

LA  
**RÉFRIGÉRATION**  
ÉLECTRIQUE  
AUTOMATIQUE

(de 1/6<sup>e</sup> à 3 CV)

GUIDE DU MONTEUR

par

PIERRE DEGOIX



LIBRAIRIE DES SCIENCES

**GIRARDOT et Cie**

27, Quai des Grands-Augustins, PARIS-6<sup>e</sup>

« Magasin vert »

1942



# La réfrigération électrique automatique

---

## CHAPITRE PREMIER

### QUELQUES CONSIDÉRATIONS EN MANIÈRE D'INTRODUCTION

---

Quoique la réfrigération mécanique date de bien avant l'ère de l'automobile, ses principes sont encore assez méconnus en général ; probablement à cause de l'absence presque totale d'ouvrages simples en exposant les principes. En effet si, en France, il est possible de se procurer des documents concernant l'industrie frigorifique, ce ne sont, en général, que des ouvrages traitant de la grosse industrie et d'installations complètes d'entrepôts, et de compresseurs imposants, de plusieurs milliers de frigories-heure, le tout bourré de formules algébriques qui ne sont d'aucun secours au monteur en difficulté. Une grande partie de ces ouvrages est consacrée à des considérations chimiques sur la constitution des denrées et sur des cas particuliers de conservation qui sont peut-être très utiles à l'ingénieur qui étudie de grands projets, mais absolument superflus dans la pratique courante de la petite réfrigération automatique. C'est précisément cette partie que nous voulons exposer et expliquer au cours de cet ouvrage. La réfrigération électrique automatique est aujourd'hui extrêmement répandue en France, des milliers de particuliers possèdent un réfrigérateur électrique ménager, des milliers de commerçants sont en possession de chambres froides de boucheries, de restaurants, de conservateurs de crème glacée, de tirages à bière réfrigérés, etc.

La réfrigération électrique automatique a été complètement oubliée par les nombreux auteurs français qui ont publié des ouvrages sur le froid; par contre, aux U. S. A., où ces machines sont bien plus répandues qu'en Europe, il existe, au contraire, une littérature extrêmement abondante sur ce sujet. De nom-



breux livres, revues, journaux, périodiques, etc., y prospèrent et y fournissent une documentation abondante, simple et pratique. Aussi, nous croyons combler une lacune en publiant un ouvrage volontairement simplifié, dans lequel nous allons exposer les principes de la réfrigération électrique automatique ; cet ouvrage est surtout destiné aux monteurs qui ont journalièrement à travailler sur ces machines et dont, dans bien des cas, la documentation est extrêmement rudimentaire, sinon inexistante. Il n'est évidemment pas possible, dans le cadre volontairement restreint que nous nous sommes imposé, de passer en revue tous les appareils existants, tant français qu'étrangers ; mais, dans chaque cas, nous exposerons d'abord le principe théorique de fonctionnement pour en faciliter la compréhension, puis, ensuite, une ou deux réalisations pratiques, selon le cas. Il est évident que, presque chaque fois, nos présentations seront d'origine américaine puisque la très grosse majorité des appareils en fonctionnement en Europe sont de cette provenance.

**Plan de l'ouvrage.** — Il serait inutile d'essayer de comprendre les machines à froid, si l'on ne possédait pas, avant toute chose, un minimum de connaissance de quelques lois physiques principales, comme éléments de base. Aussi, nous commencerons cet ouvrage par un rappel extrêmement succinct, mais absolument nécessaire, des phénomènes fondamentaux d'ébullition, de condensation, d'hygrométrie, etc., dont nous aurons constamment à faire état dans toutes les explications qui vont suivre.

Après ce court rappel de physique absolument indispensable que nous conseillons au lecteur de bien comprendre, et non pas de parcourir rapidement, nous passerons en revue, ensuite, les différents fluides frigorigènes employés dans la réfrigération automatique, avec leurs caractéristiques ; puis, ensuite, les cycles frigorifiques utilisés dans la pratique, avec une explication succincte des organes employés, nous réservant, dans la continuation de l'ouvrage, de consacrer un chapitre spécial à chacun de ces organes. Les compresseurs, condenseurs, évaporateurs, détenteurs, etc., seront décrits tour à tour, surtout dans un esprit pratique destiné à guider le dépanneur et à lui faciliter la compréhension de son métier. Nous consacrerons également plusieurs chapitres à la description du fonctionnement de nombreux appareils accessoires, tels que : barostats, vannes solénoïdes, clapets de retenue, etc., etc., dont la description a souvent été négligée. Nous ferons également la présentation de quelques installations



types, d'après lesquelles on pourra déduire des réalisations plus compliquées. Nous y adjoindrons les calculs d'établissement de chambre froide et la façon de déterminer le matériel correspondant aux besoins envisagés.

Et, bien que nous nous défendions de publier un cours d'électricité, nous passerons rapidement en revue le principe de fonctionnement des moteurs électriques spéciaux employés en réfrigération ainsi que leurs accessoires, tels que relais, démarreurs, protection de surcharge, etc. Nous envisagerons également les applications spéciales de la réfrigération automatique dans les cas de réfrigération de liquides, tirages à bière, conservation de crèmes glacées, etc ; nous ferons aussi une présentation des appareils moins répandus ou spéciaux comme les unités hermétiques et les armoires à absorption et nous terminerons par quelques considérations sur le dépannage et l'outillage du monteur.



## CHAPITRE II

### RAPPEL DE QUELQUES NOTIONS DE PHYSIQUE INDISPENSABLES

---

Pour comprendre la théorie de la réfrigération, il faut une connaissance et une compréhension des lois fondamentales qui interviennent dans le cycle de la réfrigération. Beaucoup d'entre nous connaissent ces lois mais ignorent la manière de les appliquer aux faits intéressant la réfrigération.

L'une des lois fondamentales les plus importantes est celle de l'« équilibre ». La nature tend toujours à égaliser les forces en présence. La chaleur se déplace toujours dans le sens du corps le plus chaud vers le corps le moins chaud, jamais dans le sens contraire ; la température d'un corps tend à s'équilibrer avec celle de l'ambiance dans laquelle il se trouve placé. Chaque fois qu'un déséquilibre se produit dans la nature, une réaction naturelle tend à remettre les choses en état. En général, on parle de corps chauds et de corps froids en opposant les deux mots « froid » et « chaud » comme deux contraires, alors qu'en réalité il y a simplement présence dans les corps considérés d'une plus ou moins grande quantité de chaleur.

**Température.** — La chaleur est mesurée par sa *température* et sa *quantité*. La température indique le degré où le niveau de chaleur, on l'appelle aussi son *intensité*. La température se mesure à l'aide du thermomètre.

En négligeant le thermomètre Réaumur, les deux échelles thermométriques les plus employées en réfrigération sont l'échelle Fahrenheit et l'échelle centigrade.

L'échelle centigrade ou Celsius, bien connue en France et dans tous les pays ayant adopté le système métrique, a pour points de repère le 0° C, qui correspond à la température de la glace fondante, le point 100° C, correspondant à la température de l'eau bouillante (sous la pression atmosphérique).

Quant au thermomètre Fahrenheit, les deux points correspondant à ces deux températures sont +32° F et +212° F. Ces gra-



duations, qui peuvent à première vue sembler bizarres, sont cependant justifiées. A l'origine la température était seulement une question d'appréciation, sans unités précises et sans possibilités de mesure. Les deux points de comparaison les plus usités étaient : 1° la température de la glace ; 2° la température du corps humain. Fahrenheit exécuta des thermomètres permettant de mesurer les températures avec une précision surprenante pour cette époque et les moyens dont il disposait. A l'origine, Fahrenheit conçut son thermomètre pour l'usage médical. Comme tous ses contemporains, il détermina sa propre échelle de lecture entre la température du corps humain et la température la plus basse qui puisse se rencontrer ; ce dernier point correspondant dans son esprit à l'absence totale de chaleur ; aussi entendait-il le désigner par zéro.

Des marins lui ayant dit que l'Islande était la région la plus froide de la terre (c'est-à-dire l'endroit le plus froid que l'on connaissait à cette époque), il s'y rendit donc en 1706 et, interrogeant les habitants, il marqua zéro degré sur son thermomètre le jour où on lui dit dans ce pays n'avoir jamais connu de jour aussi froid. Le point marquant la fusion de la glace étant déjà indiqué sur son thermomètre, il constata que le mercure se dilatait des  $\frac{32}{1000}$  de son volume entre ces deux points, il adopta le chiffre  $32^{\circ}$  F comme température de la glace fondante et divisa cet espace en 32 graduations et reporta au-dessus du chiffre 32 des divisions identiques. Les divisions ainsi numérotées constituent l'échelle Fahrenheit, utilisée dans tous les pays de langue anglaise.

Il est intéressant, pour la compréhension des textes concernant la réfrigération, de passer des températures Fahrenheit aux températures centigrades ou inversement.

Pour changer une température en  $^{\circ}$  F, retrancher 32 et multiplier par 0,556 : le résultat est des  $^{\circ}$  C, ceci pour une appréciation exacte. Dans la pratique, le monteur qui ne recherche pas des  $\frac{1}{10}^{\circ}$  de degré pourra se contenter de la formule suivante facilement calculable de tête : prendre la température en degrés Fahrenheit et soustraire mentalement 32 et prendre la moitié du résultat obtenu ; l'erreur étant d'environ 10 %, il y a lieu évidemment d'ajouter toujours mentalement 10 % et l'on aura un résultat approximatif rapide suffisant pour les besoins du monteur.

Les thermomètres permettent seulement la mesure de la chaleur sensible, c'est-à-dire de la chaleur appréciable par nos sens. La chaleur latente sera définie plus loin.



Table de conversion des degrés centigrades en degrés Fahrenheit et vice versa.

C	F	C	F	C	F	C	F
-40	40	-15	5	9	48,2	33	91,4
-39	38	-14	6,8	10	50	34	93,2
-38	36	-13	8,6	11	51,8	35	95
-37	34	-12	10,4	12	53,6	36	96,8
-36	32,8	-11	12,2	13	55,4	37	98,6
-35	31	-10	14	14	57,2	38	100,4
-34	29	-9	15,8	15	59	39	102,2
-32	25,6	-8	17,6	16	60,8	40	104
-31	23,8	-7	19,4	17	62,6	41	105,8
-30	22	-6	21,2	18	64,4	42	107,6
-29	20,2	-5	23	19	66,2	43	109,4
-28	18,4	-4	24,8	20	68	44	111,2
-27	16,6	-3	26,6	21	69,8	45	113
-26	14,8	-2	28,4	22	71,6	46	114,8
-25	13	-1	30,2	23	73,4	47	116,6
-24	11,2	0	32	24	75,2	48	118,4
-23	9,4	+1	32,8	25	77	49	120,2
-22	7,6	2	35,6	26	78	50	122
-21	5,8	3	37,4	27	80,6	60	140
-20	4	4	39,2	28	82,4	70	158
-19	2,2	5	41	29	84,2	80	176
-18	0,4	6	42,8	30	86	90	194
-17	+1,4	7	44,6	31	87,8	100	212
-16	3,2	8	46,4	32	89,6		

**Calorie.** — Il a été dit que les thermomètres indiquent des niveaux de chaleur et non des quantités. Si nous plaçons sur une source de chaleur deux récipients contenant l'un, par exemple, un litre d'eau, et l'autre dix litres d'eau, et si nous plaçons dans chacun de ces récipients un thermomètre et que nous portions les deux récipients à ébullition, les deux thermomètres indiqueront chacun 100° C, et cependant la logique nous indique que dans un cas il a fallu apporter dix fois plus de chaleur que dans l'autre pour obtenir le même résultat, d'où la notion de quantité de chaleur.



La quantité de chaleur s'exprime en calories, la calorie étant définie comme la quantité de chaleur à apporter à un kilogramme d'eau pour élever sa température de 1°C. La frigorie est une calorie négative, c'est-à-dire la quantité de chaleur qu'il faut enlever à un kilogramme d'eau pour abaisser sa température de 1°C.

Dans les textes américains, il est fait usage de la BTU (British thermal unit), qui représente la quantité de chaleur qu'il faut apporter ou enlever à une livre d'eau (453 grammes) pour élever ou abaisser la température de 1°F. Pour passer d'une unité à l'autre, on utilisera les indications suivantes :

$$\text{BTU} \times 3,968 = \text{calories}$$

$$\text{Calories} \times 0,252 = \text{BTU}$$

On utilise également les unités IME (Ice melting equivalent, ou équivalent de glace fondante). C'est la puissance d'un compresseur exprimée par la quantité de glace en livres ou en tonnes qu'il faudrait faire fondre pour obtenir la même production de froid. Une tonne U S A est l'équivalent de 3.024 frigories.

**Chaleur latente.** — Supposons que nous plaçons un kilo de glace dans un récipient, que nous exposions ce récipient sur une source de chaleur et que nous plongeons un thermomètre dans ledit récipient. Observons maintenant ce qui va se passer. Evidemment, la glace va commencer à fondre ; cependant, malgré que l'apport de chaleur soit constant, nous pourrions constater que le thermomètre reste invariablement à zéro degré centigrade, et cela pendant toute la durée de la fusion de la glace, sans que cette chaleur semble avoir d'action sur le thermomètre. Tout se passe comme si la chaleur se trouvait absorbée en pure perte ; en réalité, cette chaleur se trouve employée à transformer la glace en eau, et la température reste constante pendant toute la transformation. Une fois toute la glace transformée en eau, si nous continuons à fournir de la chaleur à cette eau, nous verrons le thermomètre monter graduellement, proportionnellement à la quantité de chaleur fournie, et cela jusqu'à ce que l'on atteigne 100°C. A partir de ce moment, nous allons encore observer une nouvelle disparition apparente de la chaleur ; en effet, malgré que l'on continue à apporter de la chaleur, le thermomètre va rester fixe à 100°C, la chaleur apportée servant uniquement à transformer l'eau en vapeur, et la température restera fixe pendant toute la transformation. Cette chaleur disparue dans la



transformation d'état d'un corps porte le nom de chaleur latente. Dans le cas considéré ci-dessus, la chaleur latente de fusion de la glace est de 80 calories et la chaleur latente de vaporisation de l'eau est de 536 calories par kilo. Pour passer notre kilo de glace à 0°C en vapeur à 100°C, il nous faudra fournir d'abord 80 calories pour la fusion de la glace, puis 100 calories pour élever l'eau de 0°C à 100°C, et finalement 536 calories pour transformer cette eau en vapeur, soit un total de 716 calories, alors que le thermomètre n'a enregistré une variation de chaleur sensible que de 0°C à 100°C. En renversant le procédé, c'est-à-dire en partant de la vapeur à 100°C, nous pouvons revenir au kilo de glace à 0°C avec les mêmes températures et les mêmes chaleurs latentes, qui porteront à ce moment les noms de chaleur latente de liquéfaction (condensation) et chaleur latente de congélation.

Avec chaque corps, nous trouverons que, dans certaines conditions, une quantité définie de chaleur ajoutée ou soustraite permettra un changement d'état de ce corps, à température constante. Ces conditions et les quantités de chaleur latente varient avec chaque corps mais sont invariables pour un corps donné.

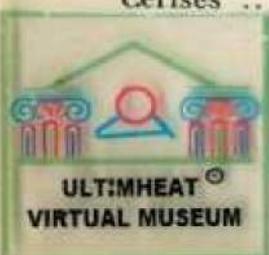
**Chaleur spécifique.** — Nous avons vu que la calorie était la quantité de chaleur qu'il faut apporter ou soustraire à 1 kilogramme d'eau pour élever ou abaisser sa température de 1°C ; mais cette quantité de chaleur nécessaire pour faire varier de 1°C une masse de 1 kilo n'est pas la même pour tous les corps, nous constatons, par exemple, qu'il suffit de :

- 0,5 calorie pour changer de 1°C un kilo de glace ;
- 0,24 calorie pour changer de 1°C un kilo d'air sec ;
- 0,93 calorie pour changer de 1°C un kilo de lait ;
- etc., etc.

Cette quantité de chaleur s'appelle la chaleur spécifique de ce corps.

#### Chaleur spécifique de quelques denrées.

Pommes .....	0,92	Figues .....	0,88
Citrons .....	0,90	Raisin .....	0,92
Melons .....	0,92	Fraises .....	0,92
Oranges .....	0,92	Poires .....	0,92
Pêches .....	0,92	Haricots verts .....	0,91
Cerises .....	0,92	Asperges .....	0,91



<i>Carottes</i> .....	0,87	<i>Poisson fumé</i> .....	0,58
<i>Pommes de terre</i> ....	0,80	<i>Crustacés</i> .....	0,81
<i>Salades</i> .....	0,90	<i>Coquillages</i> .....	0,84
<i>Fruits secs</i> .....	0,84	<i>Beurre</i> .....	0,55
<i>Légumes secs</i> .....	0,82	<i>Œufs</i> .....	0,76
<i>Bœuf</i> .....	0,75	<i>Fromages gras</i> .....	0,64
<i>Veau</i> .....	0,70	<i>Fromage sec</i> .....	0,61
<i>Mouton</i> .....	0,67	<i>Crème fraîche</i> .....	0,90
<i>Agneau</i> .....	0,66	<i>Crème glacée</i> .....	0,78
<i>Porc</i> .....	0,51	<i>Volaille</i> .....	0,80
<i>Lard</i> .....	0,54	<i>Gibier plumes</i> .....	0,70
<i>Salaisons</i> .....	0,60	<i>Gibier poils</i> .....	0,80
<i>Charcuterie fraîche</i> ..	0,70	<i>Bière</i> .....	0,90
<i>Poisson de rivière</i> ....	0,70	<i>Vin</i> .....	0,90
<i>Poisson de mer</i> .....	0,80	<i>Lait</i> .....	0,90
<i>Eau</i> .....	1,00		

La chaleur spécifique d'une denrée est proportionnelle au pourcentage d'eau contenue dans ce corps.

**Transmission de la chaleur.** — Nous savons que la réfrigération consiste à retirer de la chaleur d'un espace déterminé ; il est nécessaire maintenant de savoir comment la chaleur se déplace. Il existe trois méthodes de déplacement de la chaleur :

- 1° par radiation ;
- 2° par convection ;
- 3° par conduction.

1° *Radiation.* — La transmission par radiation est la transmission par rayons directs, tels les rayons du soleil. Un excellent exemple de la chaleur radiante est donnée par radiateurs électriques paraboliques. Si l'on dirige l'axe du radiateur vers un mur, on peut observer sur celui-ci un échauffement nettement localisé, à la façon de la tache lumineuse d'un projecteur électrique. En réfrigération, la chaleur radiante n'intervient dans les calculs que dans les cas de parois exposées au soleil, refroidissement de wagons, etc.

2° *Convection.* — Si l'on applique une source de chaleur à un volume d'air ou de gaz ou de liquide, les molécules de gaz ou de liquide en contact avec la source de chaleur absorbent de la chaleur et, du fait de leur dilatation, deviennent plus légères et ont une tendance à s'élever au sein de la masse gazeuse ou liquide,



permettant aux molécules plus froides, donc plus lourdes, de prendre leur place. Il se crée des mouvements de circulation appelés courants de convection. Ces courants de convection étant relativement lents, on a quelquefois recours à des moyens mécaniques pour les accélérer. On a recours à des ventilateurs pour accélérer la circulation de l'air, ou à des agitateurs pour accélérer les mouvements des liquides ; on obtient ainsi la convection forcée.

**3° Conduction.** — La conduction est la transmission de la chaleur à travers un corps sans qu'il y ait de mouvement de molécules.

Par exemple, si l'on prend une tige métallique dans la main par une extrémité et que l'on expose l'autre extrémité à une source de chaleur assez intense, au bout d'un certain temps l'on sera obligé de lâcher la tige sous peine de brûlure, car la chaleur s'est transmise dans la masse du métal par conduction.

En réfrigération, on a surtout à tenir compte de la transmission par convection pour l'établissement de la circulation d'air dans les chambres froides, et de la transmission par conduction en ce qui concerne les rentrées de chaleur par les parois et les échanges de calories entre le fluide frigorigène et l'air ambiant à travers le métal des évaporateurs.

**Evaporation.** — L'évaporation est le passage d'un corps de l'état liquide à l'état gazeux. L'évaporation est un phénomène endothermique, c'est-à-dire se produisant avec absorption de chaleur, absorption plus ou moins importante selon la chaleur latente de vaporisation du liquide à vaporiser. L'évaporation est plus ou moins rapide selon le degré de volatilité du liquide, c'est-à-dire selon sa plus ou moins grande facilité à s'évaporer sans apport de chaleur extérieure. Les liquides volatils se vaporisent instantanément dans le vide. La chaleur absorbée par un liquide pour se vaporiser s'appelle chaleur de vaporisation, c'est une fonction décroissante de la température.

Lorsque, dans une enceinte vide, un liquide est complètement vaporisé, les vapeurs formées sont dites vapeurs saturées, si dans les conditions de pression et de température on ne peut plus évaporer de liquide ; dans le cas contraire, on est en présence de vapeurs non saturées, ou vapeurs sèches. La pression d'une vapeur saturée est fonction de sa température. Elever la température entraîne obligatoirement une élévation de pression et vice versa.



La diminution de pression favorise l'évaporation alors que l'augmentation de pression la retarde, pour une même température.

**Ebullition.** — L'ébullition est une vaporisation rapide avec formation tumultueuse de bulles de vapeur au sein même du liquide et qui viennent crever à la surface. Le dégagement gazeux ne peut se produire que lorsque la pression interne de la vapeur est égale ou légèrement supérieure à la pression externe agissant à la surface du liquide. Pour arriver à ce résultat, l'on peut employer deux procédés :

Le premier consiste à apporter de la chaleur au liquide à vaporiser. La température s'élevant graduellement, la pression des vapeurs internes s'élève également et arrive au point d'équilibre décrit plus haut, la vapeur se dégage et le liquide se met à bouillir.

La seconde méthode procède d'une façon inverse pour obtenir le même résultat. Elle consiste à diminuer la pression externe à la surface libre du liquide jusqu'à ce qu'il y ait équilibre entre les deux pressions interne et externe sans aucun apport de chaleur. Une fois l'équilibre obtenu, le liquide entre en ébullition.

Pour fixer les idées, prenons par exemple une certaine quantité d'eau que nous placerons sous la cloche d'une machine pneumatique capable d'assurer un vide assez poussé et d'entraîner d'assez grands volumes de vapeur. Mettons en marche cette machine, la pression à la surface de l'eau va s'abaisser jusqu'à ce qu'elle devienne légèrement inférieure à la pression interne de la vapeur dans la masse de l'eau, qui, à ce moment, commencera à bouillir.

Nous avons vu que l'évaporation est un phénomène qui ne peut se produire qu'avec absorption de chaleur ; or, comme dans l'expérience présente nous n'apportons aucune chaleur extérieure, l'eau s'empruntera de la chaleur à elle-même et se refroidira jusqu'à atteindre le point de congélation et se prendra en glace, arrêtant ainsi l'ébullition.

C'est sur ce principe que sont basées les machines à éjection Westinghouse-Leblanc, où la mission de faire le vide est confiée à un jet de vapeur venant d'une chaudière. Ce jet de vapeur traverse des injecteurs genre Giffard montés en cascade. Les injecteurs réalisent un vide assez poussé et assurent l'entraînement mécanique des vapeurs formées. Il faut évaporer en poids environ un sixième de l'eau à congeler. On peut compter environ un litre de vapeur aspirée par seconde par frigorie produite à zéro degré



centigrade. Nous ne décrirons pas ces machines qui ne se font qu'en grosses puissances frigorifiques et sortent du cadre de la réfrigération automatique.

**Condensation.** — La condensation, ou liquéfaction, est le phénomène inverse de l'évaporation. Ces deux phénomènes sont réversibles. C'est le retour à l'état liquide d'un liquide vaporisé. C'est un phénomène qui se produit avec libération de chaleur appelée chaleur de liquéfaction, qui est égale et de signe contraire à la chaleur de vaporisation.

Une élévation de pression ou un abaissement de température, ou la combinaison des deux procédés, provoquent la liquéfaction d'une vapeur. Il est évident que pour produire le phénomène de condensation il faut prévoir un moyen d'évacuation rapide de la chaleur de liquéfaction, soit à l'aide d'une circulation d'eau ou d'air ; plus la chaleur sera évacuée rapidement, plus rapide sera la vitesse de liquéfaction, et plus la température de condensation sera basse, la pression au condenseur sera d'autant moins élevée.

**Pression.** — En raison de leur expansion, les gaz et les vapeurs comprimés exercent sur les parois du récipient qui les contiennent une pression appelée force élastique ou tension.

Les pressions se mesurent en kilogrammes par centimètre carré, ou en livres par pouce carré, lorsqu'il s'agit de pressions au-dessus de la pression atmosphérique ; et en centimètres de mercure ou inches de mercure lorsqu'il s'agit de vide relatif, c'est-à-dire de pressions inférieures à la pression atmosphérique. Les appareils destinés à mesurer la pression s'appellent manomètres. Ils peuvent être gradués uniquement en pression à partir du zéro égal à la pression atmosphérique ou avoir une graduation combinée au-dessus et au-dessous de celle-ci (1).

**Pression atmosphérique.** — L'on sait que pour faire monter de l'eau dans un conduit, l'on doit créer un vide (aspiration) à l'autre extrémité. Quelle que soit la section du conduit, on constate

(1) *Conversions.* — Pour passer des unités de pression françaises aux unités de pression américaines, on emploiera les facteurs suivants :

inches vaacum	× 0,39 = inches vaacum
cm de mercure	× 2,54 = cm de mercure.
Kilog/cm <sup>2</sup>	× 0,07 = Kilog/cm <sup>2</sup>
Livres par sq. inches	× 14,22 = Livres par sq inches.



que l'eau ne peut pas dépasser une certaine hauteur, même lorsqu'on arrive à produire le vide parfait dans le conduit. Cette hauteur se trouve être 10 m. 33. A ce moment, le poids de la colonne d'eau se trouve exactement équilibré par une autre force qui est la pression atmosphérique. En évaluant le poids d'eau contenu dans la conduite et en divisant ce poids par la surface de la section du conduit, on trouve un poids d'eau égal à 1 kilo 033. Si l'on utilise un autre liquide que l'eau, la hauteur atteinte variera selon le poids du liquide. Si l'on choisit le mercure, par exemple, qui est 13,6 fois plus lourd que l'eau, le niveau du mercure s'arrêtera donc à une hauteur 13,6 fois plus basse que dans le cas de l'eau, c'est-à-dire 76 cm. En pesant cette colonne de mercure, on constatera que le poids par  $\text{cm}^2$  est de 1.033 grammes. Cette force d'équilibre est la pression atmosphérique, qui est égale à 1 kilo 033 par  $\text{cm}^2$  ; on dit également que la pression est de 1 atmosphère. A noter toutefois que ceci n'est valable que pour l'altitude zéro, c'est-à-dire au niveau de la mer, car c'est une fonction décroissante de l'altitude. La pression atmosphérique baisse d'environ 113 grammes par mille mètres d'altitude.

La pression d'une vapeur saturée est fonction de sa température. Pour une température donnée il ne peut y avoir qu'une seule pression ; si la pression mesurée est différente de la température, c'est que nous ne nous trouvons plus en présence d'une vapeur saturée, mais d'une vapeur non saturée ou surchauffée.

Lorsque l'on considère la relation qui unit les températures et les pressions, on doit se rappeler deux points importants :

1° Une vapeur ne peut rester à l'état gazeux si elle est soumise à une température inférieure à celle correspondant à la température de liquéfaction pour une pression donnée ;

2° Inversement, une vapeur ne peut rester à l'état liquide si elle est soumise à une température supérieure à celle de sa température de vaporisation pour cette même pression.

**Hygrométrie.** — L'air que nous respirons n'est jamais parfaitement sec, il contient toujours une certaine quantité de vapeur d'eau. Un volume donné d'air sec ne peut pas absorber indéfiniment de la vapeur d'eau, la quantité qu'il peut contenir varie avec la température. Pour une température donnée, la quantité qu'il peut contenir est variable entre la sécheresse parfaite et un poids maximum de vapeur d'eau que l'on ne peut pas dépasser, on dit que l'air est saturé, ou que le degré hygrométrique est de 100 %.



Cela veut dire que pour cette température l'air considéré ne peut plus recevoir de vapeur d'eau. L'excédent se condense sous forme de brouillard ou gouttelettes.

