

CONDITIONS PARTICULIÈRES D'ÉTABLISSEMENT DES INSTALLATIONS FRIGORIFIQUES DESTINÉES AUX CLIMATS TROPICAUX

par **Robert BILLARDON**

INGÉNIEUR-CONSEIL
MAÎTRE DE CONFÉRENCES
A L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES

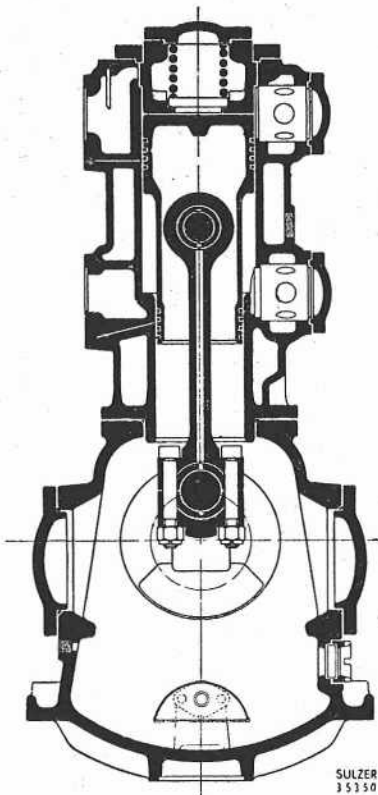


Fig. 1. — Compresseur vertical compound à piston différentiel et chemise d'eau, pour hautes températures de condensation.
(Cliché Sulzer).

Nous avons exposé brièvement dans un précédent article (1) le principe de fonctionnement des machines frigorifiques à gaz liquéfié.

Ces machines sont maintenant d'une production courante, et il existe en France plusieurs maisons spécialisées susceptibles de fournir le matériel qui convienne à chaque type d'installation. Il est donc facile de les consulter et d'en obtenir des propositions pour tous les projets qui peuvent être envisagés.

Cependant, pour guider son choix il est bon que le producteur ou l'exportateur ait quelques notions de la façon dont ces machines sont réalisées et des conditions particulières qu'elles doivent remplir lors-

qu'il s'agit de conserver ou de transporter des fruits produits dans des climats généralement très chauds.

C'est à l'usager qu'il appartient de bien préciser aux constructeurs qu'il consulte, les conditions exactes de marche de l'installation projetée en insistant sur les facteurs du fonctionnement dont il connaît toute l'importance. C'est à lui, lorsqu'il est éloigné de tout conseil, de déterminer, dans le cadre de ses établissements, la disposition la plus favorable à cette installation. C'est lui aussi qui devra faire un choix entre les différentes offres qui lui seront adressées, opération angoissante pour le profane, trop souvent tenté par le seul argument du prix, et toujours assez délicate même pour un praticien averti.

Si nous nous reportons au schéma d'installation publié dans l'article précité nous voyons qu'en somme la machine frigorifique enlève de la chaleur au milieu à refroidir et la transporte dans le milieu ambiant constitué par l'air ou le plus souvent par l'eau. Ce transport de chaleur s'effectue entre un niveau inférieur qui peut être mesuré par la température des locaux de conservation et un niveau supérieur mesuré par la température de l'eau ou de l'air ambiant.

Carnot a défini la chaleur comme un fluide pesant et indestructible. S'il s'est légèrement trompé sur le second point, ce qu'il a d'ailleurs reconnu par la suite, il est certain que sa comparaison est très exacte quant à la première qualité. Il faut en effet dépenser un certain travail pour porter la chaleur

(1) Fruits d'Outre-Mer, Vol. 2, n° 4, Avril 1947.

du niveau inférieur au niveau supérieur, de même qu'il faut dépenser du travail pour élever une certaine quantité d'eau entre deux réservoirs à niveau différent.

