manque de son pétillant si apprécié des amateurs. Dans le cas d'une température de tirage trop élevée, la bière est fade et sans saveur, et la mousse trop abondante crée des pertes au tirage.

La bière est conservée en fûts chez le brasseur, dans des chambres froides de conservation, d'où elle est sortie pour être livrée chez les consommateurs ; vu l'épaisseur des fûts formant un excellent isolant et les temps relativement restreints de livraison, elle arrive à la consommation dans des conditions de température acceptables.

Il est important que, dès son arrivée chez le client détaillant, la bière soit placée dans une chambre de conservation réfrigérée à $+4^{\circ}\text{C}$ à $+8^{\circ}\text{C}$ — la bonne moyenne étant $+6^{\circ}\text{C}$. Dans ces conditions, la bière ne subit pratiquement pas de changement pendant les huit à dix jours qui suivent sa mise en cave froide, si elle est consommée dans ce délai, ce qui est généralement le cas.

Trop souvent malheureusement, par suite du manque de place pour construire une cave à bière ou par manque de compréhension du détaillant, les fûts de bière sont entreposés dans une cave quelconque, non réfrigérée, dont dans certains cas la température est assez élevée, atteignant parfois 20°C . Dans ces conditions, la bière est appelée à refermenter, à s'éventer, à se troubler, enfin à s'altérer profondément. Le refroidissement au moment du tirage sera impuissant à rendre ses qualités à une bière ainsi altérée.

Caves à bière. — La solution idéale (fig. 64) est évidemment d'entreposer les fûts dans une cave réfrigérée pour en assurer la bonne conservation et de disposer en dessous des robinets de tirage un refroidisseur destiné à donner à la bière la température qu'elle doit avoir dans le verre. La cave à bière, lorsqu'elle existe, doit se trouver le plus près possible des robinets de tirage ; de préférence juste en dessous, de façon à éviter que la bière contenue dans les colonnes montantes ne subisse une trop forte élévation de température, surtout pendant les heures creuses de la journée. Les calculs d'établissement d'une cave à bière sont similaires à ceux d'établissement d'une chambre froide et le bilan thermique se fera en tenant compte des pertes par les parois, du service et des calories apportées par les fûts entre-



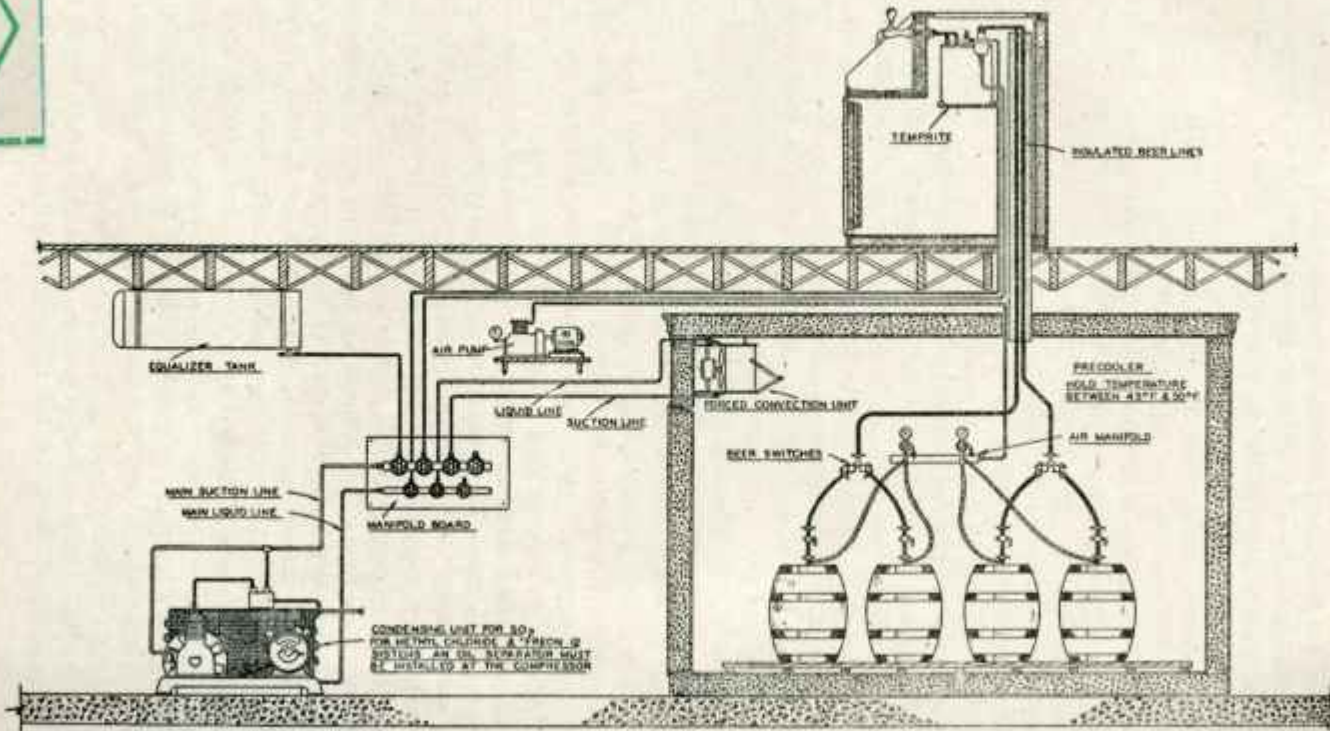


Fig. 64. — Ensemble d'une installation de tirage à bière, avec cave réfrigérée et refroidisseur instantané.

posés. Il n'y a évidemment aucune considération de degré hygrométrique à envisager. La réfrigération pourra être assurée par des évaporateurs type plafond, types muraux ou à circulation forcée.

Même lorsque l'on dispose d'une cave à bière réfrigérée, il est nécessaire de procéder au refroidissement de la bière juste en dessous des robinets de tirage, car la bière qui a séjourné dans les colonnes montantes, particulièrement aux heures creuses, s'est échauffée et est devenue insipide. Le refroidisseur doit se trouver immédiatement en dessous des robinets de tirage et, sous aucun prétexte, à un autre endroit, pour les raisons exposées précédemment.

La bière contient de fabrication un certain pourcentage d'acide carbonique, environ 2 volumes 5 qui, se dégageant, entretient une pression dans les fûts : cet acide carbonique se dégageant dans le verre forme la mousse et le piquant de la bière. Dans la plupart des cas, cette pression est cependant insuffisante pour faire monter la bière à robinet, aussi a-t-on soin d'introduire dans le fût une pression supplémentaire pour assurer un tirage régulier. Cette pression est fournie soit par de l'air comprimé, soit plus généralement par des tubes d'acide carbonique. Un manque de pression produit des irrégularités de tirage. Un excès de pression donne évidemment un tirage trop violent et, surtout dans le cas où la pression est fournie par de l'acide carbonique, celui-ci se dissout en trop grande quantité dans la bière contenue dans le fût, et au moment du tirage il se dégagera en trop grande quantité, occasionnant une mousse trop abondante et créant des pertes considérables pour le commerçant. D'après les spécialistes américains, cette pression doit être d'environ 1 kg/cm^2 , augmentée d'environ $0 \text{ k. } 140/\text{cm}^2$ par mètre d'élévation verticale de la colonne montante, plus environ $0 \text{ kg } 010/\text{cm}^2$ par mètre de serpentín de tirage. Un robinet de tirage est prévu pour débiter de 80 à 100 litres de bière par 24 heures, avec un maximum de 40 à 50 litres-heure en pointe. Dans le cas où le débit entrevu est supérieur, il faut prévoir plusieurs robinets. De toute façon, même dans le cas de débits normaux, il est bon de prévoir deux robinets au moins pour répartir la charge calorifique et permettre à la bière de séjourner un temps suffisant dans les serpentins refroidisseurs, particulièrement dans le cas où il n'existe pas de cave à bière réfrigérée.

Les températures standard admises dans les calculs de tirage à bière sont : un écart de 10° C environ entre la température



de la bière entrant au refroidisseur et celle sortant au robinet de tirage. La longueur du serpentín d'étain dans le refroidisseur étant en moyenne de 12 à 15 mètres par robinet de tirage. La température du bain réfrigérant, dans le cas de refroidissement par cuve, étant de $+2^{\circ}/+4^{\circ}$ C.

Refroidisseurs de liquide. — Les refroidisseurs de liquide sont de deux genres : refroidisseurs à cuve et refroidisseurs instantanés.

1) *Refroidisseurs à cuve.* — Les refroidisseurs à cuve sont une modernisation de l'ancien tirage à glace, qui consistait à mettre de la glace dans un bac au fond duquel les serpentins de tirage étaient disposés en spirales plates. Le principal inconvénient de ce système était la difficulté de loger dans le fond de ce bac plusieurs serpentins de tirage, et de leur donner la longueur suffisante, de plus le refroidissement de la bière était fonction du remplissage du bac ; nous ne mentionnerons que pour mémoire l'ennui de pourvoir au chargement du bac et son nettoyage fréquent.

Le refroidissement de la bière par cuve (fig. 65) consiste à placer sous les robinets de tirage une cuve en tôle galvanisée de grandeur convenable. Dans cette cuve, on dispose un évaporateur sous forme de serpentín et, au centre, les serpentins de tirage du liquide à refroidir ; le tout rempli soit de saumure incongelable, soit d'eau pure. Pour obtenir une meilleure répartition du froid dans la masse de saumure, il est prudent de prévoir des baffles assurant une circulation naturelle par convection. Lorsque l'on emploie l'eau pure à la place de saumure, il y a lieu de tenir compte d'une inversion de la circulation avec la température. En effet, l'on sait que l'eau atteint son maximum de densité à $+4^{\circ}$ C ; donc, si nous partons d'un bain relativement chaud, la circulation se fera dans un sens, l'eau devenant de plus en plus lourde au fur et à mesure qu'elle se refroidit, et cela jusqu'au moment où nous atteindrons $+4^{\circ}$ C. A partir de cette température, l'eau deviendra plus légère avec l'abaissement de température et la circulation s'inversera. Dans le cas de tirage à bière où la température de tirage est en moyenne de $+8^{\circ}$ C, la température du bain réfrigérant étant maintenue à une moyenne de $+3^{\circ}$ C, il n'y a pas lieu d'employer une saumure incongelable. Un avantage du bain d'eau pure est de permettre une meilleure régulation de la température. Pendant la marche du compresseur, la température du serpentín évaporateur étant



de -4°C environ, il se forme autour de celui-ci une couche de glace plus ou moins épaisse, selon le temps de marche de l'appareil; l'effet isolant de cette couche de glace évite en partie un refroidissement trop intense du bain. De plus, la fusion de cette glace pendant le cycle d'arrêt assure une certaine réserve

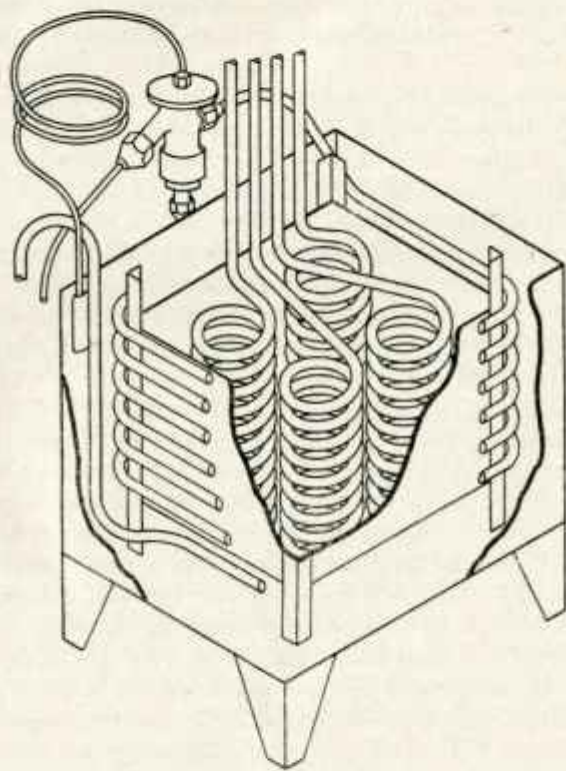


FIG. 65. — Cuve de refroidissement pour tirage de liquide réfrigéré.

de froid. Dans les conditions standard de fonctionnement des cuves à bière, c'est-à-dire pour un refroidissement de 10°C entre l'entrée et la sortie de la bière, et pour une température du bain de $+2$ à $+4^{\circ}\text{C}$, le serpentin d'évaporateur sera constitué, suivant la charge calorifique à absorber, par du tube $3/8$, du tube $1/2$, ou même du tube $5/8$. Dans les conditions ci-dessus définies, le tube $3/8$ absorbe environ 15 calories-heure par mètre courant, le tube $1/2$, 21 calories, et le tube $5/8$, 26 calories. Les



serpentins de tirage sont en tube d'étain de 9×12 ; il faut compter environ 15 mètres par robinet; 12 mètres étant un minimum.

La question du réglage de la température du bain réfrigérant est extrêmement importante, car il importe avant tout d'éviter le gel de la bière dans les serpentins tout en lui maintenant une température suffisamment basse.

La solution idéale pour le contrôle de la température du bain réfrigérant consiste dans l'emploi d'un thermostat conjointement avec une vanne solénoïde. Le thermostat a son bulbe plongé dans le bain et permet ainsi de régler d'une façon positive la température la plus basse aussi bien que la température la plus élevée, et cela d'une façon précise. De plus l'emploi d'un thermostat à arrêt constant (constant cut out) permet au client de régler sa température de tirage selon ses besoins, sans crainte de gel.

L'emploi de deux appareils, thermostat et vanne électrique, étant souvent une objection au point de vue prix de revient, l'on remplace ces deux appareils par un seul : le barostat. Le contrôle est alors moins précis, le barostat, fonctionnant par la pression de l'évaporateur, pourra avoir son point d'ouverture réglé pour une température maximum compatible avec un bon fonctionnement ; par contre, son point de fermeture sera obligatoirement réglé trop bas. En effet, pour obtenir une température de $+3^{\circ}\text{C}$ au bain réfrigérant, il faudra évaporer à une température inférieure pour avoir un écart de température permettant les échanges thermiques; en principe, on évapore à -4°C . Le barostat sera donc réglé pour fermer à cette température; il vient donc à l'idée que, dans le cas de temps marche exagéré du compresseur, nous ne sommes pas parfaitement protégés contre une température trop basse. Bien souvent, dans le but d'abaisser encore plus le prix de revient, on remplace le barostat, assez coûteux, par une vanne à pression constante, beaucoup meilleur marché; le fonctionnement est alors approximatif. Ces solutions d'économie sont souvent coûteuses, car elles occasionnent de nombreux appels de service, souvent sous garantie, sans préjudice des accidents toujours possibles (gel de la bière, éclatement des serpentins de tirage ou même de la cuve).

Dans les cuves à bière, le bulbe du détendeur est fixé au tube d'aspiration en dessous du niveau du bain réfrigérant ; avec une telle disposition, le serpentins, le bulbe et le bain ont tendance, pendant le cycle d'arrêt, à prendre la même température, évitant ainsi un réchauffage prématuré du bulbe qui, ouvrant le détec-



deur avant la marche du compresseur, noierait l'évaporateur, tout en conservant le contrôle du liquide quittant l'évaporateur.

Si l'on dispose l'alimentation de liquide à la partie supérieure du serpentín et l'aspiration à la partie inférieure, le liquide s'amassant à la partie inférieure, on risque des entraînements de liquide dans le tube d'aspiration. Il est donc beaucoup plus rationnel de disposer l'arrivée de liquide dans le bas de l'évaporateur et l'aspiration au point haut du serpentín.

Un des ennuis rencontrés fréquemment dans ce système de cuve est la mauvaise répartition du froid dans la masse du bain réfrigérant ; malgré l'emploi de baffles de convection, la circulation est parfois peu active, surtout que l'on travaille presque constamment aux environs de la température à laquelle cette circulation s'inverse, tantôt légèrement au-dessus, tantôt légèrement en-dessous. Certains fabricants ont réalisé des cuves à bière avec circulation mécanique ou avec évaporateurs fractionnés, mais, malgré ces complications, les résultats atteints ne sont pas notablement supérieurs à ceux obtenus avec une cuve standard.

Un autre inconvénient de la cuve à bière est de ne pas permettre un tirage continu pendant la période du « coup de feu ». Un serpentín de tirage de 15 mètres, en tube d'étain de 9×12 contient environ un peu moins de 4 litres de bière. Cette quantité de bière séjournant dans le serpentín a eu le temps de prendre la température du bain réfrigérant, mais l'on conçoit facilement que, dans le cas de tirage accéléré, la bière passe trop rapidement dans le serpentín de tirage et ne séjourne pas assez longtemps pour pouvoir se refroidir suffisamment. On obvie à cet inconvénient en multipliant les robinets de tirage et en tirant alternativement sur chacun de ces robinets, mais cette solution conduit à des cuves trop importantes et la multiplicité des robinets et des serpentíns de tirage augmente trop le prix de revient de l'installation.

2) *Tirages instantanés.* — Une meilleure solution du problème du tirage de la bière, mais beaucoup plus coûteuse d'installation, est l'emploi de refroidisseurs instantanés.

Il existe de nombreux modèles de refroidisseurs instantanés, mais qui fonctionnent presque tous sur le même principe. Nous nous bornerons à la description du plus connu, le *Temprite*, appareil très répandu aux U. S. A. et en Europe (fig. 66).

Le principe du refroidisseur instantané est de plonger les serpentíns de tirage directement dans le fluide frigorigène en phase



liquide, et de régler exactement la température de celui-ci. La suppression du bain réfrigérant intermédiaire permet un refroidissement beaucoup plus rapide du liquide à refroidir, l'échange des calories étant direct ; de plus l'évaporation du fluide frigorigène sera toujours exactement proportionnelle aux besoins du tirage. Si nous supposons le serpentin de tirage plongé directement dans le fluide frigorigène liquide, il est évident que la moindre élévation de température du liquide tiré provoquera une élévation de température du fluide frigorigène entraînant immé-

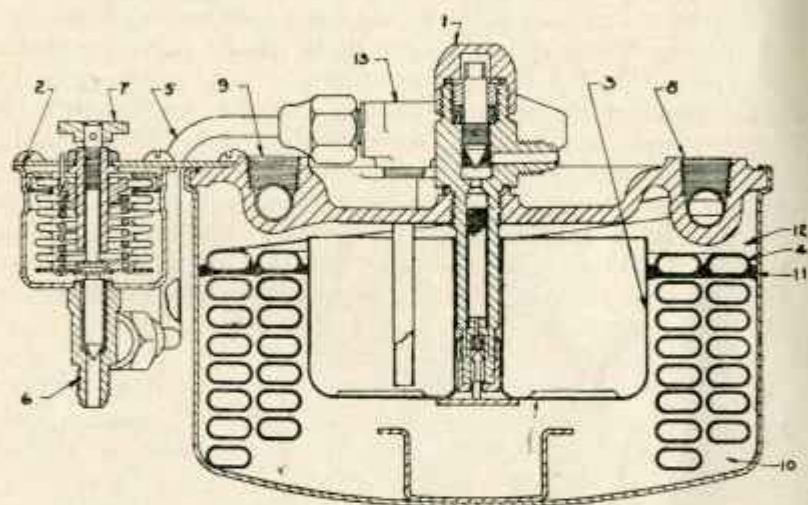


FIG. 66. — Refroidisseur instantané du type « Temprite ».

diatement l'évaporation d'une certaine quantité de fluide rétablissant la température primitive du tout. Si le tirage est rapide ou continu, l'évaporation, donc la réfrigération, est également rapide ou continue.

Un refroidisseur instantané du type « Temprite » (fig. 66), se compose d'une cuve étanche dans laquelle on dispose les serpentins de tirage 4, un flotteur 3 agissant sur un dispositif à pointe 1 règle l'admission du fluide frigorigène liquide, jusqu'à un niveau prédéterminé 11. L'aspiration du compresseur se produit dans la cuve au-dessus du niveau de liquide à travers une soupape à pression constante spéciale, dont le réglage s'opère par l'écrou 7, les orifices 8 et 9 étant l'entrée et la sortie du liquide à réfrigérer; le raccord 6 est relié à la tubulure d'aspiration.



Le fonctionnement se comprend aisément : si nous supposons l'appareil chargé en CH^3Cl , la vanne à pression constante sera réglée pour s'ouvrir à une pression voisine de 33lbs correspondant à une température de $+8^\circ\text{C}$ du chlorure de méthyle liquide. Aussitôt que la bière passe dans le serpentin de tirage, l'élévation de température qui en résulte évapore une quantité correspondante de liquide frigorigène, rétablissant la température à $+8^\circ\text{C}$, selon le processus que nous connaissons bien.

Egalisateurs. — Il est évident que, dans ces conditions, chaque fois que l'on tire de la bière il y a évaporation de fluide frigorigène et que, si le tirage à bière est monté seul sur un compresseur, ou s'il représente la majorité de la charge calorique dudit compresseur, chaque tirage provoquera la mise en marche du groupe compresseur par élévation de pression. La quantité de fluide évaporée étant faible, en quelques coups de piston le compresseur aura rétabli la pression initiale et le compresseur s'arrêtera de nouveau. De tels départs et arrêts rapides sont indésirables, aussi pour parer à cet inconvénient l'on dispose sur la tuyauterie d'aspiration un réservoir égalisateur. Ce réservoir est un simple espace clos dans lequel le gaz peut s'accumuler avant de produire une pression suffisante, évitant ainsi la mise en marche du compresseur à chaque tirage. Nous allons, pour faire mieux comprendre l'utilité du réservoir d'égalisation, chiffrer approximativement ce qui se passe. Supposons que nous tirions un litre de bière dans les conditions qui ont été définies comme standard, le refroidisseur aura à absorber environ 10 calories, l'absorption de ces 10 calories provoquera l'évaporation de 100 grammes de CH^3Cl , donnant environ 12 litres de gaz, aux températures considérées ; si nous disposons sur l'aspiration un réservoir de 120 litres, il faudra une dizaine de tirages pour remplir le réservoir de gaz à la pression nécessaire à la mise en marche du compresseur et, une fois celui-ci en route, il aura à aspirer le gaz vaporisé par la dizaine de tirages précédents avant de provoquer l'arrêt ; ce qui permet une marche plus normale du compresseur. Il est assez rare de trouver un tirage à bière monté seul sur un compresseur ; en général le tirage à bière fait toujours partie d'une installation multiple. Dans ce cas la charge calorique du tirage à bière doit représenter au maximum la moitié de la charge calorique totale, et même dans ce cas il est toujours prudent de monter un réservoir égalisateur pour éviter la marche en courts cycles du compresseur. Le volume du réservoir égalisateur sera naturellement proportionné à la charge calo-



rique du tirage à bière. A titre d'indication, on emploiera un réservoir de 65 litres avec un tirage à bière monté en duplex avec une fabrique de glace et un réservoir de 95 litres dans le cas d'un tirage monté seul. Dans le cas où le tirage à bière représente une très faible fraction de la charge calorique totale, on peut se passer de réservoir égalisateur, le volume des autres évaporateurs agissant par leur volume comme un réservoir égalisateur.