Le degré hygrométrique ou fraction de saturation s'exprime en % de saturation. Si l'on dit par exemple qu'à la température de  $+ 15^{\circ}$  C l'air d'une chambre présente un degré hygrométrique de 75 %, cela ne veut pas dire que cet air contient en poids ou en volume 75 % de vapeur d'eau, mais cela veut dire que pour cette température le poids d'eau contenu dans l'air considéré est seulement les trois quarts de ce qu'il pourrait contenir au maximum. Si l'on abaisse d'une façon continue la température de ce volume d'air sans y ajouter ou enlever de vapeur d'eau, la quantité maximum de vapeur d'eau admissible diminuant avec la température, le degré hygrométrique va augmenter jusqu'à devenir 100 %. Si, ce degré étant atteint, nous continuons à refroidir le volume d'air envisagé, celui-ci ne pouvant plus contenir la vapeur d'eau qu'il avait en dissolution, l'excédent de vapeur va se condenser et se déposer sur les parois de la chambre ; on dit que l'on a atteint le poids de rosée.

A titre d'indication, voici pour quelques températures le poids d'eau maximum que peut contenir un mètre cube d'air saturé, degré hygrométrique 100 % :

—	$10^{\circ}$ C	=	2,4	grammes
—	$5^{\circ}$ C	=	3,4	—
+	$0^{\circ}$ C	=	4,8	—
+	$4^{\circ}$ C	=	6,3	—
+	$10^{\circ}$ C	=	9,3	—
+	$15^{\circ}$ C	=	12,7	—
+	$20^{\circ}$ C	=	17,3	—

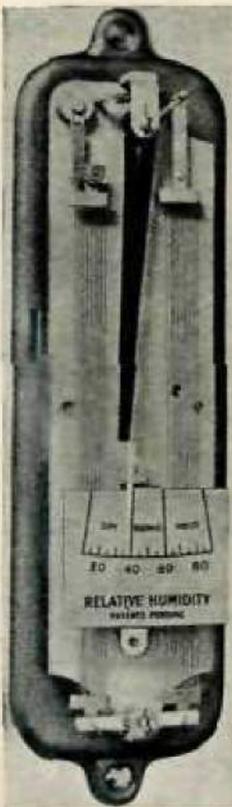


FIG. 1. — Hygromètre à cheveux.

*Hygromètres.* — Le degré hygrométrique de l'air se mesure à l'aide d'hygromètres ou de psychromètres.

Dans les hygromètres, on emploie une matière ayant la propriété de changer de volume ou de longueur sous l'action de l'humidité ; les variations de volume ou de longueur sont transmises, à l'aide d'engrenages et leviers, à une aiguille se déplaçant sur un cadran gradué en degrés hygrométriques.



Le type de l'hygromètre (fig. 1) est l'hygromètre à cheveux, basé sur la faculté que possèdent les cheveux humains, soigneusement dégraissés, de s'allonger ou de se raccourcir sous l'effet de l'humidité.

**Psychromètres.** — Les psychromètres se composent de deux thermomètres identiques, l'un a son réservoir à l'air libre, l'autre est entouré d'une mèche de coton trempant dans un petit réservoir d'eau.

L'appareil fonctionne de la façon suivante : l'eau monte par capillarité dans la mèche de coton et s'évapore en fonction de la quantité d'eau contenue dans l'air ambiant. L'eau évaporée emprunte la majeure partie de sa chaleur d'évaporation au bulbe du thermomètre dont la température s'abaisse d'autant. Les deux thermomètres indiquent des températures différentes d'autant plus accusées que l'air ambiant est plus sec, donc l'évaporation plus active. Dans l'air saturé, il n'y a plus d'évaporation et les deux thermomètres sont à la même température. Les psychromètres sont livrés avec une table de degrés hygrométriques en fonction de l'écart de température entre le thermomètre sec et le thermomètre humide.

A titre d'indication, voici un extrait succinct, pour quelques températures, d'une table de degrés hygrométriques pour un psychromètre à mèche de coton.

**Table des degrés hygrométriques pour l'emploi de psychromètres à mèche de coton.**

Différences entre thermo sec et humide	Température du thermomètre sec				
	0°	+ 2° C	+ 3° C	+ 4° C	+ 5° C
1° C	80,5 %	82 %	82,5 %	83 %	83,5 %
1,5° C	71,5	73,5	74,5	75,5	76,5
2° C	63	66	67	68	69

NOTA. — Cette table est évidemment trop restreinte pour être employée pratiquement et n'est donnée qu'à titre d'exemple.  
Le degré d'humidité normal de l'air est compris entre 60 et 80 %; une bonne moyenne étant 75 %.

**Densité.** — La densité d'un corps est le rapport de sa masse à son volume ou le poids en grammes d'un décimètre cube (poids spécifique).



La densité, par rapport à l'eau d'un corps, est le rapport de la masse de ce corps à la masse d'un même volume d'eau à 4° C.

La densité d'un gaz pris à une pression et à une température déterminées est le rapport qui existe entre la masse d'un certain volume de ce gaz et un égal volume d'air sec pris à la même température et à la même pression.

Table d'équivalence des unités françaises et américaines.

	Métrique.	Anglais - USA.
Linéaire :	1 millimètre	= 0,039 pouce (")
	1 pouce	= 25,4 m/m
	1 centimètre	= 0,394 pouce (")
	1 mètre	= 3,281 pieds (° ou ft.)
	1 pied	= 0,305 mètre
	1 mètre	= 1,094 yard
	1 yard	= 0,913 mètre
Surface :	1 centimètre carré	= 0,155 pouce carré (sq. in.)
	1 pouce carré	= 6,452 cm <sup>2</sup>
	1 mètre carré	= 10,764 pieds carrés (sq. ft.)
	1 pied carré	= 0,093 m <sup>2</sup>
Volume :	1 centimètre cube	= 0,061 pouce cube (cub. in.)
	1 pouce cube	= 16,387 cm <sup>3</sup>
	1 mètre cube	= 35,314 pieds cubes (cub. ft.)
	1 pied cube	= 0,028 m <sup>3</sup>
Poids :	1 gramme	= 0,035 once (ozs.)
	1 once	= 28,350 grammes
	1 kilogramme	= 2,205 livres (lbs)
	1 livre	= 0,453 kg.
Capacité :	1 litre	= 0,220 gallon imperial
	1 gallon (imp.)	= 4,54 litres
	1 gallon (USA)	= 3,785 litres
	1 litre	= 0,264 gallon USA.
Chaleur :	1 calorie	= 3,96 B T U
	1 B T U	= 0,252 calorie
Pression :	1 kilog/cm <sup>2</sup>	= 14,22 lbs/sq. in.
	1 livre/pouce carré	= 0,070 kilo/cm <sup>2</sup> .



## CHAPITRE III

### FLUIDES FRIGORIGÈNES

---

**Généralités.** — L'utilisation de la chaleur absorbée par l'évaporation d'un liquide volatil est actuellement la source industrielle du froid ; le fluide frigorigène est le corps chimique dont on utilise les changements d'état comme source productrice de froid dans les installations frigorifiques.

Les fluides frigorigènes doivent jouir de propriétés très différentes.

La première qualité sera évidemment d'avoir une très grande chaleur latente de vaporisation, puisque c'est de celle-ci que nous attendons l'effet utile. Il faut également qu'un fluide frigorigène soit :

- non toxique ;
- non inflammable ;
- non corrosif ;
- stable à toutes les températures où il sera employé ;
- que la détection des fuites soit assez aisée ;
- qu'il n'exige pas de trop fortes pressions pour sa liquéfaction ;
- qu'il ne décompose pas les huiles de graissage ;
- la pression d'évaporation aux températures d'emploi doit se trouver aussi près que possible de la pression atmosphérique pour éviter l'emploi de vide trop poussé ;
- il ne doit pas attaquer la matière employée pour les joints, ni les métaux ;
- il ne doit pas être d'un prix prohibitif ;
- etc., etc.

En réalité, aucun fluide frigorigène ne possède à la fois toutes



ces qualités au même degré, et le choix d'un fluide frigorigène dépend des résultats que l'on désire obtenir.

Il ne faut pas commettre l'erreur assez répandue de croire que la puissance frigorifique d'un fluide frigorigène est représentée uniquement par sa chaleur de vaporisation, c'est-à-dire par le nombre de calories absorbées par 1 kilo de ce fluide pour passer de l'état liquide à l'état vapeur, car n'oublions pas que les compresseurs sont des pompes qui déplacent non pas des poids de liquide, mais des volumes de gaz. A titre d'exemple, en consultant les tables, nous voyons que la chaleur de vaporisation à zéro degré est de 316 calories pour le  $\text{NH}^3$  et de 91 calories seulement pour le  $\text{SO}^2$  ; il ne faut pas cependant en déduire à une formidable supériorité du  $\text{NH}^3$  sur le  $\text{SO}^2$  ; le poids spécifique des vapeurs de  $\text{NH}^3$  étant de beaucoup inférieur à celui des vapeurs de  $\text{SO}^2$ . Le poids spécifique d'une vapeur étant le poids de un mètre cube de cette vapeur à une pression et une température données. Les calories contenues dans un mètre cube de gaz peuvent être représentées par le produit du poids spécifique de cette vapeur par la chaleur de vaporisation, c'est-à-dire, dans l'exemple cité plus haut :

$\text{NH}^3$  : 316 cal. (évaporation)  $\times$  0,7 (densité de vapeur) = 221 ;

$\text{SO}^2$  : 91 cal. (évaporation)  $\times$  2,62 (densité de vapeur) = 238,

c'est-à-dire un effet frigorifique sensiblement égal malgré des chaleurs latentes de vaporisation nettement différentes.

#### Chaleur de vaporisation des fluides frigorigènes.

Calories/kg par kilo de fluide vaporisé.

Temp.	$\text{NH}^3$	$\text{SO}^2$	$\text{CH}^2\text{Cl}$	$\text{CCl}^2\text{F}^2$
— 30	330	105	103	40
— 20	327	100	91,71	39
— 10	322	95,3	89,31	38
+ 0	316	91,2	86,84	32,96
+ 5	312	89,3	85,58	32,35
+ 10	308	87,4	84,31	31,71
+ 15	304	85,5	83	31,04
+ 20	293	83,6	81,64	30,35

**Volume spécifique des fluides frigorigènes.  
Mètre cube de vapeur par kg de fluide vaporisé.**

Temp.	NH <sup>3</sup>	SO <sup>2</sup>	CH <sup>3</sup> Cl	CCl <sup>2</sup> F <sup>2</sup>
— 30	0,998	0,749	0,528	0,161
— 20	0,646	0,478	0,354	0,110
— 10	0,432	0,314	0,241	0,078
+ 0	0,298	0,212	0,168	0,056
+ 10	0,211	0,143	0,120	0,042
+ 15	0,180	0,124	0,102	»
+ 20	0,154	0,105	0,087	0,031

**Poids spécifique des vapeurs en kg par mètre cube  
à 0 degré/ 760 m/m**

NH<sup>3</sup> — 0,700

CH<sup>3</sup>Cl — 2,070

SO<sup>2</sup> — 2,627

CCl<sup>2</sup>F<sup>2</sup> — 17,65

D'après l'examen des tables, l'on voit que le volume spécifique des vapeurs varie considérablement d'un fluide à un autre pour une même température d'évaporation ; donc, pour produire un même effet frigorifique, il faudra non seulement vaporiser des poids de fluide différents, mais aussi aspirer des volumes de vapeurs variant considérablement selon le fluide évaporé.

Nous négligerons volontairement le NH<sup>3</sup> et le CO<sup>2</sup> qui sont des fluides que l'on n'emploie pas dans la réfrigération électrique automatique et nous allons seulement passer en revue les trois fluides principaux employés dans les petites machines automatiques ; c'est-à-dire l'anhydride sulfureux SO<sup>2</sup>, le chlorure de méthyle CH<sup>3</sup>Cl, et le dichlorodifluorométhane CCl<sup>2</sup>F<sup>2</sup>, plus connu sous le nom de F<sup>22</sup> ou Fréon.

Nous ne rappellerons que pour mémoire les volumes théoriques comparatifs des compresseurs à CO<sup>2</sup> — NH<sup>3</sup> — SO<sup>2</sup>. Si l'on prend comme unité le compresseur à CO<sup>2</sup>, les volumes des autres compresseurs se rangent par ordre de grandeur de la manière suivante :



Compresseur à anhydride carbonique = 1

Compresseur à ammoniaque = 6

Compresseur à anhydride sulfureux = 15,50,

suisant les volumes de gaz à aspirer pour une même quantité de froid produite.

En ce qui concerne les trois fluides qui nous intéressent, nous allons examiner dans le tableau suivant la quantité de fluide à évaporer pour produire 1.000 frigories à la température de  $-10^{\circ}\text{C}$  à l'évaporateur. Le poids de fluide à évaporer est égal au quotient du nombre de frigories à produire divisé par la chaleur latente de vaporisation du fluide employé :

$$\text{SO}^2 \frac{1.000 \text{ frigories}}{95 \text{ calories}} = 10 \text{ kg } 5$$

$$\text{CH}^3\text{Cl} \frac{1.000}{89} = 11 \text{ kg } 11$$

$$\text{CCl}^2\text{F}^2 \frac{1.000}{38} = 26 \text{ kg } 3$$

Le volume de vapeur en  $\text{m}^3$  à aspirer pour produire ces 1.000 frigories sera égal au produit du poids de liquide à évaporer par le volume spécifique de la vapeur à la température d'évaporation :

$$\text{CCl}^2\text{F}^2 \text{ — } 26,3 \times 0,078 = 2,05$$

$$\text{CH}^3\text{Cl} \text{ — } 11,11 \times 0,241 = 2,67$$

$$\text{SO}^2 \text{ — } 10,5 \times 0,314 = 3,3$$

La variation des volumes à aspirer étant au maximum du rapport 1 à 1,6, dans la pratique on emploie indifféremment les mêmes compresseurs pour les trois fluides, en variant seulement les vitesses de rotation.

**Anhydride sulfureux  $\text{SO}_2$ .** — L'anhydride sulfureux est probablement le plus ancien agent frigorigène employé en réfrigération automatique et aussi le plus répandu, quoique depuis quelques années il laisse de plus en plus la place au chlorure de méthyle. C'est un fluide extrêmement pratique qui n'exige qu'une faible pression pour se liquéfier aux températures habituelles ; il est ininflammable, la détection des fuites est très aisée et de plus son



prix est modique. Par contre, ses inconvénients sont assez nombreux. D'abord sa toxicité qui rend rapidement l'atmosphère irrespirable s'il se produit une fuite un peu importante ; il devient rapidement corrosif en présence de l'humidité ; aux températures habituelles d'évaporation sa tension de vapeur étant inférieure à la pression atmosphérique, il y a danger d'entrée d'air dans le circuit dans le cas de fuite même minime, cette entrée d'air apportant toujours avec elle un certain pourcentage d'humidité, le  $\text{SO}^2$  devient corrosif.

**Chlorure de méthyle  $\text{CH}_3\text{Cl}$ .** — Le chlorure de méthyle est infiniment moins toxique que le  $\text{SO}^2$ , il est d'un prix plus élevé ; il a l'avantage aux températures habituelles d'évaporation d'avoir encore une pression supérieure à la pression atmosphérique, ce qui rend impossible les rentrées d'air en cas de fuite. Même en présence de l'humidité le  $\text{CH}^3\text{Cl}$  est fort peu corrosif, mais il peut former avec l'eau des hydrates solides qui peuvent obstruer les canalisations, indépendamment de l'eau entraînée qui peut se congeler. Toutefois ces phénomènes sont rares, mais il convient de bien veiller à la déshydratation et de se méfier de l'humidité que peuvent apporter l'huile et l'air. A la température ordinaire ce frigorigène n'a pas d'action sensible sur les métaux, même en présence de traces d'humidité, sauf sur les métaux légers ; l'aluminium et le zinc ne doivent en aucun cas être en contact avec le  $\text{CH}^3\text{Cl}$ . Le chlorure de méthyle est très stable et ce n'est que vers  $500^\circ\text{C}$  environ qu'il commence à se décomposer en formant de l'acide chlorhydrique.

Le chlorure de méthyle est un produit modérément inflammable ; mélangé à l'air dans certaine proportion, il peut propager une flamme. Les mélanges de  $\text{CH}^3\text{Cl}$  et d'air sont toujours explosibles sans l'intervention brusque d'une source très chaude ; en réalité, les dangers de combustion brutale sont minimes.

**Fréon ou F12.** — Dichlorodifluorométhane  $\text{CCl}_2\text{F}_2$  est le plus répandu de la série des Fréon, car il existe aussi :

$\text{F}^{11}$  —  $\text{CCl}_3\text{F}$  — trichloromonofluorométhane ;

$\text{F}^{21}$  —  $\text{CCl}_2\text{F}$  — dichloromonofluorométhane ;

$\text{F}^{114}$  —  $\text{C}_2\text{Cl}_2\text{F}_4$  et

$\text{F}^{113}$   $\text{CCl}_2\text{F}_3$ .

Nous n'examinerons que le  $\text{CCl}_2\text{F}_2$  dichlorodifluorométhane



parce que le plus usité et que nous appellerons  $F^{12}$  par simplification.

Le  $F^{12}$  est un nouvel agent frigorigène qui, dans la gamme des fluides employés, peut s'intercaler entre l'ammoniaque et

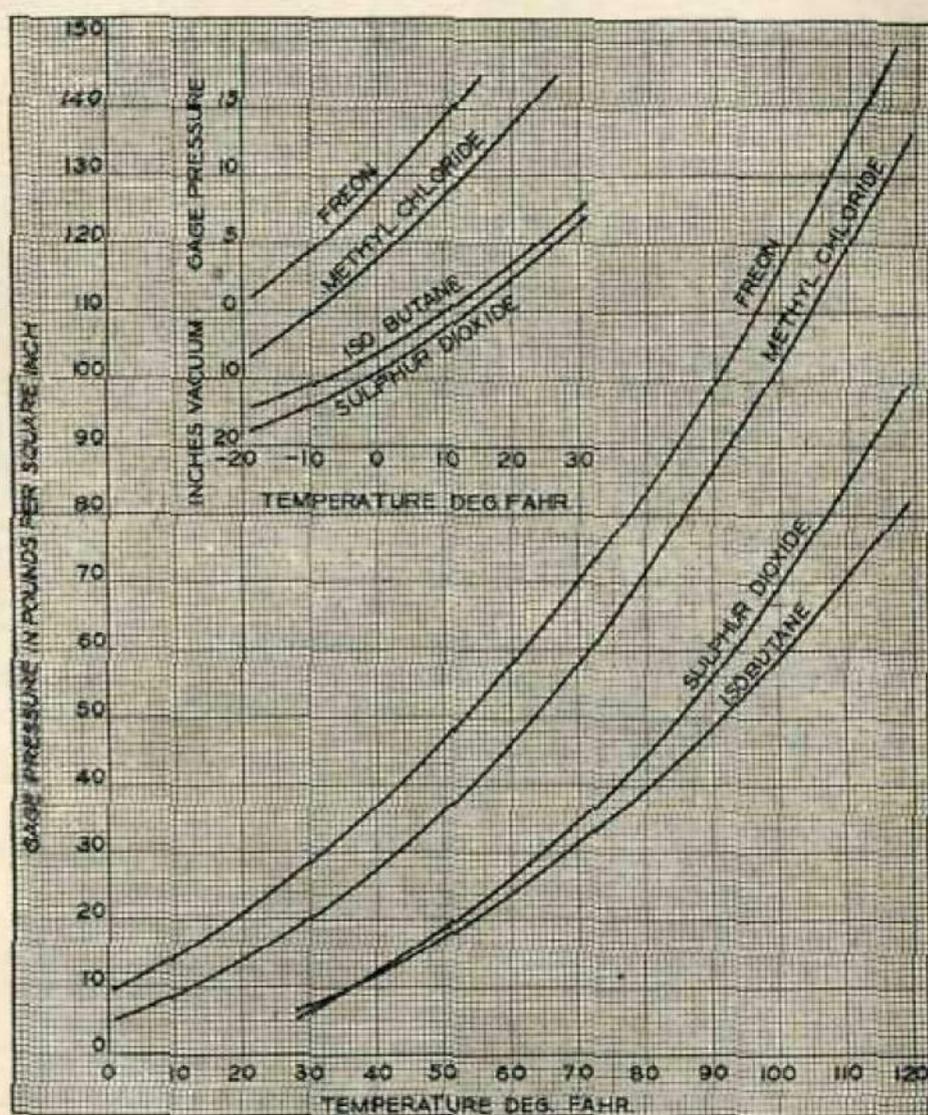


FIG. 2. — Courbes pression/température.

le chlorure de méthyle. Comme le  $CH_2Cl$ , il a, aux températures habituelles d'évaporation, une tension de vapeur supérieure à la pression atmosphérique évitant les entrées d'air dans le système



RELATION DES TEMPÉRATURES ET PRESSIONS  
D'ÉVAPORATION POUR

ANHYDRIDE SULFUREUX (SO<sub>2</sub>)  
CHLORURE DE MÉTHYLE (CH<sub>2</sub>CL)  
FRÉON (CCL<sub>2</sub>F<sub>2</sub>)

TEMPER. OF	UNITÉS ANGLAISES				UNITÉS FRANÇAISES				TEMPER. °C
	PRESSIONS				PRESSIONS				
	SO <sub>2</sub>	CH <sub>2</sub> CL	CCL <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	INCHES VACUUM	CENTIMÈTRES VIDE	CCL <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	CH <sub>2</sub> CL	SO <sub>2</sub>	
30	21	11	5		12.7	28.0	53.4	34.4	
25	20	8	2		5.1	20.3	50.8	31.7	
21	18	6	0	PRESSION ATMOSP. 0	15.2	45.7	29.4		
15	16	3	3		0.21	7.6	40.6	26.1	
11	14	0	5		0.35	0	35.6	23.9	
5	12	2	7		0.49	0.14	30.5	20.6	
0	9	4	9		0.63	0.28	22.8	17.8	
5	6	6	12		0.84	0.43	15.2	15	
10	3	9	15		1.05	0.63	7.6	12.2	
14	0	11	18		1.26	0.75	0	10	
20	2	14	21		1.48	0.98	0.14	6.7	
25	5	17	24		1.69	1.19	0.35	3.9	
30	7	20	28		1.97	1.41	0.49	1.1	
35	10	24	32		2.25	1.69	0.70	1.7	
40	12	28	37		2.60	1.97	0.84	4.4	
45	15	32	42		2.95	2.25	1.05	7.2	
50	19	36	47		3.30	2.59	1.33	10	
55	22	41	52		3.66	2.88	1.55	12.8	
60	26	46	58		4.07	3.24	1.83	15.6	
65	30	52	64		4.50	3.66	2.11	18.3	
70	35	58	70		4.92	4.07	2.46	21.1	
75	40	65	77		5.49	4.56	2.81	23.9	
80	45	72	84		5.90	5.06	3.16	26.7	
85	51	79	92		6.46	5.55	3.58	29.4	
90	57	87	100		7.03	6.14	4.00	32.2	
95	63	94	108		7.60	6.70	4.43	35	
100	70	102	117		8.25	7.18	4.92	37.8	
105	77	110	126		8.86	7.85	5.49	40.6	
110	85	118	136		9.57	8.30	5.97	43.3	

POUNDS PER SQUARE INCH PRESSURE

KILOGRAMMES PAR CENTIMÈTRE CARRÉ



ULTIMHEAT<sup>®</sup>  
VIRTUAL MUSEUM

en marche normale. Le  $F^{22}$  est fort peu corrosif : même en présence d'humidité il peut être mis en présence d'aluminium et de zinc. Il est fort peu toxique.

La présence d'humidité dans le circuit amène les mêmes phénomènes qu'avec le  $CH_2Cl$  et tout ce qui a été dit à ce sujet est applicable au  $F^{22}$ . Il est stable jusque vers  $550^{\circ}C$  ; au delà de cette température il se décompose et donne naissance à des produits très toxiques, notamment du phosgène. Il est pratiquement inflammable.

Pour le  $CH_2Cl$ , comme pour le  $CCl_2F_2$ , la détection des fuites est plus difficile que pour le  $SO_2$ . En effet, en ce qui concerne ce dernier gaz, des traces même minimales dans l'air sont immédiatement décelées par les vapeurs d'ammoniaque qui, en se combinant avec les vapeurs de l'anhydride sulfureux, forment des fumées blanches. Les fuites de  $CH_2Cl$  et de  $CCl_2F_2$  sont détectées à l'aide de la lampe haloïde. La lampe haloïde est une petite lampe à souder fonctionnant à l'alcool, basée sur le fait qu'un chlorure, au contact d'une flamme et en présence du cuivre, colore cette flamme fortement alors qu'en période normale cette flamme est presque incolore. On peut détecter le  $F^{22}$  dans l'air jusqu'à la dose de 1 pour mille, c'est-à-dire que ce procédé de détection est très sensible.

Afin de permettre une comparaison entre ces trois fluides frigorigènes, nous allons faire suivre ces quelques notes succinctes par un tableau récapitulatif des caractéristiques de ces trois gaz.

**Corrosion.** — Après ces quelques notes rapides sur les caractéristiques des fluides frigorigènes, nous allons examiner d'un peu plus près les effets de l'humidité dans les fluides employés et la nécessité de se séparer de toute trace, si faible soit elle, de cette humidité.

L'humidité dans les installations frigorifiques a attiré l'attention des ingénieurs de cette industrie et provoqué des recherches en laboratoires, particulièrement depuis 1937, parce que les monteurs avaient une tendance à rendre l'humidité responsable de beaucoup d'ennuis et pannes qu'ils rencontraient en service chez les clients.

Le sujet de l'humidité dans les systèmes frigorifiques a finalement retenu l'attention qu'il mérite, puisque monteurs et ingénieurs ont appris qu'une quantité d'anomalies de fonctionnement avaient pour cause la présence d'humidité.



## Caractéristiques comparatives des fluides frigorigènes.

	SO <sup>2</sup>	CH <sup>3</sup> Cl	CCl <sup>2</sup> F <sup>1</sup>
Densité du liquide à 0° C — 760 $\frac{mm}{m}$ .....	1,434	0,960	1,393
Densité de vapeur à 0° C — 760 $\frac{mm}{m}$ .....	2,264	1,785	17,650
Point d'ébullition à 760 $\frac{mm}{m}$ ..	— 10° C	— 24° C	— 29,8° C
Chaleur de vaporisation en calorie par kg.....	91	96	32,9
Tension de vapeur en kg./cm <sup>2</sup> à — 10° C .....	0	0,770	1,260
à + 24° C .....	2,810	4,560	5,500
Solubilité dans l'eau à + 10° C en volume..	56	2,69	"
Toxicité : dose à laquelle il est dangereux de laisser les ani- maux exposés de 30 à 60 minutes.....	de 0,04 à 0,05 %	de 2 à 4 %	80 %
(en volume dans l'air)			
Rapport de compression 0° C/ + 30° C .....	1/3	1/2,6	1/2,4

La réaction acide, rapide et bien connue de l'anhydride sulfureux en présence de l'eau avait, dès les débuts de la réfrigération, fait comprendre la nécessité absolue d'employer du SO<sup>2</sup> absolument sec. Cependant la grande résistance aux réactions avec l'eau des réfrigérants comme le chlorure de méthyle et les Fréons avait conduit à la croyance que la présence d'humidité dans ces fluides n'apportait pas d'ennuis, excepté la congélation de cette humidité. Aussi, la formation de glace étant l'unique souci considéré, on combattait cette formation par le mélange au fluide frigorigène de solutions anticongelantes, le xylène en particulier, laissant ainsi l'eau libre d'exercer ses ravages d'autre part.

La corrosion, avec toutes ses complications variées, est l'effet le plus commun exercé par l'humidité en combinaison avec les divers réfrigérants. La décomposition de l'huile est un autre trouble qui peut accompagner la présence d'humidité.

La réaction de l'anhydride sulfureux avec l'eau, formant de



l'acide sulfurique qui attaque tous les métaux employés en réfrigération, était bien connue ; mais ce n'est que plus tard que l'on a reconnu le fait que la présence d'eau dans le  $\text{CH}_3\text{Cl}$  et les Fréons produisait un phénomène d'hydrolyse, pour former soit de l'acide chlorhydrique, soit de l'acide fluorhydrique, soit les deux. Pendant de longues périodes d'hydrolyse, avec les températures de compressions assez élevées comme il se trouve communément en réfrigération, il peut se former des quantités suffisantes d'acide pour présenter un problème de corrosion sérieux.

Le tableau suivant indique les résultats d'essais montrant le développement de la formation d'acide avec du chlorure de méthyle en contact avec un assez grand pourcentage d'humidité (0,1 % en poids).

Le chlorure de méthyle ne doit pas être mis en présence de l'aluminium, du zinc, du magnésium et de leurs alliages qui peuvent être attaqués en présence de très faibles quantités d'humidité.

L'aluminium et les chlorures de méthyle ne font pas de réaction quand ils sont parfaitement secs, mais la présence de traces d'eau provoque la formation de composés qui s'enflamment spontanément.

