

7. Exemples d'étude d'une machine réelle à l'aide du diagramme enthalpique.

(dit « diagramme des frigoristes »)

Machine frigorifique réelle. (installation de climatisation).

Le transfert de chaleur, entre intérieur et extérieur, ne peut se faire que si un équipement rehausse le niveau de température entre le milieu où la chaleur est prise (air ou eau) et le milieu où la chaleur est évacuée (air extérieur) : c'est le rôle de la machine frigorifique.

Elle se compose au minimum des 4 éléments suivants :

- 1 évaporateur
- 1 condenseur
- 1 compresseur
- 1 organe de détente

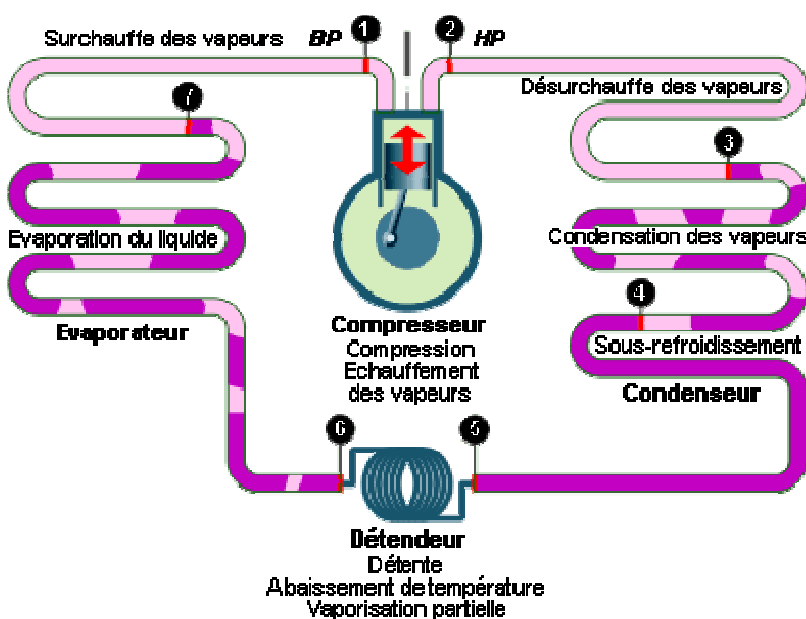
Tout est basé sur les propriétés physiques du fluide frigorigène

La machine frigorifique est basée sur la propriété des fluides frigorigènes de s'évaporer et de se condenser à des températures différentes en fonction de la pression.

Pour expliquer le fonctionnement, nous prendrons les caractéristiques du R 22 parce c'est le fluide le plus couramment utilisé en climatisation. Mais ce n'est plus celui que l'on choisira dans les installations nouvelles. Les normes récentes interdisent son utilisation à partir de 2014, où dans le cadre des opérations de maintenance il doit être remplacé par un fluide équivalent moins nocif pour l'atmosphère (R401a par exemple).

Fonctionnement complet

Le cycle est fermé, le fluide frigorigène évolue sous l'action du compresseur dans les quatre éléments constituant la machine frigorifique.



Cycle frigorifique élémentaire.

L'ensemble du cycle peut être représenté dans le diagramme enthalpie-pression. Sous la courbe en cloche se situent les états de mélange liquide-vapeur; à gauche de la cloche, le fluide est à l'état liquide (il se "sous-refroidit"), à droite, le fluide est à l'état vapeur (il "surchauffe").

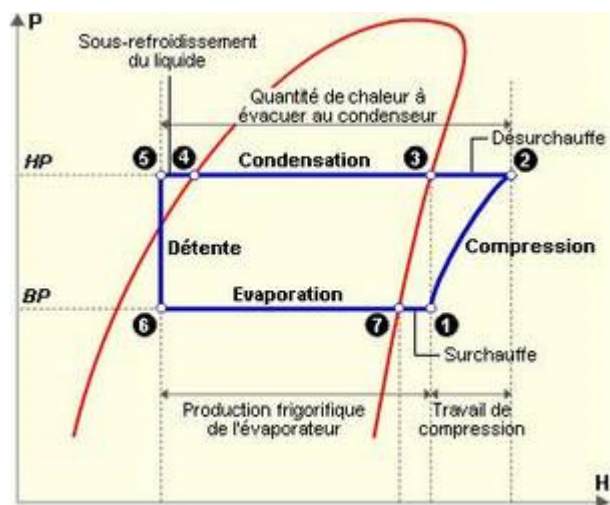


Diagramme enthalpique du cycle frigorifique.

A la pression atmosphérique :

Le R22 est liquide à -45°C et se met à "bouillir" aux alentours de -40°C .

> Si du fluide R 22 à -45°C circule dans un serpentin et que l'air à 20°C passe autour de ce tuyau, l'air se refroidira : il cédera sa chaleur au fluide qui lui s'évaporerait. C'est le rôle de l'évaporateur de la machine frigorifique.

