

Chapitre IV(1) : Eléments des machines frigorifiques

La machine frigorifique est composée essentiellement de 4 éléments : le compresseur, les échangeurs de chaleur (évaporateurs et condenseurs) et le détendeur. La machine fonctionne grâce à la circulation d'un agent thermodynamique fluide appelé fluide frigorigène qui sont majoritairement fluorés, dont les caractéristiques thermiques permettent d'obtenir la production de froid.

1- Fluides frigorigènes fluorés

Les fluides frigorigènes fluorés sont en grande partie responsables de la destruction de la couche d'ozone et contribuent à augmenter l'effet de serre. On en distingue plusieurs types :

- **CFC;**
- **HCFC;**
- **HFC.**

1/ Les CFC (chlorofluorocarbures) sont interdits depuis Janvier 1995

Ce sont des molécules composées de carbone, de chlore et de fluor. Elles sont stables; ce qui leur permet d'atteindre la stratosphère. En se transformant elles contribuent à la destruction de la couche d'ozone. On distingue :

R-11	Groupes centrifuges "basse pression".
R-12	Essentiellement froid domestique et climatisation automobile,
R-13	Rares utilisations en froid très basse température.
R-14	Rares utilisations en froid très basse température.
R-113	Abandonné avant son interdiction.
R-114	Pompes à chaleur et climatisation de sous-marin.
R-115	Fluide pas utilisé seul, mais dans le R-502, mélange azéotropique très utilisé en froid commercial basse température.

2/ HCFC (hydrochlorofluorocarbures) (utilisation interdite au 1er Janvier 2015)

Ce sont des molécules composées de carbone, de chlore, de fluor et d'hydrogène. Elles sont moins stables que les CFC et détruisent moins l'ozone.

R-22	Fluide frigorigène le plus souvent utilisé, aussi bien en froid industriel qu'en climatisation.
R-123	Remplace le R-11 dans les groupes centrifuges.
R-124	Essentiellement utilisé dans certains mélanges.

3/ HFC (hydrofluorocarbures) (utilisation réduite progressivement jusqu'en 2030)

Ce sont des molécules composées de carbone, de fluor et d'hydrogène. Elles ne contiennent pas de chlore et donc ne participent pas à la destruction de la couche d'ozone. Par contre, les HFC présentent un Global Warming Potential (parce qu'ils contribuent à l'effet de serre) sur 100 ans élevé.

R-134a (Solkane)	Fluide frigorigène qui a remplacé le R-12 en froid domestique et en climatisation automobile. En application "chauffage", il présente l'avantage de faire fonctionner les pompes à chaleur à Haute température (généralement jusqu'à 65 °C) et à relativement basse pression. Son utilisation est compatible avec une production d'eau chaude pour radiateurs en lieu et place d'une chaudière. C'est un composant majeur des mélanges frigorigènes.
R-125	N'est jamais utilisé pur en raison de sa pression critique trop faible. Il entre dans la composition de nombreux mélanges compte tenu de son pouvoir "extincteur".
R-32, R-152a R-143a	Inflammables et donc utilisés uniquement en mélange avec d'autres composants qui "neutralisent" leur inflammabilité.

4/ Mélanges de fluides frigorigènes

Il est parfois recommandé d'utiliser des mélanges pour obtenir de meilleures propriétés thermodynamiques et des produits moins contraignants. On peut les classer en fonction du type de composants fluorés qu'ils contiennent :

- **Zéotropes** : au cours d'un changement d'état (condensation, évaporation), leur température varie (environ de 5-6K).
- **Azéotropes** : ils se comportent comme des corps purs, sans variation de température lors du changement d'état.

Les frigoristes apprécient l'azéotropie pour le fonctionnement de la machine frigorifique.

Le R407C (52 % de R134a + 25% de R125 + 23% de R32)

Le R407C est un fluide non azéotrope (il est composé de plusieurs fluides) afin d'obtenir sa température de changement d'état. Ce fluide frigorigène présente les particularités suivantes :

- Il est ininflammable.
- Lors des changements de phase, la température "glisse" d'environ 5 K car les températures d'évaporation et de condensation des fluides frigorigènes qui le constituent sont différentes. Ceci rend les réglages plus difficiles.
- En cas de micro-fuite, le composé ayant les molécules les plus volatiles s'échappe plus facilement. Il en résulte un fluide frigorigène déséquilibré. Il est nécessaire de vider entièrement l'installation avant de la recharger, le gaz retiré sera recyclé.
- Les pressions sont moindres avec ce fluide frigorigène.
- Il est moins performant que le R410A

Le R410A (50 % de R32 50% de+ R125)

Le R410A présente de meilleures qualités thermodynamiques que le R407C et le R22.

D'autre part, l'étanchéité des installations est plus élevée avec le R410A, les pertes de pression sont faibles et les vitesses de fonctionnement peuvent être élevées. Les composants sont plus compacts.

Mais Le R410A est toxique !

Il se comporte comme un réfrigérant mono-moléculaire (pur) lorsqu'il change de phase : le passage d'un état à un autre se produit à température quasiment constante.