L'aluminium contenant du magnésium en alliage ne doit pas être mis en contact avec les Fréons, parce que, en présence d'humidité, il y aura attaque du métal.

La solubilité de l'eau dans les réfrigérants  $\text{CH}_3\text{Cl}$  et  $\text{F}^{22}$  est très basse, et par conséquent une quantité relativement grande d'humidité signalera sa présence par la formation de glaçons bien avant la corrosion. Ces glaçons se forment de préférence dans les détendeurs, mais, dans le cas de très forte humidité, il peut se former des bouchons de glace dans les tubes et les évaporateurs où passe du réfrigérant à très basse température.

Dans la pratique, les vitesses de déplacement des gaz sont assez élevées et ceci est important au point de vue corrosion ; la température au passage du clapet de refoulement est élevée et les temps de contact sont longs. L'expérience indique que le contenu moyen d'humidité dans les machines à  $\text{SO}_2$  et à  $\text{F}^{22}$  doit être inférieur à 0,01 % ; la limite pour le  $\text{CH}_3\text{Cl}$  est de 0,015 %.

Il est évident que nous pourrions mieux traiter le problème de l'humidité si nous connaissons les sources de cette humidité. L'entrée d'eau dans un système frigorifique provient d'une ou plusieurs des causes suivantes : humidité originelle non évacuée lors du montage de l'installation par suite d'un vide insuffisant



## Essais de corrosion.

Temps de réaction	Température	Contenu	Acidité en HCl % en poids
Départ	77° F	CH <sup>2</sup> Cl sec	0,0008
4 jours	122°	CH <sup>2</sup> Cl sec	0,0008
10 jours	122°	CH <sup>2</sup> Cl + 1 % Eau	0,0008
4 jours	194°	CH <sup>2</sup> Cl + 2 % Eau	0,276
30 jours	122°	CH <sup>2</sup> Cl et fer	0,0008
20 jours	122°	CH <sup>2</sup> Cl + fer + H <sup>2</sup> O	0,043
20 jours	122°	CH <sup>2</sup> Cl + cuivre + H <sup>2</sup> O	0,0008
30 jours	122°	CH <sup>2</sup> Cl + fer + huile + H <sup>2</sup> O	0,170
24 jours	122°	CH <sup>2</sup> Cl + cuivre + huile + H <sup>2</sup> O	0,365

(D'après Refrigerating News)

et d'un séchage insuffisant des tubes, compresseur, évaporateurs, etc.; huile insuffisamment déshydratée, entrées d'air accidentelles par suite de fuite à la boîte d'étanchéité, aux évaporateurs, etc.; introduction d'eau accidentelle par suite de fuite dans les condenseurs à eau, dans les têtes refroidies par l'eau, etc...

Toutes ces pièces sont livrées d'usine parfaitement déshydratées par étuvage sous vide et, dans la plupart des cas, la présence d'humidité provient d'un manque de soin au montage, vide insuffisant après montage, etc...

Les fabricants d'huile incongelable ne spécifient généralement pas de pourcentage d'humidité dans les produits qu'ils livrent; l'huile peut contenir jusqu'à 0,01 % d'eau en poids. Il est visible qu'un certain poids d'eau peut être introduit par l'huile de lubrification. Pour maintenir l'huile aussi sèche que possible, il est recommandé de tenir les bidons la contenant toujours hermétiquement fermés.

Les fabricants de réfrigérants garantissent généralement leurs produits secs, c'est-à-dire avec un contenu d'humidité maximum en poids de 0,0008 % pour le CH<sup>2</sup>Cl et 0,0005 % pour le SO<sup>2</sup>. Ces spécifications jointes à de sérieux contrôles chimiques sont généralement satisfaisantes. Cependant un réfrigérant peut être contaminé lors de son transfert, de la bonbonne d'origine dans les



cylindres plus petits destinés aux monteurs s'ils n'ont pas été soigneusement vidés, nettoyés et déshydratés.

Quoique l'huile ordinairement livrée soit suffisamment dépourvue d'humidité, elle peut être contaminée au cours de manipulations postérieures, particulièrement par les monteurs sur les chantiers ou en dépannage ; remplissage du compresseur avec des tubes humides, bidon d'huile laissé ouvert dans une atmosphère humide, etc...

*L'humidité peut entrer par suite d'une petite fuite et si les monteurs qui se déplacent successivement sur une installation se contentent de purger l'air et recharger en réfrigérant sans réparer la fuite, ni poser de sécheur, une assez grande quantité d'humidité peut être introduite dans le système. Un autre effet de l'air introduit est d'oxyder l'huile, et en se combinant avec l'hydrogène contenu dans celle-ci, de former de l'eau.*

Il est évident qu'il faut éviter par tous les moyens l'introduction d'humidité dans une machine frigorifique et assurer son séchage absolu si, par hasard, il y a eu introduction d'humidité, soit lors du montage, soit lors d'une réparation.

*Les chasses ou purges de gaz à travers le système sont nettement insuffisantes à ce point de vue. Le seul remède est l'étuvage sous un vide assez poussé. Ceci est facilement réalisable en atelier et plus difficile sur le chantier, quoiqu'il y ait toujours possibilité de chauffer la pièce démontée à une température suffisante et sous un vide maximum, pour amener l'évaporation de l'humidité introduite.*

Dans le cas d'une installation complète, il n'est évidemment pas possible de pouvoir réchauffer toute l'installation, mais un vide, le plus poussé que possible, est toujours réalisable. L'action de ce vide doit être prolongée le plus longtemps possible ; la tête du compresseur refoulant à l'atmosphère, remplie d'huile, ne doit laisser passer aucune bulle d'air, le compresseur étant en marche et cela pendant le plus longtemps que possible. Avant la mise en marche, on complètera ces précautions, par des chasses de fluide frigorigène dans l'ensemble de l'installation.

Surtout ne pas se fier à ces chasses seules, qui refoulent l'air contenu dans l'installation, mais laissent l'humidité adhérente aux parois des tubes et des appareils. Seule l'action du vide combinée avec l'application de chaleur permettra l'évaporation de cette humidité.

Certains produits comme le chlorure de calcium et l'alumine activée ont la propriété d'absorber l'humidité. Cette propriété est



mise à profit pour la construction de sècheurs ou déshydrateurs. Le chlorure de calcium peut absorber de plus grandes quantités d'eau que l'alumine activée, mais, par contre, il présente l'inconvénient de se dissoudre dans le réfrigérant liquide et l'huile. L'alumine activée absorbe des poids d'eau inférieurs, mais a l'avantage d'être insoluble et régénérable par la chaleur. Il suffit de chauffer l'alumine activée humidifiée à une température suffisante pour évaporer toute trace d'humidité et pouvoir s'en resservir à nouveau. Les sècheurs ou déshydrateurs peuvent être montés sur une installation, soit sur le passage du fluide en phase liquide à la sortie du condenseur, soit sur le passage du fluide en phase vapeur, sur l'aspiration à l'entrée du compresseur.

Dans la pratique, on donne le nom de déshydrateurs aux appareils montés sur la ligne liquide et de sècheurs à ceux montés sur la ligne aspiration. Sans que cela soit une règle absolue, en principe les déshydrateurs sont garnis à l'alumine activée alors que les sècheurs le sont au chlorure de calcium. Un sécheur au chlorure de calcium ne doit pas rester monté sur une installation plus de 48 heures, car il risque d'y avoir entraînement de chlorure de calcium dissous dans l'installation par suite de sa solubilité dans l'huile et le réfrigérant. Un déshydrateur à l'alumine activée ne présente pas cet inconvénient, mais on doit cependant l'enlever de l'installation dans un temps relativement court, car l'humidité extraite s'étant localisée dans le déshydrateur risque à la longue de retourner dans l'installation.

Les sècheurs et déshydrateurs ne fixant que des poids d'eau relativement faibles, il est souvent nécessaire de faire usage de plusieurs sècheurs successivement, lorsqu'il s'agit d'enlever une assez forte humidité.



## CHAPITRE IV

### CYCLES FRIGORIFIQUES

---

Après ce très court rappel des notions indispensables de physique, nous sommes maintenant en état d'étudier comment fonctionne une machine frigorifique.

**Cycle simplifié.** — Nous allons d'abord examiner ce qui se passe dans un montage extrêmement simplifié représenté par la figure ci-dessous (fig. 3). Si nous disposons un cylindre contenant un

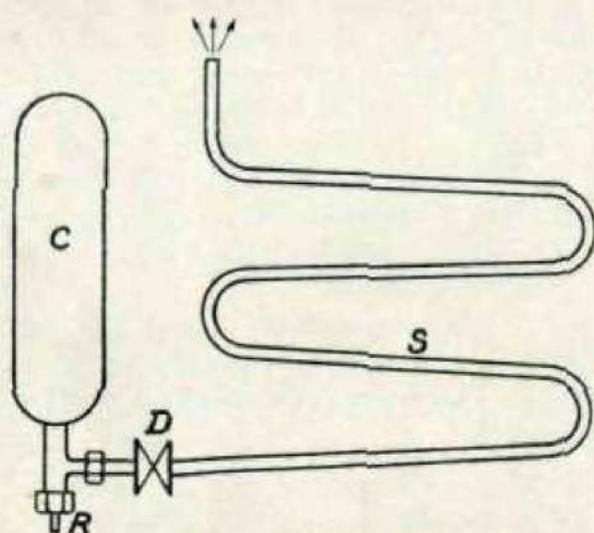


FIG. 3. — Cycle frigorifique simplifié.

poids quelconque de fluide frigorigène, du chlorure de méthyle par exemple, nous pouvons réunir ce cylindre C par l'intermédiaire d'un détendeur D à un tube disposé en forme de serpentin S, raccordé d'une part au détendeur D et d'autre part ouvert à l'atmosphère. Nous supposerons que pendant toute la durée de l'expérience le cylindre C sera maintenu à température constante pour obtenir une pression constante. La pression du fluide frigorigène à l'intérieur du cylindre sera fonction de la température



régnant à l'intérieur de ce cylindre ; nous supposons que la température du cylindre est de  $+ 21^{\circ}\text{C}$ , ce qui correspond à une pression de 4 kg 070 par  $\text{cm}^2$  (58 lbs sq. inch.). Si nous ouvrons le robinet R du cylindre, le détenteur va laisser filtrer le chlorure de méthyle liquide dans le serpentin S. Mais comme il ne règne dans ce serpentin que la pression atmosphérique et que cette pression ne peut pas s'élever puisque les vapeurs, au fur et à mesure de leur formation, peuvent s'échapper librement à l'atmosphère, le chlorure de méthyle liquide arrivant dans ce serpentin avec une pression de 4 kg 075 par  $\text{cm}^2$  et une température de  $+ 21$  va immédiatement se détendre jusqu'à la pression atmosphérique, et comme à cette pression et température le  $\text{CH}^3\text{Cl}$  ne peut pas rester liquide, il va se vaporiser. Nous avons vu que cette vaporisation ne peut se produire qu'avec absorption de chaleur, le  $\text{CH}^3\text{Cl}$  va donc absorber de la chaleur au milieu ambiant pour se vaporiser, c'est-à-dire qu'il va refroidir le serpentin et l'air qui l'entoure jusqu'à la température de  $-23^{\circ}\text{C}$  qui est la température correspondant à la tension de vapeur du chlorure de méthyle à zéro pression. Si ce serpentin est situé à l'intérieur d'un volume enclos et isolé, nous avons ainsi réalisé le moyen d'abaisser la température de ce volume clos. Nous pourrions produire dans ce volume la quantité de froid que nous désirons, proportionnellement à la quantité de  $\text{CH}^3\text{Cl}$  qu'il nous plaira de vaporiser. Nous produirons autant de fois 95 frigories que nous évaporerons de kilogrammes de  $\text{CH}^3\text{Cl}$  à cette pression et à cette température.

**Cycle fermé.** — Evidemment, une machine de ce genre n'est pas réalisable ni désirable, car son principal inconvénient est de perdre le fluide frigorigène aussitôt qu'il a servi. Aussi la première idée qui vient à l'esprit est de récupérer les vapeurs de chlorure de méthyle, de les liquéfier à nouveau pour pouvoir les vaporiser ensuite, et s'en servir indéfiniment dans un cycle fermé. Nous allons maintenant examiner le cycle théorique d'une machine frigorifique, cycle fermé où la même quantité de fluide parcourra indéfiniment le même circuit, sans perte extérieure, sauf fuite accidentelle (fig. 4).

Nous retrouvons, comme dans le cas précédent, un cylindre réservoir contenant la charge de liquide frigorigène, ce cylindre réservoir est relié à un détenteur qui débite le liquide dans le même serpentin S appelé évaporateur. La pression dans l'évaporateur étant notablement inférieure à celle du réservoir, le fluide s'éva-



pire en absorbant la chaleur de l'évaporateur et du milieu ambiant avec production intense de froid. Les vapeurs au lieu d'être déchargées à l'atmosphère sont aspirées au fur et à mesure de leur formation par une pompe à gaz aspirante et refoulante appelée compresseur, ce compresseur maintient une pression constante dans l'évaporateur. Les vapeurs sont refoulées par le compresseur dans un serpentin L appelé condenseur ou liquéfacteur ; la

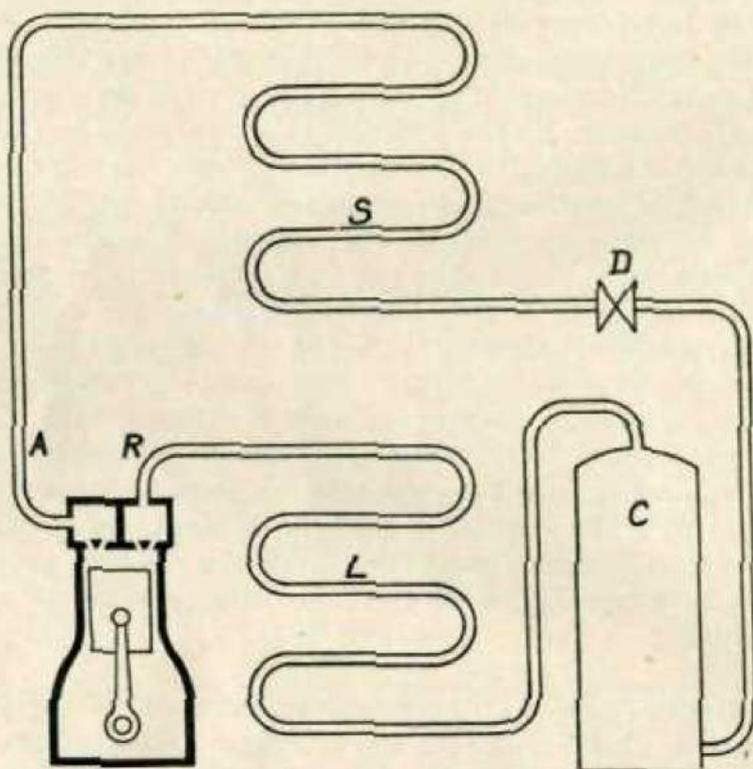


FIG. 4. — Schéma du frigorigère fermé.

pression s'élève graduellement dans le condenseur jusqu'au moment où la pression de la vapeur refoulée arrive à la tension de liquéfaction. Si nous supposons que le condenseur se trouve plongé dans de l'air à  $21^{\circ} \text{C}$ , par exemple, et que les vapeurs refoulées sont toujours du chlorure de méthyle, quand la tension de ces vapeurs atteindra  $4 \text{ kg } 070 \text{ par cm}^2$  pour cette température de  $21^{\circ} \text{C}$ , le phénomène de liquéfaction va se produire. Mais nous savons que cette liquéfaction se produira avec libération d'une grande quantité de chaleur, il nous faut donc veiller à ce que cette chaleur soit évacuée aussitôt sa formation, sous peine d'arrêter

la liquéfaction, à l'aide d'un violent courant d'air ou d'une circulation d'eau suffisamment active. Le fluide frigorigène se retrouve à l'état liquide au point bas du condenseur et va reprendre sa place primitive dans le cylindre-réservoir, prêt à recommencer le même cycle de transformation déjà décrit.

On voit d'après ce qui précède que la pression la plus basse qui pourra régner au condenseur sera celle qui correspond à la température de l'air ou de l'eau de circulation, et que la pression la plus élevée qui pourra régner à l'évaporateur sera celle qui correspond à la température ambiante à l'évaporateur. On peut donc se rendre compte que la pression dans le condenseur sera toujours notablement supérieure à celle de l'évaporateur, tant que les deux températures seront inégales, ce qui est précisément le but recherché. Il faut donc prévoir un organe séparant la partie chaude à haute pression de la partie froide à basse pression de l'installation, sinon l'évaporateur se remplirait aussitôt de liquide sous l'effet de la pression du condenseur : le compresseur aspirerait du liquide, sans l'évaporer, donc sans production de froid, sans préjudice des accidents qui se produiraient obligatoirement, les liquides étant incompressibles. Il ne doit rentrer dans l'évaporateur sous forme de liquide qu'une quantité de fluide équivalente à celle qui sort sous forme de vapeur.

Les systèmes de séparation permettant ce dosage exact de liquide admis à l'évaporateur sont de quatre sortes :

- 1° Le détendeur automatique ou thermostatique ;
- 2° Le système à flotteur haute pression ;
- 3° Le système à flotteur basse pression ;
- 4° Le système à tube capillaire.

Nous allons examiner chacun de ces quatre systèmes uniquement au point de vue fonctionnement théorique, nous réservant d'examiner chaque organe séparément dans la suite de l'ouvrage.

**Système à détendeur** (fig. 5). — Le système à détendeur est celui que nous venons de décrire succinctement. Aussi avons-nous peu de chose à ajouter à cette description. L'organe doseur de liquide est une soupape automatique à pointeau appelée détendeur. Ce détendeur agit par différence de pression entre l'évaporateur et le condenseur. Si la pression baisse à l'évaporateur par suite du manque de fluide, le détendeur s'ouvre permettant ainsi l'arrivée du liquide dans l'évaporateur. Cette arrivée de liquide, suivie de l'évaporation du liquide ainsi injecté, élève la pression



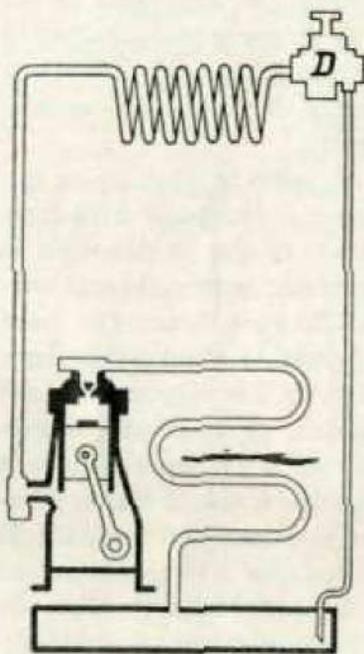


FIG. 5. — Schéma du cycle frigorifique à détenteur.

de liquide ; mais ici, ce réservoir est muni d'un système de vanne à pointeau actionné par une boule creuse dont le volume est calculé pour pouvoir flotter sur le liquide contenu dans le réservoir. Ceci constitue le flotteur haute pression, appelé ainsi, car le système flotteur se trouve placé dans la partie haute pression de l'installation. Ce flotteur assure l'ouverture du pointeau à partir d'un niveau de liquide prédéterminé, et ferme ce pointeau lorsque le niveau de liquide descend en dessous dudit niveau. L'évaporateur se présente généralement sous forme d'une coquille creuse ; il est rempli de liquide frigorigène jusqu'aux cinq sixièmes environ de sa hauteur, et le tube d'aspiration vient déboucher au point

dans l'évaporateur et, sous l'effet de cette élévation de pression, le détenteur se referme, arrêtant ainsi l'arrivée de liquide. Comme le détenteur est sensible à de faibles écarts de pression, il agit donc par injections successives maintenant toujours dans l'évaporateur la quantité de liquide nécessaire et remplaçant automatiquement, sous forme de liquide, la quantité de fluide qui a quitté l'évaporateur sous forme de vapeur après y avoir accompli son travail de réfrigération.

**Système à flotteur haute pression** (fig. 6). — Le cycle à flotteur haute pression fonctionne sur un principe différent du précédent. Nous avons toujours un compresseur, un condenseur, un évaporateur et un réservoir

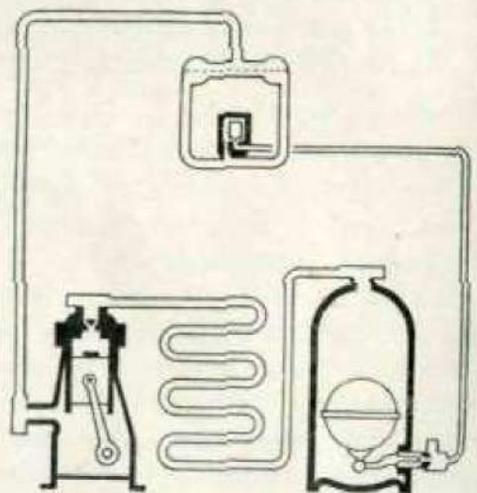


FIG. 6. — Schéma du cycle frigorifique à flotteur haute pression.

haut de l'évaporateur, c'est-à-dire nettement au-dessus du niveau de liquide.

Voyons maintenant d'un peu plus près le fonctionnement de ce système. Nous supposons au départ l'appareil correctement chargé, c'est-à-dire que l'évaporateur doit être plein de liquide jusqu'au niveau prévu et le réservoir de liquide doit être suffisamment chargé en fluide liquide pour que le flotteur ferme le pointeau de départ. Le tout est donc en équilibre et l'organe qui sépare la partie haute pression de la partie basse pression est le flotteur haute pression.

Mettons la machine en marche sous l'effet de la dépression créée à la surface libre du liquide dans l'évaporateur par l'aspiration du compresseur, nous savons que ce liquide va entrer en ébullition et s'évaporer avec production de froid ; le niveau de liquide dans l'évaporateur va baisser, mais les vapeurs aspirées par le compresseur vont se liquéfier dans le condenseur et le liquide ainsi reformé va se rendre à la bouteille élevant ainsi le niveau de liquide dans celle-ci. L'excédent de liquide dans la bouteille sera égal au manque de liquide dans l'évaporateur. Sous l'action de l'élévation de niveau le flotteur va s'élever également et ouvrir le pointeau permettant ainsi l'injection de liquide à l'évaporateur. Mais l'injection de liquide entraînant une baisse de niveau dans la bouteille, le flotteur va s'abaisser et refermer le pointeau. L'injection est terminée et le système est revenu à son équilibre initial agissant ainsi comme le détenteur par injections successives et assurant le dosage de fluide frigorigène à l'évaporateur.

D'après l'examen du fonctionnement de ce système, l'on voit que la bonne marche de l'appareil exige une quantité de liquide nettement déterminée et que tout excès ou manque entraînera des irrégularités de fonctionnement.

Si, par suite d'une erreur de charge, il y a trop de liquide dans le système, cet excès de liquide ne pourra pas séjourner dans la bouteille puisque, à partir du niveau prévu et au-dessus, le pointeau restera ouvert; l'excédent se rendra donc dans l'évaporateur où le niveau va s'élever anormalement permettant ainsi l'entraînement de liquide au compresseur avec tous les inconvénients que cela comporte : givrage de la tuyauterie d'aspiration, givrage du bloc compresseur, possibilité de destruction des clapets si le liquide se trouve entraîné jusqu'à ce point, entraînement d'huile, etc., etc.

Par contre, si par suite d'une fuite accidentelle une partie du fluide frigorigène s'est échappée et que cette quantité n'est pas



trop importante, il s'ensuivra une baisse de niveau dans l'évaporateur, le liquide manquant à l'évaporateur se retrouvera dans le réservoir où il se trouve retenu pour compléter le niveau nécessaire au fonctionnement du système flotteur ; cette baisse de niveau du liquide entraîne une baisse de rendement de l'évaporateur dont une surface moindre est en contact avec le fluide liquide, cette baisse de rendement est proportionnelle à la quantité de fluide manquant à l'évaporateur. Si cette quantité est assez importante, il peut arriver que tout le fluide se trouve rappelé dans le réservoir et que sa quantité soit malgré cela insuffisante pour élever le niveau de liquide jusqu'au point d'ouverture du système flotteur ; dans ce cas le compresseur tourne sans produire d'effet utile.

Dans le cas du flotteur haute pression, il faut aussi considérer le cas où une certaine quantité d'huile s'est trouvée accidentellement entraînée au condenseur. Cette quantité d'huile entraînée se retrouve dans la bouteille flotteur haute pression, où elle surnage au-dessus du fluide liquide, particulièrement dans le cas d'emploi de l'anhydride sulfureux. Cette huile empêche le fluide liquide d'atteindre son niveau prévu et actionne le flotteur bien avant que le niveau normal du liquide soit atteint. En conséquence l'appareil semble présenter une surcharge de fluide et si l'on purge cet excédent apparent de fluide frigorigène, nous avons un appareil insuffisamment chargé dont le flotteur débite un mélange d'huile et de fluide dont l'effet frigorifique est fortement amoindri.

Le flotteur haute pression peut se trouver derrière l'évaporateur et juste à sa hauteur, dans ce cas le réservoir alimente directement l'évaporateur ; mais dans la plupart des cas, pour des raisons de facilité de construction, le flotteur haute pression se trouve avec le groupe compresseur. La détente, et par conséquent la production de froid, commençant à la sortie du pointeau du flotteur haute pression, il y a lieu dans ce second cas de retarder cette détente de façon que le flotteur haute pression joue bien son rôle de doseur de liquide, mais que la production de froid ne commence qu'à l'entrée de l'évaporateur, pour éviter une perte de froid dans le tube reliant le réservoir à l'évaporateur et un givrage parfaitement indésirable de ce tube. Pour obtenir ce résultat on emploie un petit clapet de retenue, appelé vanne liquide ou vanne automatique. Le rôle de ce petit clapet de retenue est de maintenir, dans le tube qui relie l'évaporateur au réservoir, une certaine pression de manière que le liquide qui y



est contenu soit à une température suffisante pour éviter le givrage ou même la condensation extérieure. Ce clapet se trouve placé juste à l'entrée de l'évaporateur, et la détente ne commence effectivement qu'à partir de ce point.

**Système à flotteur basse pression** (figure 7). — Le système à flotteur basse pression, à quelques petits détails près, fonctionne comme le système à flotteur haute pression que nous venons d'étudier. L'organe qui sépare les parties haute et basse pression de l'installation et qui règle l'admission de liquide est encore un flotteur, mais cette fois ce flotteur se trouve placé dans la partie basse pression de l'installation.

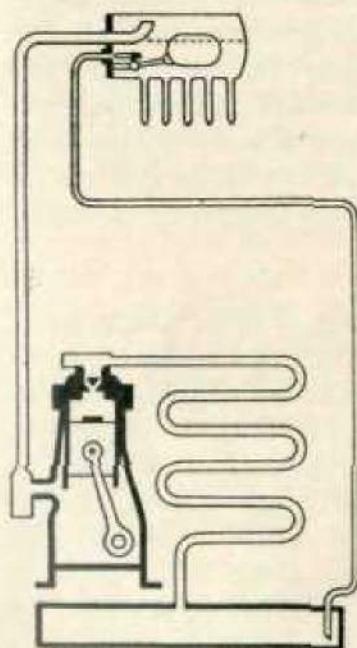


FIG. 7. — Schéma du cycle frigorifique à flotteur basse pression.

Nous allons retrouver tous les organes déjà décrits et qui nous sont déjà familiers : compresseur, condenseur, réservoir de liquide et évaporateur. Le réservoir de liquide est identique à celui employé dans le système à détenteur. L'évaporateur a généralement la forme d'un cylindre dans lequel est logé le flotteur et, à partir de ce réservoir, rayonnent des tubes, verticaux ou horizontaux, destinés à augmenter la surface d'échange. Le flotteur a pour but de limiter le niveau maximum du liquide dans l'évaporateur, c'est-à-dire qu'un abaisse-

ment du niveau entraîne l'abaissement corrélatif du flotteur amenant l'ouverture du pointeau permettant ainsi l'admission de liquide, et une élévation de niveau entraîne par suite des phénomènes inverses : la fermeture de l'injection de liquide à l'évaporateur. Donc, en premier examen, le fonctionnement du flotteur haute pression est exactement l'inverse du flotteur basse pression. En fait l'excès de liquide n'est limité que par les dimensions du réservoir de liquide.

