

LA MACHINE FRIGORIFIQUE

Le froid est une technique de conservation utilisée en IAA. Il a pour objectif la réduction des activités métaboliques et physiologiques:

- maintien de la fermeté: ralentissement des activités enzymatiques (pectinases, Béta galactosidase)
- maintien de la couleur
- ralentir la respiration $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6 H_2O + \text{Chaleur}$
- réduction des pertes en eau et en poids
- Ralentissement le processus de senescence, garantie de la fraîcheur
- Garantir l'état sanitaire: limite de la croissance des microorganismes

Plusieurs procédés sont disponibles. On distingue les process pour:

- ✓ la conservation
 - installation à détente directe (évaporateur)
 - installation à circuit secondaire (fluide frigorigène)
- ✓ Pour le refroidissement

Par le vide (Vacuum- cooling)

Par l'eau glacé (hydro cooling)

par l'air forcé (air cooling)

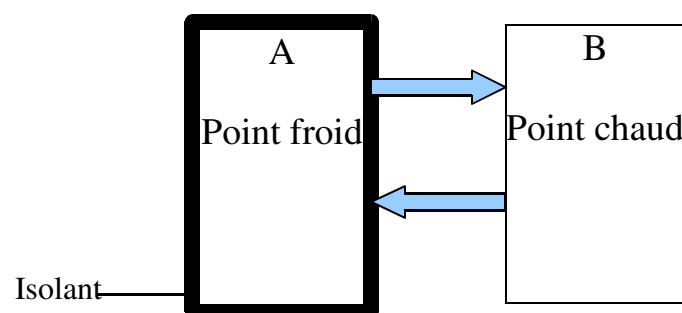
par le froid humide

I. Généralités

Le froid est :

- l'absence d'énergie
- l'absence de chaud
- l'absence de calorie

NB: $0^\circ F = - 18^\circ C$



Source chaude= extérieur de l'enceinte frigorifique

Source froide= intérieur de l'enceinte frigorifique

Le système est ouvert: on enlève les calories du point A vers le point B. Le système va permettre de transporter ces calories d'un point A vers B et ce système, avec un changement, va pouvoir revenir au point froid et faire un travail.

Le principe de la machine frigo suit des lois thermodynamiques.

I. Le Cycle de CARNOT

C'est une transformation idéale, c'est à dire que les performances dans les conditions de fonctionnements sont maximales.

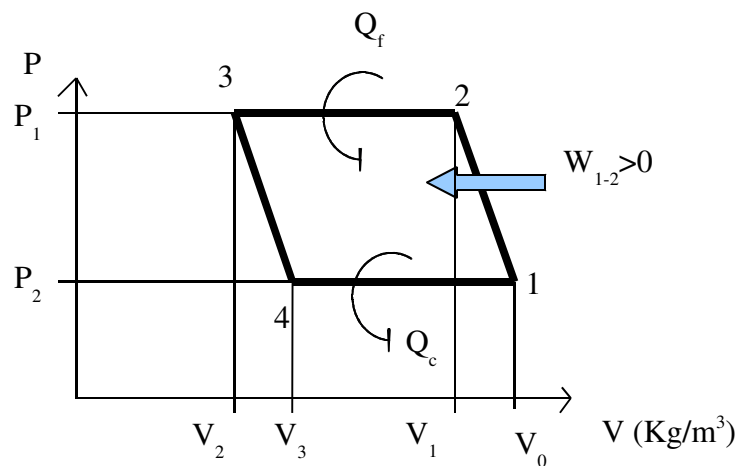
a) Les quatre temps théoriques:

1->2: compression adiabatique

2->3: liquéfaction (condensation) isobare et isotherme

3->4: détente adiabatique

4->1 évaporation du fluide corps pur (isobare et isotherme)



Ce cycle idéal sert de référence pour le cycle réel d'une machine frigorifique.

b) Echange d'énergie

1->2 : Adiabatique $Q_{1-2} = 0$; $W_{1-2} = 1/(\gamma-1) * (P_1 V_1 - P_0 V_0)$ et $W_{1-2} > 0$. W_{1-2} est fourni par le compresseur.
 $W_{1-2-3-4} > 0$