Dans l'un comme dans l'autre cas le travail est d'autant plus élevé que la différence de niveau est plus grande ; on en tire donc cette conclusion que l'on doit toujours essayer d'élever autant que possible la température d'évaporation et d'abaisser la température de condensation du fluide frigorigène.

Bien entendu, nous sommes limités dans cette recherche de l'économie de force motrice par les températures qui sont nécessaires pour l'application envisagée et par les conditions locales.

Pour la conservation des fruits à l'état frais il faut réaliser des températures de l'ordre de 0 à + 4°

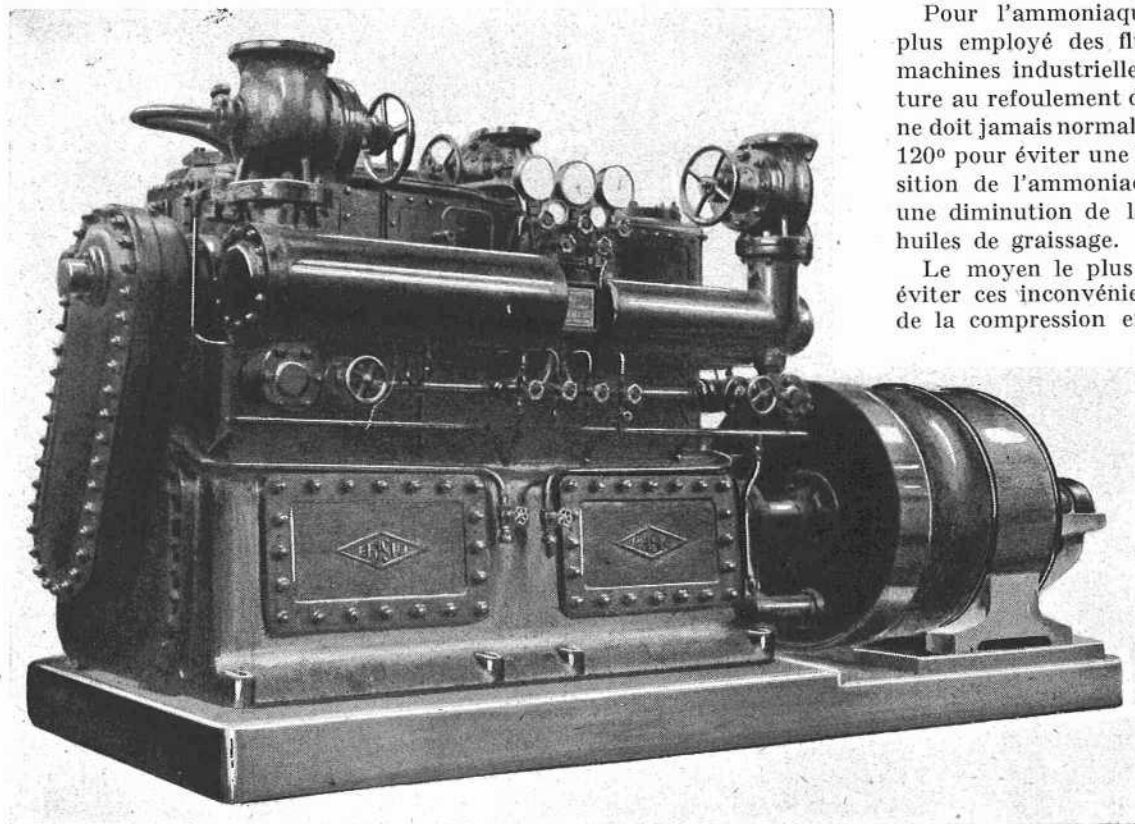


Fig. 2.
Compresseur
compound
multicylin-
drique à
grande vitesse.
(Cliché
Brissoneau
et Lotz).

CHOIX DU COMPRESSEUR

Dans les climats qui nous intéressent l'écart des températures extrêmes du cycle frigorifique sera cependant toujours plus grand que sous le climat européen et ceci entraîne quelques précautions dans le choix des compresseurs.