Le fonctionnement est le suivant :

Lorsque le compresseur fonctionne, il crée un vide relatif dans l'évaporateur entraînant par un phénomène, qui nous est maintenant bien connu, la vaporisation du liquide frigorigène avec pro-

duction de froid. Lorsqu'une certaine quantité de liquide est ainsi évaporée, le niveau de liquide a baissé légèrement dans l'évaporateur obligeant ainsi le flotteur à ouvrir le pointeau d'admission. Sous l'afflux de liquide venant du réservoir, le niveau se rétablit et tout recommence indéfiniment selon le processus déjà examiné dans le fonctionnement du système à flotteur haute pression. Un excès de liquide se trouvera localisé dans le réservoir du condenseur et si les dimensions de celui-ci ont été assez généreusement déterminées, l'on peut avoir ainsi une assez grosse réserve de liquide. Pour qu'un manque de liquide entraîne des troubles de fonctionnement, il faut que le réservoir du condenseur soit presque vide pour ne plus pouvoir alimenter suffisamment le flotteur. Autrement dit il faut qu'une très grande partie de la charge de fluide se soit échappée ; donc, on le voit, ce système est fort peu sensible à des variations de charges relativement importantes.

**Système à tube capillaire** (fig. 8). — Ce système plutôt rudimentaire n'a pour se justifier que son bas prix de revient, car, en effet, dans un but d'économie on a supprimé des organes coûteux

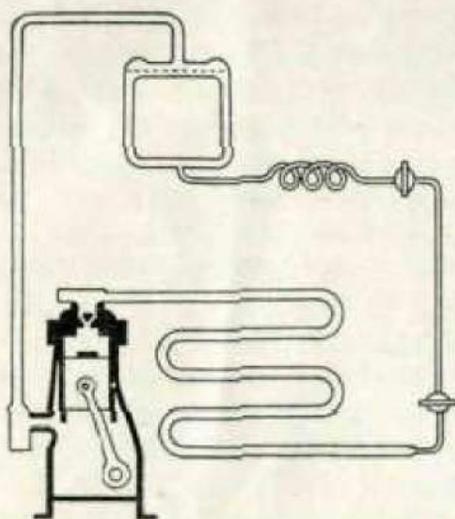


FIG. 8. — Schéma du cycle frigorifique à tube capillaire.

comme les flotteurs haute ou basse pression ou le détendeur ; par contre ce système, comme d'ailleurs toutes les réalisations par trop simplifiées, présente pas mal d'inconvénients. Ici l'organe servant de séparation entre les parties haute et basse pression est un tube fin à section très petite agissant comme une ouverture calibrée, un peu à la façon d'un gicleur dans un carburateur d'automobile. Nous allons d'ailleurs en suivre le fonctionnement.

Nous allons naturellement retrouver les organes classiques que nous avons trouvés dans les systèmes précédents : compresseur, condenseur, évaporateur, tube capillaire, mais nous noterons au passage que l'on a supprimé le réservoir de liquide et que la partie basse du condenseur en tient lieu. L'évaporateur employé est le même que dans



le cas du flotteur haute pression ; comme dans ce dernier la charge en fluide est très critique, et la moindre variation en plus ou en moins entraîne des anomalies de fonctionnement. De par le principe même de ce cycle, l'évaporateur doit être capable de contenir la totalité de la charge en fluide frigorigène en phase liquide.

Au départ, la presque totalité du fluide frigorigène en phase liquide se trouve dans l'évaporateur qui, à ce moment, doit se trouver presque plein. Lorsque le compresseur fonctionne, le vide relatif dans l'évaporateur créé par l'aspiration va, comme nous le savons, commencer à vaporiser le liquide qui s'y trouve ; les vapeurs entraînées vont suivre le cycle que nous connaissons maintenant très bien ; elles vont se liquéfier dans le condenseur et le liquide obtenu au point bas de celui-ci va, en raison de sa pression, retourner à l'évaporateur où son entrée sera seulement dosée par le tube capillaire qui, vu sa faible section, va gêner son entrée. Le diamètre intérieur du tube capillaire est calculé de façon à ne laisser pénétrer que la quantité de liquide correspondante à la quantité de fluide vaporisée et à créer une très grande perte de charge et ceci pour des pressions de marche normales à l'évaporateur et au condenseur. Mais comme il n'y a aucun organe correcteur, si les pressions diffèrent grandement de la normale, le fonctionnement ne sera qu'approximatif. Il est évident qu'une élévation de pression anormale au condenseur forcera le liquide en plus grande quantité dans le tube capillaire et l'alimentation sera beaucoup plus rapide, et inversement dans le cas d'une surpression à l'évaporateur. Le tube capillaire étant d'une section très petite sera appelé à être obstrué par de petites impuretés qui passeraient inaperçues dans les autres systèmes, aussi il y a lieu, sur ce système, d'établir un filtrage très rigoureux. Un double filtrage est une nécessité. En résumé, l'économie que l'on fait sur le prix de revient de fabrication se trouve largement annulée par les ennuis que l'on aura par la suite avec des capillaires obstrués.



## CHAPITRE V

### COMPRESSEURS

---

**Principe des compresseurs.** — Les éléments constitutifs d'un compresseur alternatif, c'est-à-dire avec piston et cylindre, sont trop connus pour que l'on ait à en faire une description détaillée, mais nous allons dans ce chapitre examiner son fonctionnement. Un compresseur classique avec bielle, piston, arbre, manivelle est dit « alternatif » pour le distinguer des compresseurs dits « rotatifs » qui sont de construction nettement différente et que nous étudierons dans le chapitre qui leur est réservé.

Une extrémité du cylindre est fermée, on l'appelle : tête de cylindre. La tête de cylindre comporte la plaque à clapets, qui porte soit le clapet de refoulement seul, soit les clapets d'aspiration et de refoulement, lesquels contrôlent l'entrée et la sortie du gaz dans le cylindre. Quand le piston se déplace vers le bas, c'est-à-dire s'éloigne de la tête du compresseur, il crée derrière lui un vide partiel qui attire les vapeurs à l'intérieur du cylindre (course d'aspiration). Dans la course contraire, le piston se rapproche de la tête de cylindre en diminuant le volume des vapeurs dans le cylindre et en accroissant leur pression (course de compression). Une course remplit le cylindre de vapeur, tandis que l'autre comprime cette vapeur à la pression désirée et la refoule hors du compresseur.

La pression produite à la fin de la course de compression dépend d'un certain nombre de facteurs. Une partie de ces facteurs dépend de la construction du compresseur, l'autre partie dépend de la nature de la vapeur et de ses conditions dans le cylindre.

1° *Taux de compression.* — C'est le rapport entre le volume du cylindre lorsque le piston est à la fin de la course d'aspiration, et le volume final à la fin de la course de compression. C'est la réduction de volume due au déplacement du piston.

2° *Rendement volumétrique.* — Le rendement volumétrique est le rapport du volume de gaz réellement présent dans le cylin-



dre au volume de la capacité totale ; c'est-à-dire le rapport du volume aspiré pratiquement à celui qui aurait dû l'être théoriquement.

3° *La conduction de chaleur* des parois du cylindre ou la quantité de chaleur de compression évacuée par les parois de cylindre, les ailettes de refroidissement ou la circulation refroidissante, si il y en a une.

4° *La température du gaz à son entrée et à sa sortie du cylindre.*

5° *La pression à l'aspiration* ou la pression dans le cylindre au commencement de la course de compression.

6° *La nature du gaz.* —  $\text{SO}^2$  —  $\text{CH}^3\text{Cl}$  — F 12, etc...

7° *La vitesse du compresseur* agit indirectement sur la pression par suite des irrégularités de clapets aux grandes vitesses.

8° *La friction du gaz* dans les tubes réduit la vitesse de celui-ci et vient agir sur la quantité de gaz admise dans le cylindre.

9° *La dimension et l'emplacement des clapets, la dimension des tubes, etc.,* agit également par augmentation de résistance au passage du gaz.

10° *L'état du compresseur et des clapets.*

Un compresseur est généralement désigné par son « déplacement » ou cylindrée en litres par minute, ou mètre cube par heure de gaz qu'il peut aspirer et refouler, étant entendu que, théoriquement, l'aspiration et le refoulement se font à la pression atmosphérique. Quand le gaz ou vapeur est refoulé à une pression supérieure à la pression atmosphérique, ce qui est généralement le cas avec les fluides employés, le nombre de litres par minute est diminué proportionnellement à la pression de refoulement pour la raison que la vapeur comprimée a un volume moindre que lorsque sa pression était égale à la pression atmosphérique.

Théoriquement, la quantité de vapeur refoulée par un compresseur devrait augmenter proportionnellement à la vitesse du piston, puisque cette vitesse augmente le nombre de courses dans un temps donné, donc le volume balayé par le piston ; mais pratiquement, l'augmentation de volume de gaz déplacé n'est pas en proportion directe avec la vitesse de rotation ; cela est dû en particulier aux irrégularités de fonctionnement des clapets



aux grandes vitesses et à l'augmentation de la résistance par friction lorsque la vitesse du gaz augmente, etc.

Si les clapets s'ouvraient exactement au début de la course d'aspiration et se fermaient exactement à la fin de la course de refoulement, le rendement serait maximum. Mais les clapets, si légers soient-ils, ont un poids et, par conséquent, une inertie. L'inertie est proportionnelle au poids du clapet et à la vitesse de changement de marche du dit clapet. Dans un petit compresseur les clapets doivent s'ouvrir et se fermer très rapidement, exigeant ainsi une force non négligeable ; plus grande sera la vitesse, plus grande sera cette force.

La soupape d'aspiration automatique est maintenue fermée par un ressort ou par son élasticité, selon le type de clapet employé ; pour que ce clapet s'ouvre et laisse pénétrer le fluide frigorigène dans le cylindre, il est nécessaire que la pression dans celui-ci devienne inférieure à la pression dans le tuyau d'aspiration ; il faut créer ce que l'on appelle la dépression à l'aspiration. La dépression doit être capable de vaincre la force du ressort de clapet. Durant toute la course d'aspiration, la pression dans le cylindre doit donc être inférieure à la pression dans le tuyau d'aspiration pour pouvoir maintenir le clapet ouvert, d'où diminution de remplissage du cylindre.

De même, au moment du refoulement, la pression intérieure dans le cylindre doit être supérieure à la pression régnant au condenseur, pour pouvoir manœuvrer le clapet, ceci s'appelle la surpression au refoulement. Cette surpression au refoulement exige une augmentation de la puissance à fournir au compresseur.

Le refroidissement du corps de compresseur a également une grande importance sur le rendement du compresseur. Lorsque les gaz froids, venant de l'évaporateur, entrent dans un cylindre insuffisamment refroidi, ils se réchauffent au contact des parois surchauffées, ils se dilatent, diminuant ainsi la cylindrée effective. Il vient naturellement à l'idée que, plus les gaz seront froids à leur entrée dans le cylindre, pour une pression donnée, plus grand sera le poids de gaz aspiré.

Pour des raisons de construction, il n'est pas possible que le piston vienne s'appliquer exactement sur le fond de cylindre ; il faut, en effet, prévoir les dilatations et éviter que le piston ne vienne marteler et défoncer le fond du cylindre ; pour ces raisons on est obligé de maintenir, à fond de course de compression, un petit espace entre le piston et le fond de cylindre ; cet espace



doit être le plus petit possible, compatible avec la sécurité. Cet espace laissé porte le nom d'espace nuisible.

A fond de course de compression, cet espace nuisible est plein de vapeur comprimée à la pression du condenseur, plus la surpression au refoulement, que nous avons définie tout à l'heure. Lorsque le piston va commencer sa course descendante d'aspiration, le volume de vapeur contenu dans l'espace nuisible va se détendre jusqu'à ce que sa pression soit égale à celle nécessaire à l'ouverture du clapet d'aspiration (dépression à l'aspiration), c'est-à-dire que l'on perd une partie de la course d'aspiration proportionnelle au volume de l'espace nuisible ; d'où la nécessité de réduire cet espace au minimum possible.

**Travail dans un compresseur.** — Représentons un compresseur d'une façon simplifiée (fig. 9) par un simple cylindre vertical dans lequel peut se déplacer un piston, et munissons ce cylindre d'un manomètre pour suivre ce qui va se passer à l'intérieur.

Dans la position n° 1, nous supposons le cylindre plein d'un gaz quelconque à la pression atmosphérique, et nous négligeons le poids du piston et les frictions. Naturellement le manomètre

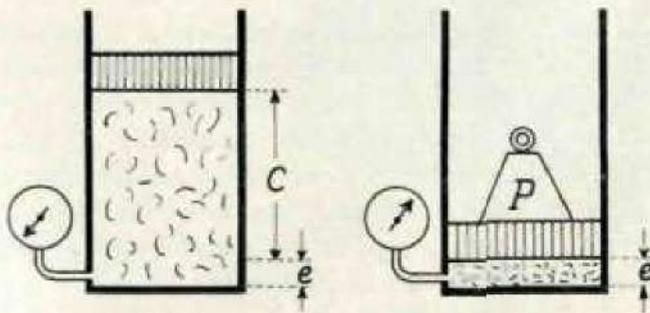


FIG. 9. — Travail dans un compresseur.

nous indique une pression zéro, puisqu'il n'y a pas de différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur du cylindre.

Posons un poids sur la face disponible du piston, nous allons naturellement « écraser » le gaz, c'est-à-dire le comprimer dans le cylindre. Sous l'effet du poids, le piston va descendre en diminuant le volume du gaz, augmentant la pression dans une proportion inverse, quand le volume sera minimum la pression sera maximum. Le manomètre nous indique maintenant une haute



pression et un thermomètre plongé dans ce gaz nous indiquera une élévation de température. Le travail mécanique de compression a été transformé en chaleur. La pression lue sur le manomètre est égale au poids qui comprime le gaz divisé par la surface du piston ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) en négligeant les frictions. Le travail total dépensé pour obtenir cette pression est égal au produit de la course du piston en mètre par la pression sur le piston, le résultat est exprimé en kilogrammètres.

Pour fixer les idées sur la notion de puissance absorbée par un compresseur nous allons chiffrer l'exemple ci-dessus :

Supposons que le cylindre que nous venons de décrire dans l'exemple précédent ait une course de 5 cm. et que la surface du dit piston soit de  $10 \text{ cm}^2$ ; si le poids que nous avons placé sur le piston est de 50 kg. nous aurons créé une pression de  $5 \text{ kg}/\text{cm}^2$  dans le cylindre.

Le volume déplacé pour une course complète de ce piston est de 50 centimètres cubes. Si nous renouvelons cette course 5 fois par seconde, autrement dit, si le compresseur considéré tourne à 300 tours/minute, le volume de gaz balayé par heure sera de  $900.000 \text{ cm}^3$  ou 900 litres/heure.

**Puissance frigorifique et puissance absorbée.** — Au point de vue production de froid nous supposons que les vapeurs aspirées sont du chlorure de méthyle à  $0^\circ\text{C}$ . Nous savons, par les tables précédentes, que 1 kg de  $\text{CH}_3\text{Cl}$  en phase-vapeur à cette température occupe un volume de 168 litres ; ces tables nous indiquent également que ce kilo de  $\text{CH}_3\text{Cl}$  vaporisé dans ces conditions, a produit un effet utile de 86 frigories pour se transformer en vapeur. La puissance frigorifique de notre compresseur sera de :

$$\frac{900 \text{ litres aspirés} \times 86 \text{ calories}}{168 \text{ volume spécifique}} = 460 \text{ frigories-heure environ}$$

La puissance à fournir au compresseur pour obtenir ces 460 frigories dans les conditions précisées ci-dessus peut se tirer de la formule suivante :

$$\text{CV} = \frac{S \times P_m \times C \times N}{60 \times 75}$$



dans laquelle :

$S$  = surface du piston en  $\text{cm}^2$ .

$P_m$  = pression moyenne effective  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

$N$  = nombre de tours-minute.

$C$  = course en mètre.

Pour le cas qui nous occupe :

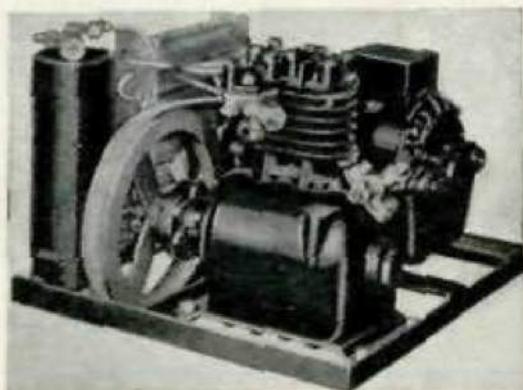
$S = 10 \text{ cm}^2$ .

$C = 0 \text{ m. } 05$ .

$N = 300$ .

$P_m = 5 \text{ kg. (environ)}$ ,

soit une puissance indiquée à fournir au compresseur, de 0,16 CV c'est-à-dire,  $1/6^{\circ}$  de CV ; mais nous savons que dans la pratique, il nous faudra fournir une puissance un peu supérieure sur l'arbre du compresseur, car nous n'avons pas tenu compte des pertes diverses dans le compresseur : frictions mécaniques, inertie des gaz, etc.



Le rendement d'un compresseur varie avec de nombreux facteurs, mais, dans la pratique, le rendement de ces petits compresseurs est compris entre 60 et 75 %. Donc, pour obtenir nos 460 frigories-heure de l'exemple ci-dessus, il nous faudra dépenser non pas  $1/6^{\circ}$  de CV, mais  $1/4$ .

FIG. 10. — Groupe compresseur deux cylindres, type armoire ménagère.

En résumé, la puissance frigorifique d'un compresseur est fonction de sa cylindrée et de sa vitesse de rotation, pour un fluide déterminé, et cela à des températures fixées de vaporisation et condensation.

Sauf indication contraire, les constructeurs désignent leurs compresseurs, dans les catalogues, par la puissance en frigories-heure. Lorsque les températures d'opération ne sont pas indiquées dans le catalogue, il est sous-entendu que les puissances

*Exemple de catalogue de constructeur donnant les puissances frigorifiques d'un compresseur d'un type donné, en fonction des températures de vaporisation et de condensation.*

Marque du compresseur .....	XXX.
Type du compresseur .....	Z.
Vitesse de rotation .....	575 t/m.
Fluide employé .....	CH <sup>2</sup> CL.
Type de condenseur .....	à air.
Puissance du moteur .....	1/3 CV.

**Puissance frigorifique en frigories basée sur 14 heures de marche.**

Température au condenseur	Température d'aspiration et pression équivalente					
	— 9° C 12 lbs	— 10° C 10,5 lbs	— 11° C 9,5 lbs	— 12° C 8 lbs	— 14° C 7 lbs	— 16° C 5,5 lbs
37° C	"	12.750	12.180	11.250	10.650	9.960
32°	14.550	13.590	13.020	12.000	11.370	10.650
26°	15.600	14.700	13.980	13.050	12.450	11.370
21°	16.560	15.630	14.940	13.950	13.320	12.330
15°	"	"	"	"	"	"

**Rendement des compresseurs au-dessus et au-dessous de la température d'aspiration choisie comme base par le constructeur.**

Température d'évaporation		Pressions en lbs SO <sup>2</sup> .	Rendement au-dessus et au-dessous du rendement de base
° C	° F		
— 1°	+ 30	6 lbs sq. n.	+ 20 %
— 4°	+ 24	4 lbs	+ 10 %
— 6°7	+ 20	2 lbs	= Base
— 12°	+ 10	2 lbs	— 20 %
— 15°	+ 5	6 lbs	— 30 %

Le rendement diminue d'environ 4 % par degré centigrade de baisse à la température d'aspiration en dessous de la température d'aspiration choisie comme référence.



frigorifiques indiquées par ce constructeur sont en frigories-Standard. Il a été adopté comme températures Standard :

—  $10^{\circ}$  C, température de vaporisation à l'évaporateur et  $+ 25^{\circ}$  C, température de liquéfaction au condenseur. Une diminution de température de vaporisation ou une augmentation de la température de condensation ou les deux, entraînent une baisse de puissance frigorifique, et vice versa ; c'est ce qui explique que, toutes choses étant égales par ailleurs, les compresseurs refroidis par l'eau sont légèrement plus puissants que les groupes refroidis par l'air ; l'accroissement de rendement est dû à la température de liquéfaction généralement plus basse avec une circulation d'eau qu'avec une circulation d'air.

De même, un changement de fluide frigorigène ayant des caractéristiques différentes de celui employé précédemment provoque également des variations de la puissance frigorifique.

Pour un fluide et des températures donnés, il est possible

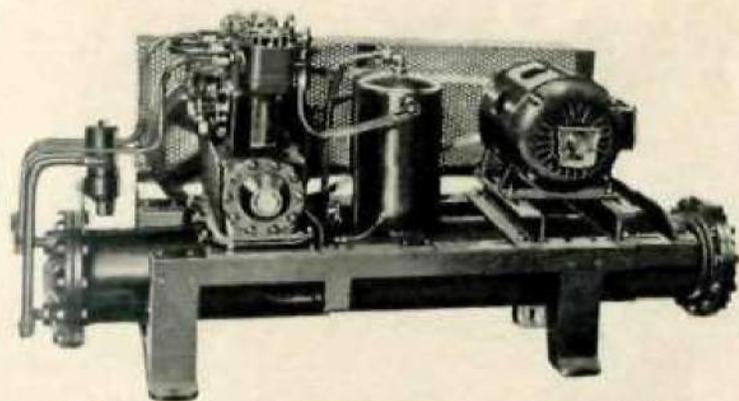


FIG. 11. — Groupe compresseur commercial de moyenne puissance.

d'augmenter le nombre de frigories produites, en accélérant la vitesse de rotation du compresseur, mais cela, dans des limites relativement restreintes, car, comme nous l'avons vu, nous sommes rapidement limités dans cet accroissement de la vitesse de rotation par la baisse du rendement volumétrique du compresseur et l'augmentation des pertes de tous genres. La puissance frigorifique augmente d'abord proportionnellement à l'augmentation de vitesse de rotation, puis ensuite, si nous continuons à augmenter cette vitesse, l'augmentation de frigories produites se fait de moins en moins sentir, jusqu'au moment où le rendement volumétrique et les pertes diverses ne permettent plus de produire



une frigorie de plus, quel que soit le nombre de tours ; l'on a atteint le plafond pour ce compresseur. Quoique ce plafond soit extrêmement variable avec les différents constructeurs, il semble se trouver pratiquement aux environs de 650 tours-minute pour les types de compresseurs employés en petite réfrigération.

Beaucoup de constructeurs ont admis le principe de présenter le même groupe compresseur en lui attribuant trois puissances frigorifiques différentes, en adoptant une vitesse de rotation moyenne et la possibilité d'augmenter ou diminuer cette vitesse de 25 % environ, en plus ou en moins, de part et d'autre de la vitesse de référence, ce qui permet une gamme plus étendue à présenter à la clientèle.

**Nombre de cylindres.** — Etant donné que pour produire une certaine quantité de froid, il faut évaporer une quantité déter-

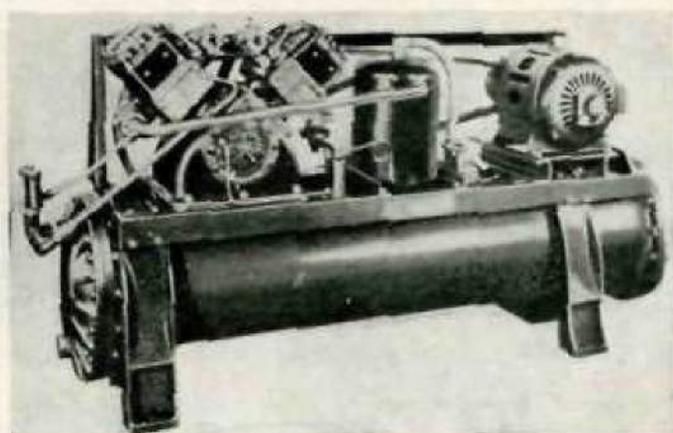


Fig. 11 bis. — Groupe compresseur quatre cylindres en V, type commercial grande puissance.

minée de fluide dans certaines conditions de température, le volume de vapeur produit devant être aspiré par le compresseur. Durant sa course d'aspiration, le compresseur n'offre que peu de résistance au moteur électrique, alors que pendant la course de compression le moteur doit fournir un travail beaucoup plus important ; de là il ressort que la puissance demandée au moteur est pulsatoire, puisque pendant la course d'aspiration il travaille presque à vide et à pleine puissance pendant la course de compression. Pour régulariser l'effort demandé au moteur, les com-

presseurs sont souvent à deux cylindres ; dans ce cas, pendant le premier demi-tour un cylindre aspire et l'autre refoule, tandis que pendant le second demi-tour un cylindre refoule et l'autre aspire, le volume de chaque cylindre étant, dans ce cas, la moitié du cylindre unique correspondant au même volume de vapeur aspiré. L'effort de compression par cylindre est moindre, le couple résistant au démarrage est diminué et, de plus, la résistance du compresseur est moins pulsatoire, ou tout au moins l'amplitude des pulsations est fortement atténuée, puisque, au lieu d'avoir une pulsation par tour, il y en a deux et que chacune de ces compressions exige un travail moitié moindre que dans le cas du cylindre unique. Dans cet ordre d'idée, et pour obtenir une meilleure régularité cyclique du moteur, certains constructeurs livrent des compresseurs à quatre cylindres, à partir d'une certaine puissance.

**Circulation de l'huile et du gaz.** — Dans les compresseurs ancien modèle (fig. 12), il était d'usage de placer l'aspiration des gaz à travers le carter du compresseur, un peu à la manière d'un moteur deux temps de motocyclette. Le déplacement du piston pendant sa course montante de compression crée un vide partiel dans le carter du compresseur, ce vide est aussitôt comblé par des gaz frais venant de l'évaporateur ; puis le piston, revenant sur lui-même pour exécuter sa course d'aspiration, produit alors un vide dans le cylindre. A ce moment, la pression dans le carter étant supérieure à la pression intérieure du cylindre, les vapeurs du carter soulèvent le clapet d'aspiration situé sur le fond de piston et remplissent le cylindre, et ainsi de suite. Cette méthode d'aspiration est, à première vue, assez séduisante car l'on réalise ainsi un courant de gaz continu ; mais, malheureusement, pendant leur passage dans le carter, ces gaz se mélangent à l'huile de graissage et ont tendance à entraîner une partie de cette huile dans le condenseur et le reste de l'installation. De plus, lorsque le compresseur est arrêté, la pression dans le carter s'élève graduellement avec la température, une partie du gaz

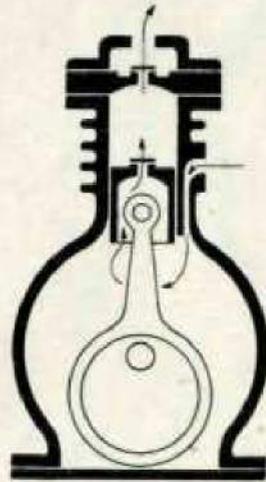


FIG. 12. — Circulation du gaz dans un compresseur ancien modèle.



présent au carter se dissout dans l'huile ; lorsque le compresseur se remet en marche, la pression diminue rapidement dans le carter, les gaz dissous dans l'huile vont se vaporiser, non seulement à la surface, mais également dans la masse de cette huile ; ce dégagement violent forme une quantité de mousse d'huile qui, naturellement, se trouve en partie entraînée par les gaz à travers le clapet d'aspiration et si ce volume d'huile entraîné se trouve être supérieur au volume de l'espace nuisible, il peut en résulter une rupture, ou tout au moins une déformation des clapets, les liquides étant incompressibles.

Ce système était encore acceptable lorsque le  $\text{SO}_2$  était le fluide presque universellement employé en réfrigération automatique ; car, en effet, le  $\text{SO}_2$  ne se mélange à l'huile que dans une proportion que l'on ne peut pas dépasser, mais depuis l'usage extensif du chlorure de méthyle et du fréon, qui ont la propriété de se mélanger en toute proportion avec les huiles de graissage, ce défaut d'entraînement d'huile s'est aggravé. Il a donc fallu envisager la séparation du fluide frigorigène et

de l'huile de lubrification. Cette indépendance relative du carter permet de réaliser des dispositifs de graissage par barbotage extrêmement efficaces en employant sur les bielles des cuillères de brassage d'huile, et permet donc de retarder l'usure du compresseur par une meilleure lubrification.

Dans les compresseurs modernes de fabrication bien étudiée (fig. 13), les gaz sont aspirés dans une chambre munie d'un dispositif de chicanes, les quelques gouttes d'huile qui se trouvent entraînées avec le fluide frigorigène se séparent de celui-ci par gravité pour retourner au carter par l'intermédiaire d'un petit trou de communication à la base de cette chambre, les gaz prenant seuls la direction du cylindre. Au moment de l'évaporation du fluide contenu dans l'huile du carter, comme il a été expliqué tout à l'heure, la mousse d'huile formée ne peut plus passer dans le cylindre

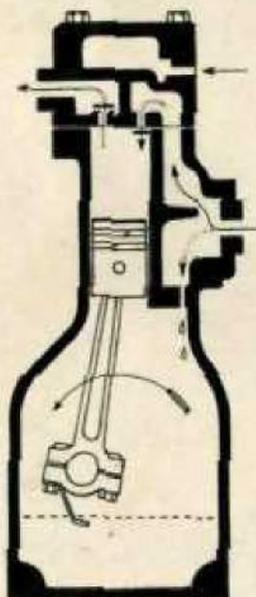


Fig. 13. — Circulation du gaz dans un compresseur moderne avec tête refroidie.

qu'en très faible quantité, vu le passage réduit existant entre le carter et la chambre d'aspiration : donc, quasi suppression du pompage d'huile.