2->3: Condensation exothermique $Q_{4-1} = Q_c$

Q_{2-3} absorbée par l'évaporateur est prise à la source froide (noté Q_f)

3->4 détente adiabatique $Q_{3-4} = 0$

4->1 vaporisation

c) coefficient de performance

Le but recherché est la production de Q_f . Cela se fait en évacuant Q_c à l'extérieur mais aussi en absorbant le travail W , notamment celui qui est fourni par le compresseur au fluide (W_{1-2})

Le coefficient η est défini par le rapport: « recette »/ « dépense »

Ce coefficient ou $COPF = Q_f/W = Q_f/(-Q_F - Q_C)$

C'est un nombre positif sans dimension, supérieur à 1. Il peut être évalué à partir des diagramme:

- enthalpie-pression
- enthalpie-température
- entropie-température

et à partir de simples mesure de température effectué sur la machine.

d) Deuxième principe de la thermodynamique

La chaleur ne peut passer spontanément d'un milieu froid à un milieu chaud.

L'énoncé de Carnot indique comment organiser le cycle de telle façon que le coefficient de performance soit le plus grand possible.

- 1) le système (fluide frigorigène) décrivant un cycle dans la machine ditherme doit échanger le de chaleur avec deux milieux extérieurs:
 - l'un à température T_c , appelée source chaude
 - l'autre à température T_f inférieure à T_c appelée source froide.
- 2) Si le cycle décrit par le système est un cycle de Carnot évoluant entre deux sources de température T_f et T_c données; le coefficient de performance est le plus grand possible et s'exprime par:

$$COPF_{\max} = T_f / (T_c - T_f)$$

T_c et T_f en KELVIN

e) Egalité de Carnot et Clausius

Elle concerne toute machine dont le fluide décrirait un cycle idéal de Carnot

$$Q_f/T_f + Q_c/T_c = 0$$

II. Production du froid

Une installation de froid industriel est composée de trois parties:

- la production proprement dite
- la distribution
- éventuellement, le stockage

Industriellement, 3 systèmes sont utilisés :

- le free cooling
- les systèmes à compression mécanique
- les systèmes à absorption

a) Free cooling

Le Free cooling n'est pas à proprement parler un système de production de froid. Il n'est applicable qu'à la réfrigération. Le free cooling consomme très peu d'énergie (une pompe et / ou un ventilateur) par rapport à la production de froid par compression mécanique. Il peut être utilisé seul (rarement), ou en pré-refroidissement avant une installation classique dont il permet de diminuer la puissance (par exemple, lorsque le produit à refroidir est chaud). Il peut arriver que l'installation de free cooling suffise au refroidissement en hiver (air ambiant froid) et que le couplage soit nécessaire pour les autres saisons. **Cette technique a des temps de retour excellents et doit être exploitée à chaque fois que possible**

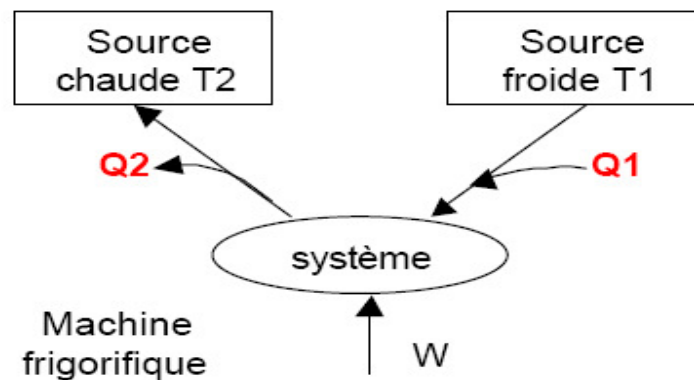
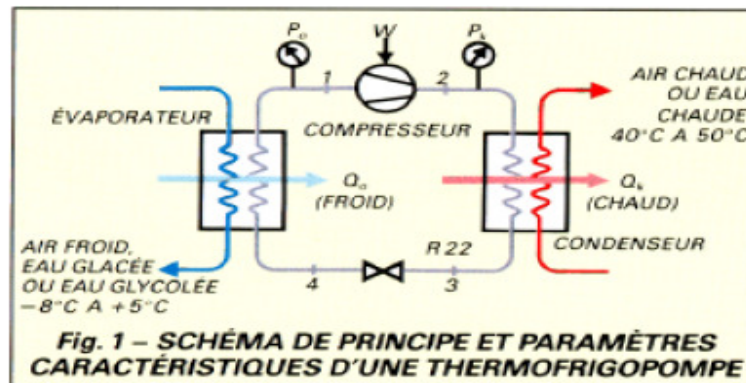
b) compression mécanique

