

4. Machines thermiques dithermes

4.1 Thermostats ou sources

On appelle **thermostat** un système thermodynamique de **capacité thermique infinie** : quelle que soit le transfert thermique qu'on lui fournit, sa température peut être considérée constante. En pratique il s'agit de très gros systèmes, comme un lac, un cours d'eau, ou l'atmosphère.

Les thermostats sont souvent utilisés comme **source d'énergie gratuite** (par exemple on ouvre la fenêtre la nuit pour refroidir un logement en été, hors canicule nocturne..).

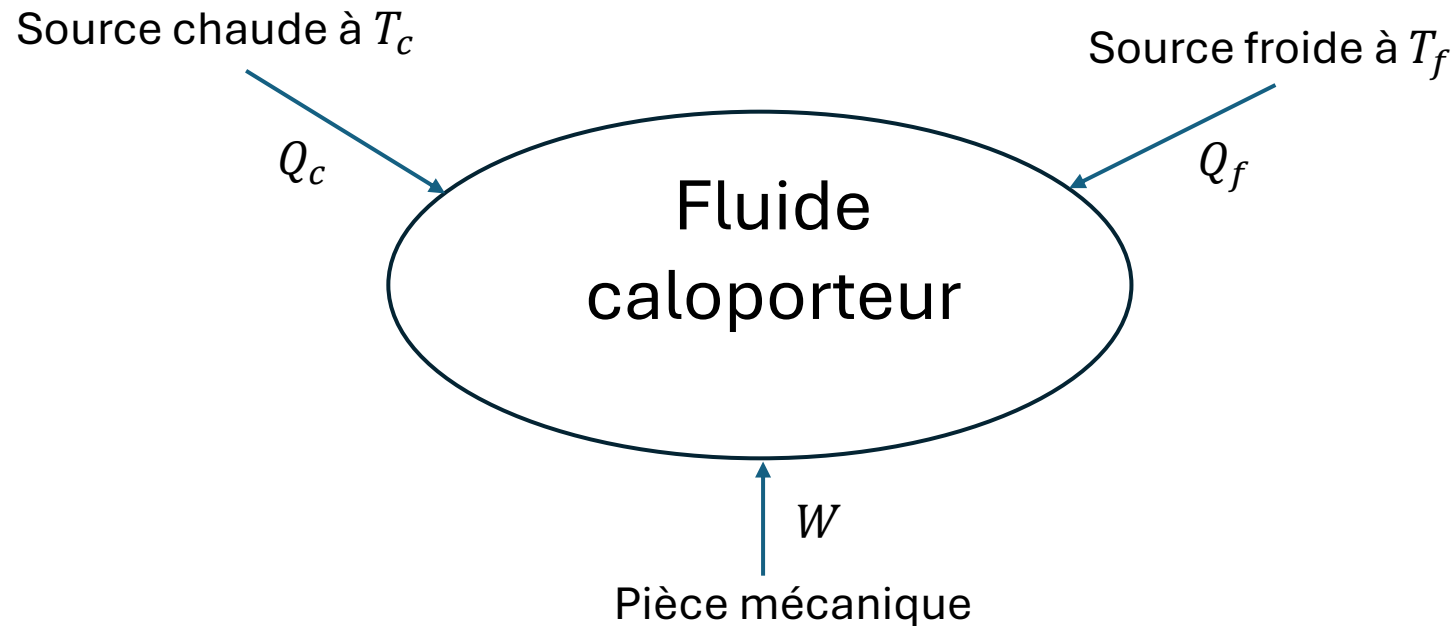
On rêverait de concevoir des machines qui exploitent les thermostats, par exemple on pourrait imaginer prélever de l'énergie à l'eau de mer en la refroidissant et ainsi satisfaire nos besoins en énergie tout en limitant le réchauffement marin. Mais cela n'a jamais fonctionné. D'un point de vue théorique, le second principe l'interdit.

Il faut au moins deux sources : la source chaude de température T_C et la source froide de température T_F .