C'est généralement dans les installations de cafés et restaurants que l'on trouve les installations multiples ayant le plus de postes différents, fonctionnant à des températures différentes. Il est, en effet, courant de rencontrer des installations à 5, 6 postes et plus. Voici d'ailleurs une installation typique de café restaurant :

- 1° une cave à bière à $+6^{\circ}\text{C}$.
- 2° une fabrique de glace à -15°C .
- 3° un tirage à bière à $+8$ $+9^{\circ}\text{C}$.
- 4° une armoire garde-manger à $+4^{\circ}\text{C}$.
- 5° une vitrine réfrigérée à $+7$ $+8^{\circ}\text{C}$.
- 6° une mitrailleuse à bouteille à $+8^{\circ}\text{C}$.

Mitrailleuse. — La mitrailleuse est un réservoir réfrigéré portant des alvéoles pour le logement des bouteilles; elle se trouve généralement dans le comptoir pour le service sur le « zinc » et permet de servir des apéritifs secs à une température suffisamment basse pour ne pas nécessiter l'emploi de la glace dans le verre. Elle se désigne par le nombre d'alvéoles ou trous qu'elle comporte. On considère comme conditions standard une isolation de 4 cm de liège et la température du bain de $+4^{\circ}\text{C}$; dans ces conditions la charge calorique par 24 heures est de :

880	frigories	24 h.	pour	4	trous
1100	—	—	—	6	—
1300	—	—	—	8	—
1550	—	—	—	10	—
1750	—	—	—	12	—
2200	—	—	—	14	—
1980	—	—	—	16	—

Une installation du type décrit ci-dessus comportera un contrôle pressostatique et les vannes solénoïdes, à pression constante, barostats et vannes à 2 températures nécessaires pour la régulation de chaque poste.



Refroidisseurs d'eau. — Quoique ces appareils soient fort peu répandus en France, nous croyons cependant nécessaire de dire quelques mots sur les rafraîchisseurs d'eau. Ces appareils, très

répandus aux U. S. A. et dans quelques pays d'Europe, sont destinés à fournir de l'eau fraîche pour les employés et ouvriers des usines, bureaux, etc., et également à la disposition de la clientèle dans les magasins. Ces appareils se présentent sous l'aspect d'un meuble métallique très élégant, et contenant son compresseur frigorifique. Considérés sous le point de vue débit d'eau, il existe deux genres de présentation : le modèle à « Bubbler », dans lequel l'eau jaillit dans une vasque, permettant de boire directement ou de remplir un verre, et le modèle à robinet, permettant de remplir le verre seulement.

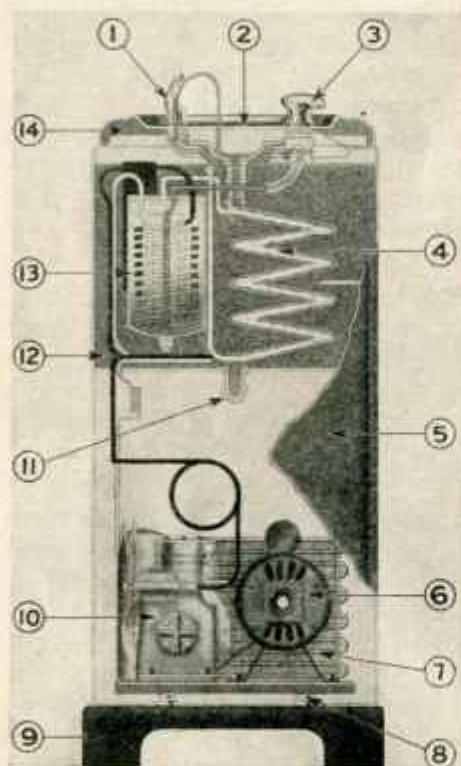


FIG. 67. — Refroidisseur d'eau potable dit : « Water Cooler ».

1, Jet d'eau. — 2, Vasque. — 3, Bouton-robinet. — 4, Échangeur de température. — 5 Corps du meuble. — 6, Moteur électrique. — 7, Condenseur. — 8, Ressorts de suspension du groupe. — 9, Base. — 10, Compresseur. — 11, Évacuation d'eau. — 12, Isolation. — 13, Refroidissement-évaporateur. — 14, Dessus du Water Cooler.

dé par un bouton-poussoir 3. L'eau circule d'abord dans un pré-refroidisseur 4 et, ensuite, dans le refroidisseur proprement dit 13. Un groupe compresseur 10, avec son moteur électrique 6, se trouve logé dans la base de l'appareil. Le système de détente est,



soit à capillaire, soit à détendeur, le contrôle de température se fait par thermostat. L'appareil demande pour son installation, en plus de la ligne électrique, une arrivée d'eau et une canalisation d'évacuation à l'égout.

Il y a peu de chose à dire sur ces appareils qui fonctionnent selon le cycle de réfrigération que nous avons déjà examiné et se comportent comme des meubles ménagers.

Refroidissement du lait (fig. 68). — En général, dans nos pays, il est assez rare qu'un fermier possède une installation frigorifique lui permettant la conservation de son lait et de ses produits beurriers. Presque toujours, le lait est ramassé sur les lieux de production par de grosses sociétés qui assurent le groupage des produits de toute une région et ont des installations frigorifiques importantes, qui sont du domaine de la réfrigération industrielle et non de celui de la réfrigération automatique. Cependant, il peut être intéressant de connaître les possibilités de la petite réfrigération automatique dans ce domaine. Pour la bonne conservation du lait, il est très important que celui-ci soit refroidi après la traite, dans un temps aussi court que possible, et ensuite, conservé à une température voisine de 0°C . La congélation du lait entraîne des modifications dans sa composition, et exige une technique spéciale de congélation en lames minces qui sort du cadre que nous nous sommes imposé. Aux environs de 0°C le lait ne subit aucune modification et cette température permet, cependant, des temps de conservation de plusieurs semaines. Dans la pratique, à la ferme, on peut se contenter de températures de conservation de $+2 + 3^{\circ}\text{C}$, qui permettent de conserver le lait de 10 à 15 jours, permettant ainsi des livraisons plus importantes.

Aérateur. — Le meilleur système, et le plus employé pour le refroidissement rapide du lait aussitôt après la traite, est l'aérateur.

L'aérateur se compose d'un faisceau de tubes superposés, au-dessus duquel se trouve une gouttière de distribution, dans laquelle on verse le lait à refroidir; le lait ruisselle sur le faisceau de tubes et est recueilli dans le bas du faisceau de tubes dans une seconde gouttière, d'où il est recueilli, refroidi, remis en pots et stocké en chambre froide. La partie supérieure de l'aérateur, environ les $2/3$, est refroidie par une circulation d'eau fraîche qui permet un pré-refroidissement du lait, qui vient ensuite ruisseler sur la partie réfrigérée de l'aérateur. Le $1/3$



restant des tubes de l'aérateur est réfrigéré, soit par la détente directe du fluide frigorigène, soit par une circulation de saumure

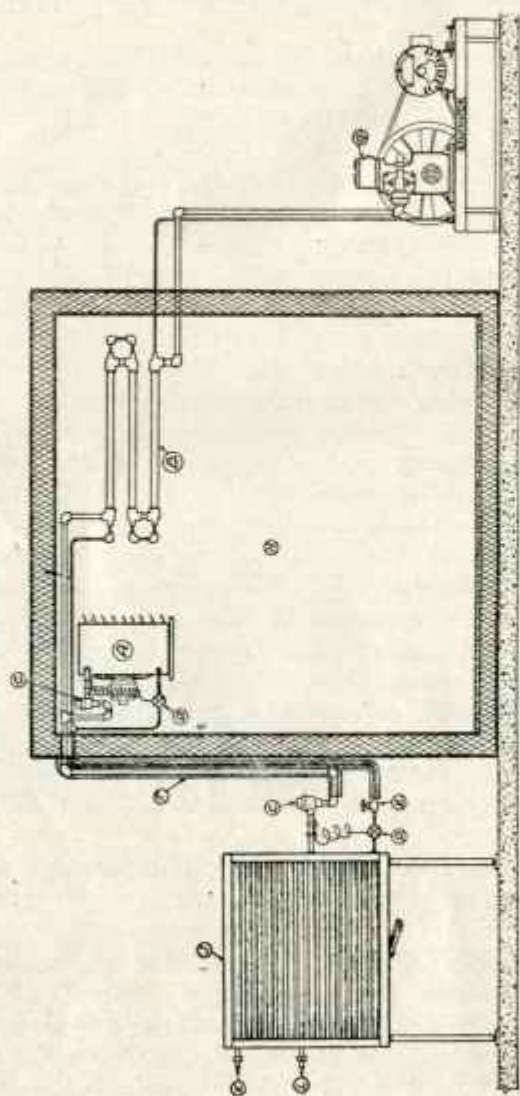


FIG. 68. — Ensemble d'une installation de réfrigération de lait.

G, Groupe compresseur. — H, Chambre froide de conservation. — B, Échangeur de température. — A, Aérateur à circulation forcée. — J, Gouttière supérieure de l'aérateur. — K, L, Entrée et sortie de l'eau de circulation servant au pré-refroidissement de l'aérateur. — C, Détendeur de l'aérateur. — E, Vanne d'arrêt et aspiration dans la partie réfrigérée de l'aérateur.

préalablement réfrigérée. La température du lait quittant la vache étant d'environ $+35^{\circ}\text{C}$, si le lait est porté directement à l'aérateur, ce qui est désirable, la partie de l'aérateur refroidie

par la circulation d'eau ramènera cette température vers 20° C environ ; les surfaces d'échange et le débit d'eau doivent être calculés en conséquence. Avec de l'eau de circulation à + 15 + 16° C, le débit d'eau sera environ le double du volume de lait à rafraîchir, l'écart final de température entre le lait et l'eau de circulation est d'environ 3 à 4° C. Le lait vient ensuite ruisseler avec cette température de + 20° C sur la partie réfrigérée de l'aérateur ; cette partie de l'aérateur doit avoir sa surface calculée de sorte que le lait quittant le dernier tube pour tomber dans la gouttière inférieure, ait atteint la température de + 4° C.

Charge calorique. — La charge calorique de cette partie réfrigérée de l'aérateur représente la charge calorique que le compresseur devra absorber. Elle se détermine en tenant compte du volume de lait à réfrigérer, de la chute de température à obtenir et du temps de refroidissement.

Le système à détente directe exige du compresseur un gros travail au moment où l'aérateur est en service, c'est-à-dire deux fois par jour. Le reste du temps le compresseur a seulement à maintenir la température de la chambre froide. Ce système exige donc un compresseur sur-puissant pour faire face à cet à-coup dans la puissance frigorifique demandée. Aussi préfère-t-on employer le système à circulation de saumure réfrigérée, qui permet de disposer d'une réserve de froid importante et permet une meilleure répartition du travail du compresseur sur la totalité des heures de marche.

Le bilan thermique de la chambre de conservation n'offre aucune particularité spéciale. Il s'établira en tenant compte de la perte par les parois, des pertes dues au service et des calories apportées par le lait et les pots.

Le compresseur sera choisi avec une puissance frigorifique suffisante pour absorber la charge calorique totale : aérateur plus chambre de conservation.



CHAPITRE XIII

CRÈME GLACÉE

Généralités. — Nous engloberons dans ce chapitre, sous le nom générique de Crème glacée, tous les divers entremets et desserts glacés, alors que le terme « glace » s'applique plus particulièrement à un dessert à base de lait, jaune d'œuf et de sucre additionné d'un « parfum », le mélange étant cuit à chaud et ensuite battu et réfrigéré dans une turbine. Le terme « crème glacée » devrait s'appliquer plus particulièrement à l'Ice cream américain, qui est à base de crème au lieu de lait, les sorbets étant des glaces légères à base de vins ou de liqueurs alcoolisées. Les recettes varient à l'infini depuis l'emploi de produits naturels (lait, œufs, crème, etc.), jusqu'à l'emploi de poudres synthétiques ; de toute façon, le mélange une fois cuit, porte, en terme de pâtisserie, le nom d' « appareil ». Ce mélange doit être versé dans une turbine munie de batteurs et réfrigéré le plus rapidement que possible ; cette opération porte le nom de cinglage ou sanglage. Plus le cinglage est rapide, plus douce est la texture du produit obtenu. Le cinglage consiste à battre le mélange pendant la réfrigération, de façon à y emprisonner des quantités de petites bulles d'air à la façon bien connue des blancs d'œufs montés en neige. La crème, une fois finie, a augmenté de volume ; cette augmentation de volume s'appelle le foisonnement. Le foisonnement est fonction du temps de battage et de la rapidité de celui-ci. Il sera plus important, pour une durée de battage égal, dans une turbine américaine que dans une turbine viennoise. Quelques glaciers foisonnent à 30 %, c'est-à-dire qu'ils obtiennent 130 litres de produit fini en partant de 100 litres de produit initial. D'autres foisonnent à 100 %, mais la plupart se tiennent à des taux de foisonnement voisins de 60 à 75 %. Le pâtissier exprime généralement sa quantité de crème glacée en produit fini. En tenir compte lorsqu'un pâtissier ayant une turbine de 10 litres y verse



8 à 9 litres de crème et prétend foisonner à 75 % ! Le foisonnement se produit surtout lorsque la crème glacée commence à prendre une consistance de sirop, c'est-à-dire vers -3°C . Le cinglage dure environ 20 à 25 minutes. Si la réfrigération est trop lente, il y a formation de cristaux de glace, l'eau constitutive gelant avant la crème ; la crème est trop liquide et il peut y avoir séparation partielle des produits la constituant. Si la réfrigération est trop basse, la crème est lourde ; ayant pris trop vite elle n'a pu emprisonner suffisamment de bulles d'air qui lui donnent sa légèreté. Il est évident qu'il faut éviter de verser dans une turbine de la crème chaude ; une bonne précaution est, au contraire, de faire subir à la crème un pré-refroidissement en chambre froide.

Les turbines de cinglage sont de deux genres : le genre américain et le genre viennois.

La turbine américaine est munie d'un pot cylindrique dans l'intérieur duquel se trouvent les batteurs et les racleurs. La turbine viennoise a un pot cylindrique terminé dans le bas en forme de demi-sphère, le batteur est une simple cuillère de bois faisant à la fois office de batteur et de racleur et qui se déplace de bas en haut et de haut en bas pendant le battage. L'emploi de l'un ou de l'autre type de turbine est une question d'appréciation personnelle du glacier et n'a rien à voir avec la réfrigération.

La température de cinglage est variable, mais elle est en moyenne aux environs de -15°C . Ce serait une erreur de vouloir accumuler du froid dans la saumure en commençant le cinglage avec une température trop basse, pour le terminer finalement avec une température trop haute ; la qualité du produit fini s'en ressentirait et nous retomberions dans le cas expliqué plus haut, de réfrigération insuffisante ou trop basse. La puissance du compresseur et des évaporateurs doit donc être prévue pour maintenir une température aussi uniforme que possible pendant toute l'opération du cinglage. Il faut compter sur cinq litres de saumure par litre de crème à cingler, et environ 25 frigories par litre de crème. Il ne s'agit pas de frigories/heure, puisque les temps de battage sont de 20 à 25 minutes. La crème glacée ne doit pas être battue dans la turbine jusqu'à sa consistance finale car, passé une certaine température, il n'y a plus de foisonnement ; de plus, le durcissement de la crème impose des efforts anormaux au moteur de turbine et aux racleurs. Lorsque le foisonnement est terminé, la crème doit être versée dans des pots de conservation et entreposée dans un conservateur



ayant une température de $-15/ -17^{\circ}\text{C}$ où elle prend sa consistance finale. La crème glacée à consommer sur place est livrée à cette température. Depuis quelque temps, il est de mode de livrer des glaces dites « portatives ». Pour obtenir de la glace portable capable de maintenir sa consistance pendant plusieurs heures avant la consommation, elle est entreposée dans des conservateurs de durcissement à $-25/ -27^{\circ}\text{C}$. La durée de durcissement est au minimum de 24 heures.

Turbines. — Les turbines de cinglage se composent d'un pot et d'un système de battage et raclage, soit du genre américain, soit du genre viennois. Un moteur et un dispositif d'entraînement font tourner le pot dans un bain de saumure refroidi à la température voulue. Dans les modèles généralement employés, le moteur est situé directement au-dessus du pot et entraîne celui-ci à l'aide d'un manchon d'accouplement. Dans d'autres modèles, et uniquement dans un but d'esthétique, le moteur est logé latéralement et toujours dans un but de présentation ; quelquefois, le moteur d'entraînement se trouve en-dessous de la turbine ; mais, dans ce cas, l'on se heurte à des difficultés pour obtenir l'étanchéité de l'arbre d'entraînement traversant le fond de la cuve à saumure. Le refroidissement par bain de saumure est presque universellement employé, car il permet un contact intime entre le pot de cinglage et le liquide refroidissant. Les évaporateurs sont, soit des évaporateurs à immersion à flotteur basse pression, soit du type à serpentin avec défendeur. Le contrôle peut être thermostatique ou pressostatique. Les turbines peuvent être montées indépendantes ou combinées avec un conservateur. La puissance du moteur d'entraînement doit être fonction de l'effort relativement important qu'il aura à fournir, surtout vers la fin du cinglage où la crème devient de plus en plus dure. Il est bon de munir les moteurs de turbines d'un disjoncteur à réglage précis, coupant le courant du moteur d'entraînement lorsque l'effort demandé dépasse une valeur prédéterminée, évitant ainsi les efforts anormaux et prévenant le glacier que le produit est terminé. Après chaque cinglage, il faut marquer un temps d'arrêt suffisamment long pour permettre au compresseur de rabaisser la température de la saumure à la limite prévue par le constructeur. Les constructeurs indiquent toujours la quantité maximum de crème que l'on peut faire avec une turbine d'un type donné accouplée avec un compresseur de puissance définie, cette quantité étant à ne pas dépasser.



Conservateurs à crème glacée. — A sa sortie de la turbine, la crème glacée ne doit pas avoir atteint son point de durcissement final, elle doit être versée dans des pots et placée dans des conservateurs à $-15/ -17^{\circ}\text{C}$ où elle prendra sa consistance finale et sera conservée en attendant qu'elle soit consommée.

Dans les grandes installations de glacier, les conservateurs sont construits en maçonnerie avec une cuve de saumure intérieure et des évaporateurs type serpentins à détenteurs ou des évaporateurs à immersion à flotteur basse pression. Généralement, les pâtisseries se servent de petits conservateurs mobiles montés sur roulettes qu'ils peuvent déplacer à volonté. Les conservateurs mobiles se présentent sous la forme d'un caisson en tôle peinte ou émaillée, avec un dessus généralement en métal inoxydable et portent un nombre de trous ou manches variables pour y entreposer les pots contenant la crème glacée ; chaque trou est obturé par un tampon isolé, assez souvent en bakélite ou produit similaire. Un conservateur se désigne par le nombre de trous qu'il comporte. Sans que ceci soit une règle absolue, les manches sont en principe prévues pour recevoir un pot de conservation de 18 litres ou deux demi-pots de 9 litres. Le groupe compresseur est compris dans ce même caisson, soit latéralement pour les modèles standard U. S. A., soit en dessous pour les modèles plus petits. Pour assurer la mobilité et diminuer le poids, la saumure est remplacée par le système à détente directe ; l'évaporateur est constitué par un serpentin en tube de cuivre directement soudé sur les parois de la cuve. Le système de détente est généralement du type à flotteur haute pression, quoique l'on rencontre des conservateurs à détenteurs. Le contrôle est presque toujours assuré par thermostat : dans ce cas, l'on emploie un thermostat à départ constant (constant cut in), de façon à assurer une température de départ constante pour éviter un trop grand ramollissement de la crème ; le point d'arrêt reste à la disposition de l'utilisateur qui le règle à son gré à l'aide du bouton de réglage du thermostat. La quasi-totalité des conservateurs à crème glacée emploient le chlorure de méthyle comme fluide frigorigène, car, aux températures d'évaporation usitées, il a encore une pression suffisante pour un bon rendement du compresseur, alors que l'emploi de l'anhydride sulfureux conduit à des pressions d'aspiration beaucoup trop basses pour un bon rendement du compresseur. Vu le grand écart des températures internes et externes, un conservateur doit être pourvu d'une isolation soignée pour éviter de trop grandes pertes



de froid, surtout que ces appareils travaillent trop souvent dans des conditions très dures, fréquemment sur le trottoir, en plein soleil ! Au point de vue service, ces appareils se traitent, températures et pressions à part, comme tous les appareils fonctionnant suivant le cycle flotteur haute pression ou à détenteurs. On rencontre parfois des ennuis si de l'huile se trouve entraînée en trop grande quantité à l'évaporateur, vu la très basse température qui y règne et le faible diamètre du tube, généralement 3/8, l'huile s'y épaissit et forme des bouchons dont il est assez malaisé de se débarrasser.

Il existe également des conservateurs à deux températures, permettant de présenter dans les manches à $-15/17^{\circ}\text{C}$ la glace à consommer sur place et de durcir des glaces portatives dans des compartiments à $-25/ -27^{\circ}\text{C}$. Dans le caisson unique du conservateur se trouvent deux cuves réfrigérées chacune par un évaporateur indépendant desservi par un compresseur unique. Le contrôle est assuré par un pressostat et un thermostat et une vanne solénoïde ou par tout autre moyen déjà décrit assurant l'indépendance des deux évaporateurs.

Lorsque le compartiment à la température la plus élevée est arrivé à sa limite de température, le thermostat qui en assure le contrôle coupe le courant de la vanne solénoïde alimentant cet évaporateur et le compresseur continue à travailler sur l'évaporateur à basse température seul ; lorsque celui-ci atteint sa température de réglage, le pressostat arrête le compresseur. Si l'évaporateur à basse température se réchauffe le premier, l'élévation de pression qui en résulte actionne le pressostat et provoque la mise en marche du compresseur. Dans le cas où le compartiment à la température la plus élevée se réchauffe le premier, le thermostat qui en assure le contrôle ouvre la vanne solénoïde permettant au fluide frigorigène d'alimenter l'évaporateur, l'élévation de pression provoque alors l'action du pressostat comme dans le cas précédent. Il faut naturellement prévoir un clapet antiretour sur le tube d'aspiration de l'évaporateur le plus froid pour éviter que les vapeurs quittant l'évaporateur à la température la plus élevée, ne viennent se condenser dans l'évaporateur le plus froid. Ces appareils sont d'un réglage assez délicat, souvent dû à l'inégalité de charge calorique des deux cuves, l'une étant souvent plus employée que l'autre et plus chargée en crème glacée. De plus, du côté basse température, l'introduction d'un check valve d'une part et les basses températures d'évaporation conduisent à des pressions d'aspiration très



basses où le compresseur met peu d'entrain à accomplir son travail; les ennuis d'huile à l'évaporateur sont encore plus marqués et les pompages d'huile plus fréquents. Le contrôle du liquide est, en principe, assuré par détendeur thermostatique.