Ils sont les systèmes les plus classiquement rencontrés, à plus de 90 % dans l'industrie. Ce système consomme de l'énergie mécanique, essentiellement fournie par consommation d'électricité dans le compresseur, mais aussi dans les auxiliaires (pompes, ventilateurs des condenseurs...). Ce système s'applique à tous les niveaux de température et de puissance frigorifique, avec le ou les frigorigène(s) adéquat(s) et des variantes (systèmes polyétagés, en cascade...).

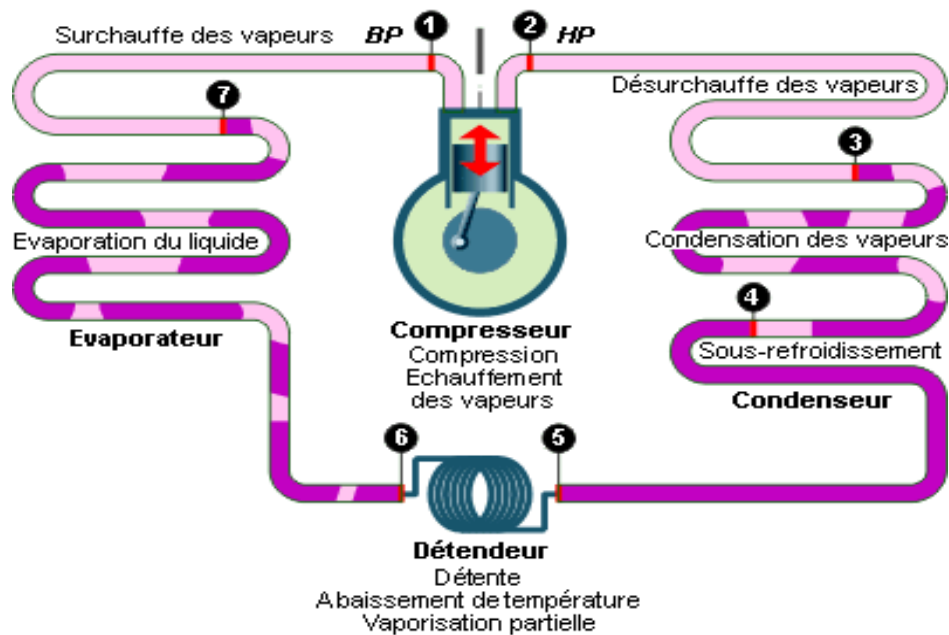
c) Les systèmes à absorption

Ils utilisent de l'énergie thermique. Le plus répandu est le système à absorption continu, avec une solution de bromure de lithium. Ces systèmes ne sont utilisables que pour du froid positif. Le rendement est moindre par rapport aux systèmes à compression mécanique, mais la source chaude peut être de la chaleur perdue sur les procédés, donc "gratuite". C'est ainsi qu'une cogénération (production simultanée d'électricité et de chaleur) peut devenir une trigénération quand une partie de la chaleur est utilisée pour produire du froid. De plus, les fluides frigorigènes utilisés n'ont aucune contribution à la destruction de la couche d'ozone et à l'effet de serre.