Remarquons, en effet, qu'en dehors de la considération de dépense d'énergie, il y a lieu d'examiner d'autres facteurs du fonctionnement. En particulier nous savons que la compression d'un gaz s'accompagne d'une forte élévation de température et que pour un même gaz cette élévation de température est d'autant plus grande que le rapport de compression est plus élevé ; on pourra donc dans certain cas et principalement sous les climats tropicaux atteindre en fin de compression une température incompatible avec la conservation du fluide ou des matériaux.

Pour l'ammoniaque qui est le plus employé des fluides dans les machines industrielles, la température au refoulement du compresseur ne doit jamais normalement dépasser 120° pour éviter une lente décomposition de l'ammoniaque et surtout une diminution de la viscosité des huiles de graissage.

Le moyen le plus employé pour éviter ces inconvénients est de faire de la compression en deux étages,

sauf pour la banane qui ne doit pas descendre au-dessous de + 11°.

Quant à la condensation elle s'effectue à une température qui dépend essentiellement de celle de l'eau disponible et de la quantité d'eau qui peut être utilisée. Mais on pourra cependant, dans l'un comme dans l'autre cas améliorer les conditions de fonctionnement par une étude judicieuse des surfaces d'échange à l'évaporateur comme au condenseur.

avec refroidissement intermédiaire du fluide. A cet effet, le compresseur comportera deux cylindres dont l'un aspirera directement à l'évaporateur pour refouler le gaz dans un réfrigérant intermédiaire, le second compresseur aspirera le gaz déjà partiellement comprimé et refroidi dans ce réfrigérant intermédiaire pour le refouler définitivement au condenseur.

C'est le principe de la compression étagée ou compression compound.

Le refroidissement intermédiaire doit être aussi complet que possible et peut s'effectuer soit par circulation de fluide dans un serpentin, soit par injection de fluide déjà liquéfié dont l'évaporation absorbe la chaleur de compression du premier compresseur. Le choix de la pression intermédiaire, c'est-à-dire du rapport des cylindres des deux compresseurs, dépend des températures initiales et finales et des possibilités de refroidissement.

Ce mode de compression présente de nombreux avantages : tout d'abord, il diminue la consommation de force motrice ; il diminue également la température en fin de compression, et de ce fait, l'huile conserve mieux ses qualités lubrifiantes que dans une installation à compression simple. Il présente aussi d'importants avantages d'ordre mécanique du fait de la réduction des différences de pression qui existent entre les faces de clapets des soupapes ou des segments d'étanchéité du piston. De ce fait ces organes travaillent sous une pression effective plus faible, ils sont plus étanches et se conservent mieux que dans le système à compression simple.

On aura donc recours dans les installations importantes aux compresseurs compound qui sont maintenant fabriqués par presque tous les constructeurs frigoristes.

Lorsque l'importance de l'installation et les conditions de marche n'imposent pas absolument ce mode de construction on devra tout au moins choisir des compresseurs :

— largement dimensionnés en raison des fortes pressions unitaires agissant sur tous les organes ;

Fig. 3. — Condenseur à ruissellement répété ou atmosphérique abrité des rayons solaires par un toit à lanterneau et persiennage évitant les entrainements de gouttelettes. (Photo Sulzer).