4.2 Principes de la thermo appliqués à un cycle ditherme

Considérons un système thermo constitué d'un fluide caloporteur subissant une transformation cyclique comportant 3 étapes : une étape en contact thermique avec la source chaude, une en contact thermique avec la source froide et une au cours de laquelle le fluide reçoit du travail mécanique.

Lors d'un cycle complet, le système revient à son état de départ (Température, pression, ..) et donc ses fonctions d'état U, H, S aussi.



4.3 Les grands types de machine thermique

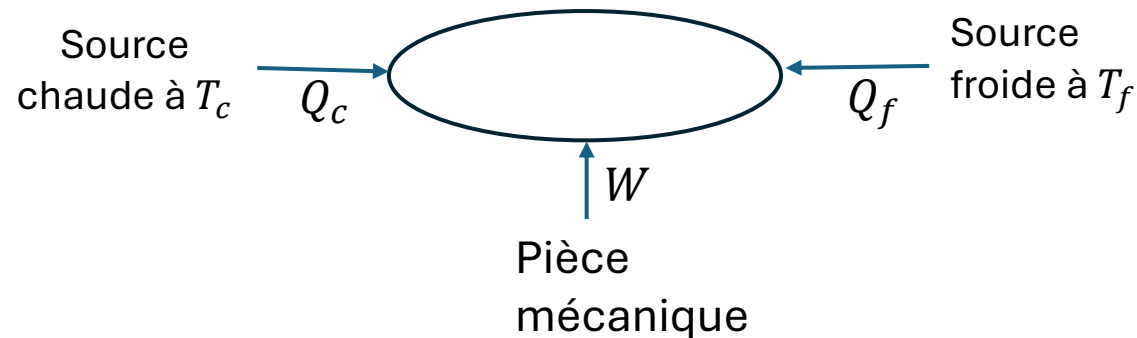
Les machines de type moteur utilisent la combustion pour créer un travail mécanique récupérable. Exemples : véhicule (voiture, avion, bateau..), centrale thermique, centrale nucléaire.

Les machines réceptrices utilisent du travail mécanique pour créer des transferts thermiques contre-nature : réchauffer la source chaude et refroidir la source froide. Si l'objectif est de refroidir la source froide, c'est une machine frigorifique (frigo, clim) et si l'objectif est de chauffer la source chaude c'est une pompe à chaleur.

Aujourd'hui les pompes à chaleur air-air peuvent fonctionner en climatiseur l'été. Elles sont qualifiées de « réversibles » dans le commerce. Ce mot réversible a un sens différent de celui du second principe de la thermodynamique.

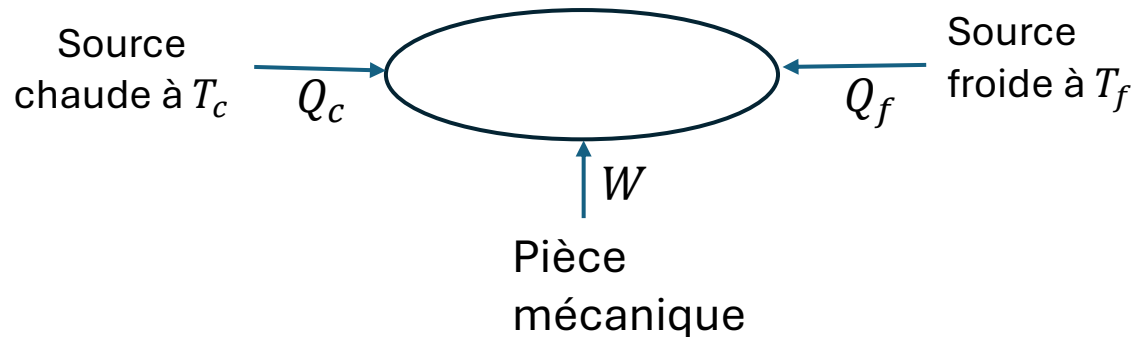
4.4 Coefficient de performance

Type de machine	Grandeur utile	Grandeur coûteuse	Coefficient de performance
Moteur thermique			
Pompe à chaleur			
Machine frigo			