III. Organisation générale



VI. Compression Mécanique: organisation de l'installation

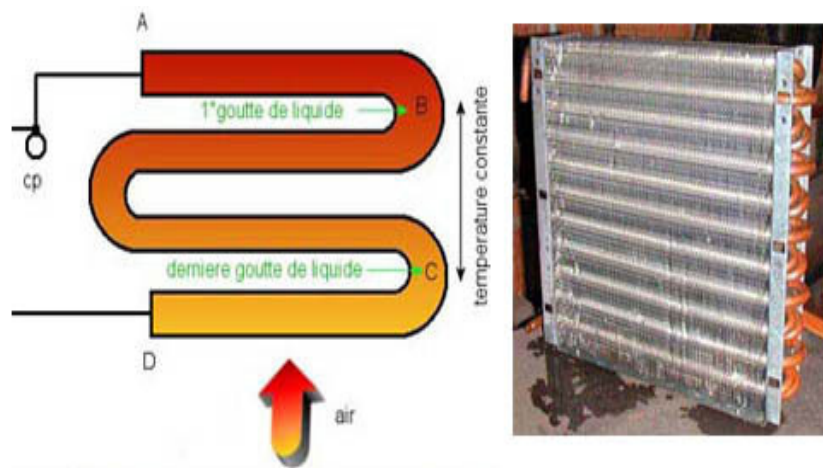


a) Organes: description et rôle

- ✓ **Le compresseur** : il aspire les vapeurs provenant de l'évaporateur (vapeur se situant à un bas niveau de température et de pression) et les comprime jusqu'à un plus haut niveau de température et de pression.



- ✓ **Le condenseur** : il évacue la chaleur contenue dans le fluide afin de le liquéfier. Donc pour liquéfier le fréon, on va échanger de la chaleur avec un médium qui peut être de l'air ou de l'eau

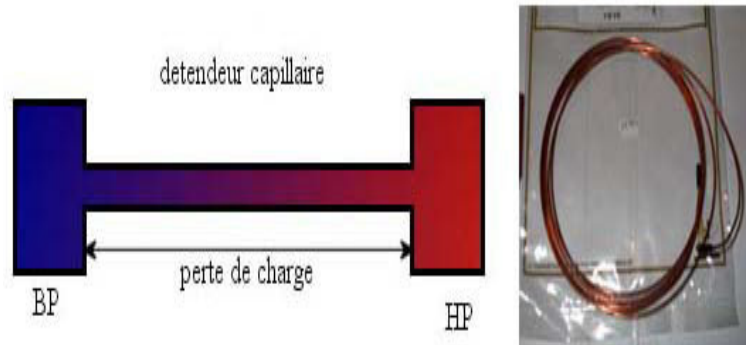


AB désurchauffe (évacuation par chaleur sensible)

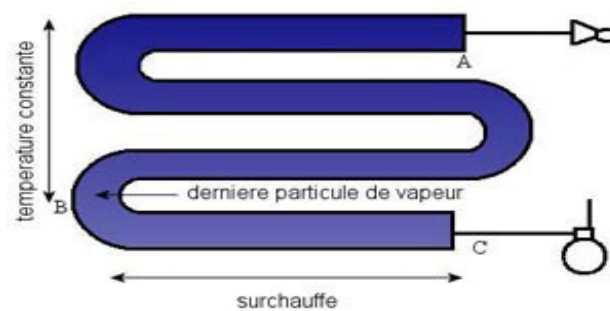
BC condensation (évacuation par chaleur latente)

CD sous refroidissement (évacuation par chaleur sensible)

- ✓ **Le détendeur** : son rôle est de créer une grande perte de charge (baisser la pression) pour permettre la vaporisation (ébullition) à basse température dans l'évaporateur. Il régule aussi la quantité de liquide arrivant à l'évaporateur en fonction des besoins de "froid" (uniquement pour les détendeurs thermostatiques). **Le débit de fréon pour les tubes capillaires est fonction: du diamètre intérieur (de 0.6 à 1.5 mm), de la longueur (de 1.80 m à 3.50 m), de la différence de pression entre le condenseur et l'évaporateur**



- ✓ **L'évaporateur** : il collecte la chaleur du milieu à refroidir pour que le fluide froid et à basse pression, absorbe celle-ci et passe de l'état liquide à l'état de vapeur.