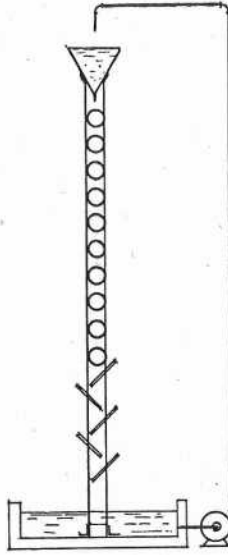
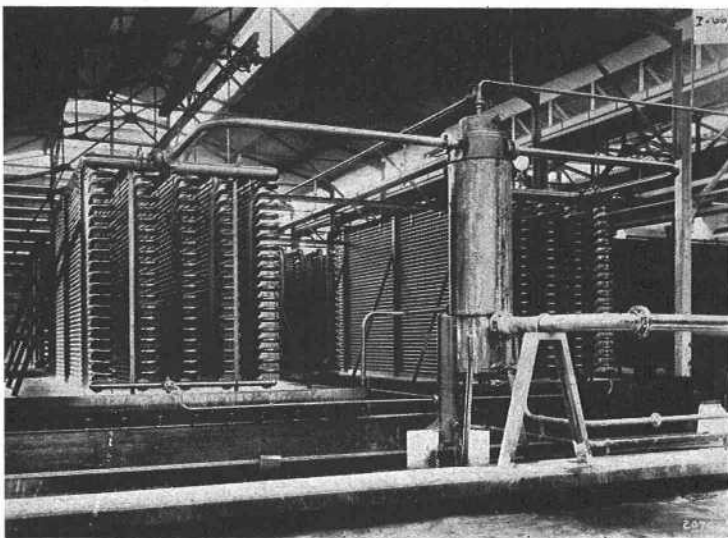


Fig. 4. — Condenseur à ruissellement répété à surfaces auxiliaires (coupe).

— relativement lents, c'est-à-dire tournant à une vitesse inférieure à la vitesse maxima de régime adoptée sous les climats tempérés ;

— munis d'un refroidissement par eau des cylindres avec chemises de circulation d'eau faciles à visiter et à détartrer.

Toutes ces mesures visent à faciliter l'évacuation de la chaleur de frottement et de compression, à abaisser la température des surfaces frottantes et à augmenter la viscosité de l'huile en contact avec ces surfaces.

CHOIX DU FLUIDE FRIGORIGÈNE

Parmi les nombreux fluides employés ou proposés pour les machines frigorifiques, bien peu sont acceptables aux pays tropicaux. L'anhydride carbonique, bien entendu, est complètement exclu. En effet, au-dessus de 32°, il ne se liquéfie plus et les machines subissent de ce fait, une diminution de capacité considérable, en même temps que la force motrice augmente.

Or, il est très rare que l'on puisse trouver de l'eau à une température assez basse (20° maximum), et en quantité suffisante pour que la température de condensation n'atteigne pas au moins 30°. De plus, avec l'élévation de la température de l'eau, la pression de condensation augmente considérablement, et atteint des valeurs de l'ordre de 80 à 100 atmosphères, où il est difficile de maintenir une bonne étanchéité des joints et presse-étoupes.

L'anhydride sulfureux a été longtemps considéré comme le fluide le mieux adapté à ces conditions de marche, en raison de ses faibles pressions de marche.

Cependant, il présente aussi de graves inconvénients, dont le principal est son action chimique destructive sur les métaux lorsqu'il est en présence d'air et d'humidité. Or, l'air est à peu près impossible à éviter dans un circuit frigorifique.

Tout d'abord, au cours des démontages indispensables pour l'entretien, il en pénètre toujours une certaine quantité dans le compresseur, et dans les tuyauteries.

De plus, l'anhydride sulfureux sous la pression atmosphérique bout à une température de -10° environ ; donc, lorsque la température d'évaporation désirée sera inférieure à -10°, tous les joints et presse-étoupe du réseau d'évaporation, ainsi que le

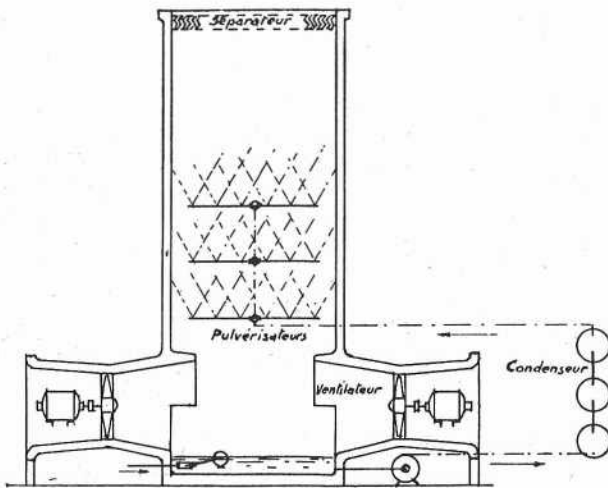


Fig. 5. — Tour de refroidissement d'eau à pulvérisation et à tirage mécanique annexée à un condenseur multitubulaire.