**Tête refroidie.** — La production de chaleur de compression n'est pas égale pendant toute la course de refoulement ; pendant le début de cette course, la pression augmente proportionnellement à la diminution de volume avec un léger changement de température, mais vers la fin de compression, la pression augmente beaucoup plus rapidement, du fait de la diminution constante de volume à laquelle s'ajoute la chaleur de compression, alors que moins de cette chaleur peut être évacuée par les parois du cylindre. Ceci explique que la plus grande partie de la chaleur de compression se trouve localisée dans la tête du compresseur. La température ainsi atteinte favorise la formation de carbone dans l'huile de lubrification et élève la pression de refoulement d'une façon anormale, donc exige une force motrice accrue ; aussi un important perfectionnement apporté aux compresseurs est le refroidissement de la tête, qui, en permettant une température de compression plus basse, améliore nettement le rendement des compresseurs et permet plus de frigories produites pour une même puissance absorbée.

Le refroidissement de la tête peut se faire par une circulation d'eau, lorsque l'installation en comporte une ; dans ce cas, l'eau de circulation traverse la tête du compresseur à sa sortie du condenseur avant de se rendre à l'évacuation. Dans le cas de condenseur refroidi par l'air, certains constructeurs, notamment Kelvinator, refroidissent la tête de leur compresseur par la circulation du liquide frigorigène lui-même. Le fluide frigorigène refoulé par le compresseur se liquéfie dans un premier condenseur, le liquide ainsi obtenu est alors envoyé dans la chemise de circulation entourant la tête du compresseur ; au contact de la chaleur de cette tête, le liquide frigorigène se vaporise à nouveau en refroidissant vigoureusement la tête du compresseur. Le gaz ainsi formé passe dans un second condenseur pour y être liquéfié à nouveau et suivre son cycle normal dont il avait été momentanément détourné ; ce système exige naturellement une tête de compresseur munie d'une chambre de refroidissement, un double condenseur et la tuyauterie afférente ; le prix de revient est nettement plus élevé, mais c'est l'indice d'une construction sérieuse où rien n'a été négligé pour obtenir le rendement maximum. Malgré son prix d'achat plus élevé, ce système est à recommander, car, pour une même puissance électrique, l'on dispose de plus de frigories ; ou vice versa, pour une même quantité de frigories à produire on dépensera moins de force motrice ; en définitive, l'usager fait une économie sensible.



**Clapets.** — Les clapets connus sous le nom de « poppet valve » ou soupapes à queues, du même type que ceux employés dans les moteurs d'automobiles, sont maintenant abandonnés parce que bruyants, difficiles à roder et surtout parce que trop lourds, donc ayant une très grande inertie. Le type de clapet, presque universellement employé, à quelques variantes près, est du type à lamelle, connu sous le nom de reed-valve. Ces clapets sont extrêmement légers et, par conséquent, doués d'une très faible inertie, et bien plus aptes à fonctionner correctement aux grandes vitesses. Généralement, les clapets d'aspiration de ce type sont rappelés sur leur siège uniquement par leur élasticité, sans emploi de ressorts, alors que les clapets de refoulement (fig. 14) sont assez souvent munis de ressorts. Ces ressorts ne sont prévus que comme sécurité en cas de pompage d'huile ou de liquide, et en service normal n'entrent pas en action, la flexibilité propre du clapet lui-même permettant une levée suffisante pour assurer un passage normal aux gaz refoulés.

La forme et les dispositifs de fixation de clapets varient à l'infini, selon la fantaisie de chaque constructeur ; aussi est-il impossible, et d'ailleurs parfaitement inutile, de les passer tous en

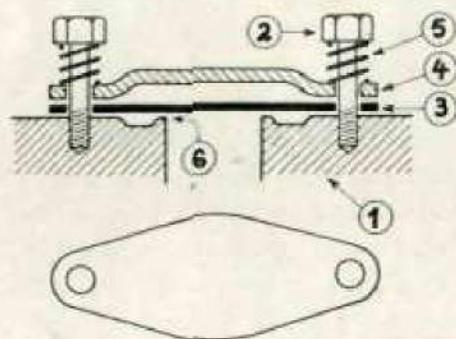


FIG. 14. — Clapet de refoulement et dispositif de fixation et guidage.

revue. Nous allons nous borner à décrire un type de clapets, le fonctionnement des autres partant du même principe. Voici d'ailleurs sur la figure ci-jointe (fig. 14) un modèle de clapet de refoulement et l'explication de son fonctionnement. Le clapet 3, en lamelle d'acier suédois, très mince, est de forme ovale allongé et est percé de deux trous de fixation et guidage, il repose librement sur la portée 6 du bloc clapet 1, il est surmonté d'une contre-plaque beaucoup plus épaisse, destinée à limiter les déformations du clapet.

Ce clapet et sa contre-plaque sont fixés sur la plaque à clapet à l'aide de deux vis de fixation 2, mais peuvent coulisser le long de ces vis de fixation qui agissent ainsi comme guides. L'ensemble clapet et contre-plaque est appliqué sur la portée par la pression de deux ressorts 5.

En marche normale, la légère déformation du clapet, par flexi-



bilité, sous l'action de la pression des gaz refoulés, se produit uniquement entre la portée et la contre-plaque sans aucun mouvement de celle-ci ; la levée est suffisante pour le passage du volume de gaz refoulé.

En cas de pompage d'huile ou de liquide, le volume à passer étant beaucoup plus important, le clapet subit sa déformation maximum, s'applique sur la contre-plaque et l'ensemble se soulève en comprimant les deux ressorts 5, permettant ainsi une levée beaucoup plus importante pour le passage de l'huile ou du liquide et protégeant ainsi le clapet contre une déformation trop importante ou même sa rupture.

**Garnitures d'étanchéité.** — Nous voyons que, quel que soit le mode d'aspiration adopté, de toute façon l'intérieur du carter du compresseur est soumis à la pression d'aspiration. Ce carter est fermé de toute part, mais il lui faut cependant une ouverture pour le passage de l'extrémité du vilebrequin qui porte le volant d'entraînement du compresseur. Il faut donc assurer l'étanchéité de ce point pour éviter la perte du fluide frigorigène d'une part, et la rentrée de l'air ambiant d'autre part.

Ceci est le rôle du presse-étoupe. Ce nom de presse-étoupe est une survivance de l'époque lointaine où l'étanchéité relative de ce point était assurée par des bourrages d'étoupe, puis, par la suite, par des tresses spéciales du type Beldam ou même par des anneaux de métal antifricition. Il est de beaucoup préférable d'employer le nom plus moderne de boîte d'étanchéité, qui répond beaucoup mieux à l'organe décrit. Les modèles de boîtes d'étanchéité varient considérablement avec les constructeurs, mais on peut poser, en principe, que tous les modèles existants dérivent de deux types principaux : la boîte à soufflet et, dernier en date, la garniture rotative. Nous allons donc décrire ces deux modèles, tout ce qui sera dit sur ces deux boîtes d'étanchéité étant applicable aux autres modèles en service.

a) *La boîte d'étanchéité à soufflet* (fig. 15), connue aux U. S. A. sous le nom de Sylphon Seal, se compose de quatre pièces. Une bague de fond 3 en bronze, munie d'un portage circulaire ; une bague de dessus 5, qui forme joint, étant serrée entre le compresseur 2 et la plaque de presse-étoupe 7 ; un soufflet en cuivre soudé par ses extrémités sur les deux bagues précitées, et enfin un ressort 6 chargé d'assurer la pression de la bague d'étanchéité 3 sur un épaulement de l'arbre vilebrequin 1. L'épaulement



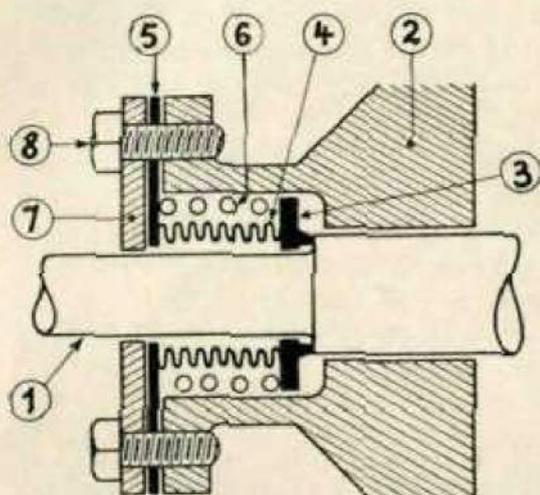


FIG. 15. — Garniture à soufflet.

bague 5 qui est soudée au soufflet, d'une part ; d'autre part, serrée, avec interposition d'un joint, entre le compresseur 2 et la plaque 7 ; l'autre extrémité du soufflet portant très exactement sur le collet de l'arbre ici également, la fuite n'est plus possible. La boîte d'étanchéité reste fixée dans son logement, alors que l'arbre peut tourner librement. Naturellement, une certaine quantité d'huile, venant avec le gaz, assure la lubrification de ce portage rotatif, cette huile retourne au carter par une petite canalisation, non figurée sur le schéma ci-joint.

b) *La garniture rotative* (fig. 16), connue aux U. S. A. sous le nom de Rotary Seal, fonctionne sur le même principe, mais ici l'ensemble de la garniture tourne avec l'arbre-vilebrequin. Cette garniture se compose de : un joint 3, serré entre le compresseur et la plaque 7, ce joint porte en son centre un portage circulaire en bronze ; contre ce portage vient tourner une bague 4 en acier cémenté, cette bague est rodée sur

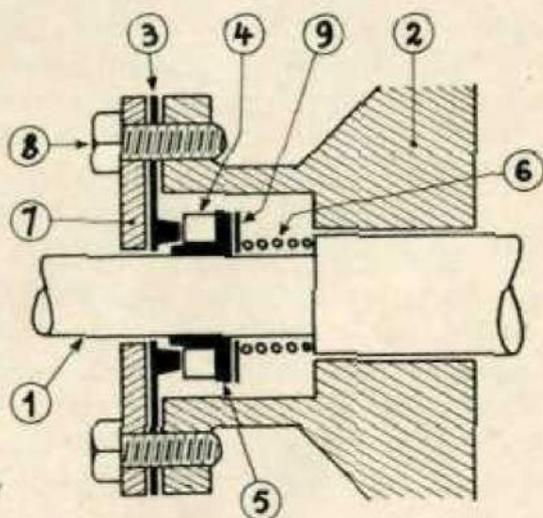


FIG. 16. — Garniture rotative.



le portage du joint 3, de façon à obtenir une étanchéité parfaite ; l'étanchéité entre la bague 4 et l'arbre 1 est assurée par une bague spéciale 5 en caoutchouc coulissant à frottement dur d'une part, sur l'arbre, d'autre part, à l'intérieur de la bague 4. L'ensemble bague 5 et bague 4 est donc solidaire de l'arbre et tourne avec lui ;

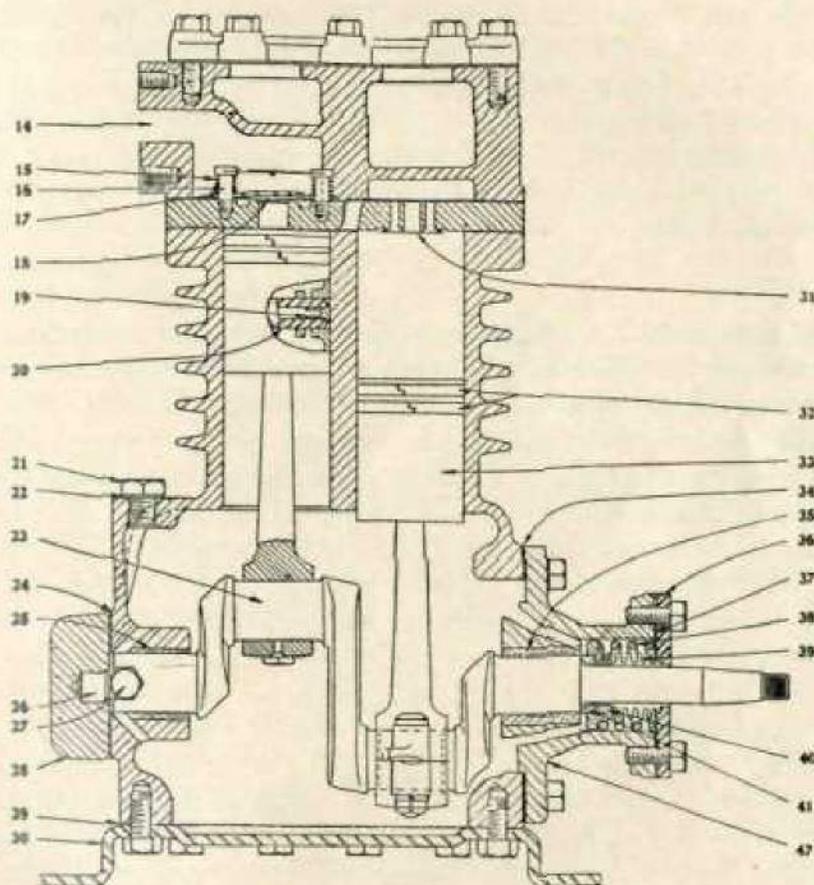


FIG. 17. — Coupe d'un compresseur moderne avec tête refroidie.

cet ensemble est poussé contre le portage 3, par un ressort 6 qui prend appui sur le collet de l'arbre vilebrequin et une rondelle plate 9, le tout tourne avec l'arbre. Comme dans le cas précédent, le gaz venant de l'intérieur du carter se répand dans la cavité de la garniture, mais l'étanchéité est assurée par le joint 3 et le portage rodé entre ce joint 3 et la bague d'acier 4. Le système de graissage est le même que le précédent. Dans les deux cas, le portage rotatif doit être absolument net et parfaitement étanche. Les



fuites au presse-étoupe restent de beaucoup la source d'ennui la plus fréquente sur les compresseurs ; c'est le point noir de toute installation frigorifique ; aussi, lors de la réparation d'un compresseur, c'est particulièrement sur ce point que le mécanicien devra porter son attention et ses soins. Naturellement, un portage parfait des clapets est également d'une grande importance au point de vue rendement. Rappelons, au passage, qu'un joint de tête ne doit être remplacé que par un joint de même épaisseur, sous peine de faire varier le volume de l'espace nuisible, dont nous avons vu l'importance. Un grand ennemi de toute installation frigorifique est l'humidité de l'air ; aussi, un vide rigoureux et un étuvage soigné sont le complément nécessaire d'une réparation bien faite.

**Transmissions.** — La puissance motrice peut être transmise au compresseur par différents moyens ; par chaîne et pignons, par courroie plate, par engrenages et par courroie trapézoïdale, en négligeant l'entraînement direct. La transmission par courroie plate et par engrenage remonte au début des machines automatiques, mais a été abandonné progressivement au profit de la courroie trapézoïdale caoutchoutée. Le système de transmission à engrenage employé par certains Frigidaires, et surtout par Nizer, a été supprimé, parce que trop bruyant ; et le système à courroie plate a été remplacé par la courroie trapézoïdale, vu les avantages de celle-ci sur la courroie plate. Le coefficient d'adhérence d'une courroie plate est de 0,18 environ, alors que le coefficient est de 0,50 pour la courroie trapézoïdale, ce qui a pour avantage de permettre des arcs de contacts beaucoup plus petits : environ  $120^\circ$  pour la courroie trapézoïdale contre  $150^\circ$  minimum pour la courroie plate. De plus, cette plus grande adhérence permet une plus faible tension de la courroie, donc diminue d'autant la traction sur les paliers, ce qui entraîne une usure bien moindre de ceux-ci. La fatigue de pliage étant réduite également, cela permet d'employer des rapports de transmissions plus grands, jusqu'à  $R=10$ . Pour la même raison de moindre fatigue de pliage, on peut porter le nombre de passages par seconde à 15 contre 5 à la courroie plate. Un autre avantage de la courroie trapézoïdale est d'avoir une courroie continue sans agrafes, supprimant tous les ennuis de l'agrafage.

*Calcul d'une transmission.* — Le rapport de transmission est



le rapport du nombre de tours du volant de compresseur au nombre de tours de la poulie du moteur :

$$R = \frac{\text{diam. volant}}{\text{diam. poulie}} = \frac{\text{nombre de tours poulie}}{\text{nombre de tours volant}}$$

Par conséquent, le rapport de transmission est égal au rapport des diamètres du volant et de la poulie.

Trois points nous sont fixés : la vitesse de rotation du compresseur, la vitesse du moteur et le diamètre du volant ; il nous reste donc, pour un compresseur devant tourner à une vitesse donnée, à déterminer le diamètre de la poulie du moteur, puisque, également, la vitesse du moteur est fixée une fois pour toutes. En général, la vitesse des moteurs employés est aux environs de 1.440 t/m pour les moteurs alternatifs et de 1.750 t/m pour les moteurs à courant continu.

Supposons que nous soyons en présence d'un compresseur ayant un volant de 360 m/m de diamètre, dont la vitesse est fixée à 240 t/m. Ce compresseur doit être entraîné par un moteur

tournant à 1.440 t/m. Le rapport de transmission sera  $\frac{1440}{240} = 6$ .

Comme, d'autre part, le diamètre du volant nous est imposé, il faudra monter sur le moteur une poulie ayant un diamètre de :

$$\frac{360}{6} = 60 \text{ m/m}$$

Il nous reste à déterminer la longueur de la courroie à employer. Il existe pour cela des formules assez compliquées, tenant compte des profondeurs de gorges, du périmètre primitif de la courroie, etc., et permettant de calculer la longueur au millimètre près, mais dans la pratique, comme nous disposons d'une certaine marge, puisque le moteur peut se déplacer sur des glissières pour assurer la tension de la courroie, nous pouvons nous permettre de calculer cette longueur d'une façon approximative et beaucoup plus simple, à l'aide de la formule empirique approchée suivante :

$$\pi D^1 \times 0,6 + 2 E + \pi D^2 0,4$$

dans laquelle  $D^1$  est le diamètre du volant,  $E$  l'entraxe et  $D^2$  le diamètre de la poulie.

Nous allons d'ailleurs expliquer cette formule. Pour déterminer



le périmètre du volant, nous savons qu'il suffit de multiplier le diamètre par la constante  $\pi$  ; mais la courroie ne fait pas le tour du volant (fig. 18), son arc de contact est en moyenne, avec les entraxes et les rapports de transmission généralement employés en réfrigération automatique, les 6/10 du tour de la jante du volant, donc le diamètre de ce volant pris à la moyenne de contact de la courroie, multiplié par  $\pi$  et par le facteur 0,6, nous donnera la longueur de courroie appliquée sur le volant. Pour la poulie, on peut prendre sans grande erreur la valeur de l'arc de contact comme étant égale à 0,4. La longueur de courroie enroulée sur

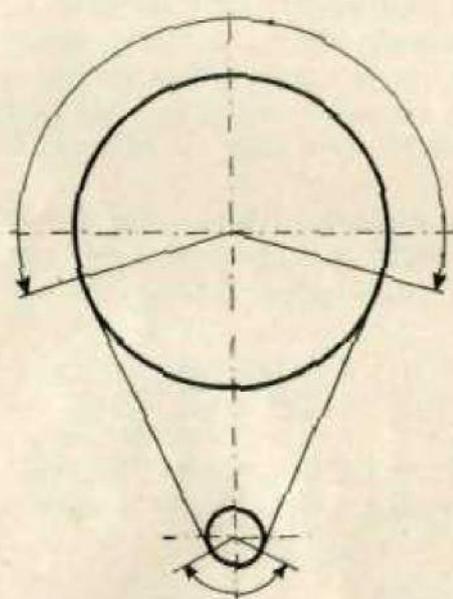


FIG. 18. — Transmission par courroie.

la poulie sera donc égale à : diamètre de la poulie, multiplié par  $\pi$  et par le facteur 0,4. Il y a lieu d'ajouter les deux brins libres de la courroie qui sont égaux à environ deux fois l'entraxe. (Voir fig. 18.)

Cette formule nous donnera la longueur approchée de la courroie avec une très faible erreur facilement rattrapée par les glissières du moteur. L'entraxe se détermine en plaçant le moteur à sa position la plus rapprochée du compresseur, avec une petite marge de sécurité, et en mesurant la distance d'axe en axe entre le compresseur et le moteur. Cette formule peut faire sourire les amateurs

d'équations, mais elle s'est révélée, dans sa simplicité, très suffisante pour les applications pratiques.

En ce qui concerne le calcul des sections de courroie et leur nombre, le monteur n'a pas lieu de s'inquiéter, ces calculs ayant été faits par le constructeur, il choisira une courroie dont la section s'adapte aux joues du volant et de la poulie.

**Calorimètre.** — Les essais de puissance frigorifique des compresseurs se font au calorimètre. Un calorimètre simplifié se compose d'une cuve soigneusement isolée et remplie d'une saumure. Dans cette saumure sont plongés un évaporateur permettant de la refroidir et des résistances électriques permettant de la réchauf-



fer ; un thermomètre indique la température du bain ; un ampèremètre ou, mieux, un wattmètre, indique la puissance électrique dissipée sous forme de chaleur. Le compresseur est relié à l'évaporateur et mis en marche dans des conditions standard d'opération au point de vue pression de refoulement et d'aspiration et vitesse de rotation. Dans ces conditions, le compresseur tend à refroidir la cuve que l'on réchauffe d'autre part à l'aide des résistances électriques, de façon à ce que la température de la cuve reste invariable. Il est évident que les résistances devront fournir autant de calories que le compresseur produit de frigories, pour pouvoir maintenir l'équilibre de température. La puissance électrique dissipée se lira sur l'ampèremètre ou le wattmètre. L'énergie fournie en calories-gramme, degrés centigrade, se déduira de la formule suivante :

$$W = 0,239 RI^2S$$

dans laquelle  $W$  est exprimé en calories-gramme,  $R$  la résistance en ohms,  $I$  l'intensité en ampères,  $S$  le temps en secondes. En arrondissant quelque peu les chiffres : 1 kw/heure égale 860 calories-kg/heure.

Pendant le temps de l'essai, on mesure la puissance électrique absorbée par le moteur du compresseur, et l'on mesure la consommation d'eau de condensation si le groupe en essai est un groupe à eau.

Toutes ces mesures permettent au constructeur de déterminer les performances du groupe compresseur considéré, et de pouvoir affirmer, dans le catalogue, que tel groupe compresseur placé dans des conditions données de vitesse de rotation, de pression de refoulement, de température au condenseur, de température d'aspiration et de pression d'aspiration, fournit réellement tant de frigories-heure avec une puissance électrique et une consommation d'eau déterminées.

**Vannes de service** (fig. 19). — Avant de quitter les compresseurs, il nous reste quelques mots à dire sur les vannes de service montées sur les compresseurs, évaporateurs, etc. Ces vannes se composent d'un corps en laiton matricé 1, dans lequel se déplace un pointeau 2, terminé à une extrémité par un carré de manœuvre, à l'autre extrémité par un cône double. Le corps de vanne porte deux portages pour les deux faces du cône ; le portage 3 permet l'ouverture et la fermeture du passage normal des gaz ; le portage



arrière 4 permet d'isoler à volonté le passage 5, destiné à recevoir le manomètre ou tout autre raccord permettant les opérations de charge, purge, etc. Ce deuxième portage présente également

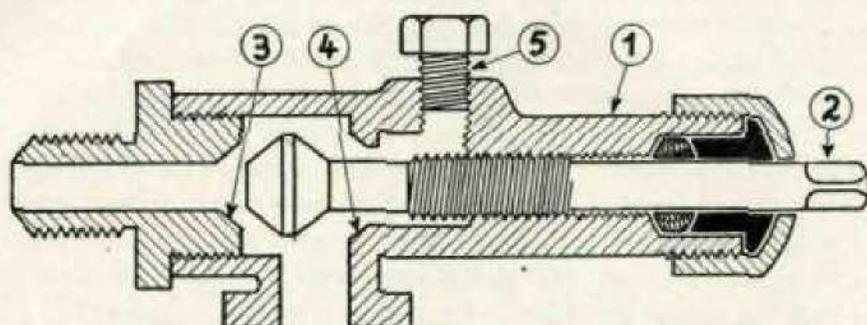


FIG. 19. — Vanne de service de compresseur.

l'avantage de soustraire, lorsque la vanne est ouverte à fond, la garniture de la tige de pointeau à la pression du gaz dans l'installation, éliminant ainsi une chance de fuite.

## CHAPITRE VI

### CONDENSEURS

---

**Généralités.** — Le condenseur ou liquéfacteur est l'espace clos où sont refoulées les vapeurs chassées du compresseur par la course de compression. C'est à l'intérieur du condenseur que se passe le retour à l'état liquide des vapeurs comprimées. Pour liquéfier ces vapeurs, il faut leur enlever de la chaleur jusqu'à ce que soit atteint le point de liquéfaction, et ensuite la chaleur latente de liquéfaction. En réfrigération, la température du fluide à fin de compression est de beaucoup au-dessus de la température de liquéfaction ; il nous faudra d'abord évacuer toute la chaleur de surchauffe produite par le travail de compression, puis, ensuite la chaleur latente de liquéfaction du gaz et, enfin, une partie de la chaleur du liquide. C'est la somme de ces trois quantités de chaleur que le condenseur sera chargé de transmettre, par radiation et par conduction, soit à l'air ambiant, soit à l'eau de circulation.

La nature des parois du condenseur aura une influence considérable sur cet échange de chaleur. Comme le cuivre est de tous les métaux commerciaux celui qui présente la plus grande conductivité, c'est donc à lui qu'il est fait le plus souvent appel dans la construction des condenseurs. Un condenseur en cuivre aura besoin d'une surface bien inférieure à celle d'un condenseur en fer, pour une même quantité de chaleur à évacuer.

Le transfert de chaleur est dû à une différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du condenseur ; plus cette différence sera grande, plus sera rapide l'évacuation de la chaleur et la quantité évacuée par unité de surface. Si les températures interne et externe étaient égales, il n'y aurait pas de transfert de chaleur, et la liquéfaction ne pourrait pas se produire. Dans la pratique, l'écart de température doit être maintenu à environ  $12^{\circ}\text{C}$  à  $15^{\circ}\text{C}$ .

Pour condenser le fluide frigorigène, il faut donc maintenir l'extérieur du condenseur à une température inférieure à celle



de la vapeur refoulée, de façon que la chaleur puisse passer de cette vapeur à l'air ou l'eau de circulation. Si la température extérieure est élevée et ne présente que quelques degrés de différence avec la vapeur, l'échange de température sera lent ; et, dans ces conditions, il faudra une beaucoup plus grande surface d'échange pour condenser un poids donné de fluide. La quantité de chaleur évacuée sera proportionnelle à la surface de radiation et à la différence des températures interne-externe. La nature du métal employé et son épaisseur, et la vitesse des gaz interviennent également.

**Condenseurs à air.** — Dans les machines anciennes, les condenseurs à air étaient constitués par une certaine longueur de tube de cuivre ; ce tube était arrangé sous forme de bobinage cylindrique, ovale allongé, ou même entourant complètement le groupe compresseur. La forme et la disposition n'avaient d'ailleurs aucune importance, il s'agissait tout simplement de disposer d'un métrage de tube offrant une surface totale extérieure suffisante pour pouvoir évacuer la quantité de chaleur voulue. Nous rappelons, au passage, que la surface d'un tel condenseur est la surface développée du tube, c'est-à-dire, la formule bien connue  $\pi D L = S$ . Le diamètre exprimé en mètre ou fraction de mètre, multiplié par la constante  $\pi$  donne, on s'en souvient, la longueur de la circonférence ; cette longueur de circonférence, multipliée par la longueur totale du tube, nous donnera la surface du condenseur.

La détermination de la surface à donner à un condenseur exige une connaissance exacte de la chaleur à évacuer ; nous avons vu que cette quantité comprend la chaleur de compression, la chaleur latente de liquéfaction et l'abaissement de température du liquide obtenu. Nous ne rentrerons pas dans le détail de ce calcul, qui est plutôt du domaine de l'ingénieur constructeur, que de celui du monteur dépanneur. Cependant, à titre d'indication, nous rappellerons cette règle empirique en usage aux U. S. A.

