

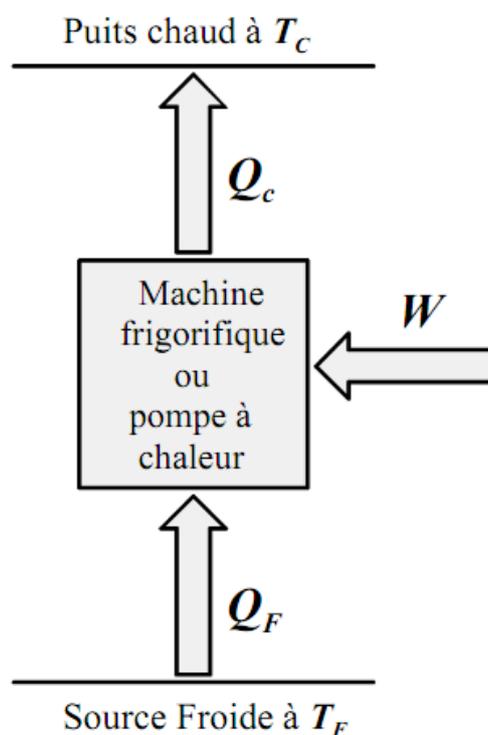
CYCLES FRIGORIFIQUES ET POMPES A CHALEUR**1. Introduction**

La chaleur ne peut passer spontanément d'un corps froid vers un corps chaud selon le *second principe* de la thermodynamique. Si l'on veut effectuer le transfert de chaleur, dans le sens anti-naturel, d'un milieu froid à un milieu chaud, il faut, nécessairement, d'une part, mettre en œuvre un système thermique particulier et lui fournir de l'énergie. Ce système thermodynamique susceptible de prélever de la chaleur d'un milieu à température inférieure (source froide) et la transférer à un milieu à température supérieure (puits chaud), c'est-à-dire produire du froid, s'appelle *machine frigorifique*

Si, au contraire, le but recherché est la production de chaleur pour chauffer un milieu ou le maintenir à une température suffisamment haute à partir de chaleur gratuite récupérée à une température plus basse, le système en question est habituellement *pompe à chaleur*.

Dans certains cas spécifiques, on peut utiliser à la fois le froid produit à la source froide et la chaleur rejetée au puits chaud. Un tel système est alors généralement appelé *thermofrigopompe*.

Pour alimenter le système thermodynamique, on utilise une énergie mécanique (travail), ceci est représenté sur la figure ci-dessous



La majorité des pompes à chaleur fonctionnent selon le même principe qu'un réfrigérateur. Cela veut dire qu'elles utilisent le cycle thermodynamique, aussi appelé cycle frigorifique, pour retirer des calories à un endroit afin de les restituer dans un autre. Ce cycle utilise les propriétés physiques d'un fluide particulier, appelé fluide frigorifique, en le faisant capter ou rejeter de la chaleur selon la pression à laquelle il est soumis.

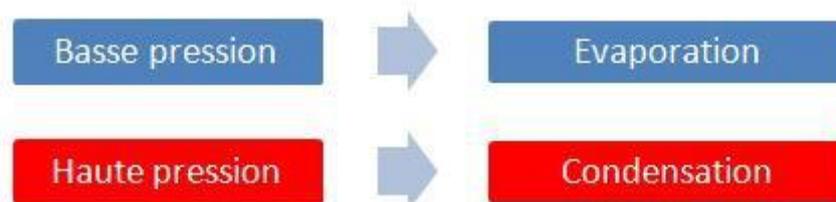
Ce cycle est utilisé pour générer du chaud comme du froid. C'est pourquoi on l'utilise dans les pompes à chaleur comme dans les procédés de refroidissement.

2. Cycle frigorifique à compression de vapeur

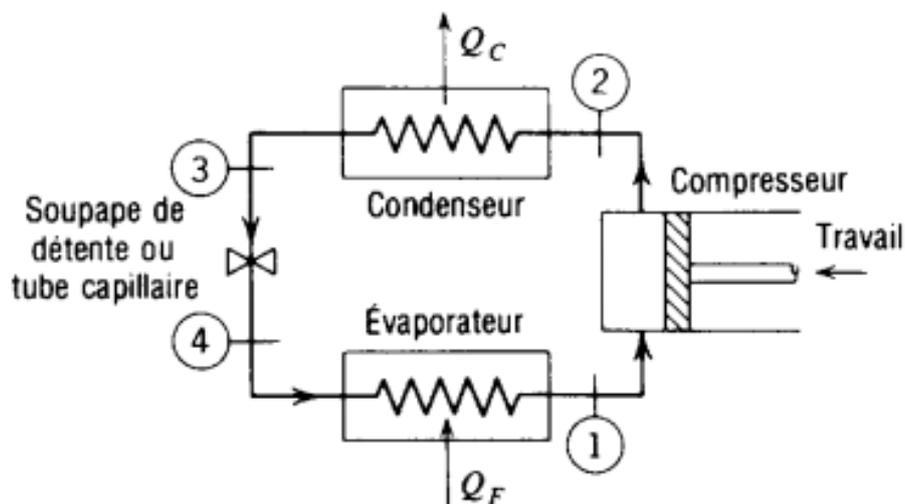
Une machine frigorifique à compression mécanique de vapeur (réfrigérateur ou pompe à chaleur) est une machine thermique ditherme opérant entre une source de chaleur froide et un puits de chaleur chaud, fonctionnant en régime inverse de celui des cycles moteurs.

- Une quantité de chaleur Q_F est épuisée à la source froide
- Une quantité de chaleur Q_C est cédée de la source froide
- Un travail W est absorbé par la machine pour accomplir le transfert de chaleur du milieu froid au milieu chaud.