presse-étoupe du compresseur, se trouveront en dépression. On ne pourra pas s'apercevoir des manques d'étanchéité, et l'air entraînant de l'humidité, pénétrera dans le réseau. Il en résulte, non seulement une augmentation de la pression au condenseur et une consommation exagérée de force motrice, mais également une corrosion très marquée de tous les appareils, même s'ils sont en cuivre, et une décomposition des huiles de graissage.

Ce n'est que dans les petites machines ménagères ou commerciales, principalement du type hermétique que cet inconvénient est évité, la charge initiale ou les recharges éventuelles étant effectuées en usines ou par un personnel qualifié, avec des précautions spéciales pour assurer la parfaite siccité du réseau et l'évacuation totale de l'air.

En définitive, les machines à anhydride sulfureux ne présentent, dans les installations de grande puissance, aucun des avantages qu'on leur reconnaissait autrefois, et elles tendent à être remplacées par des machines à ammoniaque.

L'ammoniaque en effet, ne présente aucun de ces inconvénients : il permet la marche en surchauffe et reste parfaitement neutre vis-à-vis des métaux et des huiles, son approvisionnement est facile, surtout depuis le développement des fabriques d'ammoniaque synthétique, qui fournissent maintenant un fluide parfaitement épuré à un prix très modique ; enfin les pressions de marche, même sous des climats très chauds, ne conduisent à aucune difficulté d'usinage ou d'entretien.

De nouveaux fluides tendent à se développer dans l'industrie frigorifique, surtout en raison de leur parfaite innocuité vis-à-vis du personnel, de leur ininflammabilité et de leur neutralité vis-à-vis des métaux, des huiles et des marchandises.

Ce sont les « Fréons ». On donne ce nom à une très nombreuse série de corps résultant de la substitution du chlore et du fluor à l'hydrogène dans certains hydrocarbures.

Le plus employé jusqu'à présent est le dichlorodifluor méthane (CF_2Cl_2) appelé Fréon 12 ou F 12. La courbe de ses tensions de vapeur est très voisine de celle de l'ammoniac est légèrement inférieure à celle-ci.

A production frigorifique égale, le volume de gaz à déplacer par le compresseur est d'environ 70 % plus élevé que pour l'ammoniac ; et à déplacement égal, la section des soupapes doit être d'environ 40 % plus grande que pour ce fluide. Ce sont là des conditions qui n'ont rien de prohibitif en regard des avantages importants signalés ci-dessus.

Un autre avantage important, dans le cas qui nous intéresse, est que le F 12 se surchauffe très peu au cours de sa compression et que, pour des écarts de température d'évaporation et de condensation égaux, la température atteinte en fin de compression est beaucoup plus faible qu'avec l'ammoniac.

Ce fluide semblerait être idéal pour toutes les installations ; malheureusement il n'est produit que par un petit nombre d'usines et son prix demeure relativement élevé (250 à 300 fr. le kg contre 150 à 200 fr. pour le Chlorure de Méthyle et 45 à 60 fr. pour l'ammoniaque).

Cet inconvénient est négligeable pour les machines domestiques et commerciales qui employaient normalement le Chlorure de Méthyle, dont la charge est faible et la consommation très réduite, surtout dans les constructions hermétiques qui se généralisent actuellement. Il ne devient important que pour les grandes installations industrielles employant généralement l'ammoniaque, exigeant une charge initiale de plusieurs tonnes et où les pertes sont inévitables en raison du très grand développement du réseau de tuyauterie.

