

# MACHINES THERMIQUES CYCLIQUES

## Machine monotherme

Soit un **fluide (appelé agent thermique)** décrivant une succession de cycles, en échangeant du travail avec un système mécanique et de la chaleur avec une source de température  $T_0$ .

$W < 0$  si le fluide **donne** du travail au système mécanique  $Q < 0$  si le fluide **donne** de la chaleur à la source

$W > 0$  si le fluide **reçoit** du travail du système mécanique  $Q > 0$  si le fluide **reçoit** de la chaleur de la source



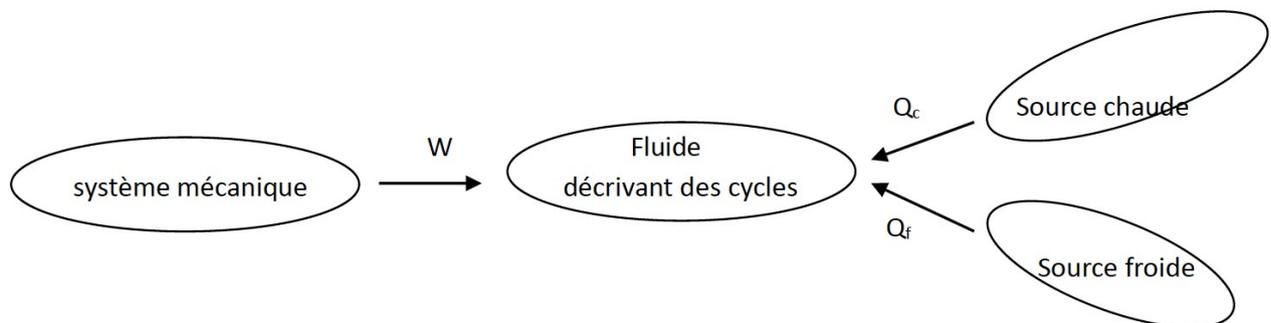
**1er principe :**

**2ème principe :**

Conclusion : **une machine monotherme .....**

## Machine ditherme

Soit un fluide décrivant une succession de cycles, en échangeant du travail avec un système mécanique et de la chaleur avec deux sources de température  $T_c$  (source chaude) et  $T_f$  (source froide).



Les signes de  $W$ ,  $Q_c$  et  $Q_f$  sont relatifs au fluide.

**1er principe**

**2ème principe**

$$\text{Efficacité ou rendement} = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie coûteuse}}$$

## 1. Le moteur thermique

Exemple : le moteur d'une voiture à essence ou diesel

### Fonctionnement :

Le moteur brûle du carburant, ce qui produit de la chaleur ( $Q_c$ ) grâce à une réaction chimique (combustion).

Une partie de cette chaleur est transformée en travail mécanique ( $W$ ) pour déplacer le véhicule.

Une autre partie de la chaleur est rejetée dans l'environnement ( $Q_f$ ) via les gaz d'échappement et le radiateur.

### Rendement :

Typiquement, un moteur thermique a un rendement d'environ 25 à 30 %. Cela signifie qu'environ 70 % de l'énergie du carburant est perdue sous forme de chaleur.

## 2. Le réfrigérateur

Exemple : votre réfrigérateur de cuisine

### Fonctionnement :

Le réfrigérateur extrait de la chaleur des aliments froids à l'intérieur ( $Q_f$ ) grâce à un fluide réfrigérant.

Ce fluide circule dans un circuit, compressé par un moteur. La chaleur est rejetée à l'extérieur ( $Q_c$ ) via la grille située à l'arrière.

Cela consomme une énergie ( $W$ ), fournie par l'électricité.

### Rendement (Coefficient de performance, COP) :

Le rendement ici est le COP, défini comme :  $COP = Q_f / W$

Typiquement, un réfrigérateur a un COP d'environ 3 à 4 : il "transporte" 3 à 4 fois plus de chaleur qu'il ne consomme d'électricité.

## 3. La climatisation

Exemple : une climatisation d'appartement en été

### Fonctionnement :

La clim capte la chaleur de l'air intérieur ( $Q_f$ ) pour la rejeter à l'extérieur ( $Q_c$ ).

Cela consomme un travail ( $W$ ), fourni par le compresseur.