Certains constructeurs présentent également des conservateurs à deux températures munis en plus d'une turbine de cinglage de petit volume. Malgré leur complication apparente, ces appareils ne sont que la juxtaposition des appareils déjà décrits assemblés dans un seul caisson et réfrigérés par un compresseur unique. L'adjonction de la turbine conduit à employer de la saumure comme intermédiaire de réfrigération.

Glace carbonique. — Il arrive fréquemment que, lorsqu'un conservateur est momentanément en panne, en attendant la réparation, le glacier, pour ne pas perdre la crème entreposée, assure la réfrigération provisoire en mettant de la glace carbonique dans les manches. Bien que ce produit ne rentre pas dans le cadre de la réfrigération automatique, nous croyons cependant utile de dire quelques mots à son sujet.

La glace carbonique est le produit de la solidification de l'anhydride carbonique par voie de compression et de réfrigération. La glace carbonique est agglomérée par pression et se présente sous forme de pain d'un blanc éclatant. Elle porte le nom de « Dry ice » aux Etats-Unis, de « Drycold » en Angleterre et de « Carbogel » en France.

A la pression atmosphérique, la glace sèche à une température de -79°C . Elle ne fond pas, mais se sublime, c'est-à-dire passe directement de l'état solide à l'état gazeux, sans passer par l'état liquide intermédiaire. A poids égal, la glace carbonique libère deux fois plus de frigories que la glace d'eau, sa densité étant voisine de 1,5; à volume égal, elle dégage trois fois plus de frigories que la glace ordinaire.



CHAPITRE XIV

CHAMBRES FROIDES

Isolation. — Qu'il s'agisse de réfrigérer une chambre froide en maçonnerie ou un meuble, le premier problème que nous aurons à envisager sera la conservation du froid à l'intérieur de l'espace refroidi, c'est-à-dire d'empêcher la chaleur extérieure de pénétrer dans la chambre ou le meuble. Il nous faudra pour cela isoler les parois avec un matériau ayant un très faible coefficient de transmission de chaleur. Le coefficient de transmission est défini comme la quantité de chaleur en calories qui traverse un corps, en une heure, pour une différence de température donnée entre ses deux faces. La quantité de chaleur traversant le corps sera proportionnelle à la surface exposée, à la différence de température entre les deux faces, et elle sera inversement proportionnelle à l'épaisseur employée et fonction de la nature de ce corps.

Un bon isolant doit réunir certaines qualités principales :

1° Etre très mauvais conducteur de la chaleur, c'est-à-dire avoir un coefficient de transmission aussi faible que possible.

2° Etre assez léger, pour ne pas trop alourdir les constructions, particulièrement pour l'isolation des meubles.

3° Etre exempt d'odeurs pouvant se transmettre aux marchandises entreposées.

4° Etre imputrescible et exempt de fermentation.

5° Ne pas être hygroscopique, car l'absorption d'eau détruirait les qualités isolantes.

6° Ne pas offrir aux microbes un bon terrain de culture, ni attirer les parasites, rats, souris, etc.

7° Etre incombustible, ou tout au moins ne pas propager facilement la combustion.

8° Ne pas se tasser, comme les isolants en poudre, ce qui permet ensuite des espaces vides, non isolés.



9° Etre stable, ne pas perdre ses qualités isolantes avec le temps.

10° Etre d'un prix de revient abordable.

Aucun isolant ne remplit toutes ces conditions. D'une façon générale, en réfrigération automatique l'isolant employé est le liège expansé pur en plaques de 6 cm. ou 12 cm. d'épaisseur.

Calculs. — Dans le calcul d'isolation des chambres froides, le coefficient de transmission de chaleur est la quantité de chaleur qui traverse 1 mètre carré de surface, en une heure, pour un degré centigrade de différence de température entre les deux faces. En nous basant sur les calculs et sur l'expérience, ces coefficients sont :

0 calorie	375	pour 10 cm.	en une seule couche.
0	— 350	— 12 cm.	en deux couches.
0	— 325	— 16 cm.	en deux couches.
0	— 300	— 18 cm.	en trois couches.
0	— 300	— 20 cm.	en deux couches.

L'isolant étant du liège expansé en plaques.

Les matériaux existants (murs en briques, cloisons, etc.) viennent ajouter leur valeur isolante à celle du liège, mais, dans la pratique des petites chambres froides, il est de règle de n'en pas tenir compte, et de se baser seulement sur l'isolation obtenue par le liège en plaques.

Le plafond des chambres froides est généralement garni, par-dessus l'isolation, avec du ciment lissé ; les parois sont, soit en ciment lissé, soit en carreaux de faïence plats ou type métro ; le sol en carreaux de grès cérame sur une couche de béton au-dessus de l'isolation. Ne pas oublier de prévoir une pente et une évacuation d'eau munie d'une bonde syphoïde. Les chambres froides de boucherie sont, en principe, isolées sous 12 cm. de liège expansé pur, l'isolation étant faite en deux couches. Les plaques sont montées imbriquées et les joints et le collage des plaques sont assurés par un mastic de brai chaud mélangé à de la poudre de liège.

La quantité de chaleur pénétrant par les parois pendant 24 heures est donnée par la formule suivante :

$$S \times K \times (T - t) \times 24$$

S = étant la surface totale extérieure du meuble ou de la chambre, plafond et sol compris ;



K = le coefficient de transmission, selon le type et l'épaisseur de l'isolation ;

T = la température extérieure maximum ;

t = la température minimum intérieure.

Dans le cas d'un meuble, la surface extérieure est calculée d'après les dimensions extérieures, pieds non compris. Pour les chambres froides, le calcul de la surface se fera en prenant les dimensions au nu d'application du liège, c'est-à-dire en négligeant les murs d'appuis existants, plafond et sol compris.

Les calories pénétrant par les parois ne sont pas les seules sources de rentrée de chaleur à envisager. Il faut également tenir compte des calories apportées par la marchandise à réfrigérer et de la quantité de chaleur introduite lors des ouvertures de portes, autrement dit par le service.

Les calories apportées par la marchandise à réfrigérer sont fonction de la quantité de marchandise introduite, de la nature de la marchandise (chaleur spécifique) et de la température de cette marchandise.

La charge normale d'une chambre froide est d'environ 150 à 200 kilos par mètre cube utile, dans le service boucherie. Dans les restaurants, alimentation générale, commerce de beurre et œufs, cette charge est généralement de 100 kilos par mètre cube utile.

Sauf cas spéciaux, on admet que dans les commerces de détail la charge totale de la chambre froide est renouvelée deux fois par semaine.

Le poids moyen des entrées journalières de marchandises se déduira la formule suivante :

$$M^3 \times 150 \times \frac{2}{7}$$

M^3 étant le cubage utile de la chambre froide considérée.

D'autres frigoristes déterminent la charge journalière comme étant le quart de la charge totale.

La quantité de chaleur introduite par la marchandise se détermine par la formule suivante :

$$Kg \times C \times (T - t)$$

Kg, étant le poids quotidien défini ci-dessus ;

C, la chaleur spécifique de la marchandise ;

T, la température d'introduction ;

t, la température de conservation.

La quantité de chaleur apportée par le service des portes sera



considérée comme égale à 10 % du total de la chaleur introduite par les parois plus celle apportée par la marchandise. Dans le cas où les ouvertures sont fréquentes on prendra 15 %. Dans le service restaurant, où les portillons sont nombreux et les ouvertures très fréquentes, ce chiffre pourra être porté à 20 %.

Dans tous les calculs indiqués ci-dessus, il est tenu compte du cubage utile, c'est-à-dire le cubage brut diminué du volume occupé par les évaporateurs et les égouttoirs.

Dans le cas où les chambres froides sont munies de portillons vitrés, il y a lieu de calculer à part les calories pénétrant par ces portillons. Pour les calculs de déperdition des vitrines réfrigérées ou comptoirs vitrés l'on se servira des coefficients suivants :

- 1,8 pour les glaces triples ;
- 2,7 pour les glaces doubles ;
- 5,4 pour les glaces simples.

Ces coefficients indiquent la quantité de chaleur pénétrant en une heure, pour un mètre carré de surface exposée et un degré de différence de température. Les portillons ou vitrines à simple glace sont à déconseiller, d'abord à cause de leur perte calorique trop élevée et, ensuite, à cause de la condensation qui inévitablement se déposera sur la vitrine refroidie, rendant ainsi la vitre opaque.

Pour cette même raison de condensation, on emploiera de préférence des portillons ou des vitrines isolés sous triple glace.

Pour résumer les calculs d'une chambre froide, nous allons chiffrer un exemple de chambre de boucherie ; nous admettrons une température extérieure de $+25^{\circ}\text{C}$, une température minimum intérieure de $+2^{\circ}\text{C}$. Nous supposerons la chambre isolée sous 12 cm. de liège expansé en deux couches, c'est-à-dire avec un coefficient de transmission de 0 cal. 35/H/m²/°C.

Les dimensions extérieures de la chambre étant, par exemple :

Façade : 4 mètres.

Profondeur : 2 mètres.

Hauteur : 2 m. 60.

Si nous supposons l'épaisseur des parois égale à 20 c/m (ciment et carrelage compris), les dimensions intérieures seront de :

Façade : 3 m. 60.

Profondeur : 1 m. 60.

Hauteur : 2 m. 20.

La surface totale extérieure sera de 47 m² 200.

Le cubage brut intérieur, de 12 m³ 672.

Si nous admettons que les évaporateurs et système d'égouttoir



occupent $1/5$ du volume de la chambre, le cubage utile net sera de 10 m^3 137.

Si nous prenons la charge journalière égale au $1/4$ de la charge totale standard, cette charge sera de 375 kg. par jour.

En admettant la chaleur spécifique de la viande égale à 0,8, si nous effectuons les calculs indiqués précédemment, nous trouverons :

Calories pénétrant par les parois	9.006
Calories provenant de la charge	6.900
	15.906
Calories introduites par le service	1.590
	17.496

D'autres spécialistes calculent les calories introduites par le service d'une façon différente. Ils estiment que chaque ouverture de porte apporte environ de 0,3 à 0,4 calorie par mètre cube et par degré de différence ; cette méthode permet un calcul plus précis, mais, comme de toute façon l'évaluation du nombre d'ouvertures de portes ne peut être faite que d'une façon très approximative, la méthode simplifiée des 10 % indiquée ci-dessus est suffisante dans la pratique courante.

Cette charge calorique totale devant être absorbée par un compresseur travaillant 14 heures par jour, il nous faudra donc prévoir pour cette chambre un groupe compresseur de 1.250 frigorifiques/heure.

Il est fréquemment demandé à des frigoristes quelle puissance de compresseur il faut pour réfrigérer une chambre froide d'un cubage donné. Nous rappelons, au passage, qu'il n'est pas possible de répondre à cette question ; il est absolument nécessaire d'établir le bilan thermique de la chambre froide considérée.

Ce bilan étant fonction, comme nous venons de le voir, de nombreux facteurs, et même en se plaçant dans des conditions standard de température, de charge et de service, la charge calorique provenant des parois sera fonction de la surface extérieure, celle-ci étant variable pour un même cubage avec la forme géométrique de cette chambre, le rapport surface/volume n'étant pas constant.

A titre tout à fait approximatif, uniquement pour avoir un ordre de grandeur, et non pas pour servir de base à des calculs, on peut estimer qu'il faut environ de 130 à 150 frigorifiques/heure



par mètre cube, dans les conditions standard de charge, de température et de service, la forme de la chambre étant à peu près cubique.

Les conditions standard de charge et température étant celles qui ont été choisies dans l'exemple précédent.

Circulation d'air. — Un point extrêmement important dans l'exécution d'une chambre froide bien conçue est de réaliser à l'intérieur une circulation d'air rationnelle. Le premier but de cette circulation d'air est de réaliser une température uniforme dans toute la chambre ; le second, aussi important que le premier, est de maintenir un état hygrométrique constant. Les systèmes de circulation d'air généralement employés sont :

La circulation par gravité ou convection naturelle ;

La circulation activée ;

La circulation forcée.

Le processus de la convection naturelle est basé sur la différence de poids d'un même volume d'air, selon sa température et sa teneur en vapeur d'eau. L'air de la chambre se réchauffe au contact des denrées à réfrigérer, devenant ainsi plus léger, il a tendance à s'élever ; d'autre part, l'air en contact avec l'élément se refroidit, et, son poids augmentant, il a tendance à s'abaisser si l'on dispose autour de l'évaporateur un système de cheminée ménageant des passages distincts pour l'air chaud et pour l'air froid (fig. 69-70) ; l'on peut canaliser et régler cette circulation d'air. D'autre part, l'air chaud arrivant au contact de l'évaporateur contient un certain pourcentage de vapeur d'eau. Nous savons que, pour une température donnée, l'air ne peut contenir qu'un certain poids de vapeur d'eau, et que cette quantité est une fonction directe de la température. L'air arrivant sur l'évaporateur et se refroidissant au contact de celui-ci va voir son degré hygrométrique augmenter jusqu'au point de saturation (le point de rosée, défini au début de cet ouvrage), l'humidité se condense à la surface de l'évaporateur, mais vu la faible température des ailettes de celui-ci, cette condensation se gèle sous forme de givre ; le givre représente donc la quantité d'eau extraite de la chambre froide. L'air refroidi descend par le canal d'air froid débarrassé d'une quantité de sa vapeur d'eau pour recommencer le cycle de circulation. La quantité de givre produite est fonction de l'humidité de la chambre, de la température de l'évaporateur et de la vitesse de circulation. Lorsque l'on désire un degré hygrométrique assez bas, l'on emploiera un évaporateur ayant une tem-



pérature d'ailette très basse, mais, dans ce cas, il faudra diminuer sa surface si la température à atteindre ne doit pas être trop basse. Inversement si l'on désire une chambre à degré hygrométrique élevé, il faudra travailler avec des températures d'ailettes plus élevées et même au besoin sans formation de givre; il est

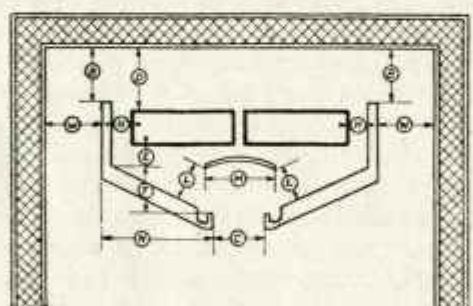
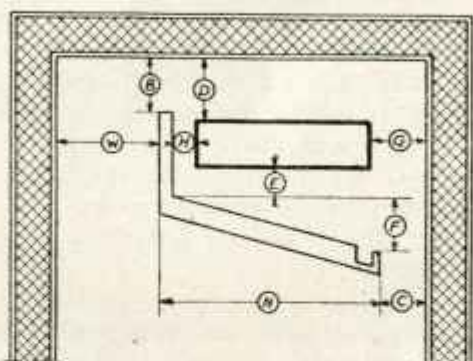


FIG. 69 et 70. — Circulation d'air à égouttoir simple et double. Disposition en L.

Légende commune : C, descente d'air froid. — B, passage d'air chaud. — W, cheminée d'air chaud.

naturel que dans ce cas nous soyons obligés d'augmenter la surface de l'évaporateur pour maintenir la température voulue, puisque nous savons que l'absorption calorifique est fonction de la surface et de la différence de température. En se plaçant uniquement au point de vue température, si l'on diminue la surface, on augmente la différence de température pour obtenir un effet frigorifique égal, et vice versa. Mais, si nous voulons également maintenir un certain degré hygrométrique, il faudra calculer la



surface et la température de l'évaporateur de façon à obtenir un échange calorifique suffisant et à fixer la quantité d'eau nécessaire. Les différences de température entre l'air chaud et l'air froid d'une chambre froide étant très faibles, la différence de densité qui en résulte est également très faible. Il est donc nécessaire, pour que cette circulation s'établisse, qu'elle ne soit contrariée par aucun obstacle. Si les passages d'air sont obstrués ou insuffisants, la circulation ne peut se faire.

Pour une circulation d'air parfaite et un degré hygrométrique convenable, l'évaporateur doit refroidir l'air d'environ 5 à 6° C. c'est-à-dire que l'air entrant dans le passage d'air chaud doit être 5 à 6 degrés plus chaud que celui tombant dans le passage d'air froid. Dans ces conditions, l'évaporateur et le compresseur donnent leur plein rendement.

Lorsque les passages d'air ont été mal calculés et qu'ils sont faibles, la circulation est freinée et les résultats sont les suivants :

L'air reste trop longtemps en contact avec l'évaporateur, il se refroidit plus que les 5 ou 6 degrés prévus et, de ce fait, perd un plus grand pourcentage d'humidité. La température d'aspiration de l'évaporateur étant abaissée, cela entraîne, nous le savons, une baisse de rendement du compresseur.

L'air trop sec reprendra de l'humidité au contact de la marchandise et desséchera beaucoup trop celle-ci. Il y aura excès de givre sur l'évaporateur et difficulté de dégivrage.

Les phénomènes inverses se produiront dans le cas d'une circulation trop libre, et le principal inconvénient sera une humidité trop forte, entraînant une mauvaise conservation de la viande et une présentation poisseuse.

Sans entrer dans les détails du calcul d'une circulation d'air, nous allons donner ci-dessous une formule simple, basée sur la pratique courante, permettant de calculer les passages d'air.

Le passage d'air froid se détermine en partant de la puissance frigorifique horaire de l'évaporateur.

$$\frac{\text{Frigories/heure}}{0,38} = \text{Surface du passage d'air en cm}^2.$$

Comme nous connaissons la longueur de l'évaporateur, en divisant cette surface ainsi obtenue par la longueur en centimètres de l'évaporateur, nous obtiendrons la largeur en centimètres à donner à la descente d'air froid.



Le passage d'air chaud se détermine en partant du passage d'air froid augmenté de 10 % pour tenir compte de l'augmentation de volume de l'air chaud par rapport à l'air froid.

Les passages d'air chaud et d'air froid seront constitués par les égouttoirs et les déflecteurs (fig. 69-70).

L'égouttoir (fig. 71) devra avoir une pente suffisante pour permettre à l'eau de dégivrage de s'écouler librement et éviter la formation de glace dans les chéneaux. L'égouttoir sera obligatoirement isolé, car sa face supérieure est en contact avec l'air froid tombant de l'évaporateur, alors que sa face inférieure

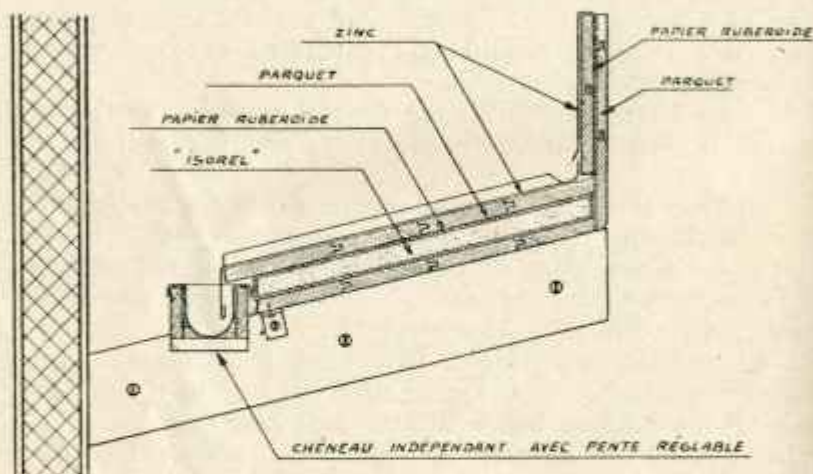


FIG. 71. — Détail de construction d'un égouttoir-défecteur.

est en contact avec l'air chaud montant de la chambre. S'il n'était pas isolé, l'égouttoir serait très froid et l'air chaud et humide qui vient le lécher en dessous condenserait son humidité sur cette face avec tous les ennuis que cela comporte. L'évaporateur doit être centré sur son égouttoir, de façon que celui-ci recueille bien la totalité de l'eau de dégivrage, le déflecteur vertical sera légèrement plus haut (environ 2 cm) que le point haut de l'évaporateur. L'évaporateur sera suffisamment éloigné du déflecteur vertical (minimum 2 cm), de façon à ne pas trop refroidir celui-ci. Les portes et portillons des chambres froides et meubles ne doivent pas former une solution de continuité dans l'isolation. Leur isolation doit être au moins égale à celle des autres parois. Le système de loqueteau ou serrure assurant leur



fermeture doit assurer une pression sur les bourrelets dont sont munies portes et portillons, de façon à permettre une fermeture hermétique ; de préférence, les gâches de ces loqueteaux seront réglables de façon à régler cette pression sur le bourrelet et à pouvoir compenser l'usure. Les fermetures des grandes portes des chambres froides doivent être munies d'un dispositif permettant de les ouvrir de l'intérieur. L'essai d'étanchéité des portes se fera en insérant des bandes de papier entre l'hubriserie et la porte elle-même ; une fois celle-ci fermée, il doit être possible de retirer la bande à frottement dur. La vérification portera sur tout le périmètre de la porte. Une entrée d'air, par suite de manque d'étanchéité des portes ou portillons, provoque un dépôt d'humidité sur les hubriseries et les feuillures des portes, entraînant rapidement la formation de moisissures.

Dans le cas où l'on est appelé à transformer un meuble ou une chambre froide existante, réfrigérée précédemment avec de la glace, il est bon de pratiquer de nombreux sondages dans l'isolation, pour s'assurer de la nature de l'isolant, de son état et de son épaisseur. Il est fréquent de rencontrer de vieilles glacières à glace de boucherie isolées à la poudre de liège ou même à la sciure de bois ; avec le temps, l'isolant s'est tassé, laissant des surfaces non isolées. L'humidité a pénétré dans l'isolation, entraînant des moisissures, etc.

En principe, une transformation n'est à conseiller que sur un meuble ou chambre dont l'état de l'isolation et son épaisseur sont satisfaisants, car il n'est pas possible de réfrigérer un panier à salade !