4.4 Coefficient de performance

Type de machine	Grandeur utile	Grandeur coûteuse	Coefficient de performance
Moteur thermique	$W < 0$	$Q_c > 0$	$-\frac{W}{Q_c}$
Pompe à chaleur	$Q_c < 0$	$W > 0$	$-\frac{Q_c}{W}$
Machine frigo	$Q_f > 0$	$W > 0$	$\frac{Q_f}{W}$



4.5 Principes de la thermo appliqués à un cycle ditherme

1^{er} principe :

$$\Delta U = W + Q_c + Q_f$$

Au cours d'un cycle, U revient à sa valeur de départ donc $\Delta U = 0$

$$W + Q_c + Q_f = 0$$

2^{ème} principe :

$$\Delta S = S_{e,\text{source chaude}} + S_{e,\text{source froide}} + S_c = \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} + S_c$$

Au cours d'un cycle, S revient à sa valeur de départ donc $\Delta S = 0$

$$\frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} + S_c = 0$$

4.6 COP_{max} pour un moteur thermique.

$$\begin{aligned} Q_c + Q_f + W &= 0 \Rightarrow 1 + \frac{Q_f}{Q_c} + \frac{W}{Q_c} = 0 \\ \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} + S_c &= 0 \Rightarrow \frac{T_f}{T_c} + \frac{Q_f}{Q_c} + \frac{S_c T_f}{Q_c} = 0 \\ COP &= -\frac{W}{Q_c} = 1 + \frac{Q_f}{Q_c} = 1 - \frac{T_f}{T_c} - \frac{S_c T_f}{Q_c} \\ COP &\leq 1 - \frac{T_f}{T_c} = COP_{max} \end{aligned}$$

Le maximum de rendement est obtenu dans le cas réversible $S_c = 0$. Dans ce cas, on dit que c'est un moteur de Carnot.

Ce COP est plus élevé si T_c et T_f sont très différentes.

Attention : bien exprimer les températures en Kelvin dans les applications numériques car les deux températures sont en quotient et non en différence !

4.7 COP_{max} pour une pompe à chaleur

On peut montrer de la même façon qu'il est obtenu dans le cas réversible $S_c = 0$.

On a donc $W + Q_c + Q_f = 0 \Rightarrow W = -Q_c - Q_f$

$$\text{et } \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} = 0 \Rightarrow \frac{Q_c}{T_c} = -\frac{Q_f}{T_f}$$

$$COP_{max} = -\frac{Q_c}{W} = \frac{Q_c}{Q_c + Q_f} = \frac{1}{1 + \frac{Q_f}{Q_c}} = \frac{1}{1 - \frac{T_f}{T_c}} = \frac{T_c}{T_c - T_f}$$

Ce COP est plus élevé si les deux températures sont proches.

On peut laisser les températures en °C au dénominateur car soustraction, mais au numérateur, T_c doit être exprimée en Kelvin !

4.8 COP_{max} pour une machine frigorifique

On peut montrer de la même façon qu'il est obtenu dans le cas réversible $S_c = 0$.

On a donc $W + Q_c + Q_f = 0 \Rightarrow W = -Q_c - Q_f$

$$\text{et } \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} = 0 \Rightarrow \frac{Q_c}{T_c} = -\frac{Q_f}{T_f}$$

$$COP_{max} = \frac{Q_f}{W} = \frac{-Q_f}{Q_c + Q_f} = \frac{-1}{\frac{Q_c}{Q_f} + 1} = \frac{-1}{-\frac{T_c}{T_f} + 1} = \frac{T_f}{T_c - T_f}$$

Ce COP est plus élevé si les deux températures sont proches.

On peut laisser les températures en °C au dénominateur car soustraction, mais au numérateur, T_f doit être exprimée en Kelvin !