Malgré cela, l'emploi du Fréon se développe rapidement et s'étend même à certaines installations industrielles où la condition de sécurité l'emporte sur l'économie : conditionnement d'air de locaux habités ou d'édifices publics, installations marines, etc...

CHOIX DES CONDENSEURS

Un autre point important à considérer et qui souvent gêne dans la construction d'établissements frigorifiques est la question de l'eau de refroidissement pour le condenseur. Dans beaucoup de régions, l'eau est relativement rare et dans les villes elle est toujours coûteuse ; ceci influe considérablement sur le choix du modèle de condenseur. Lorsque l'on dispose d'eau en abondance (eau de mer, eau d'un fleuve, etc...) on peut employer des condenseurs à eau perdue où l'eau n'agit que par sa chaleur spécifique, c'est-à-dire

qu'après s'être échauffée de quelques degrés elle est simplement rejetée à l'égout et que le condenseur fonctionne ainsi en circuit ouvert (condenseurs à double tube, condenseurs à calandre, etc...).

Mais, avec ce système, la consommation est évidemment très élevée : on est en effet limité dans la quantité de chaleur que peut emporter un litre d'eau, car on ne peut admettre une élévation indéfinie de sa température, sans quoi la température de condensation s'élèverait parallèlement et la consommation de force motrice augmenterait dans des proportions inadmissibles.

Bien entendu il y aura toujours à rechercher un compromis entre la surface d'échange du condenseur, la consommation de force motrice de la pompe de circulation d'eau et celle du compresseur qui varient en sens inverse.

En général on est conduit à adopter un réchauffement de l'ordre de 5 à 7 degrés, c'est-à-dire qu'un litre d'eau peut évacuer au maximum 5 à 7 calories.

Si l'on tient compte de ce qu'il faut évacuer au condenseur non seulement la chaleur enlevée au milieu à refroidir, mais aussi la chaleur résultant du travail de compression, on voit que l'on est conduit, avec ce type de condenseur, à des débits considérables. Une machine de 100.000 frigories/heure travaillant au régime de -5 à l'évaporation et $+38^{\circ}$ à la condensation exigera environ 20 à 25 mètres cubes d'eau à 28° à l'heure.

Dans les régions tropicales on est fréquemment gêné non seulement par la rareté de l'eau mais aussi par la qualité défectueuse de celle-ci. Les eaux de surface sont fréquemment chargées de boues et de débris végétaux et les eaux de sous-sol contiennent une proportion considérable de différents sels dissous qui sont susceptibles de donner des entartrages rapides des tuyauteries.

Lorsqu'il ne s'agit que de matières en suspension, des bassins de décantation et de filtration suffisent pour éviter que les condenseurs ne soient trop rapidement colmatés.