AB : évaporation (aspiration de chaleur latente)

BC : surchauffe (aspiration de chaleur sensible)

Froid positif: température de détente: -10 à -20

Froid négatif: température de détente: -30 à -70°C

b) Installation à détente directe

Le fluide frigorigène refroidit directement le produit en s'évaporant. Il n'y a pas de fluide intermédiaire. C'est le système de distribution le plus efficace énergétiquement, cependant il est moins modulable : il est plus difficile d'ajouter des usages sur le conduit de frigorigène qui est sous pression.

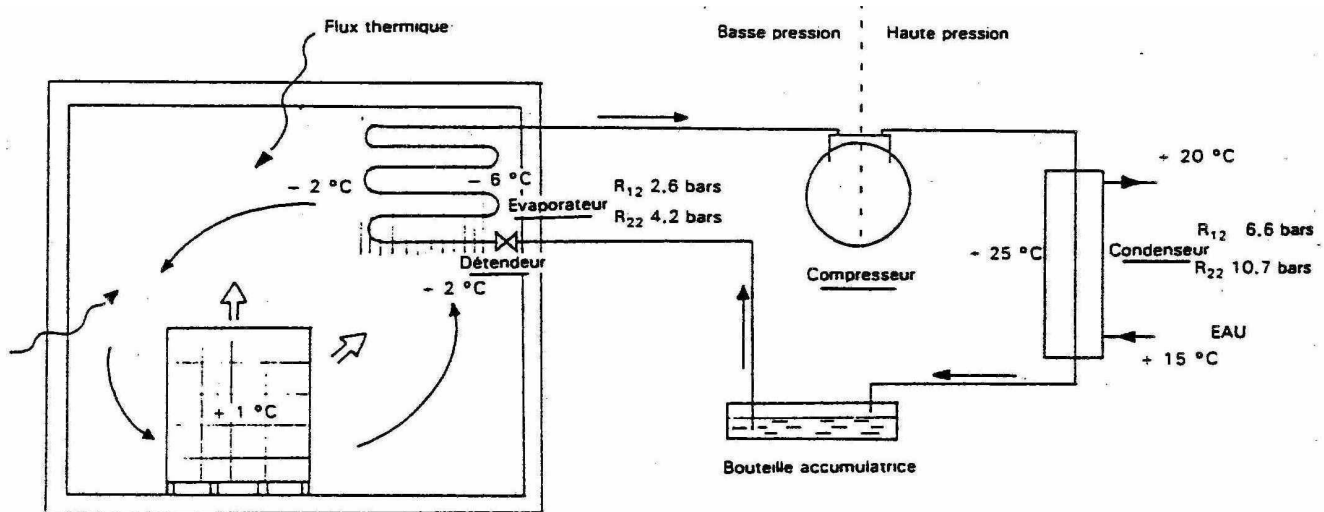


SCHÉMA D'UN CIRCUIT FRIGORIFIQUE
A DÉTENTE DIRECTE
TEMPÉRATURE ET PRESSION REMARQUABLES

c) Installation à détente indirecte

Le fluide frigorigène refroidit un fluide intermédiaire appelé fluide frigoporteur, qui assure le transfert du froid par un circuit frigoporteur vers les éléments concernés. D'un point de vue énergétique, ce système est moins efficace à cause de l'opération supplémentaire d'échange de chaleur et de la présence de pompes sur le circuit frigoporteur. Il est également plus complexe. Cependant, pour une installation étendue dans l'espace ou qui est souvent remodelée, le refroidissement indirect est plus souple. De plus, il permet de confiner et de limiter la charge de fluide frigorigène ce qui est intéressant lorsque celui-ci est dangereux (NH₃ par exemple) ou pour limiter les fuites quand celui-ci a une contribution forte à l'effet de serre.

Schéma d'une installation de réfrigération indirecte