On ne doit donc pas vider complètement l'installation avant de la recharger.

Les pressions de fonctionnement sont 60 % plus élevées que dans le cas du R22.

Ceci limite son utilisation aux températures de condensation moyennes : maximum 45 °C.

Le R404A (52 % de R143a + 44% de R125 + 4% de R134a)

Le R404A présente des caractéristiques communes avec le R410A (il se comporte aussi comme un fluide quasi-azéotropique) mais sa pression de fonctionnement est plus basse. Sa particularité est de ne pas beaucoup s'échauffer pendant la compression.

La température des vapeurs surchauffées en fin de compression reste modérée, ce qui convient parfaitement aux PAC fluide/fluide.

4/ les fluides inorganiques

Ils sont moins inquiétants pour l'environnement, car ils sont sans action sur l'ozone et ont un faible impact sur l'effet de serre.

Mais, ils présentent tous des inconvénients, soit au niveau sécurité, soit au niveau thermodynamique.

1/ L'ammoniac (NH₃) ou R-717

L'ammoniac présente de nombreux avantages en tant que fluide frigorigène :

- Impact environnemental nul;

- très bon coefficient de transfert de chaleur;
- efficacité énergétique élevée (au moins aussi bonne que le R22, meilleure dans certaines conditions);
- le gaz ammoniac est plus léger que l'air;
- Fuites aisément détectables ;
- faible prix de revient et faibles frais d'entretien des installations;
- très difficilement inflammable,
- pas très sensible à l'humidité dans le circuit;
- naturelet biodégradable;
- grâce à sa haute température critique, il permet de réaliser des températures de condensation très élevées et de concevoir des PAC à haute température.

Les COP obtenus avec ce fluide frigorigène peuvent être équivalents à ceux obtenus avec des HFC.

Les inconvénients :

- L'ammoniac est toxique et irritant.
- Il peut être explosif dans des cas exceptionnels (les limites inférieure et supérieure d'inflammabilité doivent être très proches l'une de l'autre).
- Il est explosif dans des locaux non aérés où il se crée un mélange d'air, d'azote et d'ammoniac..
- Le NH₃ corrode facilement le cuivre et ses alliages ainsi que le zinc. Les installateurs sont donc obligés d'utiliser de l'acier.
- L'ammoniac n'étant pas miscible et soluble dans les huiles minérales, il faut prévoir un séparateur d'huile après le compresseur.

Les installations à l'ammoniac l'utilisent liquide et sa quantité est réduite. Il est principalement utilisé dans le froid industriel.

2/ Les hydrocarbures (HC) comme R-290 R-600a

Il s'agit du propane (R-290), du butane (R-600) et de l'isobutane (R-600a).

Ces fluides organiques présentent de bonnes propriétés thermodynamiques, mais sont dangereux par leur inflammabilité. Le monde du froid s'est toujours méfié de ces fluides, même s'ils sont réapparus récemment dans des réfrigérateurs et des mousses isolantes.

Leur utilisation future est peu probable en climatisation, vu le coût de la mise en sécurité aussi bien mécanique qu'électrique.

En PAC, on les utilise dans des quantités les plus faibles possibles (maximum 3 kg pour les applications résidentielles), de préférence à l'extérieur des bâtiments.

3/ Le dioxyde de carbone (CO₂) ou R-744

Fluide inorganique, non toxique, non inflammable, mais moins performant du point de vue thermodynamique. Ses pressions sont élevées et les compresseurs utilisés sont alors spéciaux.

Il possède de bonnes qualités pour les PAC pour le chauffage ou l'eau chaude sanitaire. Il est peu coûteux, et sa récupération et son recyclage sont simples.

Actuellement, les spécialistes s'y intéressent car :

- son faible impact sur l'environnement (ODP = 0, GWP = 1); ODP (*ozone depletion potential*), GWP (*global warming potential*)
- son faible volume massique entraînant des installations à faible volume (fuites réduites);

Il a la particularité de posséder une température critique basse à 31 °C pour une pression de 73,6 bar.

Mais l'utilisation de ce type de réfrigérant entraîne aussi des contraintes non négligeables telles que la nécessité de travailler :à des pressions élevées (80 ou même plus de 100 bar);

4/ L'eau (H₂O)

Fluideinorganique, sans toxicité. Même si sa grande enthalpie de vaporisation est intéressante, il ne se prête pas à la production de froid sous 0°C. Il est peu adapté au cycle à compression et ses applications sont rares.

2- Nomenclature des fluides frigorigènes

Les fluides frigorigènes sont codifiés par le standard ANSI/ASHRAE 34 (norme américaine) et selon la norme international ISO 817

Fluides organiques purs : CFC HFC, HCFC séries Série R-10 à R-50, R-100, R200 et R-1000

- 1- Les fluides sont notés d'abord par la lettre R, pour indiquer réfrigérant ou fluide frigorigène
- 2- ensuite par les données WXYZ dans l'ordre après le R- avec

W : nombre d'insaturation (double liaison) , si zéro, elle n'apparaît pas.