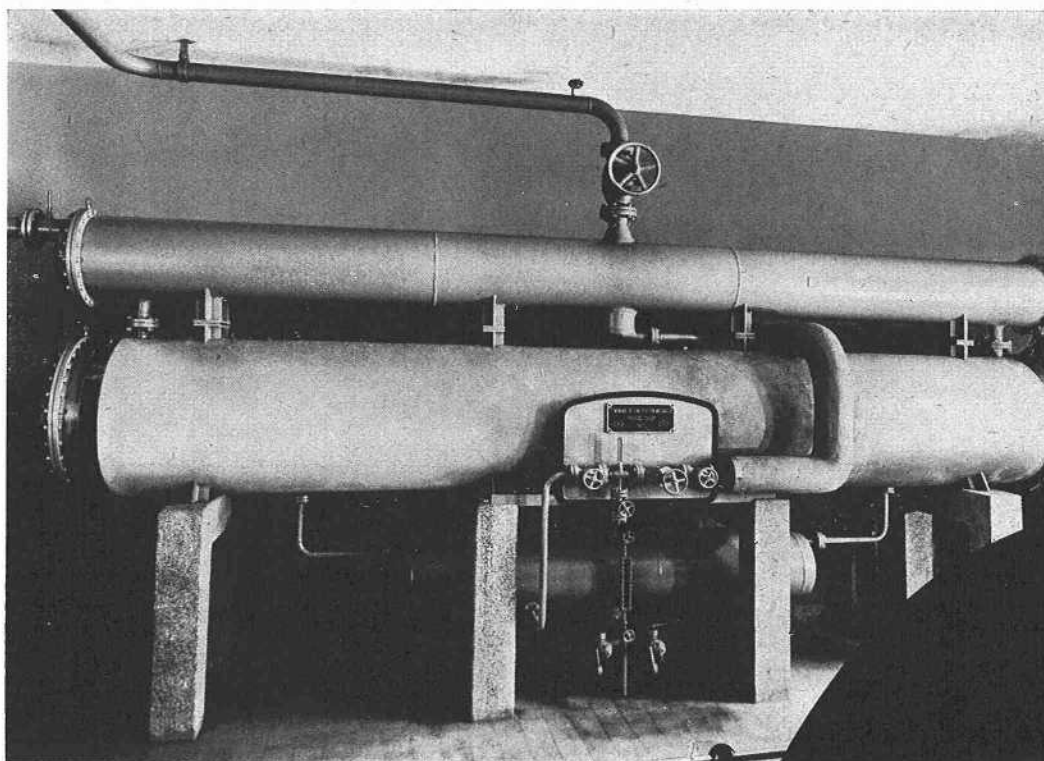


Fig. 6. — Condenseur à calandre avec séparateur d'huile refroidi et bouteille accumulatrice de liquide. Fonds distributeurs d'eau aisément démontables avec anneaux de suspension. (Photo Sulzer).

Lorsqu'il s'agit de sels entartrants, il faut choisir alors des types de condenseurs permettant un accès facile aux surfaces en contact avec l'eau pour pouvoir les détartrer périodiquement. En effet la formation d'une couche de tartre même relativement mince élève sensiblement la température de condensation et par conséquent la consommation de force motrice. On peut compter en moyenne qu'une couche de tartre d'environ 1 mm d'épaisseur élève la température de condensation d'environ 3° soit une augmentation de consommation de force motrice de 10 à 12 %.

En dehors de toute question de qualité, il faut, lorsque l'eau est rare, faire appel non seulement à sa chaleur spécifique mais aussi à sa chaleur latente de vaporisation pour évacuer les calories transmises par le fluide frigorigène au condenseur.

Dans ce but on a employé pour les installations industrielles des condenseurs dit « atmosphériques » constitués par des séries de tubes recevant à l'intérieur le gaz comprimé venant du compresseur et sur lesquels ruisselle abondamment l'eau de condensation qui retombe dans un bassin où elle est reprise par une pompe et renvoyée à la partie supérieure du condenseur pour parcourir un circuit fermé.

L'appareil est disposé de telle façon qu'il présente une très grande surface de contact avec l'air. Dans

ces conditions une partie de l'eau en ruissellement s'évapore en absorbant la chaleur du condenseur. Du fait de ce changement d'état la température de l'eau ne varie pas et il suffit de remplacer l'eau qui s'est évaporée ou qui a été entraînée par le vent à l'état de gouttelettes. En principe 1 litre d'eau devrait donc absorber environ 600 cal. En pratique les entraînements par le vent sont toujours assez importants et il est bon de compter qu'un litre d'eau n'absorbera pas plus de 200 cal.

