

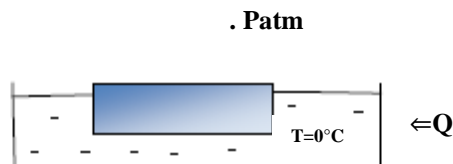
## Chapitre I

### Généralités Thermodynamiques

#### I.1. Source de chaleur :

C'est un milieu, un corps ou une enceinte qui peut recevoir ou céder de la chaleur à température constante, c'est-à-dire que la quantité de chaleur cédée ou reçue par le système n'a pas d'influence du point de vue thermique sur la source.

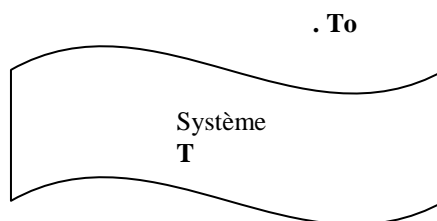
Exemple : milieu à changement de phase.



**Figure I.1** : Fusion de la glace à température constante.

#### I.2. Chaleur sensible :

Considérons un système à paroi perméable à la chaleur de température  $T$  placé dans une ambiance à température  $T_0$ , deux cas peuvent être envisagés :



**Figure I.2** : Délimitation du système thermodynamique.

a)-  $T > T_0$  la température du système diminue jusqu'à atteindre une température d'équilibre  $T_f$ , le système aura cédé une quantité de chaleur  $Q$  au milieu extérieur :  $Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$

b)-  $T < T_0$  dans ce cas c'est le système qui reçoit une quantité de chaleur  $Q$  du milieu extérieur et voit donc sa température s'élever jusqu'à la température d'équilibre  $T_f$ .

On remarque que dans les deux cas la notion de chaleur est liée directement à la différence de température qui existe entre le système et le milieu extérieur.

Rappels-Unités :

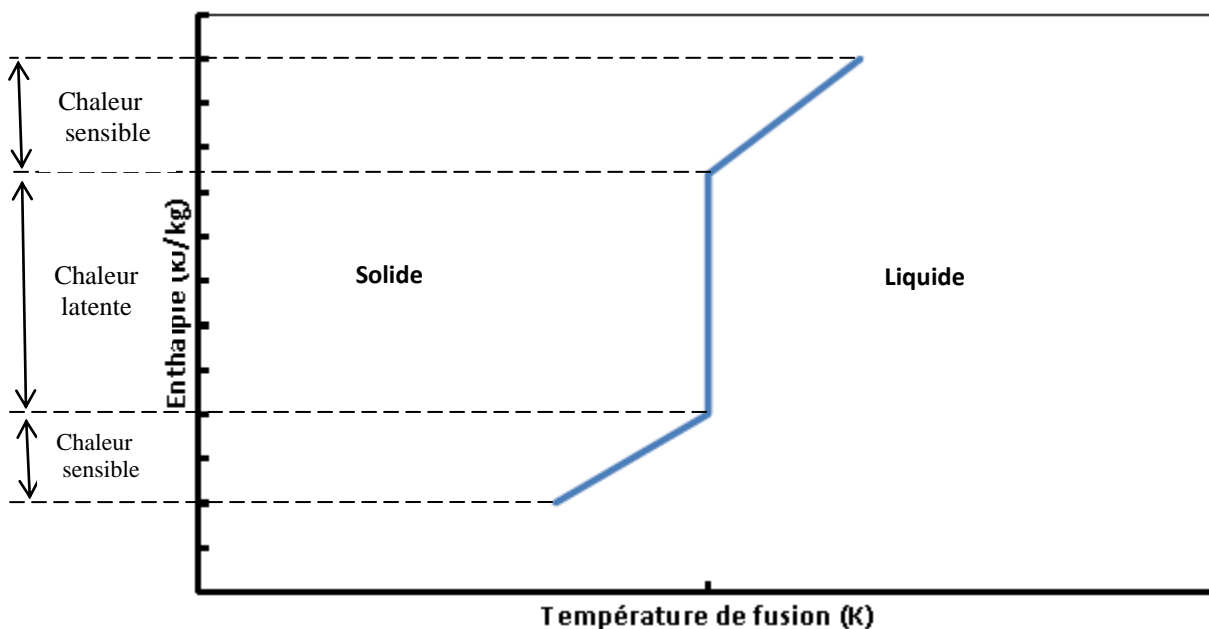
$$1 \text{ cal}=4.1855 \text{ J}, \quad 1 \text{ Kcal}=103 \text{ cal}, \quad \text{thermie}=106 \text{ cal}, \quad 1 \text{ kWh}=\frac{3600}{4.1855} = 860 \text{ kcal}$$

### I.3. Chaleur latente :

Un système peut recevoir ou céder de la chaleur sans subir, en même temps, une variation de température, il en est ainsi lorsque le système est constitué par un corps qui subit certaines modifications physiques ou chimiques et, dans ces cas, on dit que le système reçoit ou cède de la chaleur latente.