CHAPITRE XV

MOTEURS ÉLECTRIQUES

Les moteurs électriques en réfrigération automatique. — Le sujet à traiter ici est très vaste ; plusieurs livres seraient insuffisants pour l'épuiser, mais le cadre très restreint de cet ouvrage ne permet pas de longues digressions. Aussi nous supposons que le lecteur possède déjà des connaissances suffisantes en électricité et, dans le cas contraire, nous ne pouvons que lui conseiller la lecture des nombreux ouvrages spécialisés qui ont été publiés sur ce sujet. Nous ne ferons aucune théorie sur l'électricité, mais nous nous bornerons à donner quelques renseignements sur les moteurs spéciaux employés en réfrigération. Avant d'examiner le cas de chaque catégorie de moteur, nous allons passer en revue quelques considérations générales valables pour tous les types de moteurs.

En réfrigération automatique, la puissance des moteurs employés va de 1/6 de CV à 3 CV, rarement au-dessus (conditionnement d'air excepté). Les moteurs sont, soit à courant continu, soit à courant alternatif, monophasé, triphasé ou diphasé.

Puissance absorbée. — La première notion à acquérir est celle de la puissance absorbée par le moteur : c'est la puissance prise au secteur, sans considération de la puissance mécanique disponible sur l'arbre du moteur. La puissance absorbée est celle que paye l'usager à sa compagnie d'électricité ; elle s'exprime en watts ou plus souvent en kilowatts. Dans un moteur à courant continu, cette puissance est le produit des volts par les ampères multiplié par le coefficient de rendement propre à chaque moteur.

$$P \text{ en watts} = E \text{ en volts} \times I \text{ en ampères} \times R \text{ en } \%$$



En alternatif monophasé, cette formule devient :

$$P = E \times I \times \cos \phi \times R.$$

En courant triphasé :

$$P = E \times I \times 1,73 \times \cos \phi \times R.$$

Et en courant diphasé :

$$P = E \times I \times 1,41 \times \cos \phi \times R.$$

Le cosinus ϕ est la valeur du déphasage entre l'intensité et la tension due à l'impédance de la self induction du moteur. Cette valeur est parfois indiquée par le constructeur sur la plaque du moteur. Dans la plupart des cas, elle est omise ; on pourra, sans grande erreur, prendre cette valeur comme étant égale à 0,75 ou 0,8, pour les types de moteurs employés en réfrigération.

La puissance utile recueillie sur l'arbre sera inférieure à la puissance absorbée, car aucun moteur n'est parfait et une partie du courant est dépensée en pure perte pour vaincre des résistances diverses (frottement des paliers, résistance de l'air, etc.). Il y a également des pertes d'origine électrique, échauffement des conducteurs par effet Joule, courants de Foucault dans les masses induites, déphasage/intensité/tension, etc. Le rapport entre la puissance absorbée et la puissance recueillie s'appelle le rendement du moteur. Ce rendement est variable avec le type de moteur et le constructeur ; dans les types de moteurs qui nous intéressent, il est voisin de 60 % pour les petits moteurs de 1/6 CV et environ 75 à 80 % pour les moteurs plus gros, de 1/2 et 3/4 de CV ; le rendement s'améliore avec la puissance du moteur, mais dépasse rarement 90 %.

Le couple d'un moteur est l'effort de torsion produit sur l'arbre par la puissance de ce moteur ; il s'exprime en mètre/kilogrammes. A une puissance donnée correspond un couple défini. Le couple de démarrage est généralement plus élevé que le couple de marche normale. En réfrigération, les moteurs ont toujours à fournir leur maximum d'effort au démarrage du compresseur : étant inférieur au couple de démarrage des moteurs monophasés aussi, il faut choisir des moteurs à couples élevés. Le rapport entre le couple normal de marche et le couple de démarrage doit être de 2,5 à 3. Le couple de démarrage des moteurs polyphasés



et continu, on est obligé de monter un moteur légèrement surpuissant pour pouvoir démarrer le compresseur dans tous les cas. A titre d'exemple, tel compresseur se contentera d'un demi-cheval en monophasé ou continu, mais devra être muni de 3/4 de CV en polyphasé. Les puissances de compresseurs sont toujours sous-entendues en courant continu ou monophasé.

L'intensité normale de marche en ampères est généralement indiquée sur la plaque du moteur, mais au démarrage, pour diverses raisons, l'intensité absorbée pendant la durée de celui-ci est beaucoup plus élevée. Pour les moteurs à courant alternatif, le rapport entre la puissance absorbée au démarrage en KVA et la puissance normale en kw indiquée par la plaque du moteur ne doit pas dépasser certaines limites.

Voici les tolérances des secteurs électriques à ce sujet :

Puissance utile du moteur	Rapport P démarrage/P marche
de 0,4 à 0,75 kw	7
0,75 à 1,5 kw	5
1,5 à 5 kw	3,7

L'intensité normale du moteur en alternatif sera lue sur un ampèremètre, le moteur étant en marche normale et à pleine charge ; l'intensité de démarrage sera lue sur un ampèremètre, le rotor étant provisoirement calé pour le temps de la lecture.

La puissance normale absorbée sera lue sur un wattmètre. Le monteur n'ayant généralement pas de wattmètre à sa disposition, la puissance absorbée pourra être lue sur le compteur du client, à condition, toutefois, qu'aucun autre appareil ne soit branché sur le même compteur pendant la vérification. Tous les compteurs électriques sont munis d'une petite fenêtre vitrée, derrière laquelle tourne un disque d'aluminium marqué d'un trait de repère permettant de compter les tours. La puissance absorbée nécessaire pour faire tourner le disque d'un tour est indiquée sur la plaque du compteur, de la façon suivante. Dans certains cas, il est écrit « un tour de disque vaut x watts/heure ; dans d'autres, il y a « constante = x w/h, ou bien encore, plus simplement k = x. Toutes ces indications sont équivalentes. En chronométrant le temps nécessaire pour 10 tours de disque par exemple, on peut facilement déduire la puissance absorbée en kw/h.

Tous les moteurs doivent être protégés par des fusibles proportionnés à l'intensité du moteur. Il n'est pas possible de monter



des fusibles calibrés exactement à l'intensité normale du moteur, car nous avons vu que le moteur prend au démarrage une intensité 4 ou 5 fois supérieure pendant un temps très court, mais cependant suffisant pour amener la fusion des fusibles de protection. Les fusibles devront donc être calibrés pour l'intensité de démarrage et protéger le moteur seulement contre les courts-circuits ou les surintensités vraiment importantes. Un moteur peut très bien être surchargé et prendre une intensité double ou triple de son intensité normale et griller sans que les fusibles sautent, d'où la nécessité d'une protection thermique que nous examinerons plus loin.

Frein de Prony. — La mesure de la puissance utile des moteurs se fait à l'aide de divers dynamomètres d'absorption, dont l'un des plus simples est le frein de Prony (fig. 72) que nous allons décrire,

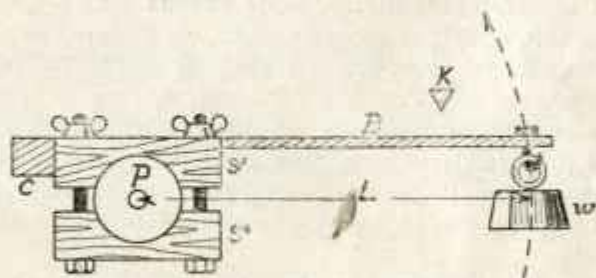


FIG. 72. — Frein de Prony.

car il peut être facilement construit dans n'importe quel atelier et donne des résultats satisfaisants. Le principe du frein de Prony est de freiner le moteur par une résistance déterminée dont on connaît la valeur en kilogramme/mètre.

Sur la poulie P du moteur, on dispose deux sabots de bois S¹ et S² serrés par deux boulons ; l'un de ces deux sabots porte un bras B, dont le poids est équilibré par un contrepoids C ; au bout de bras B et à une longueur déterminée L, se trouve un crochet où l'on peut suspendre différents poids W. Il est bon de prévoir une butée fixe K pour éviter l'entraînement du bras dans le cas de poids insuffisant.

Le moteur étant en marche, l'on suspendra un poids proportionnel à la puissance du moteur, et l'on serrera progressivement les écrous jusqu'au moment où le poids se trouvera exactement équilibré dans sa position horizontale. Connaissant la vitesse de



rotation en tours/minute du moteur, prise avec un compte-tours, la puissance en CV se déduira de la formule suivante :

$$CV = \frac{2 \pi L N P}{60 \times 75}$$

dans laquelle :

L = est la longueur définie plus haut ;

N = nombre de tours/minute ;

P = le poids suspendu.

Tout se passe, en effet, comme si la résistance en kilogramme offerte par le poids P était exercée sur la jante d'une poulie fictive d'un rayon égal à L. Le chemin parcouru par un point de cette poulie théorique pendant un tour est égal à $2 \pi L$, et pendant une minute, à $2 \pi L N$, exprimé en mètres ; le résultat est donc des kilogrammes/mètre. Nous savons qu'un CV est égal à 75 kilogrammètres par seconde, donc, en divisant par 60, pour ramener le chemin parcouru à 1 seconde et par 75, le résultat sera exprimé en CV. Pendant cet essai, si l'on a branché un voltmètre et un ampèremètre, ou mieux un wattmètre, nous aurons la mesure de la puissance absorbée pendant l'essai. La comparaison entre la puissance indiquée par le frein de Prony et celle indiquée par le wattmètre nous donnera le rendement du moteur.

La partie fixe d'un moteur porte le nom d'inducteur dans les moteurs continus et de stator dans les moteurs alternatifs ; la partie tournante d'un moteur continu porte le nom d'induit, alors que dans un moteur alternatif elle porte le nom de rotor. L'espace compris entre stator et rotor ou entre induit ou inducteur doit être aussi faible que possible pour diminuer la dispersion du flux magnétique ; cet espace porte le nom d'entrefer. L'entrefer doit être égal sur toute la périphérie ; une inégalité est l'indice d'usure des paliers. Il doit exister un très léger jeu latéral ; s'il est excessif, le ramener à sa valeur normale par l'addition de rondelles d'épaisseur voulue.

Pour faciliter l'échange des poulies, les moteurs américains ont leurs bouts d'arbres standardisés aux diamètres suivants :

1/6 de CV	bout d'arbre	1/2 pouce.	12 m/m	07
1/3 et 1/4 de CV	—	5/8	—	15 m/m 87
1/2, 3/4, 1 CV	—	3/4	—	19 m/m 05
1 CV 1/2 et 2 CV	—	1	—	25 m/m 42



En France, à de rares exceptions près, ces diamètres sont laissés à la fantaisie de chaque constructeur.

Conducteurs. — L'isolation des conducteurs de section inférieure à 50 mm² doit être au moins égale à 600 mégohms lorsque la tension est inférieure à 250 volts.

Lorsque cette tension est comprise entre 250 et 700 volts, l'isolement sera au minimum de 1.200 mégohms.

La densité du courant devra être prévue pour qu'en aucun cas l'âme métallique du conducteur dépasse 60°C et que son échauffement au-dessus de la température ambiante soit inférieur à 30°C.

Le tableau suivant indique les intensités en ampères admissibles dans le cas d'une ambiance de 30°C.

Diamètres des fusibles et conducteurs.

D. des conducteurs en 1/10 de m/m	Ampères maximum
7/10	6,5
9/10	7,5
12/10	10
16/10	14
20/10	18,5
25/10	25

Les fils fusibles en alliage 60 % plomb, 40 % étain, longueur standard 4 c/m, fondent à une intensité double de l'intensité d'emploi donnée ci-dessous :

2/10 — 0 A 5	12/10 — 7 A 5
4/10 — 1 A	13/10 — 9 A
5/10 — 1 A 5	14/10 — 10 A
6/10 — 2 A	15/10 — 11 A
7/10 — 3 A	16/10 — 12 A
8/10 — 3 A 5	17/10 — 14 A
9/10 — 4 A 5	18/10 — 15 A
10/10 — 5 A 5	19/10 — 17 A
11/10 — 6 A 5	20/10 — 18 A



Les fils d'aluminium quelquefois employés fondent à une intensité double de l'intensité d'emploi donnée ci-dessous :

2/10 — 2 A	7/10 — 18 A
3/10 — 6 A	8/10 — 20 A
4/10 — 10 A	9/10 — 25 A
5/10 — 14 A	10/10 — 32 A
6/10 — 16 A	

Moteurs à courant continu (fig. 73). — Si l'on excepte les moteurs universels, très rarement employés, on peut dire que, en réfrigération automatique, le seul type de moteur à courant

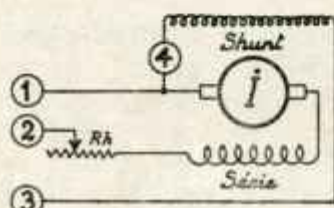


FIG. 73. — Schéma du moteur compound à courant continu.

continu utilisé est le moteur compound. Le moteur compound, comme chacun sait, comporte deux enroulements d'excitation, un enroulement série et un enroulement shunt. Dans les petits moteurs, deux fils seulement sortent du moteur ; le branchement, dans ce cas, n'offre aucune difficulté. Dans les moteurs plus gros, il est fréquent d'avoir trois ou quatre fils

aux bornes du moteur. Dans le cas de moteurs à deux fils, les fils 1 et 2 sont seuls extérieurs, les raccordements du circuit shunt 3 et 4 sont faits intérieurement. Dans le cas de moteurs à trois fils, les fils 1 et 2 du circuit série sont disponibles extérieurement, plus une extrémité 3 du circuit shunt, le fil 4 étant raccordé intérieurement. S'il est fait usage d'un système de démarrage, ce troisième fil est raccordé aux résistances de démarrage. Généralement, le fil correspondant au circuit shunt est plus fin que les deux fils du circuit série. Dans les moteurs d'origine américaine, ces fils sont généralement repérés à l'aide de lettres ; dans ce cas, les fils du circuit série sont marqués A¹ et A² (armature ou induit) et le ou les fils du circuit shunt sont marqués F¹ et F² (field ou champ).

Les fils étant repérés, il n'y a aucune difficulté de branchement. Mais il peut arriver que les trois fils soient d'égale grosseur et que les repères aient disparu ; il faut alors rechercher lequel ou lesquels de ces fils correspondent au circuit shunt. Une méthode très simple consiste à couper le circuit série, en insérant un morceau de carton sous un des balais et à sonder les fils du moteur



avec une lampe. Il est évident que le circuit série étant coupé, seul le circuit shunt permettra l'allumage de la lampe, permettant ainsi le triage des fils et de rétablir les repères.

Les moteurs à courant continu sont bobinés pour un seul voltage ; les tensions les plus employées sont 115 et 230 volts. Sur les moteurs américains, l'indication du courant continu se fait à l'aide des deux lettres D C (direct current) ; leur vitesse de rotation est de 1.750 tours/minute.

Le rapport entre l'intensité de démarrage et l'intensité de marche, ainsi que le couple, varient avec les constructeurs. Mais pour fixer les idées sur ces facteurs, voici les chiffres annoncés par une marque de moteurs très connue, « Century ».

Le courant de démarrage est environ 415 % du courant de marche normale ; ce courant représente 75 % du courant qui serait absorbé dans le cas du rotor immobilisé. Le couple de démarrage est environ 350 % du couple normal de marche. La différence de vitesse entre la marche à vide et la marche à pleine charge n'excède pas 30 %. Le point sur lequel doit se porter l'attention dans les moteurs à courant continu est l'état du collecteur et le portage des balais. Un collecteur doit toujours être propre, exempt de graisse et de traces de carbone ; à chaque visite, toujours nettoyer le collecteur, s'assurer que les lamelles de mica entre les touches du collecteur ne dépassent pas celles-ci, car cette condition entraîne une usure très rapide des balais. Les balais doivent coulisser librement dans leurs guides et porter franchement sur le collecteur, sans excès de pression. Dans le cas d'étincelles excessives aux balais, voir si le calage de ceux-ci n'a pas été altéré, et rechercher ce calage par tâtonnement.

Dans les moteurs continus, les balais portant constamment sur le collecteur, le phénomène de commutation produit toujours de très légères étincelles, génératrices de parasites radio. Il est de toute nécessité de créer un chemin, aussi court que possible, vers la terre, pour y dériver ces courants haute fréquence et éviter leur vagabondage dans les fils du secteur qui agissent comme antenne rayonnante. Le système le plus pratique, mais pas le plus efficace (fig. 74), consiste à disposer entre les balais et

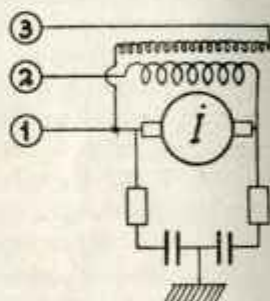


FIG. 74. — Disposition des condensateurs anti-parasites sur un moteur à courant continu.



la terre deux petits condensateurs de capacité suffisante, quelques microfarads, et dont l'isolation est au moins triple de la tension qu'ils doivent bloquer. Ces deux condensateurs forment un obstacle infranchissable aux courants continus, mais laissent passer librement les courants parasites de haute fréquence ; une bonne précaution consiste à insérer, en 1 et 2, deux fusibles protégeant le moteur en cas de claquage d'un des deux condensateurs. Les antiparasites sont souvent une source de courts-circuits, par suite du claquage des condensateurs. Dans le cas de moteurs à la masse, toujours débrancher les antiparasites avant toute vérification.

Moteurs à courant alternatif monophasé. — Le type le plus simple de moteur monophasé est le moteur d'induction. Ce moteur se compose d'un bobinage inducteur disposé sur le stator et le rotor est en cage d'écureuil sans balais, ni bagues ni collecteur. Ce type de moteur donne des résultats satisfaisants au point de vue marche et puissance absorbée; de plus, n'ayant aucun contact mobile, il n'est générateur d'aucun parasite. Malheureusement, il présente un très grave défaut, il ne démarre pas seul. Si on lance le courant dans le circuit inducteur, le moteur grogne, mais ne démarre pas ; si on le lance à la main, à droite ou à gauche, il prendra rapidement sa vitesse de synchronisme. On explique le premier phénomène par le fait qu'un seul enroulement ne peut pas produire un champ tournant nécessaire à l'entraînement du rotor. On explique le second phénomène par le fait que la dissymétrie produite dans le champ variable du rotor engendre un couple moteur. Ceci n'est pas une raison pour délaisser un moteur cependant si intéressant par bien d'autres points ; aussi le moteur d'induction est-il de beaucoup le plus employé en réfrigération, mais muni d'un artifice de démarrage.

Moteurs répulsion-induction. — Le premier moyen consiste à employer un moteur répulsion-induction. Ce type de moteur est à proprement parler la combinaison de deux moteurs en un seul. Le moteur comprend un circuit inducteur bobiné sur le stator ; et le rotor est un rotor bobiné à collecteur. Pendant le démarrage, le moteur se comporte comme un moteur répulsion ordinaire et lorsqu'il a pris sa vitesse de synchronisme, un mécanisme, commandé par la force centrifuge, supprime les balais par relevage, et un collier spécial court-circuite les lames du collecteur, transformant le rotor bobiné en rotor cage d'écureuil, et le moteur



continue de fonctionner comme un moteur d'induction. Dans ce type de moteur, le circuit statorique est prévu généralement en deux enroulements que l'on peut monter en série ou en parallèle, permettant ainsi l'emploi, sur deux tensions différentes, de rapport 1 à 2. On peut inverser le sens de rotation par déplacement du calage des balais dans le sens de rotation désiré, devant des repères sur la flasque du moteur. Les quatre fils sortant du moteur sont disposés en ligne et si on les numérote 1, 2, 3, 4, le branchement parallèle correspondant au bas voltage se fera en réunissant les fils 1 et 2 à un fil de ligne et les fils 3 et 4 à l'autre fil de ligne. Si l'on veut utiliser le moteur sur son haut voltage, on emploiera le branchement série, obtenu en réunissant les fils 1 et 4 chacun à un fil de ligne, les fils 2 et 3 étant réunis ensemble. Dans d'autres cas, les quatre fils sortent en vrac du moteur, mais ont chacun une couleur différente. Vu l'absence d'un code des couleurs, il est impossible de fixer une règle générale pour le branchement de ces moteurs ; il faut se reporter aux indications données par le constructeur. Néanmoins, à titre d'indication, nous donnerons ici le branchement des moteurs Claret (licence Leland) qui sont assez répandus dans la réfrigération. Dans ces moteurs, les fils sortants sont noir, jaune, rouge et vert. Le branchement parallèle, bas voltage, est obtenu en reliant les fils noir et jaune à un fil de ligne et les fils rouge et vert à l'autre fil de ligne ; le branchement série, pour le haut voltage, s'obtient en reliant les fils noir et vert chacun à un fil de la ligne et les fils jaune et rouge seront reliés ensemble. L'intensité de démarrage est de 260 % de l'intensité de pleine charge ; ce courant représente 75 % du courant absorbé dans le cas du rotor immobilisé. Le couple de démarrage est de 250 à 350 % du couple normal de marche. Le décrochage de la marche induction s'obtient pour des surcharges de 110 à 200 % de la pleine charge. La vitesse de ces moteurs est de 1.440 tours/minute environ. Il peut être toléré une variation de tension de 10 % en plus ou en moins de la tension nominale, la variation de fréquence ne doit pas excéder 5 %. Le courant de démarrage et le couple moteur varient comme le carré du voltage, la vitesse varie proportionnellement à la fréquence.

Moteurs à capacité (fig. 75). — Un second artifice de démarrage des moteurs d'induction consiste à transformer le moteur monophasé en moteur diphasé pendant la période de démarrage. Le rotor utilisé est en cage d'écureuil, par conséquent sans col-



lecteur, ni bagues, ni balais ; le stator comporte deux enroulements, l'un est l'enroulement de marche normal et l'autre l'enroulement auxiliaire ou de démarrage. Le courant du secteur parcourt directement l'enroulement de marche ; il est déphasé dans l'enroulement auxiliaire, soit à l'aide d'une self à fer, plus souvent à l'aide d'une capacité. Les deux champs produits sont déphasés dans le temps l'un par rapport à l'autre et nous avons ainsi un champ tournant diphasé permettant le lancement du rotor. Lorsque le moteur a atteint sa vitesse de synchronisme, un interrupteur centrifuge coupe le circuit de démarrage et la capacité, et alors le moteur fonctionne en moteur d'induction.

FIG. 75. — Schéma de moteur d'induction, démarrage par phase auxiliaire et capacité.