En supposant le condenseur en tube de cuivre à parois minces, c'est-à-dire en tube de cuivre standard en petite réfrigération, et en admettant que la température au condenseur soit de 30°C (85°F), les Américains disent que l'on doit avoir une surface de 6 square feet, pour une puissance frigorifique de 100 lbs/I.M.E. (équivalent de glace fondante) par 24 heures, dans le cas de circulation d'air forcée, et de 12 square feet dans le cas de circu-



lation naturelle pour la même puissance I M E. Ceci traduit en unités françaises, chiffres arrondis, correspond à :

1 mètre carré par 300 frigories/24 heures  
pour la circulation naturelle,  
et 0 m<sup>2</sup> 500 par 300 frigories/24 heures  
pour la circulation forcée.

Le seul examen de ces chiffres démontre qu'un condenseur en tube doit avoir une surface imposante, ce qui conduit à des encombrements inacceptables, lorsque la puissance du compresseur augmente. Pour diminuer le nombre de mètres de tube employés, on a cherché à augmenter la surface par mètre de tube. On est arrivé à ce résultat en soudant ou brasant sur les tubes des ailettes de radiation (fig. 20). Une partie de la chaleur du tube

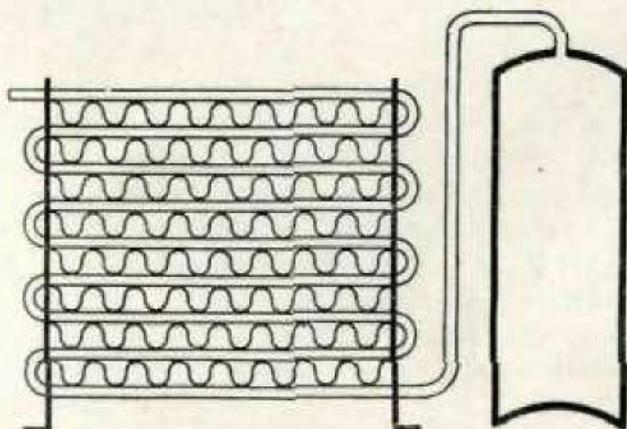


FIG. 20. — Représentation schématique d'un condenseur à air.

passé, par conduction, dans les ailettes qui offrent une grande surface d'échange avec l'air ambiant. Le diamètre des ailettes est limité par la conductivité du métal employé ; les ailettes ne doivent pas être trop serrées, dans l'espoir de gagner plus de surface, car il faut laisser à l'air un volume suffisant pour sa circulation. Egalement, plus l'ailette sera grande, plus son rendement s'abaissera, la portion périphérique étant moins effective que la partie centrale, puisqu'une partie de la chaleur est évacuée avant d'atteindre la périphérie. Les ailettes peuvent être séparées ou continues, c'est ce dernier système qui est le plus employé. La représentation d'un condenseur à ailettes continues rappelle assez bien le radiateur d'automobile (fig. 21). Le condenseur à air est toujours suivi d'un réservoir de liquide qui peut être vertical



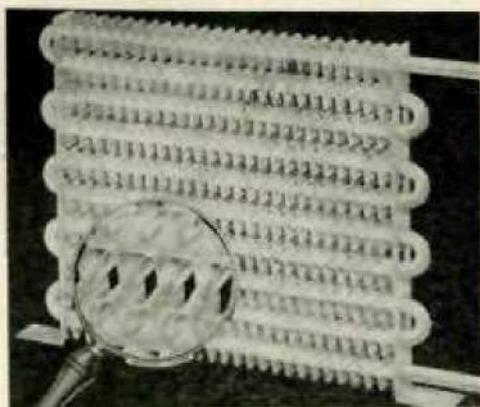


FIG. 21. — Condenseur à air à ailettes continues.

voir de liquide. Ils sont constitués par un cylindre en métal (fig. 22) dans lequel le compresseur refoule le fluide en phase vapeur ; à l'intérieur de ce cylindre, est disposé un serpentin parcouru par une circulation d'eau. Au contact de cette paroi froide, la vapeur abandonne sa chaleur de compression, puis sa chaleur latente et se liquéfie. Le liquide contenu au fond du cylindre est à son tour refroidi par le serpentin. Tout ce qui a été dit au point de vue des surfaces d'échange des condenseurs à air reste valable en ce qui concerne le serpentin de circulation d'eau.

La quantité d'eau consommée sera évidemment proportionnelle à la quantité de chaleur à évacuer et à l'écart de température entre l'eau et la vapeur à condenser. On règle le débit d'eau de façon à ce que son échauffement ne soit pas trop important. L'écart entre la température d'entrée et de sortie est en moyenne une dizaine de degrés, aux températures standard de fonctionnement. La quantité d'eau dépensée dans ces conditions est d'environ 200 litres-heure par 1.000 frigories-heure.

Une variante des condenseurs à

ou horizontal, ce qui importe peu, le résultat étant équivalent. Les groupes compresseurs à bouteilles horizontales sont moins encombrants, alors que les groupes à bouteilles verticales paraissent plus imposants, plaisent, en général, mieux aux clients.

**Condenseurs à eau.** — D'une façon générale, les condenseurs à eau sont une combinaison du condenseur proprement dit et du réservoir

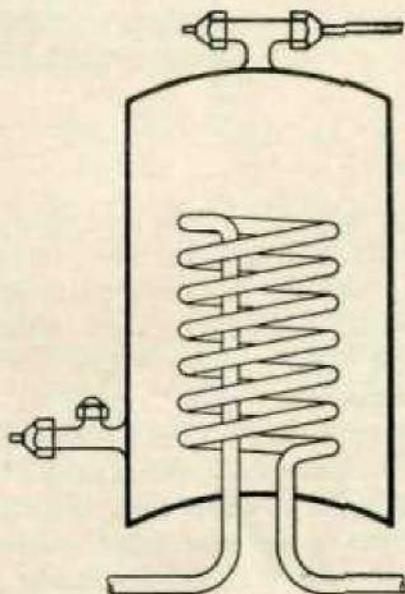


FIG. 22. — Condenseur à circulation d'eau.



eau est le condenseur à double tube (fig. 23). Ce système de condenseur est composé de deux tubes concentriques de diamètres inégaux ; le plus petit étant à l'intérieur du plus gros. Le

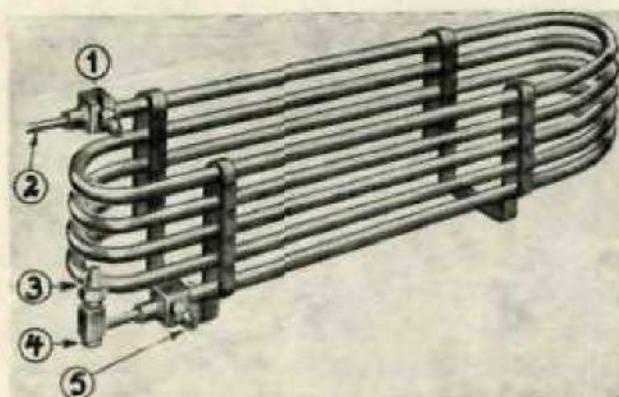


FIG. 23. — Condenseur à double tube à circulation d'eau.

1. — Sortie d'eau.
2. — Entrée du fluide en phase vapeur.
3. — Vanne d'arrêt de liquide.
4. — Sortie du fluide condensé.
5. — Entrée d'eau.

fluide frigorigène circule dans le petit tube, alors que l'eau de circulation circule à contre-courant dans l'espace annulaire compris entre le gros et le petit tube.

**Condenseurs mixtes.** — Il existe également des condenseurs mixtes refroidis en partie par l'eau, en partie par l'air ; ils sont composés de deux tubes égaux soudés ensemble, côte à côte, à la façon des deux canons d'un fusil de chasse. L'air refroidit le tube contenant le fluide frigorigène, qui est également refroidi par contact avec le tube de circulation d'eau.

**Condenseurs à évaporation.** — Ces condenseurs sont connus aux U. S. A. sous le nom d'« evaporative condensers ». Nous allons les décrire succinctement, à titre de mémoire, car ils ne sont guère employés que sur les compresseurs puissants des installations de conditionnement d'air, fort peu répandues en France, vu le prix de ces installations et nos idées quelque peu retardataires au point de vue confort.

Les installations de conditionnement d'air absorbant de rela-



tivement grosses puissances frigorifiques (n'oublions pas que nous parlons dans ce livre uniquement de petite réfrigération automatique et que, par conséquent, le conditionnement d'air sort un peu du cadre de cet ouvrage), les condenseurs absorbent pour leur refroidissement des quantités d'eau assez importantes. Pour réduire cette consommation, les constructeurs américains ont repris l'idée ancienne du condenseur à ruissellement qui utilise l'eau à la façon d'un condenseur à eau déjà décrit, mais, en plus, utilise également la chaleur latente de vaporisation de l'eau, qui est très importante. Seulement, les Américains ont eu l'idée d'utiliser au maximum cette chaleur latente de vaporisation en facilitant l'évaporation de l'eau de circulation par pulvérisation.

Le principe de construction de ces condenseurs est le suivant : dans un caisson métallique, on dispose un condenseur à air, du type déjà décrit, sur lequel on envoie de l'eau finement pulvérisée par des gicleurs spéciaux, un fort ventilateur centrifuge souffle un violent courant d'air sur le condenseur, évaporant ainsi, à la surface des tubes, l'eau pulvérisée, utilisant ainsi au maximum la chaleur latente d'évaporation de l'eau, jointe à l'action refroidissante du courant d'air. A la sortie du condenseur, l'air est obligé de traverser des séries de chicanes où se trouvent arrêtées et récupérées les particules d'eau non évaporées et entraînées par le courant d'air.

**Ventilateurs.** — Les condenseurs à air demandent une grande quantité d'air pour entraîner la chaleur rayonnante émise par les tubes, aussi la circulation d'air par convection naturelle étant insuffisante, ou conduisant à l'emploi de trop grandes surfaces d'échange, on emploie généralement la circulation forcée par ventilateur. Les ventilateurs employés sont de deux types : centrifuge et hélice. Le type centrifuge étant fort peu employé, nous parlerons uniquement du ventilateur à hélice, constitué, d'une part, par les rayons du volant d'entraînement du compresseur et, d'autre part, par une hélice calée sur l'arbre du moteur électrique.

Du point de vue de l'aspiration d'air, le fonctionnement d'un ventilateur est assez particulier ; contrairement à une croyance assez courante, l'air ne passe pas dans l'hélice de l'avant vers l'arrière, comme on le suppose communément, et tout dessin de circulation d'air basé sur cette idée est une erreur. L'air est aspiré par l'extrémité des ailes et voyage perpendiculairement



à l'arbre du ventilateur jusque vers la moitié environ de la section, puis est alors projeté en avant, parallèlement à la ligne de l'arbre. Il est d'ailleurs facile de s'en rendre compte par un essai à la fumée. Dans ces conditions, il n'est pas possible de compter sur le côté aspiration du ventilateur pour assurer le refroidissement du condenseur, à moins de le munir d'un carter guide destiné à canaliser l'air.

Le volume d'air projeté par tour dépend de l'angle formé par les pales, autrement dit, de leur pas. Le ventilateur peut être considéré comme une vis qui avance dans l'air d'une certaine distance par tour, cette distance est le pas. Il est compréhensible que la vitesse théorique de la colonne d'air refoulée sera égale au pas multiplié par le nombre de tours par minute. Il faut compter sur un glissement d'environ 30 %, de sorte que la vitesse réelle de la colonne d'air ne sera que 70 % de la vitesse théorique définie plus haut. Le type de ventilateur ayant le meilleur rendement est le modèle à deux pales, parce que les interférences entre pales sont réduites au minimum. Le ventilateur à quatre pales refoule un volume d'air supérieur, à diamètre et vitesse égale, à celui refoulé par un ventilateur deux pales ; il ne faut cependant pas croire que son débit soit double. L'adjonction de deux pales supplémentaires à un ventilateur deux pales augmente le débit de 30 à 40 % seulement et non de 100 %.

La pression de l'air refoulé augmente comme le **carré de la vitesse** et la **puissance absorbée comme le cube de cette vitesse** : en d'autres termes, la puissance absorbée augmente beaucoup plus vite que le débit du ventilateur pour une augmentation de vitesse donnée. Au point de vue consommation de puissance pour une même quantité d'air délivrée, il est de beaucoup préférable d'avoir de grands ventilateurs à vitesse réduite que de petits ventilateurs à très grande vitesse. Le volant de compresseur ayant ses rayons formant pales de ventilateur est excellent. Le calcul nous démontrerait que, pour un compresseur tournant à 360 tours/minute et un moteur tournant à 1.440 tours/minute, le rapport des vitesses étant égal à 4, le petit ventilateur absorbera une puissance 64 fois ( $4 \times 4 \times 4$ ) plus grande que le ventilateur formé par le volant, à débit d'air égal.



## CHAPITRE VII

### EVAPORATEURS

**Évaporateurs à détente directe.** — L'évaporateur est l'organe à l'intérieur duquel le fluide frigorigène se vaporise avec production de froid ; c'est le radiateur de froid. Les modèles d'évaporateurs varient à l'infini, et vouloir les classer est un travail impossible ! Cependant, a priori, on peut les diviser en deux grandes classes : les évaporateurs à immersion et les évaporateurs directs. Les évaporateurs à immersion sont, soit du type à bouilleur, soit du type serpentin. Quant aux évaporateurs à détente directe, on peut distinguer :

- les évaporateurs à circulation naturelle ;
- les évaporateurs à circulation forcée ;
- les évaporateurs à fabrique de glace, etc.

sans que ceci soit une tentative de classement, car, selon sa construction et son emploi, un évaporateur peut rentrer dans une ou plusieurs catégories.

Avant de rentrer dans des détails de construction ou de présentation et d'emploi, nous allons d'abord passer en revue quelques considérations générales sur les évaporateurs à détente directe.

Pour produire un nombre de frigories données, dans un temps donné, il faut évaporer une quantité fixée de fluide frigorigène dans des conditions de température déterminées ; pour évaporer cette quantité de fluide, il faudra donc lui fournir la quantité de calories nécessaires ; c'est dire que le problème principal que nous aurons à envisager sera surtout des déterminations de surface d'échange, en fonction d'écart de températures. Nous avons déjà vu, en parlant des condenseurs, que la chaleur se transmet, à travers des parois métalliques, d'autant plus facilement que le métal est meilleur conducteur, que la paroi est plus mince, que l'écart de température interne externe est plus grand, que la surface d'échange est plus grande et, également, suivant que les deux fluides qui échangent leur température sont des liquides



ou des vapeurs. La transmission est maximum lorsque les deux fluides sont des liquides et minimum lorsque les deux fluides sont des vapeurs, pour un écart de température égal. Dans les évaporateurs, en quelque sorte standard, employés dans les chambres froides des installations automatiques, le métal presque universellement employé est le cuivre ; les parois sont toujours du tube de cuivre d'épaisseur standard et les fluides échangeurs sont presque toujours un liquide et un gaz, c'est-à-dire, d'une part, le fluide frigorigène en phase liquide et, d'autre part, l'air ambiant ; donc, dans ce qui va suivre, nous aurons uniquement à tenir compte des surfaces d'échange et des écarts de température, puisque les autres conditions seront invariables et que les coefficients qui seront donnés tiennent compte de ces conditions.

D'après ce qui précède, on voit que pour augmenter l'échange de calories par unité de surface, on a intérêt à faire évaporer le fluide frigorigène à une température aussi basse que possible pour augmenter l'écart de température entre le liquide qui se vaporise et l'air ambiant de la chambre froide. En réalité, nous verrons par la suite que cela n'est pas réalisable pour d'autres raisons. Dans le cas des chambres froides travaillant aux environs de  $+4^{\circ}\text{C}$  (boucheries, restaurants, meubles ménagers, etc.), l'écart de température généralement adopté est d'environ 12 à 15 degrés en moyenne ; c'est-à-dire que la température d'ébullition du liquide frigorigène est aux environs de  $-10^{\circ}\text{C}$ . Une autre question qui intervient est celle de la circulation de l'air à refroidir autour de cet évaporateur à  $-10^{\circ}\text{C}$ . Il est évident que si l'air est stagnant, il va se former autour de l'évaporateur une poche d'air froid et que l'écart de température ira en s'abaissant entre cet air et l'évaporateur sans que la température s'abaisse proportionnellement dans la chambre froide ; l'effet frigorifique sera localisé. Plus cet air circulera rapidement autour de l'évaporateur, meilleur sera l'échange de température, et plus grande sera la quantité de chaleur absorbée. Dans une circulation d'air par convection naturelle bien étudiée et bien réalisée, la vitesse de circulation d'air est d'environ 0 m. 30 à 0 m. 50 par seconde dans la descente d'air froid ; dans ces conditions, un évaporateur produit de 6 à 8 frigories environ par heure, par mètre carré et par degré d'écart ; étant entendu que l'évaporateur dégivre entre chaque cycle, car l'accumulation de givre diminue le pouvoir d'échange dans d'assez fortes proportions, selon l'épaisseur accumulée. Nous avons vu que la capacité d'absorption calorifique d'un évaporateur augmente avec l'écart de température ; comme



généralement la température à obtenir nous est fixée par des raisons de conservation de denrées, il s'ensuit que nous ne pouvons augmenter l'écart qu'en abaissant la température de vaporisation; donc plus nous vaporiserons à une basse température, plus grande sera la puissance frigorifique fournie par cet évaporateur; mais, malheureusement, nous avons vu aussi que le rendement d'un compresseur baissait très rapidement avec la diminution de la pression (donc avec la température) d'aspiration. Il y a donc lieu de choisir une température d'évaporation qui, tout en permettant à l'évaporateur d'avoir une absorption calorifique suffisante, ne soit cependant pas trop basse pour ne pas diminuer par trop le rendement du compresseur. La pratique a démontré que cette température était aux environs de  $-10^{\circ}$  C. pour les chambres froides de conservation.

Dans le choix d'un évaporateur, il faut évidemment, avant toute chose, connaître exactement la quantité de chaleur qu'il aura à absorber dans un temps donné; généralement la charge calorifique est estimée en 24 heures. Il faut alors choisir un évaporateur qui, dans les limites des températures données, ait une surface suffisante pour l'écart choisi pour absorber cette quantité de calories. Choisi de cette façon, un évaporateur serait obligé d'être en fonctionnement 24 heures sur 24; il se couvrirait rapidement de givre et ne pourrait plus remplir son rôle. Il y a donc lieu de prévoir des périodes d'arrêt suffisantes pour permettre la fusion du givre formé et faire surface nette pour le cycle suivant. La moyenne des heures de marche admise varie suivant les constructeurs, mais elle est comprise, en général, entre 14 et 16 heures sur 24. Il faudra choisir un évaporateur dont la surface soit au moins suffisante pour pouvoir absorber la charge calorifique des 24 heures, en 14 ou 16 heures de marche selon le cas.

Si l'évaporateur choisi a une surface trop faible, on sera obligé, pour lui faire absorber quand même cette charge calorifique, d'augmenter sa capacité d'absorption, en vaporisant à une température plus basse, au détriment du rendement du compresseur; de plus, la surface de l'évaporateur étant à une température plus basse, la formation de givre sera plus importante, comme ce givre provient de la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air de la chambre froide, on abaisse donc le degré hygrométrique de cette chambre dans une proportion qui entraîne un assèchement trop grand et une perte de poids des produits entreposés. Vice versa, dans le cas d'un évaporateur



trop grand, on est obligé de diminuer sa capacité d'absorption en évaporant, à une température plus élevée ; la formation de givre est insuffisante pour absorber la quantité de vapeur d'eau libérée par la chute de température de l'air de la chambre froide ; le degré hygrométrique s'élève dans de trop fortes proportions jusqu'au point de rosée déjà décrit, il y a condensation d'humidité sur les murs et les marchandises entreposées.

**Évaporateurs à circulation naturelle (convection).** — Un évaporateur peut simplement être une certaine longueur de tube replié sur lui-même, pourvu qu'il offre une surface suffisante pour le nombre de calories à absorber. Comme dans le cas des condenseurs, cela conduit à des longueurs de tube hors de proportion et à des encombrements trop grands ; aussi a-t-on soin d'augmenter la surface par adjonction d'ailettes conductrices. Les ailettes doivent avoir un contact intime avec le tube, elles sont soudées ou brasées, le plus souvent elles sont simplement serties sur le tube, mais cette méthode assure quand même un excellent contact et une bonne transmission thermique. Ici l'écart des températures étant moindre que dans un condenseur, on est conduit à augmenter la surface des ailettes et à les disposer beaucoup moins serrées, car il n'y a pas de ventilateur forçant l'air à circuler ; il faut donc lui assurer un passage beaucoup plus libre pour diminuer les frictions ; de plus, il ne fait pas perdre de vue que ces ailettes vont givrer et que, si elles sont trop rapprochées, l'épaisseur de givre formé va remplir l'espace compris entre deux ailettes, et, en plus de son action isolante, il va diminuer dans des proportions considérables la surface d'échange.

Une cause de perte de rendement dans les évaporateurs est l'huile entraînée avec le fluide frigorigène ; cette huile se dépose à l'intérieur des tubes et forme une couche plus ou moins isolante, gênant la transmission thermique ; pour cette raison, et également pour éviter de former des poches de gaz, il y a lieu de construire les évaporateurs avec une pente constante évitant ces accumulations. Si l'on emploie un évaporateur du type de la figure 24 ci-contre, monté verticalement, le tube constituant cet évaporateur forme une pente continue depuis le raccord du haut jusqu'à celui du bas, sans aucune formation de poche. Auquel de ces deux raccords va-t-on raccorder l'alimentation de liquide ? Deux possibilités ayant chacune leurs partisans. Si l'on raccorde le détenteur au raccord du haut, nous aurons un ex-



cellent retour d'huile vers le compresseur, mais il nous sera très difficile de maintenir l'évaporateur plein de liquide sans avoir entraînement dudit liquide par l'aspiration. Nous serons obligés de régler le débit du détendeur pour arrêter la vaporisation du

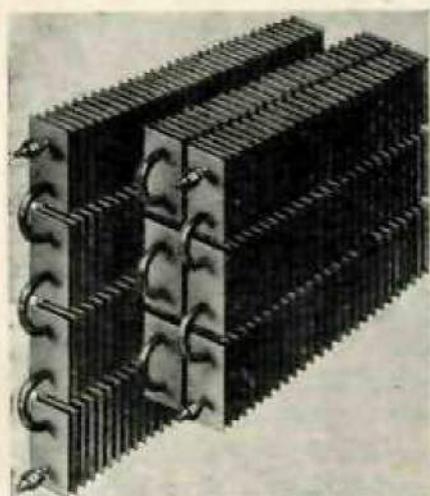


FIG. 24. — Evaporateurs à circulation naturelle, disposition murale.

fluide bien avant la sortie de l'évaporateur. Nous verrons par la suite au chapitre « détendeur » que nous sommes obligés de travailler avec une forte surchauffe, préjudiciable au rendement de l'évaporateur.

Si au contraire nous décidons de brancher le détendeur au raccord du bas, nous pourrons alors travailler avec un évaporateur presque rempli de fluide frigorigène en phase liquide, nous marchons en « flood » ou noyé. Le rendement d'un évaporateur marchant en flood est de beaucoup supérieur à un même évaporateur travaillant moitié noyé, moitié en vapeur, l'échange ther-

mique étant supérieur dans le premier cas. Aussi cette deuxième solution est-elle bien préférable et beaucoup plus employée dans la pratique.

Dans ce cas, le retour de l'huile vers le compresseur est plus difficile à assurer, mais il est encore suffisant, dans la pratique, par suite du phénomène suivant : le réfrigérant se mélange à l'huile et, lors de l'évaporation, il se forme de nombreuses bulles de gaz au sein du mélange d'huile et de liquide, formant ainsi une mousse d'huile légère qui se trouve entraînée vers l'aspiration par la vitesse du gaz quittant l'évaporateur sous l'effet de la dépression produite par l'aspiration du compresseur.

L'augmentation de rendement de la marche en « flood » compense, et au delà, l'inconvénient du peu d'huile supplémentaire séjournant à l'évaporateur.

Si l'on emploie un évaporateur plat avec une circulation naturelle, le meilleur rendement sera obtenu avec le montage horizontal. A titre d'exemple, si nous avons à monter un évaporateur composé de deux fois trois éléments, comme celui de la figure 24 ci-dessus, l'on voit qu'il est possible de le disposer de deux



façons : 1° en horizontal, c'est la disposition dite en plafond (fig. 25) ; 2° vertical, disposition dite murale. La disposition en plafond assure un meilleur rendement en circulation naturelle, parce que l'air chaud qui s'accumule au plafond, vu sa légèreté relative, se refroidit au contact de l'évaporateur et traverse celui-ci dans toute sa largeur, pendant son mouvement de descente, assurant ainsi un léchage de toutes les ailettes, et ressort considérablement refroidi. Dans la disposition murale (fig. 24), le phénomène, quoique identique, ne permet pas le même rendement pour la raison suivante : l'air chaud vient se refroidir au contact de la première rangée d'ailettes, puis descend, déjà refroidi, au contact de la seconde rangée, et enfin, presque à sa température finale, il vient alors en contact avec la troisième rangée ; donc l'écart entre la température de l'air et la température des ailettes

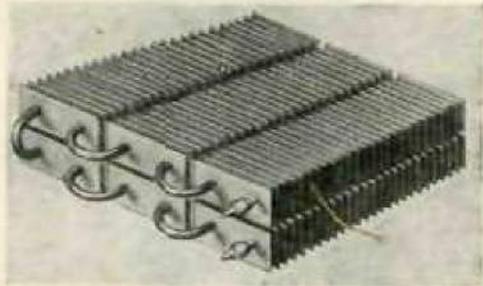


FIG. 25. — Evaporateur à circulation naturelle, disposition en plafond.

va en diminuant : nous savons que lorsque cet écart diminue l'échange thermique va aussi en décroissant. En d'autres termes, les rangées inférieures travaillent beaucoup moins que les rangées supérieures. Pendant la période de dégivrage, la fusion du givre est beaucoup plus rapide sur les rangées supérieures que sur celles du bas et l'on risque, si le réglage du contrôleur n'est pas rigoureux, de recommencer le cycle de marche avant le dégivrage complet de la partie inférieure de l'évaporateur. Ce qui, de cycles en cycles, ne fera que s'aggraver.

**Evaporateurs à circulation activée.** — Néanmoins, la disposition murale reste acceptable si l'on a soin de placer l'évaporateur derrière un écran formant cheminée et d'accélérer fortement la circulation d'air à l'aide d'un ventilateur. Dans ce cas, la capacité d'absorption est augmentée de 50 %. Les Américains, qui sont partisans des appareils sortant complets d'usine, présentent souvent ce montage sous la forme de la figure ci-jointe (fig. 26) ; l'évaporateur est monté incliné dans un carter en tôle, et un ventilateur, monté à la partie supérieure, assure une circulation rapide de l'air, la base du caisson formant égouttoir. Quant aux évaporateurs montés en plafond, nous verrons dans un chapitre



spécial comment on assure une convection naturelle combinée avec le recueil des eaux de dégivrage; la circulation d'air est un point très important dans l'établissement d'une chambre froide et cependant, dans la pratique, beaucoup d'installateurs la né-

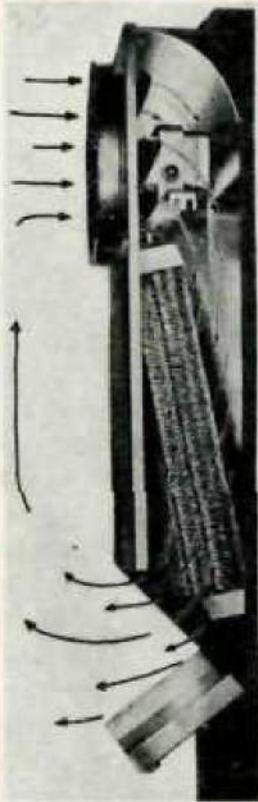


FIG. 26. — Evaporateur à circulation activée.



FIG. 27. — Présentation extérieure.

gligent ou la sous-estiment. Pour notre part, nous jugeons cette question assez importante et nous lui consacrerons, conjointement avec l'hygrométrie des chambres, un chapitre particulier.

**Évaporateurs à circulation forcée.** — Le dernier évaporateur que nous venons de présenter fait la liaison entre les évaporateurs à circulation naturelle et les évaporateurs à circulation forcée. Nous allons maintenant dire quelques mots sur ces derniers.