Cette disposition donne de bons résultats dans les climats où l'atmosphère est relativement sèche et où, par conséquent, l'évaporation est active, mais dans les climats humides, lorsque la saturation de l'air atteint 80 à 90 % et même au delà, il n'y a plus assez d'évaporation, et la température de l'eau en circuit s'élève, en même temps que la température de condensation. L'évacuation de chaleur se faisant ici presque uniquement par contact avec l'air, on serait conduit à augmenter considérablement la surface du condenseur et cette solution serait très onéreuse. On préfère dans la plupart des cas séparer la fonction d'évaporation et de refroidissement de l'eau de la fonction de refroidissement du fluide qui est celle du condenseur. Dans ce but on emploie l'un des types de condenseurs à simple circulation d'eau et cette eau est ensuite refroidie par circulation soit dans des appareils de pulvérisation soit dans des tours de refroidissement analogues à celles qui sont employées dans les centrales thermiques.

Ces installations de refroidissement d'eau sont cependant très encombrantes et l'on a été conduit pour diminuer leur encombrement à activer la

circulation d'air au moyen de ventilateurs mus mécaniquement.

L'appareil comporte donc une tour dont la partie supérieure contient des surfaces de ruissellement ou des ajutages de pulvérisation d'eau, et à la partie inférieure de laquelle sont placés des ventilateurs qui aspirent l'air extérieur et le refoulent à contre-courant de l'eau. Pour éviter l'entraînement d'une quantité importante de gouttelettes d'eau, la partie supérieure de la tour se termine par un séparateur constitué le plus souvent par des tôles de zinc où les gouttelettes sont arrêtées et retournent dans le bassin d'alimentation de la tour.

Pour les petites installations on construit fréquemment un appareil qui renferme à la fois le condenseur et l'installation de refroidissement d'eau. Il est constitué par un coffrage analogue à la tour décrite ci-dessus mais à l'intérieur duquel se trouve en plus le condenseur lui-même qui reçoit directement la pluie d'eau, de telle façon que sa surface contribue également à l'évaporation de celle-ci.

Ces installations agissant par évaporation vont naturellement produire un enrichissement progressif de l'eau en sels de toute nature. Si l'eau est très chargée, il peut en résulter l'entartrage des tubes du condenseur et l'obstruction des canalisations ou des pompes ; dans ces conditions il est avantageux de disposer un appareil d'épuration d'eau sur la canalisation d'alimentation de manière à éviter les prix considérables de main-d'œuvre qu'entraîne toujours le détartrage.

Lorsque les eaux sont corrosives, soit par la présence d'acides organiques, soit par la présence de chlorures, il est bon d'éviter l'emploi de condenseurs à ruissellement, la présence de l'air ne pouvant qu'aggraver l'action corrosive. Dans ce cas on emploie le dispositif décrit plus haut comportant un dispositif d'évaporation séparé du condenseur à circulation et les tubes de ce dernier, ainsi que les plaques tubulaires sont en acier inoxydable ou du moins semi-inoxydable (acier au cuivre).

Telles sont les quelques précautions, d'ailleurs faciles à observer qui assureront aux installations frigorifiques placées dans les climats les plus excessifs, où elles sont d'ailleurs les plus désirables, des conditions de sécurité de marche, d'entretien et de rendement économique comparables à celles que l'on rencontre dans les climats européens.

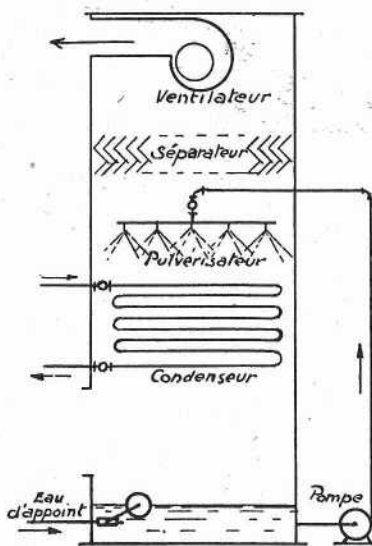


Fig. 7. — Condenseur à ruissellement combiné avec une tour de refroidissement d'eau à tirage forcé.