Ces moteurs portent le nom de « Split phase motor » aux U. S. A. Leur couple de démarrage est environ 150 % du couple normal et l'intensité de démarrage varie de 300 % à 500 % de l'intensité normale de marche. Les capacités employées sont du type électrolytique à armature d'aluminium oxydé, le diélectrique étant une solution de glycérine et de borate d'ammonium. Ces capacités sont sujettes à se sécher à la longue et à perdre ainsi progressivement une grande partie de leur capacité. De plus, elles ne doivent rester sous tension que quelques secondes, le temps de démarrage ne doit pas dépasser 5 à 6 secondes, et il ne doit pas se produire plus d'une vingtaine de démarrages à l'heure. Dans certains moteurs, l'enroulement de marche est fractionné en deux parties permettant le branchement série ou parallèle, le moteur est ainsi utilisable sous deux tensions de rapport 1 à 2 (fig. 76). Le moteur comporte six bornes permettant l'utilisation sous deux tensions et l'inversion du sens de rotation. En l'absence de toute disposition standard de six bornes, il n'est pas possible de donner une règle générale de branchement des connexions ; se reporter au schéma de branche-

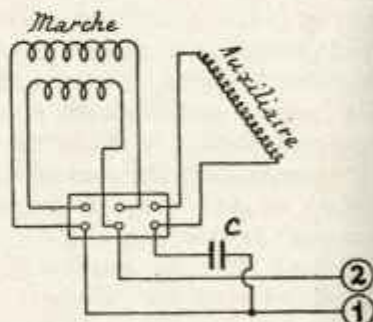


FIG. 76. — Moteur d'induction à démarrage par capacité avec enroulement de marche fractionné.

ment fourni par le constructeur. Les principales sources de dérangements sur ce type de moteurs proviennent de capacités sèches, en court-circuit, ou coupées ou encore à la masse. L'interrupteur centrifuge peut aussi être sujet à se trouver coincé, soit ouvert, soit fermé. La valeur de la capacité est évidemment déterminée par le constructeur et le couple de démarrage est en partie fonction de la valeur de cette capacité dont la valeur exacte n'est pas absolument critique. A titre d'indication, voici une formule américaine permettant de déterminer cette valeur pour du courant à 60 périodes :

$$C = 2.650 \times \frac{I}{V}$$

dans laquelle :

C = capacité en microfarads.

I = l'intensité.

V = le voltage.

Moteurs triphasés et diphasés. — Les moteurs triphasés utilisés en réfrigération automatique sont généralement du type à rotor en court-circuit à cage d'écureuil sans collecteur, ni bague, ni balais. C'est le type du moteur simplifié ; le stator comporte trois enroulements qui peuvent être branchés soit en étoile, soit en triangle. Le branchement étoile (fig. 77) correspond à

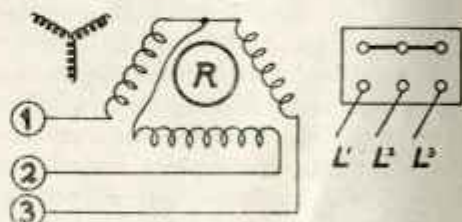


FIG. 77. — Moteur triphasé branché en étoile avec disposition des bornes.

l'utilisation en haut voltage et le branchement triangle (fig. 78), au bas voltage. Le rapport entre les deux tensions est égal à

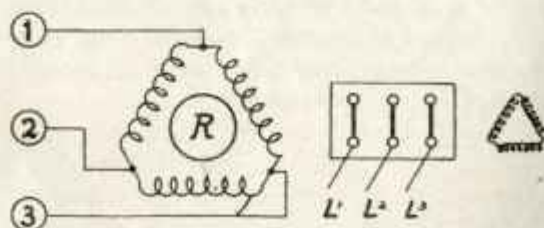


FIG. 78. — Moteur triphasé branché en triangle avec disposition des bornes.

$\sqrt{3} = 1,73$. Les plaquettes à bornes sont suffisamment standardisées pour que l'on puisse donner une règle générale de branchement. Les bornes sont, en principe, disposées en deux groupes de trois, superposés (fig. 79) ; si l'on numérote les bornes du haut, de gauche à droite, 1, 2, 3, et les bornes du bas, de gauche à droite, 4, 5, 6, le branchement étoile s'obtiendra en court-circuitant les trois bornes du haut avec une barrette ou du fil de cuivre, les trois fils de ligne étant raccordés respectivement aux trois bornes du bas, ou vice versa. Le branchement triangle (fig. 78)

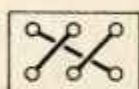


FIG. 79. —
Disposition
standard des
bornes et des
enroulements
statoriques sur
un moteur
triphase.

s'obtiendra en court-circuitant deux par deux les bornes 1-4 et 2-5 et 3-6; les trois fils de lignes étant branchés aux bornes 4, 5, 6 ou 1, 2, 3, l'inversion du sens de rotation s'obtient en croisant deux fils de ligne quelconque.

Le couple de démarrage est environ 150 % du couple normal de marche et l'appel de courant au démarrage 4 à 500 % de l'intensité normale; la surcharge momentanée admissible, 190 %.

Il existe également des moteurs triphasés dits à coupleur, qui comportent un rotor bobiné et, en bout d'arbre, un coupleur centrifuge permettant de supprimer les résistances de démarrage une fois la vitesse atteinte. D'autres systèmes emploient un rotor ayant deux bobinages dont les forces électro-magnétiques sont en opposition pendant la période de démarrage et une fois la vitesse de synchronisme atteinte, le coupleur centrifuge relie ces enroulements de façon à ce que leurs forces électromagnétiques s'ajoutent. Le couple de démarrage est environ 150 % du couple normal, mais l'intensité de démarrage tombe à 200 % de l'intensité normale, ce qui est très avantageux.

Les moteurs diphasés comportent deux enroulements statoriques et un induit en cage d'écureuil ; quelquefois ces deux enroulements sont chacun fractionnés en deux parties, permettant dans chaque phase le branchement série ou parallèle, le moteur pouvant ainsi fonctionner sous deux tensions. Tout ce qui a été dit au point de vue couple et démarrage pour les moteurs triphasés est applicable aux moteurs diphasés.



CHAPITRE XVI

RELAIS DE DÉMARRAGE

Lorsqu'il s'agit d'obtenir la mise en marche et l'arrêt automatique d'un moteur, ce rôle est confié généralement à l'appareil de contrôle, thermostat ou pressostat ; la majorité de ces appareils sont prévus pour couper un fil seulement, ce qui est insuffisant pour assurer le contrôle d'un moteur triphasé ou diphasé, où l'on a respectivement trois et quatre fils à couper. De même, passé une certaine intensité, même en monophasé ou continu, où la coupure d'un seul fil est acceptable, l'on est conduit à l'emploi de relais de démarrage qui sont actionnés par l'appareil de contrôle. Les contacts des appareils de contrôle, thermostats ou pressostats, sont généralement réduits et prévus pour couper de faibles intensités au-delà desquelles il y a amorçage d'arc avec destruction rapide des contacts secs ou métallisation intérieure des ampoules à mercure. Dans le cas d'emploi d'un relais de démarrage, l'appareil de contrôle a à commander uniquement la bobine d'excitation du relais de démarrage, la faible intensité contrôlée permet une bonne conservation des contacts de l'appareil de contrôle.

Relais à courant alternatif. — En principe, la majorité des relais de démarrage employés en courant alternatif sont trifilaires, ce qui permet leur utilisation sur du courant monophasé, triphasé et diphasé. Un relais de démarrage est en tous points semblable à un interrupteur tripolaire ; mais au lieu d'être manœuvré à la main, il est actionné à distance par une bobine d'attraction. Un relais de démarrage se compose d'une armature mobile portant les contacts mobiles reliés aux bornes du moteur. Cette armature, en l'absence d'excitation de la bobine magnétique, retombe par son propre poids, assurant la séparation brusque entre les contacts mobiles et les contacts fixes reliés à la ligne. Lorsque la bobine magnétique est sous tension, l'armature



mobile se trouve violemment attirée, fermant ainsi le circuit sur le moteur.

Les modèles de relais de démarrage pour courant alternatif sont extrêmement nombreux, mais fonctionnent tous sur le même principe.

Dans certains modèles, les contacts sont plongés dans un bain d'huile pour empêcher la formation d'arcs au moment de la coupure du circuit; dans d'autres, les contacts mobiles sont constitués par des rouleaux qui, à chaque contact ou coupure, tournent sur eux-mêmes et présentent ainsi une surface d'usure beaucoup plus grande. De toutes façons, les contacts sont calculés généralement en vue de l'intensité à couper et sont toujours prévus facilement interchangeables.

La bobine d'attraction est aussi prévue interchangeable pour pouvoir permettre l'adaptation du relais à différentes tensions. Les bobines d'attraction ne sont prévues que pour un seul voltage et fréquence. Certains modèles anciens de relais de démarrage étaient montés avec deux bobines d'attraction permettant le montage en série ou en parallèle pour l'utilisation sous deux tensions, mais ces modèles sont aujourd'hui disparus. Le circuit de la bobine d'attraction part d'un fil du secteur, passe par les appareils de contrôle haute et basse pression, et par tout autre appareil de sécurité existant, pour revenir enfin à un autre fil de secteur.

Relais à courant continu. — Généralement, les relais de démarrage à courant alternatif sont de simples interrupteurs automatiques établissant ou coupant le courant aux bornes de moteurs prévus pour démarrer directement sur le courant du secteur avec ou sans artifice de démarrage (coupleurs, etc.), alors que les relais de démarrage à courant continu sont plus particulièrement des démarreurs progressifs. Dans les modèles dits à deux vitesses, il est prévu une vitesse intermédiaire de démarrage, et, une fois la vitesse normale du moteur atteinte, celui-ci est connecté directement à la ligne. Lorsque l'appareil de contrôle, thermostat ou pressostat, ferme le circuit de la bobine d'attraction, celle-ci attire un contact mobile mettant en circuit, directement avec le secteur, l'enroulement shunt du moteur, alors que son enroulement série est connecté au secteur à travers une résistance fixe, proportionnée à la puissance du moteur; une seconde bobine d'attraction se trouve branchée aux bornes des fils allant au moteur; elle est parcourue par un courant insuffisant pour l'exciter, vu la grande chute de tension au moment du démarrage. Le moteur



prenant de la vitesse, la force contre-électromotrice de l'induit contrebalançant la chute de tension précitée, il arrive un moment où cette seconde bobine d'attraction est parcourue par un courant suffisant pour provoquer l'attraction d'une deuxième armature qui court-circuite la résistance de démarrage ; le moteur est alors branché directement sur la ligne et le démarrage s'est produit en deux temps.

D'autres systèmes de démarreurs à courant continu emploient un principe différent : lorsque l'appareil de contrôle ferme le circuit de la bobine d'attraction du démarreur, celle-ci attire une armature porte-contacts mobile ; cette armature peut venir successivement en contact avec quatre contacts fixes et étagés. La course de l'armature mobile est freinée par un « dash pot » réglable, constitué par un piston à garniture de cuir se déplaçant dans un cylindre de cuivre fermé à une extrémité ; une entrée d'air, réglée par une vis-pointeau, permet de contrôler la vitesse de démarrage en variant le freinage imposé à l'armature mobile.

Au cours de sa course ascendante, l'armature mobile rencontre un premier contact fixe qui lance le courant directement dans l'enroulement shunt du moteur et dans l'enroulement série par l'intermédiaire de trois résistances en série ; puis, ensuite, elle rencontre un second contact qui court-circuite une des trois résistances ; puis un troisième contact qui court-circuite une seconde résistance ; puis, finalement, le quatrième contact qui court-circuite la dernière résistance. Le moteur a démarré en quatre temps avec trois résistances en série, puis deux, puis une, et, enfin, connecté direct au secteur. La vitesse d'ascension de l'armature est freinée par la résistance du « dash pot » ; plus la vis d'air sera fermée, plus cette résistance sera grande et plus long sera le temps de démarrage, et inversement.

Le dash pot doit être maintenu très propre et légèrement gras pour assurer l'étanchéité du piston de cuir et exempt de coincement pour permettre le retour instantané de l'armature à sa position de départ.

La plupart des relais de démarrage à courant continu sont, en outre, munis d'un dispositif magnétique de soufflage de l'étincelle de rupture.

Protection thermique. — La plupart des relais de démarrage employés en réfrigération automatique sont munis d'un dispositif de protection thermique du moteur. Ce dispositif peut être soit du type à résistances fixes et déclenchement réglable, soit à



résistances interchangeable, soit encore une combinaison des deux procédés.

Presque tous les systèmes de protection thermique sont prévus pour assurer la coupure du circuit lorsque la surcharge imposée est de 130 à 150 % de l'intensité nominale, les temps de déclenchement sont variables selon les types d'appareils et selon le pourcentage de surcharge ; pour des surcharges de 150 %, les temps de déclenchement varient entre 50 et 150 secondes, selon les appareils.

Nous avons vu que, pendant la période de son démarrage, un moteur pouvait prendre des intensités 4 ou 5 fois supérieures à son intensité normale de marche ; dans ces conditions, la protection du moteur, à l'aide de fusibles, devient illusoire. Si l'on dispose des fusibles calibrés pour l'intensité normale du moteur, ils sauteront à chaque démarrage, et si nous plaçons des fusibles capables de résister à l'intensité de démarrage, le moteur n'est protégé, en fait, que contre les courts-circuits francs ou des surcharges dépassant 500 % de l'intensité nominale, c'est-à-dire des surcharges fort peu rencontrées dans la pratique, hormis le cas de compresseur bloqué. Par contre, il est courant que, par suite de causes diverses, un compresseur devienne de plus en plus dur à entraîner (cas de températures trop élevées au condenseur, par exemple) et impose au moteur électrique des surcharges de 200 ou 300 % de l'intensité normale de marche.

Dans ces conditions, les fusibles étant calibrés pour l'intensité de démarrage ne fondront pas et le moteur continuera de tourner en absorbant une intensité exagérée et l'échauffement qui en résulte amène la désagrégation des isolants et, finalement, le moteur est grillé et hors d'usage sans que les fusibles aient eu à intervenir.

Il est donc nécessaire de prévoir un dispositif permettant de laisser passer librement la forte surcharge du démarrage, qui est de très courte durée, et que ce même dispositif s'oppose à toute surcharge, même très faible, si elle est prolongée. Ceci est le rôle des relais de protection thermique qui sont presque toujours inclus dans les relais de démarrage ; lorsque la protection thermique est confiée à un appareil séparé, appelé disjoncteur, celui-ci a, en plus du dispositif de déclenchement retardé que l'on vient de décrire, un système de déclenchement instantané, généralement du type magnétique, et protégeant le moteur instantanément contre les courts-circuits, supprimant ainsi l'emploi de fusibles et évitant que des fusibles trop souvent sautés soient



remplacés par des fusibles de calibre plus fort par des personnes inexpérimentées.

Tous ces relais de protection thermique et disjoncteur sont munis d'un bouton-poussoir, ou manette, ou tout autre dispositif permettent le réenclenchement manuel, après tout déclenchement intempestif.

Dans les appareils de construction française le système le plus employé, pour obtenir la disjonction retardée, est le système classique du bilame. Le courant alimentant le moteur à protéger passe dans une résistance calibrée, proportionnelle à l'intensité normale absorbée par le moteur ; en contact thermique avec cette résistance (soit contact direct, soit par rayonnement), se trouve une lamelle composée de deux métaux ayant des coefficients de dilatation différents si cette lamelle s'échauffe ; pour une même température, l'un des deux métaux composant la lamelle s'allongeant plus que l'autre, la déformation de l'ensemble vient agir sur un dispositif interrupteur qui coupe le circuit d'excitation de la bobine d'attraction du démarreur, amenant ainsi l'arrêt du moteur.

Tant que l'intensité passant dans la résistance du bilame est celle prévue, l'échauffement de cette résistance est faible et n'agit pas sur le bilame ; si, par suite de circonstances imprévues, le moteur absorbe une intensité supérieure à celle déterminée, la résistance s'échauffe plus ou moins vite, selon le pourcentage de surcharge, et le bilame se déformera, entraînant l'arrêt du moteur dans un temps plus ou moins long.

Le réglage de l'intensité de déclenchement se fait généralement à l'aide de résistances interchangeables que l'on monte sur des supports spéciaux dans les disjoncteurs. La résistance doit être choisie selon l'intensité de marche normale du moteur ; souvent un petit ressort réglable s'oppose partiellement à la déformation du bilame, permettant ainsi de couvrir une gamme restreinte d'intensité avec une seule résistance tarée.

En principe, il est prévu une protection thermique par pôle ; les relais de démarrage étant presque tous tripolaires, il est possible de faire passer par les protections thermiques les deux fils d'un moteur monophasé et les trois fils d'un moteur triphasé. Dans le cas du diphasé il est possible, soit de couper uniquement un fil par phase, ou soit deux fils sur une phase et un seul sur l'autre.

Dans les appareils d'importation américaine, le système de disjonction retardé est légèrement différent, quoique équivalent



en principe. Il se compose d'une petite roue à rochet, soudée sur un axe à l'aide d'une soudure au bismuth à très basse température ; autour de cette roue à rochet est maintenue, par un cliquet, une petite pièce porte-contact mobile qui vient en contact avec un plot fixe formant interrupteur ; le courant d'excitation de la bobine du démarreur passe par cet interrupteur. D'autre part, une résistance, sous forme de bobine, entoure l'axe de la roue à rochet ; cette résistance calibrée est parcourue par le courant du moteur à protéger. En cas de surcharge du moteur, la résistance s'échauffe et transmet sa chaleur à l'axe de la roue à rochet. Sous l'action de cette chaleur, la soudure à basse température fond, libérant la roue à rochet qui, alors, ne retient plus le contact mobile ; le courant d'excitation du démarreur est coupé et le moteur s'arrête. Aussitôt l'arrêt du moteur, la résistance se refroidit et la soudure se solidifie à nouveau et l'appareil est prêt pour le réenclenchement. Mais si la cause qui a produit l'échauffement subsiste, l'appareil déclenchera à nouveau, dans un temps plus ou moins long ; il y aura lieu de rechercher les causes de déclenchement trop fréquent. La cause peut être une surcharge continue du moteur, provenant de la modification des conditions de travail du compresseur ; il y a toujours lieu de vérifier, également, si les résistances calibrées employées dans le démarreur sont bien prévues pour le moteur usité.



CHAPITRE XVII

MACHINES D'ABSORPTION

Cycle à absorption. — Les machines frigorifiques à absorption sont basées sur la propriété que possède l'eau d'absorber de grands volumes de gaz ammoniac à basse température et de restituer cet ammoniac sous l'action de la chaleur. L'ammoniac n'est pas le seul gaz employé dans les machines d'absorption ; mais c'est, de loin, le plus usité, vu sa grande solubilité dans l'eau. L'eau dissout environ 900 fois son volume de gaz ammoniac à 0° C et restitue la totalité à 100° C.

Les machines d'absorption peuvent être à cycle continu ou cycle intermittent.

Cycle continu. — Nous allons d'abord décrire le fonctionnement d'une machine d'absorption à cycle continu, qui nous permettra de mieux comprendre les simplifications qui ont été apportées dans l'application du cycle à absorption aux armoires ménagères.

Une machine frigorifique fonctionnant selon le cycle à absorption (fig. 80) (1) se compose d'une chaudière ou bouilleur B dans lequel se trouve une certaine quantité de solution riche, c'est-à-dire d'eau chargée de gaz ammoniac. Le bouilleur peut être réchauffé par un moyen quelconque : résistance électrique, flamme du gaz, serpentín de vapeur, etc. Sous l'action de la chaleur, l'ammoniac contenu dans la solution riche se dégage sous haute pression (correspondant à sa température de vapeur saturée) et traverse un séparateur S où la vapeur d'eau, entraînée, se trouve condensée et retourne au bouilleur ; le gaz ammoniac à sa sortie du séparateur, pénètre dans le condenseur C où il est

(1) Dans le schéma simplifié de la figure 80, on a omis volontairement les échangeurs de température dans un but de simplification.



liquéfié par les moyens habituels. L'ammoniac liquide quitte le condenseur pour se rendre dans le réservoir de liquide R et, de là, passe par le détendeur D pour aller se vaporiser dans l'évaporateur E. A la sortie de l'évaporateur, le gaz ammoniac se rend dans l'absorbeur A, où il rencontre la solution appauvrie et refroidie venant de la chaudière ; l'ammoniac se dissout dans l'eau pour reformer une solution riche qui est renvoyée au bouilleur pour recommencer le cycle décrit. Une pompe P assure la circulation de la solution. Cette pompe aspire la solution en cours d'enrichissement dans l'absorbeur et l'envoie au bouilleur

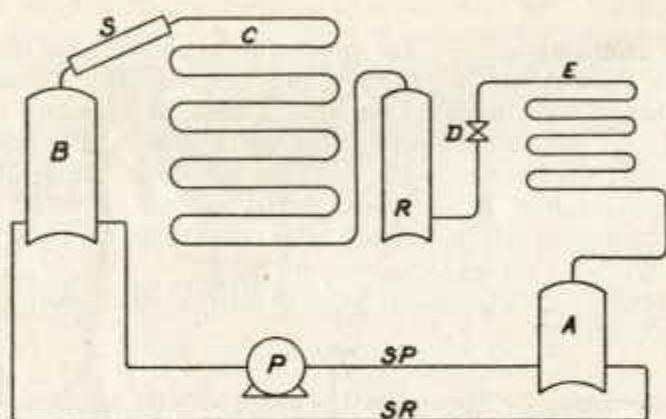


FIG. 80. — Schéma simplifié du cycle frigorifique à absorption; cycle continu.

B, chaudière ou bouilleur. — S, séparateur. — C, condenseur. — R, réservoir de liquide. — D, détendeur. — E, évaporateur. — A, absorbeur. — P, pompe. — SP, circulation de solution pauvre. — SR, circulation de solution riche.

et, d'autre part, la solution appauvrie dans le bouilleur retourne s'enrichir à l'absorbeur. L'effet de compression au condenseur est obtenu par l'élévation de température au bouilleur, et l'effet d'aspiration à l'évaporateur est obtenu par l'absorbeur qui, absorbant de grandes quantités de gaz ammoniac par dissolution dans l'eau, produit un vide relatif. Le cycle reste donc parfaitement semblable à celui d'une machine à compression, le rôle du compresseur étant tenu par un bouilleur et un absorbeur.

Des machines fonctionnant selon le cycle décrit ci-dessus sont donc à cycle continu, car, tant que dure la chauffe, il y a production de froid.



Cycle simplifié. — En réfrigération automatique et particulièrement pour l'emploi sur les armoires ménagères, on a cherché à simplifier le cycle de marche et surtout à supprimer la pompe et son moteur pour obtenir un appareil sans aucune partie mécanique en mouvement. On a adopté le cycle intermittent. Dans ce cycle, il n'y a pas de production de froid pendant la période de chauffe. On est donc obligé de prévoir des périodes de chauffe suivies de périodes de réfrigération, d'où le nom de cycle intermittent. Avant d'aborder la description d'une armoire à cycle intermittent, nous allons schématiser ce cycle à l'aide d'un appareil simplifié.