Nous avons appris que l'échange thermique est d'autant plus important que la circulation d'air est plus rapide, ce qui est logique. Les évaporateurs à circulation naturelle ne disposant pour brasser l'air que de la différence de densité entre l'air chaud de la chambre froide et l'air refroidi au contact de l'évaporateur; l'écart de température étant faible, la différence de densité n'est pas très importante, aussi, malgré les artifices employés pour activer cette circulation, elle reste malgré cela assez peu active. L'adjonction d'un ventilateur améliore ces conditions et transforme la circulation naturelle en circulation activée. Les évaporateurs à circulation forcée ayant, comme leur nom l'indique, un moyen d'obliger la circulation d'air à forcer son passage à travers l'évaporateur avec une assez grande vitesse, on a pu réduire proportionnellement les surfaces d'échange; d'autre part, le ventilateur soufflant directement sur l'élément, l'air le frappant avec toute sa pression et sa vitesse, on a pu réduire considérablement l'écartement des ailettes sans craindre de trop grandes pertes par friction. Ceci a permis de présenter des évaporateurs d'un volume très réduit pour leur puissance d'absorption calorifique. Ces évaporateurs, très compacts, sont très goûtés de la clientèle à cause de leur faible encombrement, surtout dans les petites chambres où ils permettent un cubage utile bien plus important. Mais ils ne représentent pas pour cela le type de l'évaporateur parfait; nous avons dit que pour diminuer le volume on avait serré les ailettes à la façon d'un condenseur; cet avantage va devenir un inconvénient car il va falloir que l'évaporateur travaille avec des surfaces ne givrant pas (ou peu) sous peine de voir le givre obstruer rapidement les passages d'air; donc l'on est obligé de diminuer l'écart de température entre l'air et la surface de l'évaporateur; on travaille à des températures environ  $-5^{\circ}$  C. (donc des pressions d'aspiration plus hautes) ce qui permet une meilleure utilisation du compresseur; mais dans certains cas cette quasi-absence de givre ne permet pas d'enlever suffisamment d'humidité dans l'air de la chambre froide, malgré la manœuvre des volets et les variations possibles de la vitesse de marche du ventilateur. Après avoir connu une très grande vogue à leur apparition sur le marché, ces évaporateurs sont maintenant moins employés, mais ils restent cependant très intéressants, et bien souvent les déboires, particulièrement au point de vue humidité, rencontrés par les installateurs avec ce genre d'évaporateur provenaient plutôt d'une mauvaise utilisation que du défaut de fonctionnement de l'appareil.



Au point de vue présentation, ces appareils sont constitués (figure 28) par un caisson métallique suspendu au plafond de la chambre froide par quatre tiges de fixation; dans ce caisson se trouve logé l'évaporateur proprement dit; ce caisson porte une ouverture sur sa face arrière, dans cette ouverture est monté le ventilateur. L'autre face est munie de volets réglables permettant de diriger et doser la quantité d'air délivrée, conjointement avec le ventilateur dont la vitesse est réglable par un régulateur généralement à trois vitesses. Un égouttoir destiné à re-

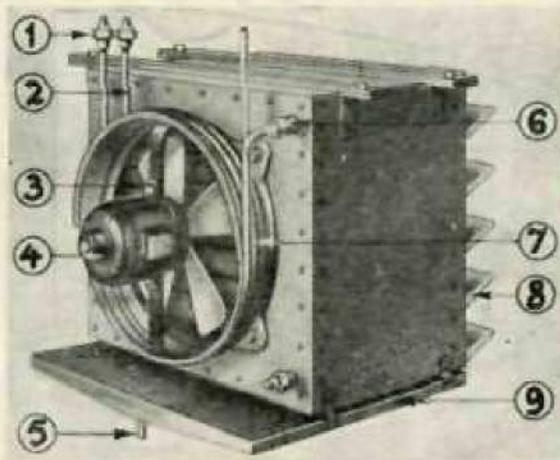


FIG. 28. — Évaporateur à circulation forcée. — 1, Arrivée du fluide dans l'échangeur de température. — 2, Aspiration du gaz sortant de l'échangeur de température. — 3, Hélice de ventilateur. — 4, Moteur de ventilateur. — 5, Ecoulement des eaux condensées. — 6, Aspiration dans l'évaporateur. — 7, Echangeur de température. — 8, Volet de réglage d'air. — 9, Egouttoir.

cueillir l'eau condensée à la surface des ailettes est disposé en dessous du caisson. Ces évaporateurs sont toujours munis d'un échangeur de température. L'échangeur de température est composé d'une certaine longueur de tube à l'intérieur duquel passe un tube de diamètre plus petit. Le fluide en phase liquide venant du condenseur passe dans le petit tube avant de se rendre à l'évaporateur, et le fluide en phase vapeur quittant l'évaporateur passe dans l'espace annulaire compris entre le gros et le petit tube avant de se rendre au compresseur. La vapeur quittant l'évaporateur est à une assez basse température alors que le

liquide venant du compresseur est à une température beaucoup plus élevée, il y a échange de température entre le gaz et le liquide. Le bénéfice que l'on retire de ce dispositif est double : d'abord le léger réchauffage des vapeurs quittant l'évaporateur permet la vaporisation des quelques gouttelettes de liquide frigorigène non évaporées qui se trouvent entraînées à la sortie de l'évaporateur, évitant ainsi le givrage de l'aspiration; ensuite nous y gagnons en rendement frigorifique. En effet, le liquide venant du condenseur à une température voisine de l'air ou de l'eau de circulation, doit à son arrivée dans l'évaporateur se refroidir à la température de celui-ci avant de commencer à se vaporiser, c'est-à-dire consommer en pure perte des frigories pour se refroidir lui-même; plus le liquide arrivant à l'évaporation sera froid, moins grande sera cette perte.

L'emploi de l'échangeur de température normal sur les évaporateurs à circulation forcée est beaucoup moins courant sur les autres systèmes d'évaporateurs; cependant, son emploi est des plus recommandables et serait à généraliser.

Voici, d'ailleurs, quelques notes complémentaires concernant les évaporateurs à circulation forcée. Ces évaporateurs demandent des réglages fréquents dans les quelques jours qui suivent l'installation. Il faut également se souvenir que ce type d'évaporateur ne doit pas être employé dans les chambres froides dont la température doit descendre en dessous de  $+2^{\circ}\text{C}$ .

Les avantages des évaporateurs à circulation forcée sont les suivants :

- 1° Très grosse capacité d'absorption thermique, comparative-ment aux évaporateurs à convection naturelle.
- 2° Suppression de la construction d'égouttoirs et déflecteurs.
- 3° Cubage utile nettement supérieur.
- 4° Très petite différence de température dans les divers points de la chambre, vu la circulation d'air très active.
- 5° Grande facilité d'installation.

Comparativement à un évaporateur à circulation naturelle de même surface, et pour une même température à obtenir dans la chambre, un évaporateur à circulation forcée a une capacité d'absorption d'environ 90 % plus grande.

Le premier inconvénient rencontré avec ce genre d'évaporateur était, au début, une humidité relative trop basse, ce qui entraînait une trop forte dessiccation des marchandises entreposées. La



raison de cet état de chose était la plus grande capacité d'absorption de ces éléments, la quantité d'air qui traversait l'élément dans un temps donné étant beaucoup supérieure à la convection naturelle, il s'ensuivait que, dans le même temps, une plus grande quantité d'eau était condensée.

Plusieurs moyens ont été employés pour remédier à ce défaut ; le plus utilisé consiste à se servir d'évaporateurs à ailettes continues, qui forment ainsi de nombreuses petites poches dans lesquels s'accumule l'eau condensée ; pendant le cycle d'arrêt, le ventilateur réévapore une certaine quantité de cette eau pour la renvoyer dans la chambre, de manière à maintenir une humidité relative suffisante.

Avec l'emploi d'ailettes continues, les plaintes concernent plutôt l'excès d'humidité. L'examen de ces plaintes démontre que, dans la plupart des cas, il s'agit d'évaporateurs mal appropriés à la charge calorifique à absorber.

Si les suggestions suivantes sont rigoureusement observées, il n'y a aucune difficulté à employer des évaporateurs à circulation forcée dans la plupart des besoins usuels de la réfrigération automatique.

1° Il est absolument nécessaire que le bilan thermique soit établi très exactement et que chaque facteur qui détermine la charge calorifique soit évalué avec exactitude.

2° La capacité d'absorption du compresseur et de l'évaporateur doit être en rapport l'un de l'autre.

3° La détermination de la capacité d'absorption doit être prévue pour 17 heures de marche au lieu de 14.

4° Le réglage du contrôleur basse pression doit être fait pour obtenir l'arrêt à 2° C en dessous du point d'enclenchement.

Ces points doivent être observés rigoureusement si l'on veut obtenir de bons résultats avec ce type d'évaporateurs.

Le choix d'un temps de marche de 17 heures pendant l'été permettra d'avoir encore des temps de marche suffisants en hiver et, par conséquent, de continuer à condenser suffisamment d'eau pour maintenir un degré hygrométrique suffisant.

Le choix d'une différentielle de deux degrés dans la chambre est nécessaire pour obtenir des cycles assez courts et des remises en marche fréquentes pour éviter que la température de la chambre s'élève trop rapidement : les marchandises se réchauffant beaucoup plus lentement que l'air de la chambre, elles restent à



une température inférieure et la condensation de l'eau se produit à leur surface lorsque la température de la chambre s'élève. Il est de bonne pratique d'obtenir au moins une mise en marche par heure.

Le contrôle de l'humidité relative se fait par l'ouverture ou la fermeture des volets de contrôle, et par la variation de vitesse du ventilateur. Il est prévu généralement trois vitesses, dont les rapports sont 60 — 80 — 100.

**Choix d'un évaporateur.** — En résumé, pour déterminer l'évaporateur convenant à une chambre froide donnée, connaissant la quantité de calories à extraire, on détermine la température d'évaporation à laquelle doit travailler cet évaporateur en fonction du degré hygrométrique que l'on désire obtenir, et, muni de ces renseignements, l'on cherche dans les catalogues de fournisseurs un évaporateur ayant, pour cette température d'évaporation, une surface suffisante pour absorber la charge calorifique que l'on a déterminée. Les catalogues de constructeurs comportent toujours des tables indiquant, pour un évaporateur de type et de surface donnés, ses différentes capacités d'absorption en fonction de plusieurs températures d'évaporation et de plusieurs températures ambiantes à obtenir. Ces tables signalent également, pour chacune de ces températures, les limites de degré hygrométrique.

*Exemple de catalogue de constructeur donnant les capacités d'absorption d'un évaporateur de type donné, en fonction de diverses températures de vaporisation et d'ambiance.*

Marque de l'évaporateur . . . .	XXX
Type . . . . .	ABC'
Longueur, largeur et hauteur	150 × 32 × 14 c/m.
Rangées d'ailettes . . . . .	2
Dimension des ailettes . . . . .	14 × 16 c/m.
Ecartement des ailettes . . . .	1,5 c/m.
Longueur du tube et diamètre . . . . .	18 m. — 5/8
Surface d'échange . . . . .	8 m <sup>2</sup> 700



**Capacité en frigories basée sur 14 heures de marche  
du compresseur**

Température de vaporisation	Température à obtenir			
	2° C.	4° C.	7° C.	10° C.
— 3° C.				7.100
— 5			7.050	8.100
— 9		6.975	8.960	10.075
— 10	6.500	7.525	9.440	10.550
— 11	7.100	8.075	9.915	11.025
— 12	7.675	8.625	10.375	
— 14	8.825	9.720		
— 15	9.400			

NOTA. — Quand le degré hygrométrique à maintenir dans l'installation doit être relativement élevé, la capacité de l'évaporateur choisi doit se trouver au-dessus du trait noir. Dans le cas où le degré hygrométrique à maintenir dans l'installation est relativement bas, ce choix se fera au contraire en dessous du trait noir.

**Évaporateurs fabrique de glace.** — Tout comme dans la série des évaporateurs à détente directe, la forme des évaporateurs fabrique de glace varie à l'infini, selon les conceptions de chaque constructeur. Cependant, a priori, nous distinguerons deux types principaux, selon que l'évaporateur sera prévu uniquement dans le but de fabriquer de la glace, ou que l'évaporateur sera à la fois destiné à fabriquer de la glace et en même temps à refroidir une chambre, ou, plus généralement, un comptoir ou une armoire. Ces deux types d'évaporateurs peuvent fonctionner, soit avec un détendeur, soit sur le principe du flotteur basse pression, dont nous avons expliqué le fonctionnement dans la présentation des cycles frigorifiques.

Un évaporateur fabrique de glace, du type de la figure ci-contre (fig. 29), se compose d'un serpentin de détente entourant un caisson métallique auquel il est soudé sur toute sa longueur pour assurer un bon contact thermique. Ce caisson est muni d'alvéoles dans lesquelles sont introduits les tiroirs de congélation (fig. 30).

La vaporisation de fluide frigorigène se produit dans le serpentin de détente refroidissant le caisson et, par conduction, les tiroirs, amenant ainsi la congélation de l'eau. Les tiroirs sont



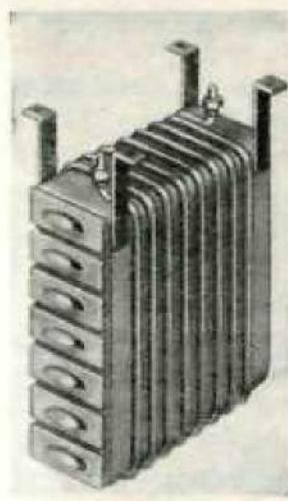


FIG. 29. — Evaporateur fabriqué de glace à détente directe.

munis d'une grille de séparation amovible donnant au démoulage de la glace en petits cubes. La rapidité de congélation sera fonction de la quantité de fluide évaporée et de la température d'évaporation. En principe, le serpentin est prévu pour fournir une quantité de frigories suffisante pour obtenir trois moules par 24 heures, y compris le rayonnement de l'évaporateur, qui, malgré tout, présente une certaine surface extérieure, donc une capacité d'absorption limitée, mais existante ; de ce fait, ces évaporateurs peuvent être utilisés à refroidir des petits compartiments où la charge calorifique à évacuer n'est pas trop importante et en rapport avec leur surface d'absorption.

Le nombre de frigories à produire pour congeler un kilogramme d'eau se compose d'abord de la quantité de froid à produire pour amener l'eau de la température du robinet à zéro degré, point de congélation ; puis de l'évacuation de la chaleur latente de congélation de l'eau, égale à 80 calories par kilogramme, et enfin, en dernier lieu, de la quantité de froid à produire pour amener la glace à la température de l'évaporateur. En tenant compte des pertes diverses, en particulier du rayonnement du tiroir, l'on compte, dans la pratique, environ 150 frigories par kilogramme de glace à obtenir. Dans le cas d'évaporateurs à fabrication de glace, il n'y a évidemment pas à prévoir de période d'arrêt pour le dégivrage automatique, car il est évident que si l'évaporateur dégivrait entre chaque cycle, la glace en formation fondrait pendant le dégivrage et l'on n'arriverait jamais à la congélation totale. La couche de givre augmentant constamment, il faut quand même s'en séparer ; aussi, lorsqu'elle atteint une certaine épaisseur, on arrête la machine le temps nécessaire à la fusion du givre, mais,

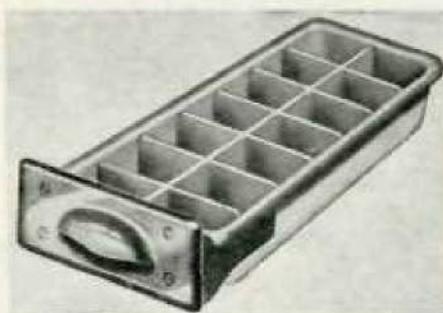


FIG. 30. — Tiroir d'évaporateur fabriqué de glace.



dans ce cas, le dégivrage n'est pas automatique mais commandé par l'utilisateur.

Ces évaporateurs seront choisis dans les tables des catalogues de constructeurs pour une température d'évaporation de  $-15^{\circ}\text{C}$ , la puissance étant fonction du nombre de kilogrammes de glace à obtenir.

Lorsque l'on désire que l'évaporateur, en plus de sa fonction de fabrication de glace, puisse réfrigérer un comptoir ou une armoire, l'on fait appel à un autre modèle d'évaporateur.

Ces évaporateurs sont du même type que les précédents, mais portent en plus de grandes ailettes de radiation augmentant considérablement leur surface d'échange et leur permettant d'absorber la charge calorifique prévue. Dans le calcul d'un évaporateur de ce genre, la puissance frigorifique de l'évaporateur doit être égale à la somme de la charge calorifique nécessaire à fabriquer la quantité de glace désirée, plus la charge calorifique représentée par les calories à évacuer dans le compartiment à refroidir. Mais dans ce cas, la température d'évaporation étant fixée du fait de la fabrication de la glace, nous perdons la faculté de contrôler le degré hygrométrique.

Les évaporateurs fabrication de glace à flotteur basse pression (fig. 32), sont également prévus avec ou sans ailettes de radiation et tout ce qui a été dit au sujet des évaporateurs fabrication de glace à détente est valable à leur égard. Leur rendement est meilleur du fait de la marche en « flood », que nous examinerons lorsqu'il sera question des détendeurs dans le chapitre qui leur est consacré.

**Évaporateurs à flotteur basse pression.** — Un évaporateur flotteur basse pression (fig. 31-32) se compose d'une flasque en

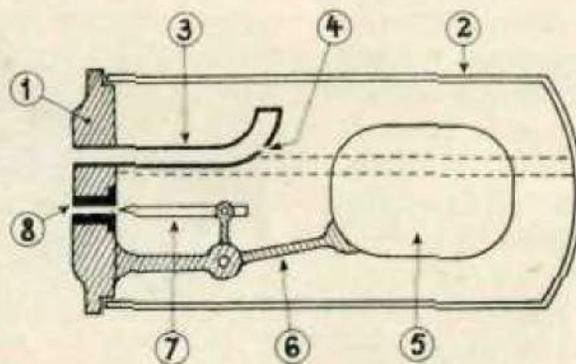


FIG. 31. — Schéma d'un flotteur basse pression.

laiton 1, boulonnée sur le corps de l'évaporateur 2, avec interposition d'un joint plomb. Cette flasque porte les bossages pour la fixation de la vanne d'alimentation de liquide et la vanne d'aspiration ; le liquide entre dans l'évaporateur par un orifice calibré interchangeable 8, qui peut être obturé par un pointeau 7, lequel est actionné par un renvoi articulé 6, soudé au flotteur 5. La flasque porte également la pipe d'aspiration 3, qui permet au compresseur d'aspirer au-dessus du niveau de liquide, dans le volume libre, où il ne risque d'aspirer que de la vapeur ; cette pipe est munie d'un petit trou 4, qui permet à l'huile qui surnage sur le fluide à l'état liquide de retourner goutte à goutte au compresseur, fixant ainsi la quantité d'huile qui peut séjourner sans ennui dans l'évaporateur.

Le réfrigérant, lors de son passage dans le carter du compresseur, a dissous une certaine quantité d'huile et l'a emmenée avec lui dans le condenseur, et de là dans le reste de l'installation, toujours en dissolution. Dans l'évaporateur, le liquide en se vaporisant abandonne l'huile qu'il avait en dissolution ; cette huile n'étant pas volatile, la quantité d'huile présente à l'évaporateur irait sans cesse en augmentant si l'on n'avait pas prévu son évacuation.

Le rôle du flotteur est de maintenir dans l'évaporateur un niveau constant, comme nous l'avons vu dans l'explication de son fonctionnement, au chapitre *Cycles frigorifiques*.

Les ennuis que l'on peut rencontrer sur un système de ce genre sont :

1° Alimentation insuffisante, qui peut être due à une obstruction du siège de pointeau par des impuretés amenées par le liquide, soit à un coincement, position fermée, des articulations du flotteur par suite de corrosion des axes, dû à la présence d'humidité dans le fluide frigorigène.

2° Alimentation surabondante due également à un flotteur coincé ouvert pour la même raison (étant entendu que l'appareil ne manque pas de fluide), ou encore un pointeau ou un siège

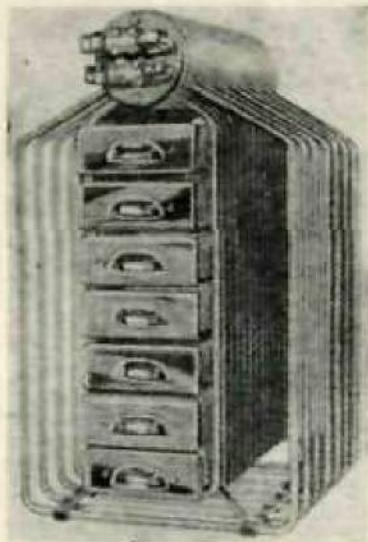


FIG. 32. — Modèle d'évaporateur fabrique de glace à flotteur basse pression.



non étanches, par suite d'usure ou de corrosion, toujours pour le même motif.

Une troisième source d'ennui, moins fréquente, provient de l'emploi d'huile incongelable de mauvaise qualité, qui, vers  $-10$  ou  $-15^{\circ}$  C, augmente de viscosité dans des proportions telles, que les vapeurs issues du fluide ne peuvent plus percer cette couche d'huile devenue pâteuse.

Un flotteur est prévu pour un fluide donné ; si l'on change de fluide frigorigène, la densité du liquide change, les conditions de flottabilité du flotteur ne sont plus les mêmes, et l'on obtient soit un niveau excessif dû à un flotteur trop lourd pour la densité du liquide nouveau, ou l'effet contraire, suivant le cas. Le remède est le changement de flotteur ou la pose de masselottes soudées formant contrepoids pour alléger le flotteur, dans le cas d'emploi d'un fluide moins dense que le précédent, ou l'alourdissement du flotteur par dépôt de masselottes soudées sur le flotteur lui-même, dans le cas d'emploi d'un nouveau fluide plus dense.

**Évaporateurs à immersion** (fig. 33). — Contrairement à ce qui se passe dans les grosses installations frigorifiques industrielles, il est fait fort peu usage d'installations à saumure en petite réfrigération. La saumure est uniquement employée dans des cas spéciaux comme la réfrigération du lait par aérateur, la fabrication de la crème glacée et quelques autres usages.

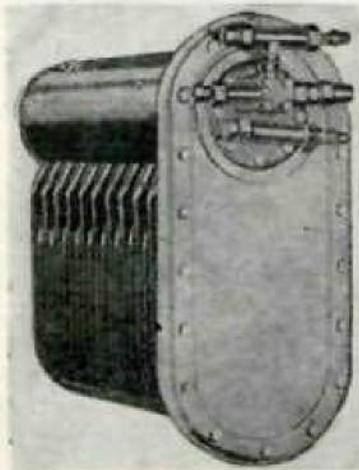


FIG. 33. — Évaporateur à immersion à flotteur basse pression avec sa flasque de fixation.

Il n'y a que fort peu d'installations automatiques à circulation de saumure, car, malgré l'avantage qu'elle procure, elle entraîne à des complications d'installation (bac à saumure, pompe de circulation, etc.), qui augmentent le prix de revient et l'encombrement d'un appareil frigorifique dans des proportions qui l'ont fait abandonner au profit de la détente directe.

L'évaporateur producteur de froid, au lieu d'être placé dans la chambre à refroidir, est immergé dans un bac rempli d'une solution incongelable, appelée saumure. La saumure peut être une solution de chlorure de sodium, de chlorure de calcium, d'alcool, etc. ;



le produit le plus employé est le chlorure de calcium  $\text{CaCl}_2$ . L'évaporateur refroidit cette saumure au degré de froid désiré, puis, une pompe de circulation aspirant dans le bac force cette saumure à circuler dans des radiateurs situés dans les chambres froides, où elle se réchauffe en absorbant la charge calorifique des dites chambres, puis, finalement, revient au bac à saumure pour être refroidie de nouveau et recommencer le circuit décrit. L'avantage de ce système est de n'avoir qu'un seul évaporateur central pouvant refroidir plusieurs chambres ; de plus, la masse de saumure constitue un volant de froid sérieux ; en effet, dans une installation à détente directe, l'arrêt de la machine correspond immédiatement à la cessation de production du froid, tandis que dans une installation à saumure, surtout si le volume de saumure employé est assez important, il reste une assez grosse réserve de froid disponible après l'arrêt de la machine. Dans les meubles de boucherie construits vers 1927, on utilisait le système à saumure, mais simplifié, sans pompe de circulation ; le réservoir à saumure était situé directement dans le meuble à refroidir, c'est le réservoir lui-même qui servait de surface d'absorption et était, au besoin, muni d'ailettes de radiation. L'avantage de cette disposition était le volant de froid précité ; l'inconvénient était, d'une part, le prix de revient plus élevé et, d'autre part, le volume occupé par le réservoir qui réduisait trop considérablement le volume utilisable pour un cubage brut donné.

Dans des installations de ce genre, l'évaporateur doit être évidemment choisi avec une surface suffisante pour pouvoir absorber la charge calorifique totale, aux écarts de température auxquels il sera destiné à travailler.

Le réservoir devenant la surface d'échange entre l'air et la saumure, il doit donc satisfaire à des conditions de surface pour pouvoir absorber les calories fournies par la chambre à refroidir.

Pour une température de saumure donnée, en principe  $-10^\circ \text{C}$ , l'absorption calorifique par mètre carré de surface verticale d'un tank à saumure, sera fonction de l'écart de température entre la saumure et l'air à refroidir. A titre d'exemple :

Température de la glacière	Frigories-heure par $\text{m}^2$ de surface verticale
+1° C	95 fg/H
+4° C	100 fg/H
+7° C	115 fg/H



Une règle empirique, employée à cette époque, disait que :

a) La surface verticale d'un tank de saumure ne doit pas dépasser quatre fois la surface de l'évaporateur immergé.

b) Le rapport de la surface totale de la glacière à la surface verticale du tank doit être de 20 %.

Lorsque la surface d'un tank considéré était insuffisante, on la complétait par l'adjonction d'ailettes. Le rendement de ces ailettes diminue, évidemment, avec leur largeur, comme dans le cas déjà examiné des évaporateurs à détente directe ; une ailette de 2 c/m 5 de largeur a un rendement de 100 %, si elle a 5 c/m son rendement tombe à 90 %, alors que pour 7 c/m 5 le rendement n'est plus que de 80 %.

Nous donnons ci-après une table permettant de déterminer la quantité de  $\text{CaCl}_2$  à employer, par 100 litres d'eau, pour différents points de congélation.

**Données numériques  
relatives à la dissolution dans l'eau du  $\text{CaCl}_2$ .**

Température de congélation	Densité.	Degré Baumé	Kilogr. de $\text{CaCl}_2$ par 100 l. eau.
— 10° C	1,123	15°8	24 kg. 020
— 11° C	1,130	16 7	25 — 810
— 12° C	1,138	17°6	27 — 630
— 13° C	1,145	18°4	29 — 340
— 14° C	1,153	19°2	31 — 060
— 15° C	1,159	19°9	32 — 620
— 16° C	1,165	20 5	34 — 040
— 17° C	1,170	21°1	35 — 500
— 18° C	1,176	21°6	36 — 930
— 19° C	1,181	22°1	38 — 210
— 20° C	1,186	22 6	39 — 540
— 25° C	1,206	24 7	45 — 220
— 30° C	1,223	26 4	50 — 260
— 35° C	1,238	27 8	54 — 840
— 40° C	1,250	28 9	58 — 880

Dans le cas de cuves en tôle, pour neutraliser l'attaque du fer par le  $\text{CaCl}_2$ , ajouter 0 kg. 500 de soude caustique par 100 kg. de  $\text{CaCl}_2$  dissous.



Lorsqu'il s'agit de refroidir une cuve destinée à recevoir une turbine à fabrication de crème glacée, ou des mouleaux verticaux pour fabrication de glace en pains, on emploie souvent un type d'évaporateur simplifié, composé d'un serpentin en tube de cuivre ayant la longueur requise pour avoir la surface d'échange nécessaire ; dans ce cas l'alimentation de liquide se fait par un détendeur. Ce genre d'évaporateur sera examiné de plus près dans le chapitre traitant du refroidissement de la bière.



## CHAPITRE VIII

### DÉTENDEURS

---

**Détendeurs automatiques.** — Dans l'examen des cycles frigorifiques, nous avons dit quelques mots sur le rôle du détendeur, mais nous n'avons fait qu'effleurer ce sujet que nous allons maintenant voir d'un peu plus près.

Le rôle du détendeur est d'empêcher le fluide en phase liquide sous haute pression d'envahir l'évaporateur qui est à une pression nettement inférieure ; mais il doit également régler l'entrée de ce liquide dans l'évaporateur proportionnellement aux besoins de celui-ci. Le détendeur doit laisser pénétrer exactement la quantité de liquide correspondante à celle qui a été vaporisée et aspirée par le compresseur. Si le détendeur débite plus de liquide que l'évaporateur n'en peut vaporiser et que le compresseur ne peut aspirer, l'évaporateur se remplira plus ou moins rapidement selon l'importance de l'afflux de liquide ; et le liquide passera dans le tube d'aspiration et de là au compresseur avec tous les ennuis que cela comporte : tube d'aspiration givré, compresseur givré, entraînement d'huile, bris de clapets, etc. Dans le cas contraire, si le débit du détendeur est insuffisant, l'évaporateur se videra peu à peu, le compresseur travaillera à des pressions d'aspiration de plus en plus basses avec la diminution de puissance frigorifique que cela entraîne ; de plus, le poids de fluide entrant à l'évaporateur étant insuffisant, nous aurons également de ce côté une baisse très nette de puissance frigorifique. Nous voyons donc que ce dosage d'admission opéré par le détendeur doit être très exact.