A la pression de 13 bars :

Cette fois, le R 22 ne va "bouillir" qu'à 33°C . Autrement dit, si de la vapeur de fluide à 13 bars et à 65°C circule dans un serpentin et que de l'air à 20°C passe autour de ce tuyau, le fluide se refroidira et à partir de 33°C , il se liquéfiera, il se condensera. En se condensant, il va libérer énormément de chaleur. C'est le rôle du condenseur de la machine frigorifique.

> Si l'on souhaite donc que le fluide puisse "prendre" de la chaleur : il doit être à basse pression et à basse température sous forme liquide, pour lui permettre de s'évaporer.

> Si l'on souhaite qu'il puisse céder sa chaleur : il doit être à haute température et à haute pression, sous forme vapeur, pour lui permettre de se condenser.

Pour réaliser un cycle dans lequel de la chaleur est extraite d'un côté et donnée de l'autre, il faut compléter l'installation par 2 éléments :

1. **Le compresseur**, qui comprime le gaz en provoquant l'augmentation de température jusqu'à $+65^{\circ}\text{C}$.
2. **Le détendeur**, qui, au départ d'un fluide à l'état liquide, "lâche" la pression : le fluide se vaporise partiellement et donc se refroidit.

Le liquide retombe à la température de -40°C (bien sûr, on choisira -40°C pour faire de la congélation, et entre 0°C et $+5^{\circ}\text{C}$ pour de la climatisation).

Si ces différents équipements sont bouclés sur un circuit, on obtient une machine frigorifique.

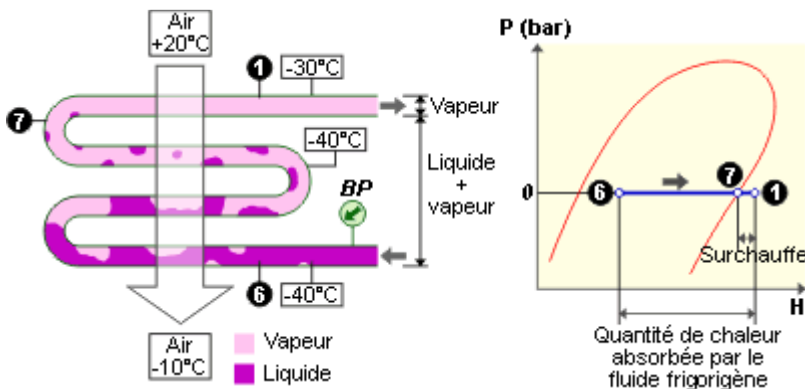
En pratique, suivons le parcours du fluide frigorigène dans les différents équipements et repérons le tracé de l'évolution du fluide frigorigène dans le diagramme des thermodynamiciens, le diagramme enthalpique H-P, enthalpie (ou niveau d'énergie) en abscisse et pression en ordonnée (échelle logarithmique).

Voici le fonctionnement de chacun de ces composants.

Remarque : les valeurs de pressions indiquées sont des pressions manométriques : un manomètre mesure l'écart de la pression du fluide avec la pression atmosphérique. Ainsi la valeur indiquée à 0 bar correspond à une pression absolue de 1 bar, celle donnée à 13 bar correspond à une pression absolue de 14 bar.

Dans l'évaporateur

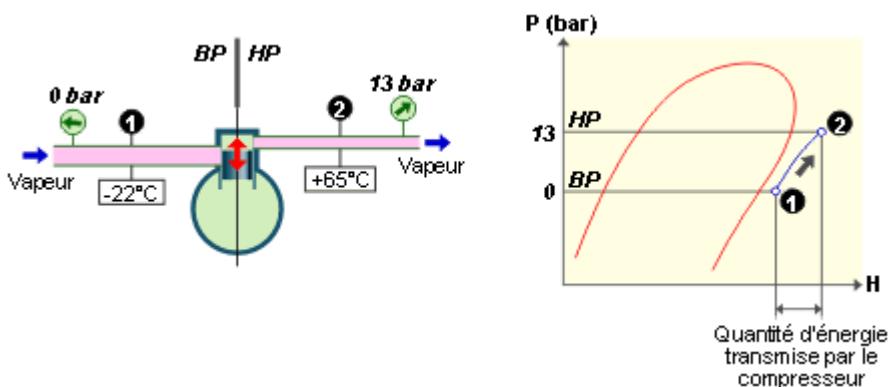
Le fluide frigorigène liquide entre en ébullition et s'évapore en absorbant la chaleur du fluide extérieur. Dans un deuxième temps, le gaz formé est encore légèrement réchauffé par le fluide extérieur, c'est ce qu'on appelle la phase de surchauffe (entre 7 et 1).



Fonctionnement de l'évaporateur.