Une machine frigorifique fonctionne entre deux niveaux de pression; la basse pression qui assure l'évaporation et la haute pression qui assure la condensation.

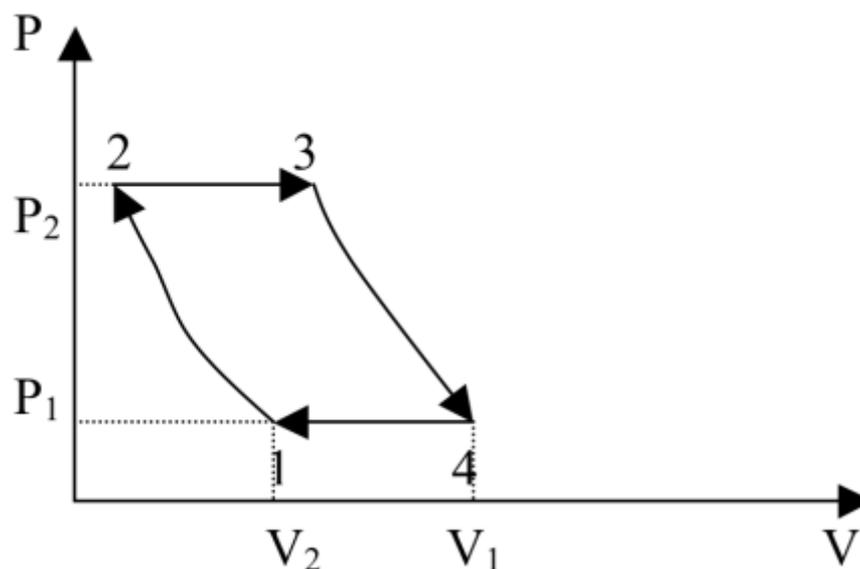


Le cycle frigorifique idéal à compression de vapeur est représenté ci-dessous.



Ce cycle comprend les quatre composants suivants:

- Un **compresseur** dont le rôle est d'assurer un mouvement continu du fluide frigorigène et de le faire comprimer. Une compression adiabatique et réversible 1 – 2
- Un **détendeur** (valve d'expansion) dont le rôle est de régler le débit du réfrigérant circulant dans l'installation et assurer la détente du réfrigérant. Un refroidissement isobare par condensation 2 – 3
- Un **évaporateur** placé dans l'enceinte à refroidir pour assurer l'épuisement de la quantité de chaleur Q_F qu'on appelle **production frigorifique**. Le fluide frigorigène, à température plus basse que celle de la source froide, s'évapore en absorbant la **chaleur latente** nécessaire de la source froide. Une détente irréversible sans échange de travail 3 – 4
- Un **condenseur** placé dans le milieu auquel on désire céder la quantité de chaleur Q_C . Un échauffement isobare par évaporation 4 – 1



Il est à noter que le fluide utilisé est choisi selon sa capacité à absorber/ relâcher la chaleur à des pressions données. Chaque fluide possède ses caractéristiques et certains fluides seront par exemple davantage utilisés pour créer du chaud alors que d'autres correspondront plus à la création de froid.

2.1. Bilan du cycle

L'enthalpie est particulièrement importante lorsqu'il s'agit de décrire des transformations à pression constante.

$$H = U + PV$$

$$dH = C_p dT$$

C_p est la capacité calorifique à pression constante

$$\begin{aligned}
 dH &= dU + d(PV) \\
 dU &= \delta W + \delta Q = \delta Q - PdV \\
 dH &= \delta Q - PdV + PdV + VdP \\
 dH &= \delta Q + \underbrace{VdP}_{\delta W}
 \end{aligned}$$

1 → 2 Transformation adiabatique $Q_{12} = 0$

$$\Delta H_{12} = W_{12} = C_p \Delta T = H_2 - H_1$$

2 → 3: Un refroidissement isobare

$$dH = \delta Q + \underbrace{VdP}_{\delta W}$$

$$dH = \delta Q + \delta W$$

Transformation isobare $dP = 0 \Rightarrow VdP = 0 \Rightarrow W_{23} = 0$

$$\Delta H_{23} = Q_{23} = H_3 - H_2$$

3 → 4: Une détente irréversible sans échange de travail

$$\Delta H_{34} = Q_{34} = H_4 - H_3 = 0 \text{ (irréversible)}$$

4 → 1: Un échauffement isobare

$$dH = \delta Q + \underbrace{VdP}_{\delta W}$$

$$dH = \delta Q + \delta W$$

Transformation isobare $dP = 0 \Rightarrow VdP = 0 \Rightarrow W_{41} = 0$

$\Delta H_{41} = Q_{41} = H_1 - H_4$ grandeur que l'on appelle la production frigorifique nette (PFN)

2.2. Efficacité ou COefficient de performance (COP)

L'efficacité d'un tel cycle est définie selon la règle générale, comme le rapport de l'énergie utile à l'énergie payante. C'est donc le rapport de la chaleur au condenseur au travail de compression. Étant donné que sa valeur est généralement supérieure à 1, on préfère parler de **COefficient de Performance ou COP**.

Pour rappel, le COP est le coefficient d'efficacité d'une installation produisant ou transférant de la chaleur. Au niveau du cycle frigorifique, il varie en fonction de l'écart de température

entre la source froide et la source chaude. Autrement dit, si on désire une température de local élevée alors que la température extérieure est basse, le COP va diminuer. L'inverse est également vrai.

Le système consomme du travail lors de la transformation 1 → 2:

$$\Delta H_{12} = W_{12} = C_p \Delta T = H_2 - H_1$$

Le système fournit du froid lors de la transformation 4 → 1:

$$\Delta H_{41} = Q_{41} = H_1 - H_4$$

$$e_{ffi} = \frac{H_1 - H_4}{H_2 - H_1}$$