

Thermodynamique - Chapitre 4 : Machines thermiques

Ce qu'il faut retenir...

MACHINES THERMIQUES :

Dispositif dans lequel un système fluide, l'agent thermique, subit une transformation cyclique permettant une conversion continue d'énergie.

Bilans :

Cas d'un système en contact avec plusieurs sources de température T_i :

$$\text{Bilan énergétique sur un cycle : } \Delta E = W + \sum_i Q_i = 0$$

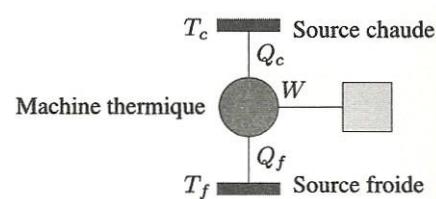
$$\text{Bilan entropique sur un cycle : } \Delta S = S^e + S^c = 0 \quad S^e = \sum_i \frac{Q_i}{T_i} = -S^c \leq 0$$

$$\boxed{\text{Inégalité de Clausius : } \sum_i \frac{Q_i}{T_i} \leq 0}$$

Machine monotherme : $S^e = \frac{Q}{T_{\text{source}}} \leq 0 \Rightarrow Q \leq 0 \Rightarrow W \geq 0$ toujours réceptrice.

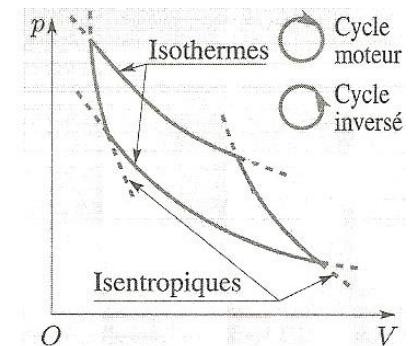
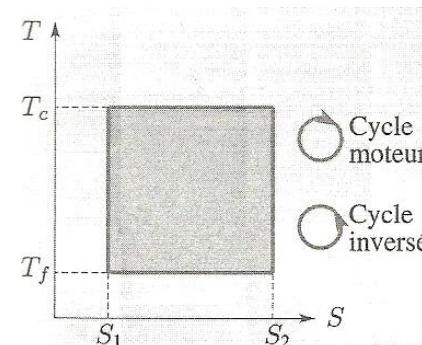
Machine ditherme :

Soit un système en contact avec une source chaude de température constante T_c et une source froide de température constante T_f .



Cycle de Carnot : modélise une machine ditherme réversible.

Un tel cycle est constitué de 2 isothermes réversibles (T_c et T_f), durant lesquelles se font les échanges thermiques Q_c et Q_f , qui sont reliées par 2 adiabatiques réversibles (isentropiques).

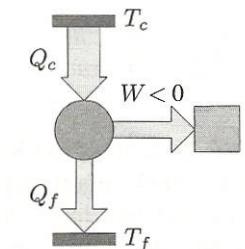


Ce cycle permet d'atteindre le rendement maximal prévu par la thermodynamique mais il est en pratique difficile à mettre en œuvre (isothermes très lentes à réaliser).

Efficacité : $\frac{\text{transfert d'énergie utile compte tenu de la vocation de la machine}}{\text{transfert d'énergie dépensé pour le fonctionnement}}$

MOTEUR DITHERME : $W < 0, Q_c > 0, Q_f < 0$

Reçoit de l'énergie de la part de la source chaude et en fournit à la source froide ainsi qu'au milieu extérieur par travail.



Efficacité ou rendement d'un moteur ditherme :

$$\eta = \frac{-W}{Q_C} = 1 + \frac{Q_F}{Q_C}$$

Efficacité de Carnot :

$$\frac{Q_F}{T_F} + \frac{Q_C}{T_C} = 0 \Leftrightarrow \frac{Q_F}{Q_C} = -\frac{T_F}{T_C}, \text{ donc : } \eta_C = 1 - \frac{T_F}{T_C} < 1$$

Théorème de Carnot : le rendement d'un moteur réel est inférieur au rendement d'un moteur réversible fonctionnant entre les 2 mêmes sources. Le rendement d'un moteur ditherme réversible ne dépend que des températures des sources et a pour expression : $\eta_C = 1 - \frac{T_F}{T_C}$.

En pratique :

La source chaude est une source fictive qui correspond à la combustion du carburant dans l'air (réaction entre le carburant et le dioxygène), la source froide est l'atmosphère (système en contact lors de l'ouverture de la soupape d'échappement).

Exemples :

Moteur à explosion essence : combustion interne isochore du mélange air + carburant initialement admis, dont l'allumage est commandé et réalisé par les étincelles des bougies ; cycle constitué de 2 isentropiques et 2 isochores.

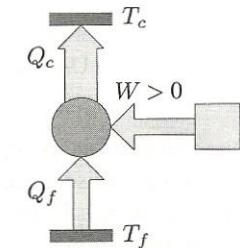
Moteur à explosion diesel : combustion interne isobare dont l'allumage est réalisé par une compression élevée de l'air initialement admis, le carburant étant injecté ensuite ; cycle constitué de 2 isentropiques, 1 isobare et 1 isochore.

Dans les 2 cas, aucun des cycles n'est un cycle de Carnot (isochore, isobare à la place d'isothermes) : $\eta < \eta_C$ (où T_C serait égale à la température atteinte suite à la combustion, et T_F , la température de l'air extérieur)

MACHINE RECEPTRICE : $W > 0, Q_C < 0, Q_F > 0$

Une machine réceptrice reçoit un travail qui lui permet de réaliser un transfert de chaleur d'une source froide à une source chaude dans le but :

- soit de réchauffer un système en contact avec la source chaude (pompe à chaleur)
- soit de refroidir un système en contact avec la source froide (réfrigérateur).



En pratique :

Le fluide frigorifique à l'état gazeux est comprimé grâce à un compresseur puis refoulé dans un condenseur où il se liquéfie, ce phénomène libère de l'énergie, $Q_C < 0$. Le liquide est ensuite introduit dans un détendeur puis dans l'évaporateur où il se vaporise, phénomène qui absorbe de l'énergie, $Q_F > 0$.

Réfrigérateur :

On s'intéresse à la chaleur Q_F retirée à la source froide (intérieur du frigo ou pièce à réfrigérer), la source chaude étant l'air ambiant ou l'extérieur.

$$\underline{\text{Efficacité}} : e_r = \frac{Q_F}{W}$$

$$\underline{\text{Efficacité de Carnot}} : e_{C,r} = \frac{T_F}{T_C - T_F}; e_r \leq e_{C,r}.$$

Pompe à chaleur :

On s'intéresse maintenant à la chaleur fournie Q_C à la source chaude (pièce à chauffer), la source froide étant à l'extérieur (lac, rivière).

$$\underline{\text{Efficacité}} : e_p = \frac{-Q_C}{W}$$

$$\underline{\text{Efficacité de Carnot}} : e_{C,p} = \frac{T_C}{T_C - T_F} > 1; e_p \leq e_{C,p}$$