Dans le compresseur

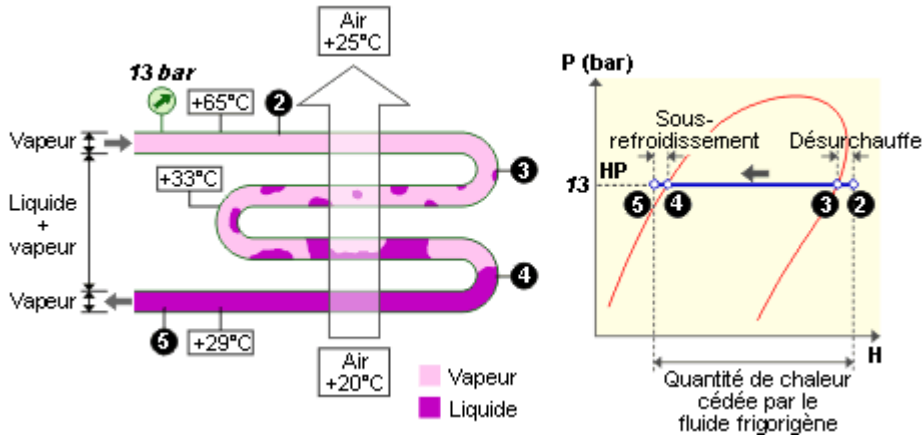
Le compresseur va tout d'abord aspirer le gaz frigorigène à basse pression et à basse température (1). L'énergie mécanique apportée par le compresseur va permettre d'élever la pression et la température du gaz frigorigène. Une augmentation d'enthalpie en résultera.



Fonctionnement du compresseur.

Dans le condenseur

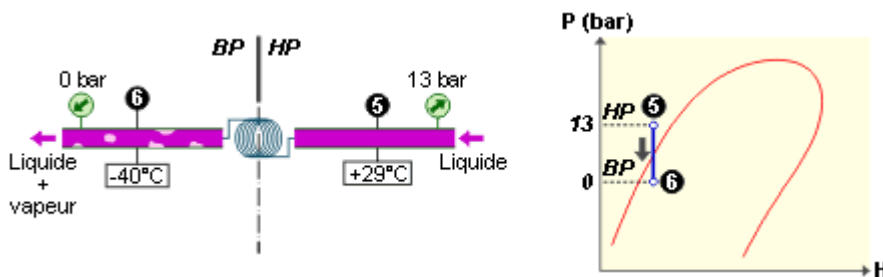
Le gaz chaud provenant du compresseur va céder sa chaleur au fluide extérieur. Les vapeurs de fluide frigorigène se refroidissent ("désurchauffe"), avant l'apparition de la première goutte de liquide (point 3). Puis la condensation s'effectue jusqu'à la disparition de la dernière bulle de vapeur (point 4). Le fluide liquide peut alors se refroidir de quelques degrés (sous-refroidissement) avant de quitter le condenseur.



Fonctionnement du condenseur.

Dans le détendeur

La différence de pression entre le condenseur et l'évaporateur nécessite d'insérer un dispositif "abaisseur de pression" dans le circuit. C'est le rôle du détendeur. Le fluide frigorigène se vaporise partiellement dans le détendeur pour abaisser sa température.



Fonctionnement du détendeur.

Remarque :

Pour optimiser les échanges thermiques (et obtenir des puissances thermiques satisfaisantes), l'échange a lieu entre le fluide et l'air prélevé dans le local à climatiser (stabilisé à une température de 20°C).

L'air refroidi est ensuite mélangé à l'air intérieur au local et l'air réchauffé est évacué à l'extérieur.

Un fonctionnement de la machine frigorifique en équilibre permanent...

Le cycle réel de fonctionnement d'une machine frigorifique se stabilise à partir des températures du milieu qu'il faut refroidir, de l'air extérieur où la chaleur est rejetée, et des caractéristiques dimensionnelles de l'appareil.

Ainsi, la température d'évaporation se stabilisera quelques degrés en dessous de la température du fluide refroidi par l'évaporateur. De même, la température de condensation se stabilisera quelques degrés au-dessus de la température du fluide de refroidissement du condenseur.

Or, les besoins de froid évoluent en permanence et la température extérieure varie toute l'année !

Tout cela va bien sûr entraîner une modification du taux de compression et une variation de la puissance absorbée. En fonction du régime d'évaporation et de condensation, le compresseur aspirera un débit masse plus ou moins grand de fluide frigorigène définissant ainsi la puissance frigorifique à l'évaporateur et calorifique au condenseur.

Evaluation du coefficient de performance :

A partir de la description du fonctionnement précédent, on souhaite évaluer le coefficient de performance de la machine frigorifique.

On s'appuiera sur le diagramme enthalpique fourni.

On raisonne pour une quantité de masse unité de fluide ayant circulé.

- a) Placer les points (1) à (7) correspondant aux différents états. Commenter le sens de parcours du cycle.
- b) Déterminer l'énergie fournie au fluide lors du passage dans le compresseur. On estime que durant la compression, un transfert thermique de 20 kJ.kg^{-1} est transmis par le fluide vers l'extérieur. En déduire le travail utile mis en jeu dans le compresseur.
- c) Quel serait l'état (2') atteint pour une compression adiabatique et réversible du fluide ? Pourquoi a-t-on pour état final l'état (2) ?
- d) Evaluer l'énergie prélevée dans la source froide.
- e) Calculer le coefficient de performance de la machine. Comparer à l'efficacité théorique pour un cycle réversible qui mettrait en jeu une source froide de température -10°C et une source chaude de température $+25^\circ\text{C}$.