Supposons que nous disposions de deux bouteilles, 1 et 2 (fig. 81), reliées ensemble à l'aide d'un tube 3, la bouteille 1 étant partiellement remplie d'eau ayant une certaine quantité de gaz ammoniac (NH_3) en dissolution. Si nous chauffons la bouteille 1 et que nous refroidissons la bouteille 2 dans un courant d'eau, par exemple, le NH_3 va se dégager de la solution riche contenue dans la bouteille 1 et va aller se condenser dans la bouteille 2 qui, étant refroidie, agit comme un condenseur. Quand tout le NH_3 est évaporé de la solution, on arrête la chauffe et tout le NH_3 est à l'état liquide dans le condenseur 2. Si, maintenant, nous inversons les opérations, et que nous refroidissons la bouteille 1 par un courant d'eau, l'eau contenue dans cette bouteille va demander à absorber le NH_3 qu'elle avait libéré sous l'action de la chaleur. Il s'ensuit que le NH_3 liquide contenu dans la bouteille 2 va s'évaporer avec production de frigories pour venir se dissoudre dans la solution pauvre de la bouteille 1 ; la bouteille 2 est devenue un évaporateur. Une fois que tout le NH_3 contenu dans l'évaporateur est vaporisé, l'appareil est prêt à recommencer un cycle de chauffe et cela, indéfiniment, les périodes de chauffe succédant aux périodes d'évaporation, réalisant ainsi le cycle intermittent dont nous avons parlé.

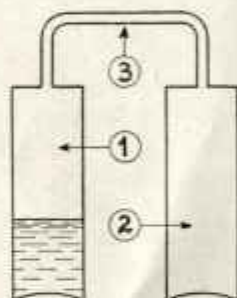


FIG. 81. — Machine à absorption rudimentaire, cycle intermittent.

Cycle intermittent. — Pour l'établissement d'une glacière destinée à être vendue bon marché, il ne peut évidemment pas être question de système à compresseur, qui ne souffre pas la médiocrité, mais uniquement du système à absorption, malgré les



inconvéniens qu'il comporte. Dans un but de pousser la simplification à l'extrême, on abandonne le cycle continu au profit du cycle intermittent, beaucoup plus rudimentaire, donc de construction moins onéreuse, mais présentant le défaut de ne pas réaliser une température constante dans la glacière. En effet, pendant la période de chauffe, il se produit une perte de froid notable. La période de chauffe est généralement d'environ 4 heures sur 24. Il est fait emploi d'une résistance de 1.000 watts environ. Il reste en présence le système à absorption sèche et à absorption humide. Le système à absorption humide, de beaucoup le plus employé, utilise l'eau comme absorbant, mais a l'inconvénient d'exiger des séparateurs de vapeur d'eau ou sècheurs et des canalisations de retour d'eau condensée. Le système à absorption sèche utilise comme absorbant le chlorure de calcium anhydre (CaCl_2). Le rendement est, paraît-il, supérieur à l'absorption humide ; mais, de toutes façons, le rendement de ces appareils, même les mieux conçus, ne dépasse pas 40 %, c'est-à-dire que, sur 1 kilowatt dépensé, 400 watts seulement sont transformés en frigories, 600 watts étant dépensés en pure perte.

Système à absorption humide. — L'absorbant est de l'eau, le fluide réfrigérant est de l'ammoniac, il fonctionne à une température ambiante de 25°C , soit environ 40°C dans le condenseur dans le cas de refroidissement par l'air, par circulation naturelle. Par ailleurs, il n'est guère possible de dépasser une température de 100 à 120°C en fin de la phase de chauffe, en raison du risque d'ébullition de l'eau et du danger de décomposition du NH_3 . Dans ces conditions, le coefficient de dégagement, c'est-à-dire le rapport entre la quantité de NH_3 contenue dans l'eau à basse température et la quantité de NH_3 contenue dans l'eau en fin de chauffe, est théoriquement de 4 à 3. Ce rapport détermine la quantité de NH_3 libérée, liquéfiée, puis vaporisée à chaque cycle, donc la puissance frigorifique de l'appareil.

On est appelé à renouveler le cycle assez fréquemment ou alors à travailler sur une masse d'absorbant assez grande, donc avec un grand générateur et une consommation électrique importante.

Système à absorption sèche (1). — Des corps autres que l'eau sont susceptibles d'être employés comme absorbant, le CaCl_2 en particulier.

¹ Dans ce cas, on emploie plus généralement le terme « adsorption ».



Voici, d'une façon plus détaillée, le fonctionnement de ce système (voir fig. 82). L'absorbant, du CaCl_2 , est contenu dans un générateur en forme de cylindre, chauffé par une résistance intérieure et muni d'ailettes de radiation pour accélérer le refroidissement une fois la période de chauffe terminée. L'absorbant est contenu sous forme de galettes dans des moules en tôle perforée et empilées dans le générateur pour éviter qu'il ne s'agglomère et forme bloc. Pendant le cycle de chauffe, le NH_3 est libéré du CaCl_2 , traverse le récepteur et se répand dans le condenseur où il se liquéfie. Quand le dégagement du NH_3 atteint une limite prédéterminée expérimentalement, un interrupteur thermostatique ou de préférence horaire coupe le courant de chauffe. L'absorbant dans le générateur se refroidit (utilité des ailettes sur celui-ci). Le CaCl_2 , se refroidissant, demande à réabsorber le NH_3 qu'il avait libéré sous l'action de la chaleur, créant ainsi un vide dans le récepteur. Le récepteur étant relié avec le condenseur, le NH_3 , liquéfié dans celui-ci, fait retour à l'état liquide dans l'évaporateur où il s'évapore lentement en produisant du froid, sous l'effet de l'appel continu de l'absorbant.

Les caractéristiques de l'appareil décrit succinctement ci-dessus sont prévues pour un cycle journalier de chauffe de 4 heures environ, les 20 heures restant étant consacrées à la réfrigération. On peut tabler sur une puissance frigorifique de 1.000 à 1.200

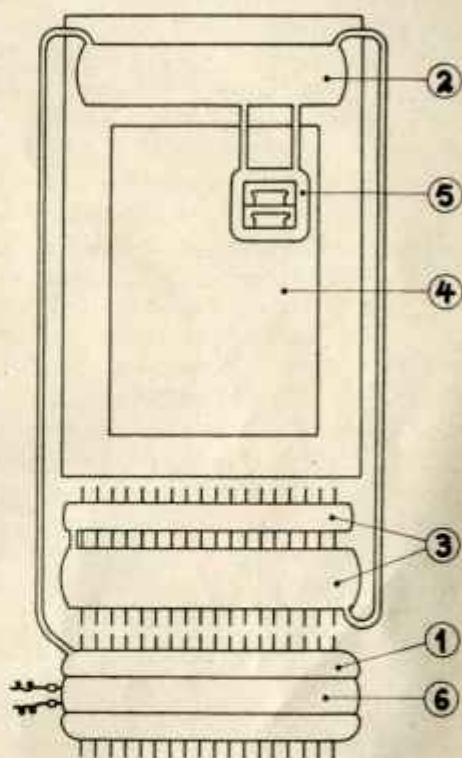


FIG. 82. — Armoire ménagère fonctionnant selon le cycle d'absorption à cycle intermittent.

1, bouilleur. — 2, receveur. — 3, condenseur. — 4, compartiment réfrigéré. — 5, évaporateur. — 6, résistances électriques de chauffage.

frigories par 24 heures. Comme point de comparaison, ceci est l'équivalent d'une glacière à glace consommant 12 à 15 kilos de glace par 24 heures, ou d'un compresseur de 120 frigories-heure (1/6 CV) tournant 10 heures par jour environ. L'absorbant est à peu près saturé à froid avec 600 gr. de NH_3 par kilo de CaCl_2 et en fin de cycle de chauffe, ledit CaCl_2 retient encore 200 gr. de NH_3 par kilogramme.

Ce genre d'appareil est susceptible de donner d'excellents résultats et a été répandu à de nombreux exemplaires, particulièrement en Allemagne.

Armoire Electro-Lux. — L'armoire *Electro-Lux* (fig. 83) marche selon le cycle continu ; il a été fait usage d'un artifice spécial

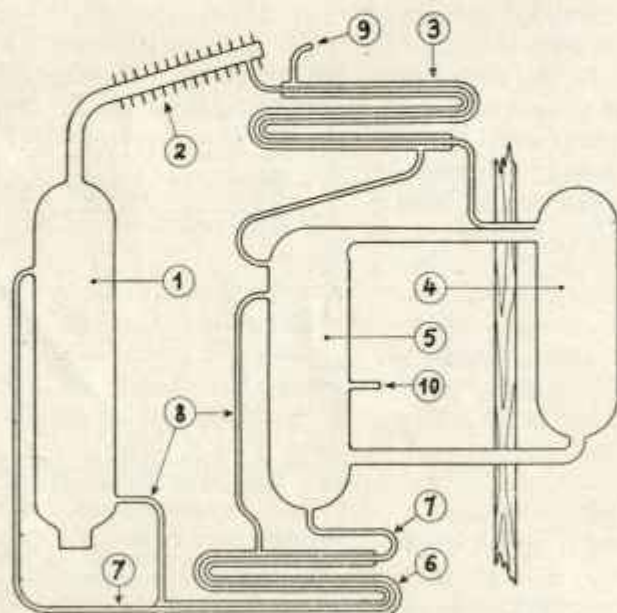


FIG. 83. — Disposition schématique de la machine à absorption Platen & Munters (Electro-Lux).

pour supprimer l'emploi de la pompe à solution et de son moteur, pour réaliser une armoire sans aucune partie mécanique en mouvement. Cette invention, d'origine suédoise, est due aux ingénieurs Platen et Munters. La circulation de la solution pauvre et riche se fait par différence de température, ces ingénieurs ayant



eu l'idée d'égaliser les pressions, côté condenseur et côté évaporateur, en introduisant dans le côté basse pression de l'appareil un gaz, non liquéfiable (dans les limites de pressions et températures obtenues) qui ne prend pas part au cycle frigorifique, mais ajoute simplement sa pression à celle de l'ammoniac pour équilibrer les pressions. Ce gaz inerte est de l'hydrogène. Voici, d'ailleurs, une brève description du système Platen et Munters.

L'appareil se compose d'un générateur 1, chauffé soit au gaz, soit de préférence avec une résistance électrique ; ce générateur contient la solution riche. Le NH_3 libéré quitte le générateur en traversant un séparateur 2 qui permet le retour au générateur de la vapeur d'eau entraînée. Le NH_3 , en phase vapeur, se rend ensuite dans un condenseur à double tube 3, où il est liquéfié. Le liquide ainsi produit passe ensuite dans l'évaporateur 4. Le NH_3 se vaporise avec production de frigorifiques dans l'évaporateur 4, sous l'appel de la solution pauvre contenue dans l'absorbeur 5. La solution appauvrie, venant du générateur par un tube 8, traverse un échangeur de température 6, avant de se rendre à l'absorbeur. La solution enrichie dans l'absorbeur 5 retourne au générateur par un tube 7, traversant le même échangeur de température 6, la solution pauvre se refroidissant par contact avec la solution riche. Une circulation d'eau, entrant en 10, refroidit l'absorbeur et ensuite le condenseur, puis, sortant en 9, se rend à l'égout.

Tous les appareils à absorption employés dans les armoires ménagères offrent l'avantage de n'avoir aucun joint ni presse-étoupe susceptibles d'être le siège de fuites ; de plus, n'ayant aucun organe mécanique en mouvement, les chances de pannes sont réduites à l'extrême. Etant d'une construction plus simple, elles sont donc d'un prix d'achat plus bas ; mais leur rendement étant inférieur à une bonne armoire à compresseur, leur prix de revient plus bas est compensé par des consommations électriques plus élevées qui, en fin de compte, détruisent les avantages annoncés.



CHAPITRE XVIII

COMPRESSEURS DIVERS

Compresseurs rotatifs. — Lorsque l'on parle de compresseurs rotatifs, beaucoup de personnes s'imaginent aussitôt un appareil rudimentaire dans le genre des ventilateurs-turbines centrifuges ; ces machines ne sont pas, à proprement parler, des compresseurs, mais simplement des ventilateurs ou souffleurs, chargés de déplacer des volumes d'air, ne donnant pas une compression réelle et n'assurant pas une séparation effective entre l'aspiration et le refoulement. En effet, ces appareils peuvent sans dommage, tourner avec le refoulement fermé, ils sont donc impropres à un emploi en réfrigération où la pression d'aspiration, dans le cas d'emploi de l'anhydride sulfureux, doit être inférieure à la pression atmosphérique et la pression de refoulement de plusieurs kilogrammes par centimètre carré.

Les avantages des compresseurs rotatifs sur les compresseurs à pistons sont les suivants : ils ne comportent aucune pièce animée d'un mouvement alternatif, ce qui facilite l'équilibrage et le silence et permet l'emploi de grandes vitesses de rotation ; l'entraînement direct est possible. Le nombre de pièces en mouvement est très restreint ; ils ont un rendement mécanique excellent et ils sont faciles à graisser.

On peut distinguer deux types principaux de compresseurs rotatifs : le type à palettes fixes, ou excentrique, et le type à palettes rotatives.

1° *Compresseur rotatif à palettes.* — Dans le système à palettes rotatives (fig. 84), le compresseur se compose d'un rotor excentré tournant dans un carter étanche pourvu de lumières d'aspira-



tion et de refoulement. Le rotor porte des aubes coulissantes dans des glissières, de telle façon qu'elles s'appliquent toujours hermétiquement sur les parois intérieures du carter cylindrique, quelle que soit la position du rotor. Les espaces étanches entre les aubes vont en diminuant pendant un tour de rotor à partir du passage d'une aube devant la lumière d'aspiration, pour être minimum quand cette même aube passe devant la lumière de refoulement. La compression obtenue est égale au rapport des deux volumes variables ainsi assurés (fig. 75).

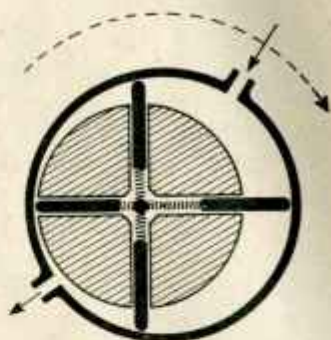


FIG. 84. — Compresseur rotatif à palettes coulissantes.

2° *Compresseur rotatif à excentrique.* — Dans le modèle à excentrique (type Rollator Norge) (fig. 85), le principe de fonctionnement reste identique, mais la réalisation est quelque peu différente. Le compresseur est composé d'un cylindre fixe 1, à l'intérieur duquel se meut un rotor 2

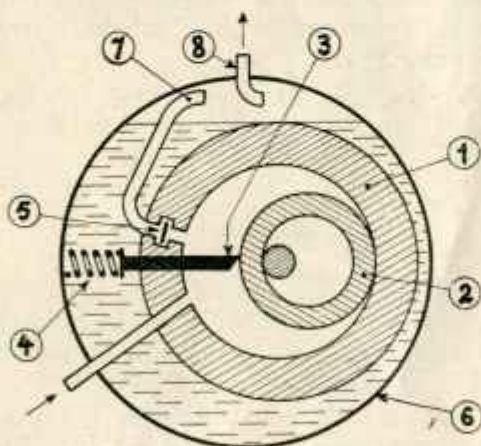


FIG. 85. — Compresseur rotatif à excentrique (type Rollator Norge).

monté sur un arbre excentré; une aube, ou palette 3, traverse le cylindre fixe et vient s'appliquer contre le rotor. Cette palette coulisse dans un logement ménagé dans le cylindre fixe et est poussée contre le rotor par l'action d'un ressort 4. Le cylindre fixe



porte les orifices d'aspiration et de refoulement; ce dernier est muni d'un clapet de retenue 5, le tout est logé dans une cloche 6, formant carter étanche et rempli d'huile. La pression de refoulement, sortant par le tube 7, avant de quitter le carter par le tube 8, agissant constamment sur la surface libre de cette réserve d'huile, assure une excellente lubrification des organes mobiles du compresseur. L'arbre d'entraînement du rotor sort d'un seul côté du groupe. Toute rentrée d'air ou fuite de gaz sont rendues impossibles par un presse-étoupe du modèle déjà décrit dans les compresseurs à pistons. Le fonctionnement de ce genre de compresseur est des plus simples : son mouvement lent, d'une part, et sa grande réserve d'huile, d'autre part, lui permettent de ne ressentir aucune usure. Enfin, sa simplicité et son faible encombrement ne sont pas à dédaigner. Ces compresseurs sont employés de la même façon que les compresseurs à pistons, et marchent avec détendeurs, flotteurs, capillaires, etc... Le fluide frigorigène employé est, soit de l'anhydride sulfureux, soit du chlorure de méthyle; dans le cas de compresseurs rotatifs entraînés directement, le fluide est plus souvent du chlorure d'éthyle.

Ces compresseurs demandent un usinage parfait, de façon à obtenir un très bon portage des aubes sur la partie fixe et éviter les fuites entre l'aspiration et le refoulement; certains modèles sont prévus sans clapets.

Les condenseurs, moteurs, évaporateurs, appareils de contrôle, etc..., sont les mêmes que dans le cas des compresseurs alternatifs à pistons.

Unités hermétiques.

La boîte d'étanchéité, ou presse-étoupe, a toujours été le point noir d'un compresseur à piston; la majeure partie des pannes rencontrées en réfrigération automatique sont consécutives à une fuite à la boîte d'étanchéité. Aussi certains constructeurs ont cherché à l'éliminer et à construire des groupes compresseurs complètement hermétiques, supprimant par là même la principale cause d'ennui.

Réalisations anciennes. — Nous ne pouvons pas, dans le cadre restreint de cet ouvrage, procéder à la description de toutes les réalisations anciennes de compresseurs hermétiques, mais nous rappellerons, pour mémoire, quelques-uns des plus connus. Le



groupe Audiffren-Sigrün, plus connu sous le nom de Frigorigène A S, d'ailleurs bien connu des vieux monteurs frigoristes, est composé de deux boules étanches reliées par un arbre creux ; une poulie extérieure permet l'entraînement de l'ensemble. Le compresseur est monté oscillant autour d'un axe et maintenu vertical par un contrepoids, l'axe est coudé et la bielle est solidaire de cet axe. Dans la première boule, servant de condenseur, se trouve le compresseur, la seconde servant d'évaporateur. Nous n'insisterons pas sur ce groupe, véritable ancêtre des groupes hermétiques, et, malgré cela, toujours à même d'entrer en compétition avec des groupes beaucoup plus modernes ; le seul reproche que l'on puisse lui adresser, outre son encombrement, est d'avoir obligatoirement une circulation de saumure. Rappelons également le groupe vertical Escher Wyss, complètement étanche, moteur y compris, mais également difficilement utilisable sans circulation de saumure ou circulation d'air par manches. Le compresseur Corblin (fig. 86) supprime le presse-étoupe par un autre artifice. Le compresseur est composé de deux plateaux creux séparés par une membrane métallique ; les déformations de la membrane entre les deux plateaux produisent les phénomènes d'aspiration et de compression. Les déformations de la membrane sont obtenues par un piston qui refoule de l'huile en dessous de celle-ci. Malheureusement, ce système conduit à des encombrements excessifs pour les armoires ménagères et, de plus, l'on rencontre parfois des ruptures de membranes qui sont aussi désastreuses qu'une fuite au presse-étoupe.

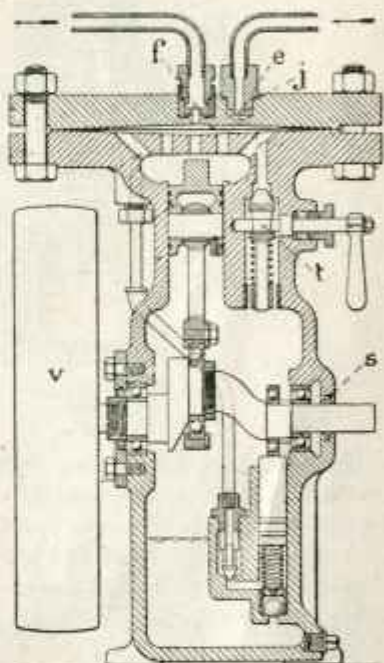


FIG. 86. — Compresseur à membrane "Corblin".

F, clapet refoulement. — E, clapet aspiration. — J, porte-clapet. — T, vanne de décompression. — S, arbre manivelle. — V, volant.

Le système Aurore (fig. 87) se sert d'un petit compresseur



entraîné directement par un moteur électrique, le tout étant enfermé dans une cuve étanche servant de condenseur.

Les groupes hermétiques modernes sont d'ailleurs dérivés de ce dernier modèle.

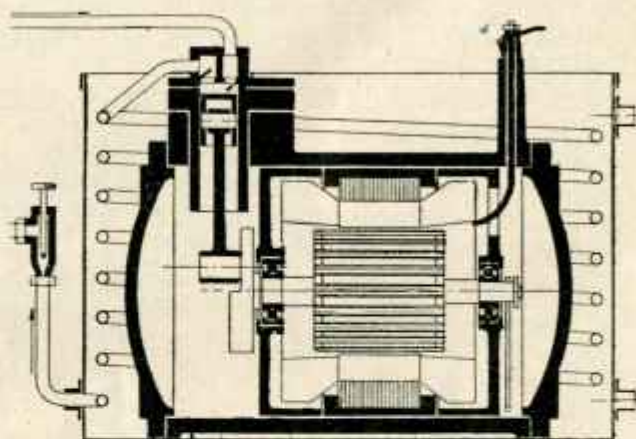


FIG. 87. — Groupe hermétique Aurore à usage commercial.

Groupes hermétiques modernes. — Une unité hermétique moderne (fig. 88) se présente sous la forme d'une cloche ou cylindre de tôle fermé de toutes parts; à l'intérieur se trouve un moteur électrique spécial, à axe vertical, monté sur ressorts antivibratoires. Un côté de l'arbre de ce moteur forme vilebrequin et entraîne directement un petit compresseur à grande vitesse; l'autre extrémité entraîne une petite pompe à huile chargée d'assurer la lubrification sous pression du compresseur; à sa sortie du compresseur l'huile retombe au fond de la cloche où elle est reprise par la pompe pour assurer une circulation continue. Le compresseur refoule dans un condenseur par un tube sortant de la cloche. Ce condenseur est un condenseur à air, à grande surface refroidie par convection naturelle, vu l'impossibilité de mettre un ventilateur sur le moteur; ce condenseur est souvent placé au dos du meuble et muni de baffles facilitant la convection naturelle. L'aspiration se fait par un tube débouchant directement à l'intérieur de la cloche. L'ensemble, moteur et compresseur, tourne dans le fluide réfrigérant en phase vapeur. La cloche ne comprend que deux tubes de sortie: aspiration et refoulement; les connections électriques sont faites à l'aide de bornes

étanches, rappelant un peu les bougies d'allumage des moteurs automobiles. Vu l'inaccessibilité du moteur, il ne peut être fait usage de moteurs comportant des balais, mais uniquement de moteurs d'induction, à self ou à capacité ; donc, les unités hermétiques ne marchent pas en courant continu. L'aspiration se fait souvent à travers un dispositif amortisseur de son, genre silencieux d'automobile, pour éviter le sifflement du gaz se déplaçant à grande vitesse.