Nous allons d'abord faire la description d'un détendeur automatique, puis de son fonctionnement, ce qui nous conduira naturellement au détendeur thermostatique, qui est le perfectionnement du premier.

Les détendeurs automatiques sont, soit à soufflet, soit à diaphragme ; cette classification n'est qu'une distinction de fabrication, car le fonctionnement est absolument identique.



Nous allons, pour en étudier le fonctionnement, prendre un détendeur du type à soufflet (fig. 34).

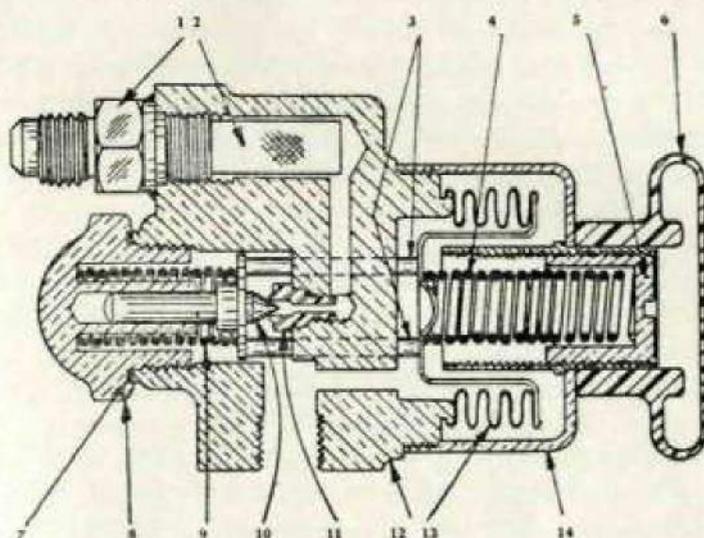


FIG. 34. — Détendeur automatique à soufflet.

**Détendeur automatique à soufflet.** — Ce détendeur se compose d'un corps de détendeur 12, le liquide entre par un raccord 1 et un filtre 2, puis suit un canal aboutissant à un siège calibré interchangeable 11. Sur ce siège vient s'appliquer un pointeau 10. (Dans certains modèles, ce pointeau est remplacé par une bille.) Ce pointeau est appliqué sur son siège par un ressort 9. A sa sortie du passage pointeau-siège, le fluide se rend à l'évaporateur. Sur la partie supérieure du détendeur est soudé un soufflet 13, dont le volume intérieur est en relation avec la pression du fluide à l'intérieur de l'évaporateur par un petit canal visible sur la figure. Le soufflet est poussé extérieurement par un ressort 4, dont la tension peut être variée par un écrou de réglage 5. Deux petites tiges coulissantes 3 transmettent la poussée du soufflet 13 au pointeau 10. La poussée du ressort de réglage 4 est réglée pour équilibrer la poussée du ressort de pointeau 9, avec une légère prédominance du ressort fixe 9, c'est-à-dire pour fermer le pointeau lorsque la pression à l'évaporateur est celle correspondante à la température d'évaporation désirée.

**Fonctionnement.** — Voyons maintenant le fonctionnement du détendeur. Nous supposons la machine chargée correctement en fluide et en cours de fonctionnement. Le pointeau étant fermé comme nous venons de le voir, le compresseur tourne et, par

conséquent, vaporise du fluide dans l'évaporateur. Comme le pointeau est fermé, il n'y a pas d'admission de liquide à l'évaporateur et la pression dans celui-ci baisse du fait de l'évacuation d'une certaine quantité de fluide. La poussée qui équilibrait le ressort de réglage 4 et maintenait le pointeau fermé était la combinaison de la poussée du ressort de pointeau 9 et de la pression de l'évaporateur agissant à l'intérieur du soufflet. La pression à l'évaporateur diminuant, l'équilibre est rompu, la poussée du ressort de réglage devient prépondérante et le soufflet se raccourcit sous l'effet de cette poussée ; le mouvement du soufflet est transmis par les deux tiges 3 au pointeau 10, qui s'ouvre et laisse pénétrer le liquide dans l'évaporateur. Le liquide ainsi admis se vaporise sous l'action du vide relatif régnant à l'évaporateur et de la chaleur apportée par les parois de celui-ci. Cette vaporisation produisant un certain volume de gaz, la pression à l'évaporateur augmente ; cette augmentation de pression se fait aussitôt sentir à l'intérieur du soufflet, rétablissant l'équilibre des poussées initiales que nous avons décrit, et le soufflet se trouve repoussé, refermant ainsi le pointeau, jusqu'à ce que le phénomène recommence, réglant ainsi par injections successives la quantité exacte de liquide qui peut être admise à l'évaporateur.

En agissant sur la tension du ressort de réglage 4, par la vis de réglage 5, nous pourrions faire varier les positions d'équilibre, c'est-à-dire maintenir la pression, donc la température, que nous désirons à l'évaporateur : tout manque de liquide entraînant l'ouverture du pointeau, tout excès entraînant la fermeture dudit pointeau, par suite des phénomènes que nous venons de décrire.

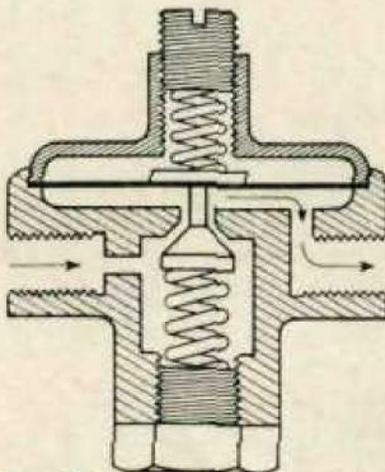


FIG. 35. — Détendeur automatique à diaphragme.

**Détendeur automatique à diaphragme.** — S'il s'agit d'un détendeur à diaphragme (fig. 35), nous retrouvons les mêmes organes. Un corps de détendeur avec les canaux d'entrée et de sortie, un pointeau et son siège, un ressort de pointeau et un ressort de réglage avec sa vis de réglage ; seul l'élément déformable a varié. Au lieu d'un soufflet qui peut s'écraser sous l'action du ressort de réglage, nous avons un diaphragme qui peut se déformer légèrement tantôt dans un sens,

sous l'action du ressort de réglage pour amener l'ouverture du pointeau, tantôt se déformer dans l'autre sens sous l'action combinée de la pression d'évaporation jointe à la poussée du ressort de pointeau pour amener la fermeture du pointeau. Donc fonctionnement absolument identique.

**Définition de la surchauffe.** — Voyons maintenant comment se comporte un détendeur automatique sur une installation commerciale.

Un évaporateur est, en général, destiné à travailler à une température plus basse que la chambre à refroidir, pour permettre les échanges thermiques. Considérons le cas pratique d'une chambre à une température moyenne de  $+3^{\circ}$  C avec un évaporateur travaillant à  $-10^{\circ}$  C à l'évaporation ; nous supposons que la longueur totale déployée des tubes de cet évaporateur est égale à trente mètres, par exemple. Si nous alimentons une extrémité de cet évaporateur avec une quantité de liquide suffisante pour que les dernières gouttes de ce liquide soient évaporées à vingt-sept mètres, pour éviter l'entraînement de liquide à l'aspiration, la température du liquide et de sa vapeur sera de  $-10^{\circ}$  C. Durant les trois derniers mètres, la température de  $+3^{\circ}$  régnant dans la chambre continuera à fournir de la chaleur à la vapeur. Si nous avons un thermomètre au vingt-septième mètre, il marquera  $-10^{\circ}$  C, alors qu'un thermomètre au trentième mètre indiquera une température plus haute, par exemple  $-5^{\circ}$ . Dans ces conditions, nous avons une surchauffe de  $5^{\circ}$  des vapeurs quittant l'évaporateur. Le terme surchauffe est généralement assez vague pour le monteur. On peut définir la surchauffe comme étant la quantité de chaleur additionnelle ajoutée au fluide en phase vapeur, après sa vaporisation sans changement de pression.

Si nous montons sur cet évaporateur un détendeur automatique du type décrit et que nous le réglions pour obtenir les conditions de températures et de pression ci-dessus, nous verrons que pour une température de la chambre au-dessus de  $+3^{\circ}$  prévue, l'apport de chaleur étant plus important, la vaporisation sera plus rapide et les dernières gouttes de liquide seront vaporisées avant le vingt-septième mètre, diminuant ainsi la surface utile de l'évaporateur et, de plus, permettant une plus grande surface de surchauffe, la vapeur aspirée sera à une température supérieure, donc la surchauffe sera augmentée.

Si la température de cette chambre descend en dessous de  $+3^{\circ}$  pour les raisons inverses, plus de vingt-sept mètres de tube seront



utilisés et la surchauffe diminuera, et éventuellement du liquide non évaporé pourra être entraîné à l'aspiration.

Naturellement si un monteur est en permanence pour agir sur la vis de réglage, ces inconvénients pourront être supprimés. Évidemment cela n'est pas possible, aussi il a été créé un système permettant le réglage automatique de la surchauffe par l'adjonction d'une commande thermostatique au système de détendeur automatique.

**Détendeurs thermostatiques.** — Nous voici donc amenés à l'emploi du détendeur thermostatique, dont nous allons faire d'abord la description, et ensuite étudier le fonctionnement.

Le détendeur thermostatique se compose d'un corps de détendeur automatique, à soufflet ou diaphragme, peu importe, auquel il a été adjoint un système de commande thermostatique.

**Commandes thermostatiques.** — Dans les détendeurs thermostatiques à soufflet (fig. 36), le ressort de réglage a été remplacé par un ensemble de trois pièces assemblées, appelée élément thermostatique, ou plus souvent élément moteur, ainsi appelé parce que cet élément est destiné à mouvoir le pointeau du détendeur. Un élément thermostatique se compose d'un soufflet et d'un bulbe ou fiole sensible, les deux étant assemblés par un tube capillaire de longueur variable. L'ensemble de cet élément est chargé avec une certaine quantité de liquide volatil ; généralement ce liquide est du fluide frigorigène et, en principe, le même que celui employé sur l'installation où sera monté le détendeur.

Il est évident que toute variation de température au bulbe entraînera des variations de pression du fluide et de sa vapeur à l'intérieur de ce bulbe, donc dans l'ensemble de l'élément thermostatique. Le soufflet, étant très souple, subira des déformations d'allongement ou de raccourcissement proportionnelles aux variations de la pression intérieure, donc proportionnelles aux variations de températures enregistrées par le bulbe. Si ce bulbe se trouve placé en bon contact thermique avec le tube de sortie d'un évaporateur, nous avons là un excellent moyen de contrôler la surchauffe à la sortie de cet évaporateur et, par conséquent, de doser l'entrée de liquide selon les besoins.

Le soufflet est contenu dans un boîtier en matière isolante, vissé à la place du chapeau 14, sur le détendeur automatique à soufflet correspondant.



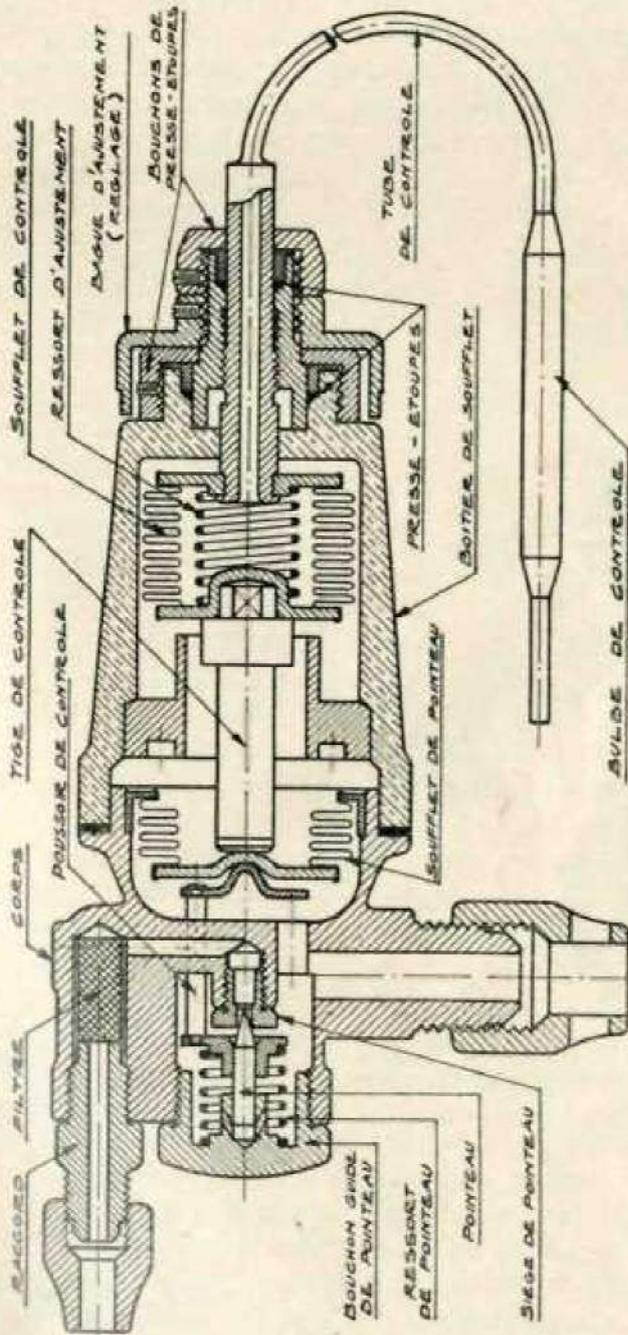


Fig. 36. — Détendeur thermostatique à soufflet.



Dans le cas du détendeur à diaphragme (fig. 37), le ressort et l'écrou de réglage ont été supprimés et le couvercle supérieur du diaphragme qui les contenait est réuni par un tube capillaire à un bulbe sensible, comme dans le cas précédent. Le fonctionnement est le même, toute variation de température au bulbe entraîne une variation de pression du fluide contenu dans ce bulbe ; cette

pression est transmise à la face supérieure du diaphragme et remplace la poussée du ressort de réglage.

*Fonctionnement.* — La partie automatique du détendeur fonctionne, comme nous l'avons déjà expliqué, par les variations de pression du fluide frigorigène dans l'évaporateur. Rappelons que, s'il y a suralimentation, la pression de l'évaporateur augmente par suite de l'afflux de liquide et le pointeau se ferme. Dans le cas de sous-alimentation, nous savons que la pression baisse à l'évaporateur, entraînant l'ouverture du pointeau, réglant ainsi l'admission du fluide dans les conditions de pression que nous avons déjà décrites.

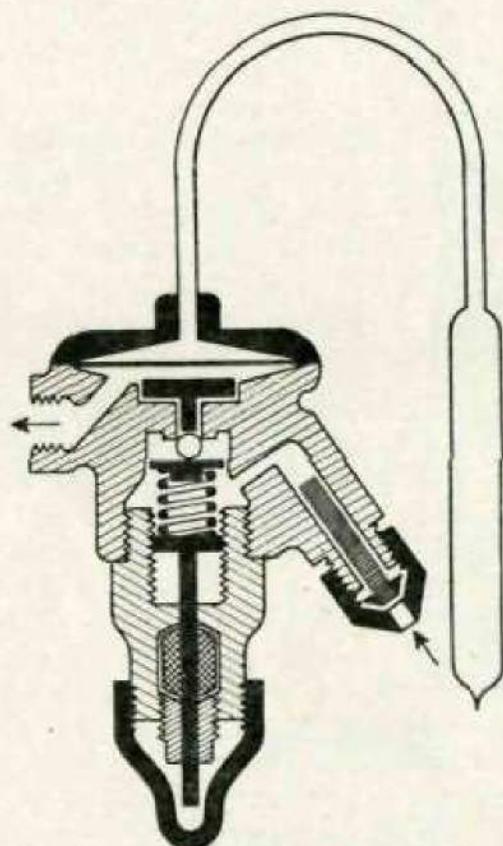


FIG. 37. — Schéma de détendeur thermostatique à diaphragme.

subit les variations de température du fluide quittant l'évaporateur. A une élévation de température (sans élévation de pression, puisqu'il s'agit de la surchauffe définie précédemment), à une élévation de température des vapeurs correspondra une élévation de température du fluide contenu dans le bulbe ; cette élévation de température augmentant la tension de vapeur à l'intérieur du train thermostatique, cette augmentation de pression agissant par l'intermédiaire du soufflet thermostatique provoquera l'ouverture du pointeau corrigeant ainsi l'augmentation de surchauffe due

Le train thermostatique, dont le bulbe sensible est fixé à la sortie de l'évaporateur,

à une alimentation insuffisante. L'effet contraire se produira pour une diminution de surchauffe.

Au moyen de ressorts appropriés et par le calcul des surfaces des soufflets automatique et thermostatique, le système de forces opposées se trouve équilibré pour des valeurs prédéterminées de pression à l'intérieur de l'évaporateur et de température au bulbe. Au cours du cycle frigorifique, cet équilibre se trouve rompu, il y aura ouverture ou fermeture du pointeau, suivant le sens dans lequel l'équilibre est rompu. En électricité, les comparaisons hydrauliques sont très employées ; aussi, pour bien faire comprendre l'action du train thermostatique, nous allons également employer une analogie hydraulique.

L'ensemble peut être comparé à un long tuyau d'eau représentant la longueur totale de l'évaporateur. A une extrémité de ce tuyau se trouve un robinet d'eau manœuvré par un opérateur représentant le détendeur et à l'autre extrémité un observateur représentant le bulbe. L'observateur et l'opérateur sont reliés l'un à l'autre par un téléphone représentant le tube capillaire. L'observateur peut à tout instant téléphoner à l'opérateur la quantité d'eau qui s'écoule à la sortie et lui donner des ordres pour ouvrir ou fermer le robinet. Posons que le débit d'eau à la sortie doit être constant.

Au départ l'observateur ne voyant pas d'eau à la sortie téléphone le fait à l'opérateur, qui ouvre le robinet et l'eau commence à s'écouler. Mais, comme il se passe un certain temps avant que l'eau n'arrive à la sortie, l'observateur s'impatiantant retéléphone à l'opérateur qui, maintenant, ouvre son robinet en grand. Finalement l'eau arrive à gros flots, et l'observateur téléphone de fermer le robinet, le débit étant trop fort. L'opérateur commence à fermer son robinet ; mais, comme le tuyau contient une grosse quantité d'eau, sous grande vitesse, il y a encore trop d'eau à la sortie. Finalement, l'eau finit par s'arrêter et l'observateur téléphone frénétiquement à l'opérateur, qui rouvre son robinet. De cette manière, l'on peut voir que sans une entente entre l'observateur et l'opérateur, il y aura toujours ou excès ou manque d'eau à la sortie.

**Importance de l'orifice calibré.** — La façon de sortir de cette impasse est de monter un robinet calibré débitant tout juste un peu plus que le débit désiré (ce qui correspond à l'orifice du siège de pointeau) ; de cette façon, l'équilibre de débit pourra être obtenu plus facilement. Cette simple analogie nous démon-



tre l'importance d'avoir un orifice calibré ou un siège de pointe en rapport avec le débit à obtenir, par conséquent de choisir un détendeur thermostatique dont le débit, donc les orifices, soit en rapport avec la puissance frigorifique de l'évaporateur qu'il doit alimenter. Si l'on monte un détendeur ayant des orifices calibrés pour 5.000 frigories-heure sur un évaporateur développant 300 frigories-heure, par exemple, il faudra s'attendre à voir se produire par moments des excès d'alimentation et, à d'autres moments, des insuffisances par suite du phénomène décrit plus haut et le réglage sera impossible. Le débit d'un détendeur peut cependant varier dans d'assez larges proportions pour un orifice donné. Les fabricants prévoient en général des détendeurs de 0 à 1.500 f/H, de 1.500 à 3.000 f/H, de 3.000 à 6.000 f/H, etc. Certains fabricants ne prévoient qu'un seul modèle de détendeur, mais dans ce cas il est livré avec des orifices calibrés interchangeables, permettant d'adapter ce détendeur à la puissance frigorifique de l'évaporateur sur lequel il sera monté.

**Relation entre la puissance du compresseur et celle de l'évaporateur.** — La puissance frigorifique d'un évaporateur est donnée en fonction d'une pression ou d'une température donnée. A cette pression correspond un volume déterminé de vapeur à évacuer, et c'est ici qu'il faut tenir compte du rôle du compresseur.

Lorsque le débit du compresseur est égal à celui de l'évaporateur, la pression à l'aspiration se maintient et l'installation est conforme aux prévisions. Dans la pratique, ce cas idéal est rarement obtenu, et deux cas peuvent se présenter.

1° Le compresseur est trop faible par rapport à l'évaporateur. Dans ce cas, la vapeur surchauffée n'étant pas aspirée assez rapidement au fur et à mesure de sa formation, la pression à l'aspiration et par conséquent la température à l'évaporateur sera trop élevée. Le monteur s'aperçoit que la chambre descend difficilement en température, il est porté à fermer davantage son détendeur pour abaisser la température d'évaporation, sans se rendre compte qu'il diminue au contraire la puissance frigorifique de l'évaporateur par sous-alimentation, pour arriver quelquefois à des impossibilités.

2° Le compresseur est trop fort pour l'évaporateur, le compresseur aspirant trop rapidement les vapeurs formées, la pression d'aspiration sera basse ; il faut donc relever cette pression en ouvrant le détendeur, c'est-à-dire en diminuant la surchauffe ; si dans ce cas le compresseur est encore trop fort, on ne peut



plus ouvrir encore le détendeur, car la suppression de toute surchauffe amène l'entraînement de liquide à l'aspiration. Le seul remède est le changement du compresseur pour un plus faible ou une diminution de vitesse de rotation du compresseur.

La compréhension de ce qui précède aide dans le diagnostic des anomalies de marche de certaines installations qui font que trop souvent des monteurs accusent le détendeur de mauvais fonctionnement et le changent, évidemment sans amélioration des conditions de marche, puisque celui-ci n'est pas en cause. Tout ce qui vient d'être dit sur les détendeurs thermostatiques à soufflet est exactement applicable aux détendeurs thermostatiques à diaphragme, le fonctionnement étant absolument identique. Dans les détendeurs thermostatiques à soufflet, celui-ci est généralement monté dans un boîtier en matière isolante, pour soustraire le soufflet à la température très basse du corps de détendeur, car si le soufflet venait à être porté à une température trop basse, la totalité du fluide contenu dans le train thermostatique viendrait se liquéfier dans le soufflet qui présente un volume relativement grand, et le bulbe vide n'agirait plus. Au contraire, dans les détendeurs à diaphragme, le volume compris au-dessus du diaphragme étant relativement restreint, même lorsque celui-ci est plein de liquide, il en reste encore suffisamment dans le bulbe pour assurer le fonctionnement ; il n'y a donc pas lieu de prévoir une isolation dans ce cas. Les détendeurs à diaphragme sont plus recherchés, parce que beaucoup moins sujet à être cassés que les détendeurs à boîtier bakélite, sans pour cela avoir une supériorité technique sur les détendeurs à soufflet.

**Nécessité de la surchauffe.** — Le réglage de la surchauffe s'obtient dans les détendeurs à soufflet, en ajoutant une poussée additionnelle sur le soufflet thermostatique, à l'aide d'une bague manœuvrable à la main. Cette bague est filetée et se visse sur une tige prolongeant le soufflet thermostatique et permet de le raccourcir, par conséquent d'ajouter sa poussée à celle de la pression intérieure du fluide (voir fig. 36). Dans le cas du détendeur à diaphragme, on agit au contraire sur le ressort de poinçon dont on peut faire varier la tension à l'aide d'une tige de réglage manœuvrable avec une clé (voir fig. 37).

Le réglage de la surchauffe étant une question primordiale dans le fonctionnement des détendeurs thermostatiques, pour bien le faire comprendre nous allons reprendre le fonctionne-



ment d'un détendeur à diaphragme, cette fois avec argumentation chiffrée pour être plus explicite sur cette question, sans crainte de répétition.

L'efficacité d'un système de réfrigération peut être sérieusement troublée par un mauvais réglage du détendeur. La valve peut fournir plus de liquide que l'évaporateur n'en peut vaporiser ; le résultat est que des gouttes de liquide non vaporisé peuvent se trouver entraînées à l'aspiration, jusqu'au groupe compresseur. Cette mauvaise vaporisation a pour résultat une réduction de l'effet frigorifique de chaque kilogramme de fluide vaporisé et une diminution de poids de vapeur aspirée par le compresseur due à la vaporisation de ces gouttes de liquide à l'intérieur du compresseur empêchant la vapeur utile venant de l'évaporateur de pénétrer dans le cylindre... A d'autres moments, la valve ne peut pas fournir la quantité de liquide que l'évaporateur peut vaporiser, de cette façon toute la surface de l'évaporateur n'est pas employée. Cet effet de sous-alimentation entraîne un abaissement de la pression d'aspiration et diminue la capacité de la machine.

Pour obtenir la capacité maximum d'un système de réfrigération, le détendeur doit maintenir à tout instant l'entière surface de l'évaporateur mouillée de liquide et ne pas permettre au liquide non évaporé de passer dans la ligne d'aspiration. Pour que la vapeur de réfrigérant quitte l'évaporateur complètement vaporisée, il est nécessaire qu'elle quitte cet évaporateur dans des conditions de surchauffe légère. Pour obtenir la capacité maximum d'un évaporateur, le nombre de degrés de surchauffe de la vapeur quittant l'évaporateur doit être maintenu dans une certaine limite. L'expérience a démontré que la plupart des installations commerciales ou de conditionnement d'air marchaient efficacement entre 3° C et 6° C, degrés de surchauffe de la vapeur quittant l'évaporateur. Le réglage à 6°C de surchauffe, peut être employé quand il y a une différence de température assez grande entre le médium à refroidir et la température du liquide réfrigérant dans l'évaporateur. Le réglage à 3°C de surchauffe doit être employé quand il y a une petite différence de température entre le médium à refroidir et la température du liquide. Si la surchauffe est plus basse que 3° C, il y a une tendance à avoir entraînement de gouttes de liquide avec la vapeur quittant l'évaporateur et, si la surchauffe est supérieure à 10° C, la surface totale de l'évaporateur n'est pas employée et le résultat est une diminution de capacité.



Les détendeurs thermostatiques de bonne fabrication sont construits de façon à maintenir la surchauffe nécessaire avec un minimum de variation et doivent avoir les caractéristiques désirables que nous allons indiquer au cours de cette discussion.

Il y a différentes forces variables et facteurs qui peuvent influencer sur le fonctionnement d'un détendeur. Ils peuvent être divisés en trois groupes :

- 1° Les caractéristiques de la valve elle-même ;
- 2° Les chutes de pression ou résistances au passage du liquide dans l'évaporateur ;
- 3° Les variations de distribution du liquide dans les différents évaporateurs d'une installation multiple.

**Réglage de la surchauffe.** — Notre discussion va commencer par les caractéristiques du détendeur lui-même et les forces internes qui tendent à manœuvrer le détendeur. De façon à bien comprendre ces forces, nous allons examiner le fonctionnement d'un détendeur thermostatique à diaphragme classique. Ce détendeur est monté sur le tube d'arrivée de liquide entre celui-ci et l'entrée de l'évaporateur, le bulbe de commande est fixé à la sortie de l'évaporateur à l'endroit où l'on veut contrôler la surchauffe des vapeurs quittant l'élément. Toute variation de la surchauffe de la vapeur quittant l'élément et passant par le point où est situé le bulbe tendra à manœuvrer le détendeur pour compenser et rétablir la surchauffe au degré prédéterminé par le réglage initial.

Il y a trois forces principales qui tendent à faire fonctionner le détendeur ; deux de ces forces tendent à la fermeture et l'autre tend à l'ouverture.

Premièrement : Le bulbe relié à la face supérieure du diaphragme par un tube capillaire et qui est chargé du fluide réfrigérant. La discussion qui va suivre est chiffrée pour une installation marchant au Fréon avec un détendeur chargé au Fréon, mais il y a lieu de remarquer que les mêmes principes fondamentaux sont applicables quel que soit le fluide employé, seuls les chiffres de pressions et températures changent.

La pression du liquide à l'intérieur du train thermostatique est déterminée par la température du bulbe, cette pression correspond à la pression de la vapeur saturée du Fréon contenu dans le bulbe pour cette température. Puisque le bulbe est fixé à la sortie de l'évaporateur, par conséquent la pression dans le