X : nombre d'atomes de carbone -1 : X = C-1, si C = 1, le zéro n'apparaît pas

Y : nombre d'atomes d'hydrogène +1 : Y = H+1

Z : nombre de fluor : Z=F

Le nombre des atomes chlore est obtenu par la formule : on soustrait le nombre d'atomes de fluor, le nombre d'atomes de Brome et le nombre d'atome d'hydrogène du nombre d'atomes total pouvant être liés au carbone : ex : 4 pour les dérivés du méthane CH₄ et 6 pour les dérivés de l'éthane C₂H₆

Le code peut être suivi d'une lettre a, b , c, indiquant les isomères et leur degré d'asymétrie, quand l'(isomère est le plus symétrique, il n'ya pas de lettre.

Le code peut être précédé de la lettre c, s'il est cyclique.

Les halons

Des atomes de brome remplacent des atomes de chlore. On note à la fin le B suivi du nombre d'atome de brome.

Ex :

R - 13B1 : bromotrifluorométhane

Autres fluides organiques : Série : R - 600

Hydrocarbures : R - 600 (butane)

R - 600a (iso butane)

Composés oxygénés: R - 610 (éthyle éther)

R - 611 (méthyle formate)

Composés sulfurés: R - 620 (réservé pour une future attribution)

Composés azotés: R - 630 (méthyle amine)

R - 631 (éthyle amine)

Les mélanges : Séries : R -400 et R- 500

Série R-400 concerne les mélanges Zéotropes (présentant une variation de température entre phase gazeuse et phase liquide

Les mêmes chiffres représente les mêmes composés du mélange

La lettre en majuscules représente le pourcentage dans le mélange

Exemple : R-407C, R-410A

R-407A : 20% R-32, 40% R-125, 40% R-134a

R - 407B:10% R -32,70% R – 125,20% R - 134a

R-407C : 23% R-32, 25% R-125, 52% R-134a

Série R-500 concerne les mélanges azéotropes : gardant la même température durant le changement de phase, le principe de codification est le même ex : R-507, R-508A, s'il n'ya pas de lettre à la fin cela veut dire que les pourcentages des composants sont les mêmes.

Les chiffres dans les deux séries sont dans l'ordre chronologique d'acceptation par l'ASHRAE.

Les composés inorganiques : Séries : R -700

La numérotation commence par 7 puis les deux derniers chiffres correspondent à la masse molaire du composé.

Ex :

Ammoniac(NH₃): masse molaire 17 g/mol : R - 717

Dioxyde de carbone (CO₂): masse molaire 44g/mol : R – 744

L'eau (H₂O) : masse molaire 18g/mol : R-718

3- Critères des fluides frigorigènes

Les fluides frigorigènes ont pour rôle d'assurer les transferts thermiques entre l'évaporateur et le condenseur. Pour cela ils doivent répondre certains critères.

Critères thermodynamiques

- Pression d'évaporation supérieure à la pression atmosphérique.
- Température critique supérieure aux températures de condensation.
- Taux de compression faible pour obtenir de bons rendements volumétriques sur les compresseurs.
- Chaleur latente de vaporisation importante, afin de diminuer le débit massique de fluide frigorigène.
- Production frigorifique volumétrique importante, afin de diminuer la taille des compresseurs.
- Température de refoulement faible pour éviter la décomposition du fluide frigorigène.

Critères de sécurité

- Non toxique.
- Ininflammable.
- Non explosif aux températures d'utilisation.

Critères techniques

- Non corrosif sur les métaux.
- Compatible avec les élastomères et les plastiques.
- Miscibilité avec l'huile pour le retour au compresseur.
- Aptitude aux détections des fuites.

Critères économiques

- Prix.
- Disponibilité.

Critères écologiques

- Action sur la couche d'ozone.
- Effet de serre.
- Possibilité de récupération et de recyclage.

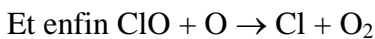
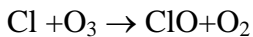
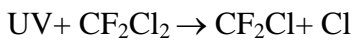
Précautions d'emploi des fluides de substitution

- La charge doit s'effectuer en phase liquide.
- Un système ayant contenu un C.F.C. ou un H.C.F.C. ne peut en aucun cas être rechargé avec un H.F.C. sans précautions.
- Faire attention à l'huile.
- Prendre une attention particulière vis à vis de l'humidité.
- Ne pas laisser les tubes de cuivre trop longtemps à l'air libre.

4- Impacts environnementaux (sur l'ozone : ODP)

Les UV agissent sur les molécules CFC et les HCFC à cause de la présence du chlore, c'est ce qui détruit les molécules d'ozone.

Exemple, réaction du R12 (CF₂Cl₂) avec les UV :



Donc la libération des atomes de Chlore empêchent la reformation des molécules d'ozone et la couche d'ozone s'appauvrit créant ce qu'on appelle trous d'ozone !

L'effet des gaz et autres substances sur la couche d'ozone est défini par le potentiel d'action sur la couche d'ozone : PAO ou en anglais ODP : ozone depletion potential, cette valeur est égale à 1 pour le R11 qui est considéré comme le plus destructeur et est interdit depuis 1995. Le tableau donne une idée sur les valeurs du ODP.