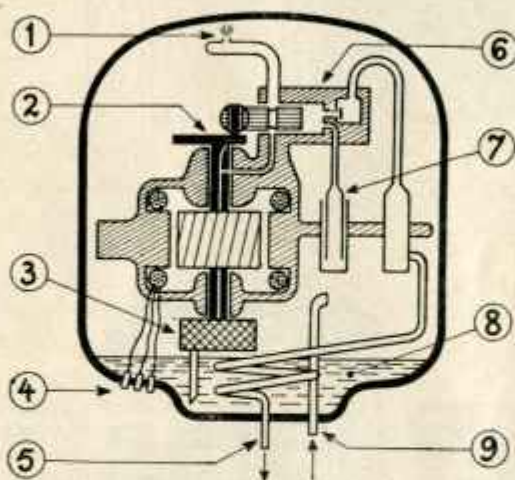


Fig. 88. — Schéma d'un groupe hermétique.

1, retour d'huile. — 2, vilebrequin. — 3, pompe à huile. — 4, connexions électriques. — 5, sortie vers le condenseur. — 6, corps de compresseur. — 7, silencieux d'aspiration. — 8, réserve d'huile. — 9, tube d'aspiration.

L'unité hermétique étant composée uniquement d'un compresseur et d'un moteur électrique enclos, le reste des accessoires, condenseur, évaporateur, etc., reste le même que dans le cas d'emploi d'un compresseur classique. Au point de vue cycle frigorifique, la grande majorité des meubles munis d'unités hermétiques fonctionnent selon le cycle à flotteur haute pression ; quelques autres, notamment Servel et Kelvinator, fonctionnent selon le cycle capillaire.

Description. — Pour plus de détails, nous allons donner une description succincte du groupe hermétique Servel (fig. 89-90-91).

L'évaporateur est alimenté par un tube capillaire dont le fonctionnement a été décrit au chapitre des « Cycles frigorifiques ». La



vapeur de réfrigérant, formée dans l'évaporateur, est aspirée au point haut de cet évaporateur par un tube relié à la cloche de l'unité hermétique, le compresseur aspirant directement dans la cloche. L'espace intérieur de la cloche formant tank d'égalisation, le compresseur refoule la vapeur ainsi aspirée dans un

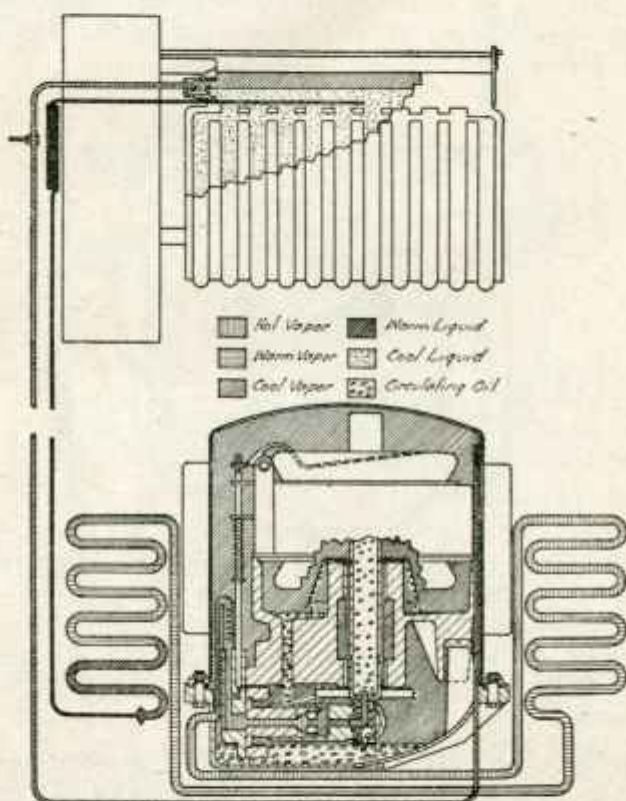


FIG. 89. — Schéma d'une unité hermétique Servel.

condenseur à circulation d'air naturelle. Le liquide est recueilli dans une bouteille, au bas du condenseur, et renvoyé au tube capillaire.

L'unité se compose d'un moteur électrique spécial à axe vertical, cet axe est creux pour assurer la circulation de l'huile ; l'axe du moteur électrique est connecté directement au compresseur par un vilebrequin équilibré qui s'engage dans une crosse coulissant dans des guides. Cette crosse entraîne le cylindre du com-

presseur, qui est animé d'un mouvement alternatif, le piston restant fixe. Le moteur et le compresseur sont montés dans la cloche étanche. La crosse qui commande le mouvement au compresseur agit en même temps comme un distributeur commandé mécaniquement et remplaçant les clapets d'aspiration. Juste avant la fin de course du piston, celui-ci découvre une lumière; cette lumière étant découverte, la vapeur contenue dans la cloche remplit le cylindre compresseur. La vapeur est refoulée par le compresseur, par un canal situé dans le piston lui-même et muni d'un clapet de refoulement; la vapeur passe par le système de décharge, décrit ci-après, et se rend au condenseur. La crosse commande également la pompe de circulation

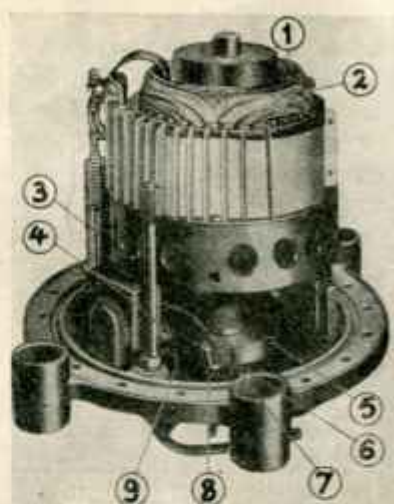


Fig. 90. — Groupe hermétique complet (cloche enlevée).

1, rotor. — 2, stator. — 3, dispositif de décharge. — 4, corps de compresseur. — 5, vilebrequin. — 6, commande de pompe à huile. — 7, tige de fixation. — 8, tube d'aspiration. — 9, pompe à huile.

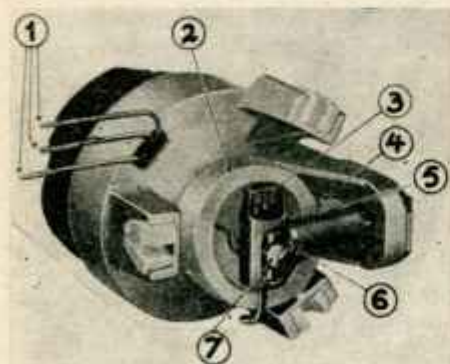


Fig. 91. — Unité hermétique vue de dessous.

1, connexions électriques. — 2, flasque du moteur. — 3, arbre-manivelle avec contre-poids. — 4, dispositif de décharge. — 5, corps de compresseur. — 6, attaque du piston. — 7, crosse d'entraînement.

d'huile, qui refoule sous pression à toutes les pièces en mouvement.

Quand le moteur démarre, il y a dans ses enroulements un très fort champ magnétique; ce champ magnétique provoque le démarrage du moteur et en même temps attire une palette provoquant l'ouverture d'une soupape de décharge qui ouvre le circuit de refoulement, permettant ainsi au compresseur de démarrer à vide, la pression d'aspiration et de refoulement étant

égale. Au fur et à mesure que le moteur prend de la vitesse, le champ magnétique disparaît progressivement : la palette n'étant plus attirée, la vanne de décharge se ferme et le compresseur aspire dans la cloche et refoule au condenseur.

Dans le système Servel, le thermostat assure le contrôle de la température du meuble, à l'aide d'un soufflet, d'un tube capillaire et d'un bulbe, selon l'arrangement classique que nous connaissons bien ; mais, en plus, il assure la mise en circuit et la coupure du circuit de démarrage du moteur (phase auxiliaire) à l'aide d'un relais inclus dans le thermostat. Le courant, à travers ce relais, au moment où le thermostat ferme le circuit, est d'environ 5 ampères, le relais lève une armature qui établit le contact, permettant au courant de circuler dans la phase auxiliaire. Dès que le moteur a atteint sa vitesse, l'intensité absorbée diminue fortement, et cette intensité, passant par le relais, n'est plus suffisante pour maintenir l'armature de démarrage qui retombe par son propre poids, coupant ainsi le circuit de la phase de démarrage. Le thermostat est en outre muni d'un relais thermique de surcharge.

Cycles employés. — Les unités hermétiques fonctionnant selon des cycles frigorifiques classiques au point de vue service et entretien doivent donc être dépannées de la même façon qu'un compresseur ordinaire fonctionnant sur le même cycle de réfrigération. Si l'on excepte le cas de moteur ou de compresseur hors service, qui ne sont réparables qu'en atelier, l'on se trouvera amené à des questions de purges d'air ou de recharges en gaz, comme dans le cas de groupes standard.

Dépannage des unités hermétiques. — Le dépannage de ces unités demandera un peu plus d'effort de réflexion au monteur, car il n'est possible de monter qu'un seul manomètre, celui de haute pression. La méthode de fixation de ce manomètre est un peu spéciale et demande quelques explications.

La prise de manomètre est située soit sur la bouteille-réservoir de liquide, soit, plus généralement, sur la bouteille-flotteur haute pression. La bouteille est surmontée d'un raccord spécial 1 (fig. 92), dont l'ouverture est fermée par une bille 2 maintenue sur son siège par une vis 3. En service normal, la vis est serrée et le tout recouvert par un bouchon vissé et étanche. Pour placer un manomètre il faut d'abord enlever ce bouchon, puis visser à sa place une vanne de purge pour unité hermétique. Cette vanne



de purge (fig. 92) est composée d'un corps 4 se vissant sur le raccord de la bouteille et portant deux raccords 5 et 6 permettant de placer un manomètre haute pression et une bouteille de charge. Une fois la vanne de purge en place, une tige 7, manœuvrée extérieurement par un volant 8, peut s'engager dans la vis 3, qui est, soit munie d'une fente de vis ordinaire, la tige 7 faisant tournevis, soit munie d'un six pans femelle, du genre des vis de fixation de poulie ; dans ce cas, la tige 7 est munie d'un six pans mâle correspondant. Il est alors possible de dévisser la vis 3 qui est munie d'un petit canal non représenté sur la figure, libérant ainsi la bille 2 et la communication est établie entre le circuit intérieur de l'appareil et le manomètre et la bouteille de recharge, rendant possibles les opérations de purges ou recharges et vérifications.

Quand le monteur n'a à s'occuper que d'une seule marque de réfrigérateur, il lui suffit d'être muni de la vanne de purge s'adaptant sur le raccord particulier de la marque qu'il doit entretenir. Dans le cas où le monteur doit travailler sur plusieurs marques différentes de réfrigérateurs, chaque marque ayant des diamètres et des pas de raccords qui lui sont particuliers, il est nécessaire d'avoir une vanne de purge spéciale par marque à entretenir, ou d'être muni d'une vanne de purge passe-partout sur laquelle on visse des adaptateurs spéciaux pour chaque marque. Les firmes américaines Mueller Brass et Imperial Brass C^e fournissent une vanne de purge spéciale munie de huit adaptateurs permettant le dépannage sur les principales marques connues d'unités hermétiques.

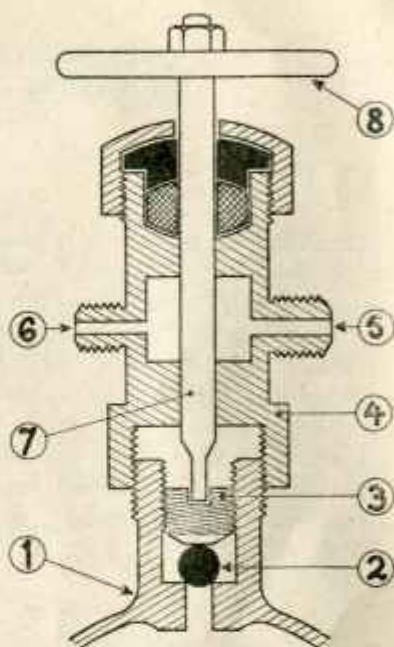


FIG. 92. — Vanne de purge pour contrôle sur unité hermétique.

1, corps de bouteille flotteur haute pression ou sortie de condenseur. — 2, bille d'étanchéité. — 3, vis de blocage. — 4, corps de vanne de purge. — 5, 6, raccords de manomètres et bouteille de gaz. — 7, tige de commande. — 8, volant de manœuvre.

CHAPITRE XIX

QUELQUES CONSIDÉRATIONS EN MANIÈRE DE CONCLUSION

Considérations sur le dépannage. — Il est généralement de mode, dans les ouvrages traitant de dépannage frigorifique, radio ou autre, de disposer des tableaux dans lesquels ont été prévues des séries de pannes classiques. Nous ne pensons pas que cette méthode soit la bonne, car s'il y a dix, vingt, cent pannes de prévues sur les tableaux, invariablement le monteur se trouvera en présence de la onzième, vingt et unième ou cent unième panne. De plus, le mauvais fonctionnement d'une machine provient souvent de plusieurs causes qui s'ajoutent ou se retranchent. L'ensemble d'une machine frigorifique forme comme les maillons d'une chaîne et, si l'un d'eux lâche, la chaîne entière est inutilisable.

Nous pensons que le dépannage d'une installation frigorifique doit être basé sur la connaissance exacte de chaque pièce composant l'ensemble, de son fonctionnement séparé, de son rôle dans l'ensemble et de ses méthodes d'essai.

Il n'existe pas de méthode générale de dépannage applicable dans tous les cas, et il faut se méfier des diagnostics hâtifs, car certains symptômes observés peuvent faire douter d'un organe en bon état, alors que la cause réelle est parfois localisée dans un autre organe. Par exemple, la pression d'aspiration remontant rapidement dans le carter du compresseur, après l'arrêt de celui-ci, peut faire supposer des clapets non étanches, alors que le mal peut très bien provenir d'un détendeur ou flotteur ne fonctionnant pas.

Les outils principaux du dépanneur sont les manomètres et les thermomètres ; il n'est évidemment pas possible de pénétrer à l'intérieur d'une machine frigorifique pour voir ce qui se passe ; seuls, les manomètres employés conjointement avec les thermo-



mètres nous permettront de déduire ce qui n'est pas normal dans le cycle frigorifique.

Il est toujours nécessaire de monter les deux manomètres, car les indications données se complètent mutuellement, et les renseignements donnés par le manomètre basse pression seul sont souvent insuffisants.

Lecture des manomètres. — Le manomètre haute pression doit indiquer une pression en rapport avec la température de l'eau de circulation ou de l'air de refroidissement ; la température de l'air doit être prise à la sortie du condenseur ; la température de l'eau sera prise égale à la moyenne des températures d'entrée et de sortie. La pression indiquée sera toujours plus élevée que celle indiquée dans les tables ou les courbes théoriques. L'on se rappelle que, pour que les échanges thermiques puissent se produire, il est nécessaire qu'il y ait un écart de température entre le fluide à liquéfier et le médium, le refroidissant (air ou eau). Cet écart est fonction de divers facteurs, notamment de la surface du condenseur ; en moyenne, cet écart est de 10 à 15° C dans les condenseurs à air employés en réfrigération automatique (1). Il faudra donc lire la pression sur les tables ou courbes en ajoutant 10 à 15° C à la température relevée au condenseur. Une pression notablement trop élevée sera l'indice d'une surcharge en réfrigérant ou de présence de l'air dans le circuit, alors qu'une pression inférieure est l'indice d'un manque de charge. Mais il peut arriver que l'on se trouve en présence de deux causes se détruisant mutuellement ; exemple : une sous-charge tendant à diminuer la pression et la présence d'air tendant à l'augmenter. Dans ce cas, l'appareil peut présenter des anomalies de fonctionnement tout en indiquant une pression en apparence correcte. L'appareil étant en marche, l'on peut, dans bien des cas, sentir le niveau de liquide dans le condenseur ou le réservoir par différence de température, le liquide étant plus froid que le gaz refoulé, qui est encore, en partie, chargé de la chaleur de surchauffe du refoulement. Cette manœuvre est grandement facilitée dans les condenseurs à circulation d'eau en arrêtant provisoirement celle-ci ; le gaz garde alors la presque totalité de la chaleur de surchauffe. Beaucoup de réservoirs de liquide sont munis de vannes de purge indiquant le niveau de liquide à obtenir ; en l'absence de ces purges, le niveau est géné-

(1) Environ 5 à 6° C dans les condenseurs à eau.



ralement prévu entre le $1/3$ et le $1/4$ du volume du réservoir. Les purges d'air doivent toujours être faites au point où peut s'accumuler cet air. L'air aspiré par le compresseur se trouve refoulé dans le condenseur avec le gaz ; l'air étant incondensable dans les limites de pressions et températures rencontrées dans les machines frigorifiques, il suivra donc le circuit du gaz et s'accumulera dans le réservoir de liquide. Par conséquent, le système de purger une installation par la tête du compresseur est parfaitement faux, l'on perd une grande quantité de gaz pour éliminer fort peu d'air ; la purge doit être pratiquée au point haut de la bouteille réservoir où se trouve le liquide condensé et l'air qui n'a pu l'être.

Il est inutile d'insister sur la nécessité d'employer toujours des manomètres et des thermomètres justes, si l'on veut avoir des indications correctes et en tirer des conclusions logiques.

Les renseignements donnés par le manomètre basse pression sont également précieux, mais à condition de savoir les interpréter. Le manomètre basse pression est placé, en général, sur la vanne d'aspiration du compresseur. Il doit indiquer, en principe, la pression d'évaporation, la seule qui nous intéresse. Il faut se souvenir que, placé où il est, le manomètre basse pression nous indiquera forcément une pression plus basse que la pression réelle d'évaporation. Ce phénomène est dû au fait qu'il existe une chute de pression dans le tube d'aspiration ; cette chute de pression est due à la résistance interne du tube au passage du gaz. Cette chute de pression est variable avec de nombreux facteurs : longueur de la tuyauterie, diamètre de celle-ci, puissance d'aspiration du compresseur, présence de coudes, tés, raccords, vannes, vitesse du gaz dans les tuyaux, etc.

A titre tout à fait approximatif, on chiffre cette chute de pression, estimée en degrés centigrades, à 2°C dans les premiers 5 mètres de tuyauterie partant du compresseur et à environ 1.5 à 2°C par 10 mètres de tube supplémentaire ; ces indications étant valables pour des lignes droites. Les chutes de pressions supplémentaires introduites par les rampes de vannes, coudes, tés, raccords, etc., sont beaucoup plus importantes et difficilement chiffrables. On peut les observer aisément en montant un manomètre à la sortie de l'évaporateur et un autre sur le compresseur ; l'écart entre les deux manomètres nous renseignera sur la valeur de cette chute de pression.

Donc l'on voit que, sur une installation simple, avec une dizaine de mètres de tube d'aspiration et les coudes normaux, il



est possible que le manomètre basse pression indique une pression d'évaporation correspondant à -15°C par exemple, alors qu'en réalité, le liquide ne s'évapore qu'à -8°C dans l'élément.

Les températures réelles d'évaporation sont généralement de -15°C dans les meubles ménagers et de -10°C dans les installations commerciales.

On notera au passage que les pressions, lues sur les manomètres lorsque la machine est arrêtée, sont les pressions réelles, car, en effet, le gaz étant en repos, il n'y a plus de chute de pression dans les tuyauteries et la pression s'égalise dans tous les organes qui sont en communication. Le manomètre haute pression nous renseigne sur ce qui se passe dans le condenseur et la bouteille réservoir de liquide, alors que le manomètre basse pression nous indique les phénomènes qui se produisent dans l'évaporateur et l'organe qui l'alimente.

Au cours d'une vérification d'installation, lorsque l'on s'aperçoit que des rentrées d'air et d'humidité ont amené de la corrosion, la saponification de l'huile et sa carbonisation, il est absolument inutile de procéder à des réparations partielles ou des remplacements de pièces, détendeurs ou autres : le seul et unique remède consiste dans le démontage complet de cette installation, son nettoyage intérieur, séchage et étuvage sous vide, recharge en gaz et huile propres. Dans le cas où l'huile a commencé de se saponifier et le gaz subi un commencement de décomposition, la pose de sècheurs, déshydrateurs ou l'introduction de produits séchant dans le circuit n'est plus d'aucun secours.

Dans presque tous les cas, il est nécessaire de prévoir le changement de la tuyauterie, car il ne sert de rien de remonter des appareils revisés et propres sur un système de tube embourbé et contenant encore tous les acides qui ont amené la corrosion précédente.

Essais divers.

Lorsque l'on se trouve en présence d'une installation frigorifique en mauvais état de fonctionnement, il est quelquefois possible de déterminer d'emblée l'organe occasionnant le mauvais fonctionnement, mais, souvent, il n'est pas possible de diagnostiquer à coup sûr, et du premier coup, le point défectueux; il est alors nécessaire de vérifier individuellement le fonctionnement de chaque appareil composant l'installation, et, si les essais révèlent que chaque appareil pris individuellement est en bon état de marche, il s'agit alors d'un réglage de l'installation



Essai d'un compresseur. — Sur tous les appareils, sans exception, la première vérification à faire sera évidemment la recherche des fuites possibles. Sur un compresseur, lorsque l'on s'est assuré qu'il tourne librement et sans points durs, à part les points de compression, l'on fera l'essai d'étanchéité des clapets. L'essai des clapets de refoulement se fera en fermant la vanne de refoulement et en pompant avec précaution, de préférence à la main, pour éviter la destruction du manomètre, une pression d'environ 150 à 200 lbs (10 à 14 kg.). Cette pression va baisser progressivement à l'arrêt par suite du refroidissement du gaz comprimé dans la tête du compresseur, mais, néanmoins, avec un peu d'habitude, l'on aura vite fait de déterminer si cette chute de pression lente est due à une fuite aux clapets ou au refroidissement seul.

L'essai des clapets d'aspiration se fera en fermant l'aspiration et en refoulant au condenseur ; pomper le vide parfait dans le carter. Si les clapets sont bons, à l'arrêt le manomètre ne doit pas bouger. Pendant la durée du pompage, se méfier des entraînements d'huile et également s'assurer que tout le gaz dissous dans l'huile a bien été évacué, sinon son évaporation fausserait l'essai.

Un compresseur est toujours livré avec sa charge d'huile correcte, en principe au niveau inférieur de l'arbre manivelle ; mais, après un certain temps de marche, une certaine quantité d'huile se trouve entraînée et retenue dans l'installation, l'excédent faisant retour au carter. Il est de bonne précaution, à ce moment, de compléter le niveau correct. Mais si l'on est obligé de refaire plusieurs fois ce niveau, c'est l'indice que trop d'huile se trouve entraînée et vient engorger les condenseurs et évaporateurs. Il y a lieu de rechercher les causes de ces entraînements d'huile anormaux, généralement dus à des pressions d'aspiration par moment trop basse ou des entraînements de liquide, même légers, au carter de compresseur.