Exemple :

Ainsi lorsqu'on fournit de la chaleur à de la glace, celle-ci se transforme en eau liquide, sa température restant constante pendant toute la durée de cette opération. La chaleur reçue par la glace est la chaleur latente de fusion désignée par  $L_f$ . L'opération inverse qui est la congélation, (ou la solidification), dégage une quantité de chaleur égale, en valeur absolue, à  $L_f$ .



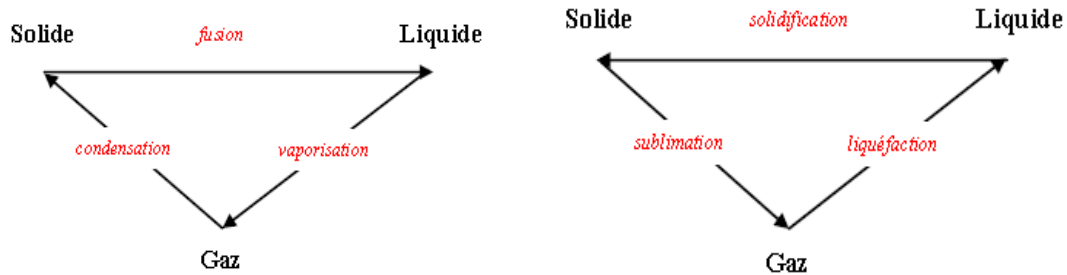


Figure I.3 : Changements de phases.

#### I.4. Premier principe de la thermodynamique :

Historiquement, la première formulation du premier principe a été faite par von Mayer en 1845 qui a énoncé que : *L' énergie totale d'un système fermé est une grandeur conservative.*

Les énoncés "modernes" du premier principe diffèrent peu de l'énoncé de von Mayer. On exprimera le premier principe de la thermodynamique (valable aussi bien pour les transformations réversibles que pour les transformations irréversibles) pour un système fermé comme suit : *La variation d'énergie d'un système est égale à l'énergie qu'il a reçu*

L'énergie interne  $U$  est une fonction d'état, au contraire de  $W$  et de  $Q$  qui dépendent des états initial et final, mais également de la transformation.

Expression du premier principe pour *un système fermé* :

$$W + Q = \Delta U + \Delta Ec + \Delta Ep$$

$$\text{Avec } W = - \int_1^2 P dV : \text{travail de force de pression.}$$

Expression du premier principe pour *un système ouvert* :

$$W + Q = (\Delta H + \Delta Ec + \Delta Ep) \text{ en Joule /kg}$$

$$\text{Avec } W = - \int_1^2 V dP : \text{travail technique.}$$

$$\dot{W} + \dot{Q} = \dot{m}(\Delta H + \Delta Ec + \Delta Ep) \text{ en J/s ou Watt}$$

#### I.5. Deuxième principe de la thermodynamique :

Le deuxième principe de la thermodynamique traduit l'effet du facteur de désordre pour une transformation spontanée. Ce principe affirme que tout système est caractérisé par une fonction d'état extensive appelé entropie et notée  $S$ . lors d'une transformation la variation d'entropie d'un

système est la somme de l'entropie créée dans le système et l'entropie échangée entre ce système et le milieu extérieur :

$$\Delta S = \Delta S_{\text{échangée}} + \Delta S_{\text{créée}}$$

$$\Delta S_{\text{échangée}} = \frac{Q_{\text{échangée}}}{T} ;$$

$Q_{\text{échangée}}$  : Quantité de chaleur échangée par le système avec le milieu extérieur à la température  $T$ .

$$\Delta S_{\text{créée}} = \frac{Q_{\text{créée}}}{T} ;$$

- Entropie créée est toujours positive pour une transformation irréversible  $\Delta S_{\text{créée}}^{\text{irréversible}} > 0$

- Entropie créée est nulle pour une transformation réversible  $\Delta S_{\text{créée}}^{\text{réversible}} = 0$

