

# 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  $T_i$  :

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

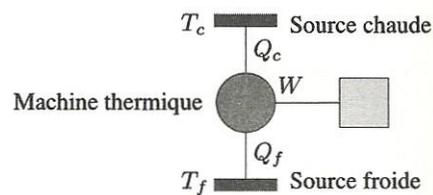
Bilan entropique sur un cycle :  $\Delta S = S^e + S^c = 0 \quad S^e = \sum_i \frac{Q_i}{T_i} = -S^c \leq 0$

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

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

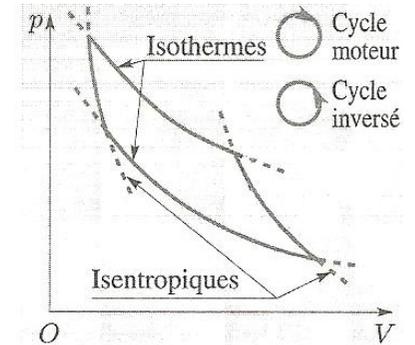
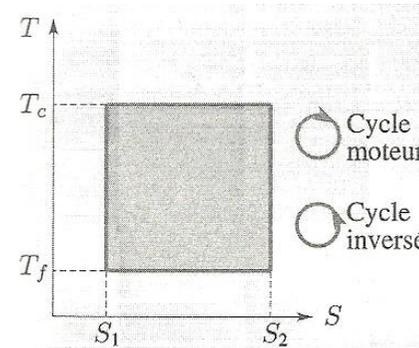
#### Machine ditherme :

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).

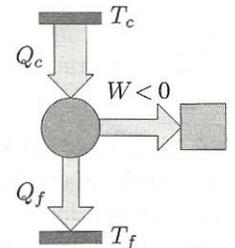


Ce cycle permet d'atteindre le rendement maximal prévu par la thermodynamique mais il est en pratique difficile à mettre en œuvre (isothermes très lentes à réaliser).

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.



Effacité ou rendement d'un moteur ditherme :  $\eta = \frac{-W}{Q_C} = 1 + \frac{Q_F}{Q_C}$

Effacité 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.*

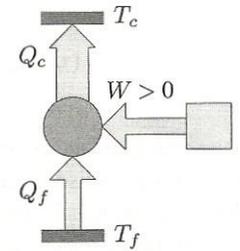
*Moteur à explosion diesel : combustion interne isobare dont l'allumage est réalisé par une compression élevée de l'air initialement admis, le carburant étant injecté ensuite ; cycle constitué de 2 isentropiques, 1 isobare et 1 isochore.*

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.

Effacité :  $e_r = \frac{Q_F}{W}$

Effacité 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).

Effacité :  $e_p = \frac{-Q_C}{W}$

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