Il y a lieu également de tenir compte du temps nécessaire à faire le vide du carter ; le vide doit se faire progressivement et régulièrement, surtout au début de l'opération où chaque coup de piston doit occasionner une baisse visible au manomètre.

Essai du pressostat. — L'essai du pressostat se fera en provoquant artificiellement son enclenchement et déclenchement, en notant les pressions correspondantes et en les corrigeant, s'il y a lieu. L'essai pourra se faire avec une pompe à main, ou, de



préférence, en se servant du compresseur lui-même. Pour réaliser cet essai, il est nécessaire de court-circuiter la prise de manomètre haute pression avec la prise de manomètre basse pression à l'aide d'un tube sur lequel sera monté, à l'aide d'un té, un manomètre basse pression. Ce montage étant fait, la vanne d'aspiration sera fermée à fond, la vanne de refoulement restant ouverte. Lorsque l'on met le compresseur en route, il pompe le vide dans le carter, entraînant le déclenchement du pressostat, dont on notera la pression d'arrêt au passage. Pour provoquer l'enclenchement, il suffit de fermer très légèrement la vanne de refoulement ; par la fuite ainsi créée, la pression du condenseur faisant retour au carter de compresseur entraînera l'enclenchement du pressostat dont on peut relever la pression. Il est très facile de renouveler un grand nombre de fois cette opération, ce qui permet d'apporter toutes les retouches désirées au réglage du pressostat, ainsi que de constater son bon fonctionnement au point de vue contact électrique. Il n'y a pas de réglage standard, la pression d'enclenchement varie selon le gaz employé et selon que l'évaporateur est avec ou sans dégivrage à chaque cycle. Dans le cas d'évaporateur à dégivrage, il est cependant possible de déterminer à peu près cette pression d'enclenchement, en réglant le pressostat pour une pression correspondant à quelques degrés au-dessus de zéro, en général à $+4^{\circ}\text{C}$. La pression de déclenchement n'est, en aucun cas, déterminable à l'avance car elle est fonction de facteurs locaux, tels que : charge de la chambre, circulation d'air, perte de charge de la tuyauterie, etc.

Essai d'un thermostat. — L'essai d'un thermostat est beaucoup moins aisé. Il faut, en principe, pouvoir soumettre son bulbe aux températures d'arrêt et de départ désirées, ce qui n'est pas toujours réalisable chez le client. Le seul essai que le monteur peut faire pratiquement est de s'assurer que le bulbe n'a pas perdu sa charge, le reste étant une question de réglage.

Il existe néanmoins une méthode d'essai des thermostats, mais qui n'est pratiquement réalisable qu'en atelier. La force qui oblige l'interrupteur du thermostat à enclencher est la poussée de la pointe qui termine le soufflet de manœuvre, sur l'interrupteur. Cette poussée peut se traduire en kilogrammes ; si l'on connaît cette valeur, par comparaison avec des thermostats de même modèle et dont le fonctionnement est reconnu bon, il est alors possible d'enlever le soufflet et de reproduire cette pression sur l'interrupteur à l'aide d'un ressort taré, ou d'un peson à



lecture directe, ou par tout autre moyen, et de ramener le réglage des ressorts du thermostat pour obtenir l'enclenchement pour cette pression. Il est facile de faire un tableau, par type de thermostat, indiquant les diverses pressions nécessaires pour obtenir l'ouverture et la fermeture d'un thermostat de ce type, en fonction des diverses positions du bouton de réglage ; il sera, naturellement, prévu un tableau par type de thermostat.

Dans le cas de mauvais fonctionnement, s'assurer du bon état des contacts secs, qui sont souvent piqués ou détériorés par les arcs de rupture. Certains thermostats sont également munis, soit de fusibles intérieurs, soit d'un relais thermique de surcharge ; s'assurer du bon fonctionnement du relais, ou le court-circuiter provisoirement pour s'assurer si le défaut est localisé dans cet organe.

Vérification d'un détendeur. — La vérification du bon fonctionnement d'un détendeur pourra se faire au manomètre, si le compresseur n'est pas situé trop loin de l'évaporateur, en d'autres termes, si la chute de pression apportée par la tuyauterie d'aspiration n'est pas trop importante. Dans ce cas, chaque ouverture et fermeture du détendeur se traduit par des élévations ou baisses de pression visibles sur le manomètre basse pression. Il est possible, également, d'entendre très nettement ces admissions en écoutant le détendeur en cours de fonctionnement. Certains détendeurs fonctionnent avec des séries d'admissions brèves, suivies de temps très courts de fermeture ; d'autres, au contraire, ont des admissions très longues, suivies de temps de fermetures également très longs ; dans les deux cas, le fonctionnement est correct. Un réchauffage du bulbe doit provoquer l'ouverture de la vanne, sinon le train thermostatique est partiellement ou totalement déchargé.

Si, malgré tout, il subsiste des doutes sur le bon fonctionnement du détendeur, on peut lui faire subir l'essai suivant, qui est réalisable aussi bien en atelier que chez le client. On dispose le détendeur à essayer selon le montage indiqué dans la figure ci-jointe (fig. 93). On injecte dans l'admission de liquide du détendeur une pression de 70 lbs (5 kg. environ) ou plus. La sortie à l'atmosphère du manomètre basse pression est fermée par un raccord dans lequel a été ménagé un petit trou de 5/10^e de millimètre. Le bulbe du détendeur est plongé dans un récipient contenant de l'eau et de la glace en quantité suffisante.



pour maintenir cette eau à zéro degré. Dans ces conditions, le manomètre basse pression indique le réglage du détendeur.

Ramener ce réglage aux chiffres suivants, s'il n'y est pas :

23 lbs (1 kg 600) pour un détendeur destiné au CCl_2F_2

16 lbs (1 kg 100) pour un détendeur destiné au CH_2Cl

4 lbs (280 gr.) pour un détendeur destiné au SO_2

Faire ensuite l'essai d'étanchéité du pointeau en fermant la

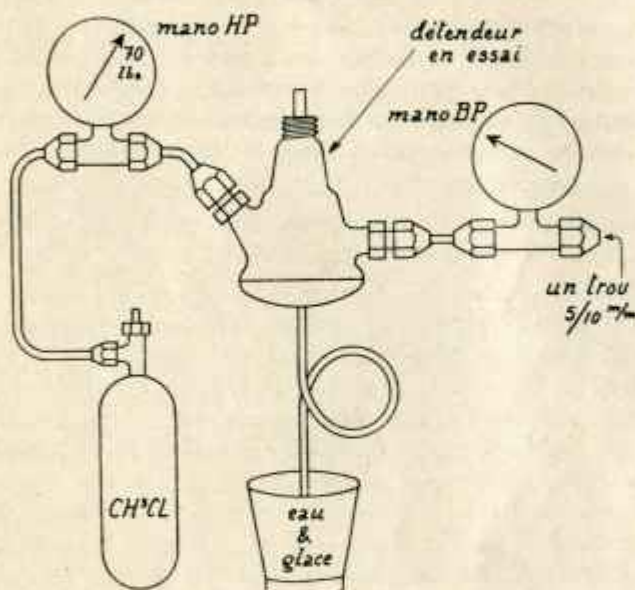


FIG. 93. — Montage d'essai d'un détendeur thermostatique.

communication avec l'atmosphère. La pression au manomètre basse pression doit augmenter légèrement, puis se stabiliser ou n'augmenter que très lentement ; dans ce cas, l'étanchéité du pointeau est suffisante.

L'essai de charge de l'élément moteur se fera en réchauffant le bulbe avec la main, la pression au manomètre basse pression doit remonter très rapidement, sinon le bulbe n'agit pas. Si le détendeur a subi ces essais avec satisfaction, on peut le monter en toute confiance.

Toujours s'assurer que le détendeur est bien prévu pour le gaz avec lequel il est destiné à fonctionner et voir si les orifices



de passage sont proportionnés à la puissance frigorifique de l'évaporateur qu'il devra alimenter.

Essai d'un disjoncteur. — L'essai du disjoncteur, en ce qui concerne la partie interrupteur, ne pourra porter que sur le bon fonctionnement de l'armature et le bon état des contacts. L'armature doit être attirée violemment et retomber franchement et être exempte de tout coincement. Un ronflement magnétique est souvent dû à un déplacement de la bobine magnétique ou à un mauvais calage de celle-ci, ou également au mauvais état de l'entrefer de l'armature, ou à son déplacement. Certains modèles sont prévus pour que l'armature mobile vienne coller exactement sur l'armature fixe de la bobine magnétique ; d'autres, au contraire, sont prévus avec un léger entrefer.

La vérification portera surtout sur le réglage du système de protection thermique. Ce réglage est souvent dédaigné et il s'ensuit des accidents de moteur qui auraient pu être évités.

Dans le cas des moteurs triphasés, bien souvent les monteurs se contentent de retirer un fusible sur trois et de laisser le moteur tourner sur deux phases, et s'étonnent de ne pas voir le disjoncteur déclencher. Le moteur tournant, le fait d'enlever un fusible seulement n'introduit qu'une surcharge insuffisante, environ 50 %, alors que la plupart des disjoncteurs sont prévus pour déclencher pour des surcharges de 130 à 150 %. Le véritable essai consiste à caler le rotor pour l'empêcher de tourner ; dans ce cas, la surcharge est, selon le type de moteur, de 300 à 500 %. Le disjoncteur doit déclencher en quelques secondes au plus. Cet essai est à faire avec précaution et de toute façon doit être très court, trente secondes environ, au maximum ; le disjoncteur doit déclencher avant ; sinon, le régler en conséquence et au besoin changer les résistances dans les modèles où elles sont interchangeables. Après disjonction, il faut attendre un temps suffisant pour permettre aux résistances de se refroidir, avant de procéder au réenclenchement. Les temps de disjonction sont inversement proportionnels aux pourcentages de surcharge.

Essais d'appareils divers. — Les essais d'appareils divers, vannes à pression constante, barostats, vannes à eau, etc., se borneront à s'assurer de leur ouverture, fermeture et étanchéité pour les pressions désirées. Nous n'insisterons pas sur ces essais



qui sont plutôt du domaine du réglage, celui-ci ayant été décrit dans le chapitre traitant de ces appareils.

En ce qui concerne les appareils à commande thermostatique, l'essai est plus difficile, en ce sens que le bulbe doit être soumis à la température de fonctionnement, ce qui est assez difficilement réalisable chez le client.

Essai du moteur électrique. — L'essai du moteur électrique demande la possession d'une boîte de contrôle munie de volt-mètre et ampèremètre à plusieurs sensibilités et, si possible, un ohmmètre ; généralement, le monteur n'a pas toujours à sa disposition une telle boîte de contrôle, aussi, étant dans l'impossibilité de déterminer exactement le voltage disponible aux bornes du moteur, ce qui est un point très important, les essais qu'il pourra faire se borneront à des constatations rudimentaires. Tout d'abord s'assurer que les indications portées par la plaque du moteur sont en accord avec les indications de la plaque du compteur électrique, au point de vue nature du courant, fréquence, tension, etc. Il peut souvent être fait un essai de puissance absorbée, à l'aide de la méthode que nous avons définie au chapitre *Moteurs*. S'assurer que les démarrages sont francs, que les systèmes releveurs de balais ou de court-circuitage fonctionnent normalement, la température du moteur est également importante à noter, s'assurer du serrage régulier et du bon contact électrique de toutes les connections, vérifier le calage des balais, dans les moteurs qui en comportent, ainsi que leur portage et l'état du collecteur. Contrôler la vitesse de rotation avec un compte-tours.

Vérification du bilan thermique. — Lorsque l'on relève des anomalies de fonctionnement, particulièrement dans les temps de marche, l'humidité, le dégivrage, les températures obtenues, et que les essais ont démontré que chaque appareil pris isolément a un fonctionnement correct, que la circulation d'air est bien établie, que les charges en fluide frigorigène sont normales, que le réglage des pressostats, thermostats, détendeurs, etc., est correct, en un mot que tout marche bien, il est bon de refaire le bilan frigorifique pour vérifier si l'on ne se trouve pas dans le cas d'un évaporateur ayant une surface trop grande ou trop petite pour la charge calorifique qu'il doit absorber. La même vérification s'impose en ce qui concerne le groupe compresseur



pour s'assurer que sa puissance frigorifique correspond bien à la quantité de calories qu'il doit extraire.

Il est relativement facile, lorsqu'on se trouve en présence d'un évaporateur inconnu, de déterminer sa puissance d'absorption calorifique, connaissant sa surface, sa température d'évaporation et la température ambiante à obtenir ; dans le cas d'un évaporateur fabrique de glace il y a naturellement lieu d'ajouter la charge calorifique provenant de la fabrication de la glace, connaissant le poids d'eau à congeler et les temps de congélation. Par contre, il est moins aisé de connaître la puissance frigorifique d'un groupe compresseur inconnu. Cette puissance varie selon les constructeurs, le fluide employé, la vitesse de rotation, etc..., etc. Cependant, à titre indicatif, nous pouvons donner le tableau suivant, qui a été calculé d'après les puissances annoncées par plusieurs constructeurs différents ; c'est donc une moyenne et elle ne peut, en aucun cas, servir de base à des calculs, mais seulement à un rapide approximation :

1	compresseur de	1/4 CV	donne environ	60 F/H	par	100 t/m
1	—	1/3	—	100 F/H	—	100 t/m
1	—	1/2	—	200 F/H	—	100 t/m
1	—	3/4	—	350 F/H	—	100 t/m
1	—	1 CV	—	550 F/H	—	100 t/m

Ces chiffres sont prévus lorsque le fluide employé est le chlorure de méthyle, et le courant est monophasé ou continu, car dans le cas de courant polyphasé le moteur est prévu légèrement surpuissant pour avoir un couple de démarrage suffisant. Les vitesses de rotation sont généralement comprises entre 400 et 600 tours-minute.



LISTE DES TABLEAUX

Table de conversion des degrés centigrades en degrés Fahrenheit et vice versa	10
Chaleur spécifique de quelques denrées	12
Table des degrés hygrométriques pour l'emploi de psychromètres à mèche de coton	19
Table d'équivalence des unités françaises et américaines.....	20
Chaleur de vaporisation des fluides frigorigènes	22
Volume spécifique des fluides frigorigènes	23
Poids spécifique des vapeurs	23
Courbes pression/température	26
Relation des températures et pressions d'évaporation.....	27
Caractéristiques comparatives des fluides frigorigènes	29
Essais de corrosion.....	31
Puissance frigorifique en frigories d'un compresseur, basée sur 14 heures de marche	50
Rendement des compresseurs au-dessus et au-dessous de la température d'aspiration choisie comme base par le constructeur..	50
Capacité en frigories d'un évaporateur, basée sur 14 heures de marche du compresseur	84
Données numériques relatives à la dissolution dans l'eau du CaCl_2	90
Réglages standard de vannes à eau pour l'emploi en SO_2 et CH_2Cl_2	145
Données numériques sur les vannes solénoïdes	146
Longueurs d'échangeurs de température	160
Diamètres des fusibles et conducteurs	197



TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE PREMIER

QUELQUES CONSIDÉRATIONS EN MANIÈRE D'INTRODUCTION

Plan de l'ouvrage	6
-------------------------	---

CHAPITRE II

RAPPEL DE QUELQUES NOTIONS DE PHYSIQUE INDISPENSABLES

Température	8
Table de conversion des degrés centigrades en degrés Fahrenheit et vice versa	10
Calorie	10
Chaleur latente	11
Chaleur spécifique	12
Chaleur spécifique de quelques denrées	12
Transmission de la chaleur	13
1° Radiation	13
2° Convection	13
3° Conduction	14
Evaporation	14
Ebullition	15
Condensation	16
Pression	16
Pression atmosphérique	16
Hygrométrie	17
Hygromètres	18
Psychromètres	19
Table des degrés hygrométriques pour l'emploi de psychromètres à mèche de coton	19
Densité	19
Table d'équivalence des unités françaises et américaines	20

CHAPITRE III

FLUIDES FRIGORIGÈNES

Généralités	21
Chaleur de vaporisation des fluides frigorigènes	22
Volume spécifique des fluides frigorigènes	23
Poids spécifique des vapeurs	23
Anhydride sulfureux SO_2	24
Chlorure de méthyle CH_3Cl	25
Fréon ou F_{12}	25
Relation des températures et pressions d'évaporation	27
Corrosion	28
Caractéristiques comparatives des fluides frigorigènes	29
Essais de corrosion	31



CHAPITRE IV CYCLES FRIGORIFIQUES

Cycle simplifié	34
Cycle fermé	35
Système à détenteur	37
Système à flotteur haute pression	38
Système à flotteur basse pression	41
Système à tube capillaire	42

CHAPITRE V COMPRESSEURS

Principe des compresseurs	44
Travail dans un compresseur	47
Puissance frigorifique et puissance absorbée	48
Puissance frigorifique en frigories basée sur 14 heures de marche	50
Rendement des compresseurs au-dessus et au-dessous de la température d'aspiration choisie comme base par le constructeur	52
Nombre de cylindres	53
Circulation de l'huile et du gaz	55
Tête refroidie	56
Clapets	57
Garnitures d'étanchéité	57
a) La boîte d'étanchéité à soufflet	58
b) La garniture rotative	60
Transmissions	60
Calcul d'une transmission	62
Calorimètre	63
Vannes de service	63

CHAPITRE VI CONDENSEURS

Généralités	65
Condenseurs à air	66
Condenseurs à eau	68
Condenseurs mixtes	69
Condenseurs à évaporation	69
Ventilateurs	70

CHAPITRE VII ÉVAPORATEURS

Évaporateurs à détente directe	72
Évaporateurs à circulation naturelle (convection)	75
Évaporateurs à circulation activée	77
Évaporateurs à circulation forcée	78
Choix d'un évaporateur	83
Capacité en frigories basée sur 14 heures de marche du compresseur	84
Évaporateurs fabrique de glace	84
Évaporateurs à flotteur basse pression	86
Évaporateurs à immersion	88
Données numériques relatives à la dissolution dans l'eau du CaCl_2	90



CHAPITRE VIII

DÉTENDEURS

Détendeurs automatiques	92
Détendeur automatique à soufflet	93
Détendeur automatique à diaphragme	94
Définition de la surchauffe	95
Détendeurs thermostatiques	96
Commandes thermostatiques	96
Importance de l'orifice calibré	99
Relation entre la puissance du compresseur et celle de l'évaporateur	100
Nécessité de la surchauffe	101
Règlage de la surchauffe	103
Argumentation chiffrée sur le fonctionnement d'un détendeur ..	105
Importance des pertes de charges dans l'évaporateur	106
Répartition du liquide dans l'évaporateur	107
Emplacement du bulbe	109
Egalisateurs	109
Charge des trains thermostatiques	110
Troubles dans les détendeurs	112

CHAPITRE IX

THERMOSTATS ET PRESSOSTATS

Automatisme	113
Thermostats	113
Thermostat d'évaporateur	114
Éléments moteurs	115
Charges	116
Charges limitées	117
Principe du thermostat	118
Interrupteur thermostatique	119
Dispositif de réglage	119
Dispositif de différentielle	120
Fonctionnement d'un thermostat	121
Emploi	124
Pressostats	125
Pressostat basse pression	126
Pressostat haute pression	126
Pressostats combinés	127
Emploi des thermostats ou pressostats à arrêt constant ou à départ constant	127
Comparaison entre les systèmes de contrôle	128
a) Contrôle par pression	129
b) Contrôle par température	130
c) Contrôle mixte	130

CHAPITRE X

INSTALLATIONS SIMPLES ET MULTIPLES

Installation simple	132
Installation à 2 températures	133
Règlage d'une installation à 2 températures	135
Équilibre des charges calorifiques	137
Réservoir égalisateur	137
Installations à plusieurs températures	137



CHAPITRE XI

APPAREILLAGES DIVERS

Check-valve	141
Vannes à eau	141
Réglages standard de vannes à eau pour l'emploi en SO_2 et CH_2Cl	145
Vannes solénoïdes	145
Données numériques sur les vannes solénoïdes	146
Vannes à pression constante	147
Barostats	148
a) Barostat à soufflet	149
b) Barostat à diaphragme	151
Vanne thermostatique à deux températures	152
Filtres	154
Déshydrateurs	154
Séparateurs d'huile	156
Echangeurs de température	158

CHAPITRE XII

REFROIDISSEMENT DES LIQUIDES

Tirage de bière	161
Caves à bière	162
Refroidisseurs de liquide	165
1) Refroidisseurs à cuve	165
2) Tirages instantanés	168
Egalisateurs	170
Mitrailleuse	171
Refroidisseurs d'eau	172
Refroidissement du lait	173
Aérateur	173
Charge calorifique	175

CHAPITRE XIII

CRÈME GLACÉE

Généralités	176
Turbines	178
Conservateurs à crème glacée	179
Glace carbonique	181

CHAPITRE XIV

CHAMBRES FROIDES

Isolation	182
Calculs	183
Circulation d'air	187

CHAPITRE XV

MOTEURS ÉLECTRIQUES

Les moteurs électriques en réfrigération automatique	192
Puissance absorbée	192
Frein de Prony	195



Conducteurs	197
Diamètres des fusibles et conducteurs	197
Moteurs à courant continu	198
Moteurs à courant alternatif monophasé	200
Moteurs répulsion-induction	200
Moteurs à capacité	201
Moteurs triphasés et diphasés	203

CHAPITRE XVI

RELAIS DE DÉMARRAGE

Relais à courant alternatif	205
Relais à courant continu	206
Protection thermique	207

CHAPITRE XVII

MACHINES D'ABSORPTION

Cycle à absorption	211
Cycle continu	211
Cycle simplifié	213
Cycle intermittent	213
Système à absorption humide	214
Système à absorption sèche	214
Armoire Electro-Lux	216

CHAPITRE XVIII

COMPRESSEURS DIVERS

Compresseurs rotatifs	218
1° Compresseur rotatif à palettes	218
2° Compresseur rotatif à excentrique	219
Unités hermétiques	220
Réalisations anciennes	220
Groupes hermétiques modernes	222
Cycles employés	226
Dépannage des unités hermétiques	226

CHAPITRE XIX

QUELQUES CONSIDÉRATIONS EN MANIÈRE DE CONCLUSION

Considérations sur le dépannage	228
Lecture des manomètres	229
Essais divers	231
Essais d'un compresseur	232
Essai du pressostat	232
Essai d'un thermostat	233
Vérification d'un détendeur	234
Essai d'un disjoncteur	236
Essai d'appareils divers	236
Essai d'un moteur électrique	237
Vérification du bilan thermique	237

LISTE DES TABLEAUX	239
--------------------------	-----