### Rendement (COP) :

Comme pour le réfrigérateur, le COP est utilisé :  $COP = Q_f / W$

En mode climatisation, le COP est souvent compris entre 2,5 et 5.

## 4. La pompe à chaleur (PAC)

Exemple : Chauffage d'une maison en hiver

### Fonctionnement :

La PAC capte la chaleur de l'air extérieur (même s'il fait froid, l'air contient de la chaleur) ( $Q_f$ ) et la transfère à l'intérieur de la maison ( $Q_c$ ).

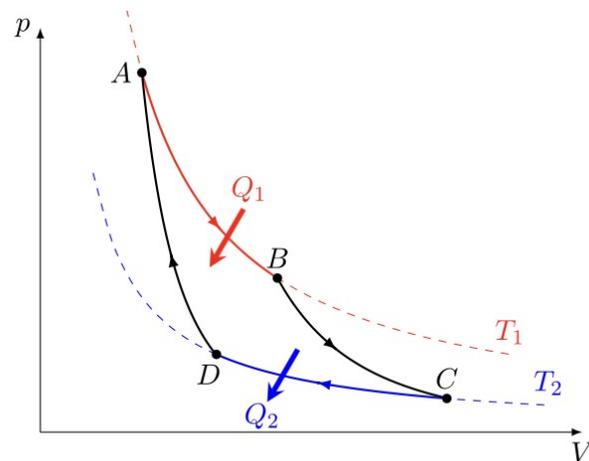
Cela consomme un travail ( $W$ ).

### Rendement (COP) :

En mode chauffage, le COP est défini comme :  $COP = Q_c/W$

Un COP de 3 signifie que pour 1 kWh d'électricité consommée, la PAC fournit 3 kWh de chaleur à la maison.

## 5. La machine thermique idéale : le moteur de Carnot



Cycle de Carnot

Exemple :

Supposons une machine thermique fonctionnant entre une source chaude à  $327\text{ °C}$  et une source froide à  $27\text{ °C}$ .

Calculer le rendement de Carnot :

•

## Tableau récapitulatif

	<b>moteur</b>	<b>climatiseur/ réfrigérateur</b>	<b>pompe à chaleur</b>
Source chaude			
Source froide			
Signe de $W$			
Signe de $Q_c$			
Signe de $Q_f$			
Énergie utile			
Énergie couteuse			
Efficacité ou rendement			
Efficacité ou rendement max (théorique)			

## Ordres de grandeur à connaître en thermodynamique

Thermodynamique	
★ Volumes molaires $v_{\text{mol}}$ ou massiques $v_m$ dans les conditions usuelles de pression et de température.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pour un gaz : <math>v_{\text{mol}} \sim 20 \text{ L/mol}</math>, <math>\rho \sim 1 \text{ kg/m}^3</math> (puis <math>v_m = 1/\rho</math>).</li> <li>– Pour un liquide ou un solide : <math>\rho</math> est <math>\sim 1000</math> à <math>10\,000</math> fois supérieur, et <math>v_{\text{mol}}</math> et <math>v_m \sim</math> d'autant de fois inférieurs</li> </ul> En particulier $\rho_{\text{eau}} \simeq 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Capacité thermique massique de l'eau liquide.	$c_{\text{eau}} = 4.2 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Enthalpies massiques de vaporisation	Eau : $h_{\text{vap}} \sim 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ( $2.3 \cdot 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ sous 1 bar) Réfrigérant typique : $h_{\text{vap}} \sim 10^2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
Viscosités de gaz et de liquides (dans le cadre des machines hydrauliques et thermiques, des lubrifiants, ...).	Gaz : $\sim 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ , eau : $\sim 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ , lubrifiant hydraulique : $\sim 0.1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$
Rendements des machines thermiques réelles actuelles.	0.3 à 0.4
Puissances thermique et mécanique mises en jeu pour différentes tailles de dispositifs.	Moteur de voiture : $\sim 100 \text{ kW}$ , de train : 1 MW. Turbine pour production électrique : 100 kW à 100 MW.
Conductivités thermiques dans le domaine de l'habitat.	(en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ) Métal : 100, béton et verre : 1, laine de verre ou air immobile : 0.01