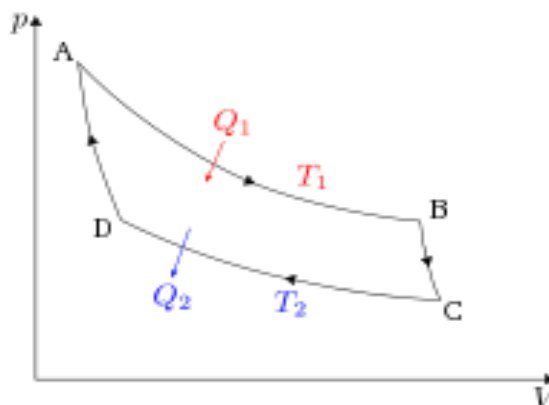
## I.6. Cycle de Carnot :

Un gaz parcourt le cycle idéal de Carnot : lorsqu'il n'échange de la chaleur qu'avec deux sources de chaleur et que toutes les transformations sont réversibles.

### Exemple :

Soit un gaz parfait parcourant un tel cycle il est en contact avec une source chaude suivant une isotherme (AB) à  $T_1$ , avec la source froide suivant (CD) isotherme à  $T_2$ .

AD et BC sont nécessairement adiabatiques puisque l'échange thermique ne se fait qu'avec deux sources de chaleur.



**Figure I.4 :** Cycle idéale de Carnot.

$$Q_1 = mrT_1 \ln \frac{p_A}{p_B}$$

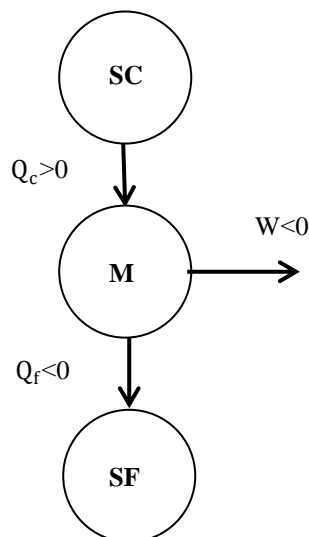
$$Q_2 = mrT_2 \ln \frac{p_C}{p_D}$$

Transformation adiabatique :

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} = \frac{p_D}{p_A} = \frac{p_C}{p_B} \Rightarrow \ln \frac{p_A}{p_B} = -\ln \frac{p_C}{p_D} \Rightarrow \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0$$

### Rendement de la machine idéale de Carnot :

Toutes les machines fonctionnant entre deux sources de chaleur (cycle de Carnot), avec des températures  $T_c > T_f$ , ont le même rendement :



**Figure I.5 :** Représentation schématique de la machine de Carnot.

SC : source chaude,

SF : source froide,

M : Moteur thermique.

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_c} = \frac{-w}{Q_c}$$

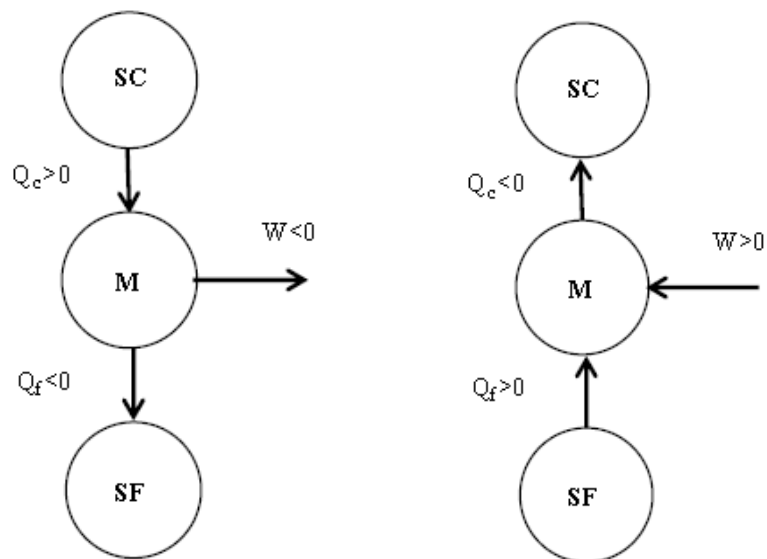
$$\begin{cases} w + Q_c + Q_f = 0 \\ \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} = 0 \end{cases}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_c} = \frac{-w}{Q_c} = \frac{Q_c + Q_f}{Q_c} = 1 + \frac{Q_f}{Q_c} = 1 - \frac{T_f}{T_c}$$

Les machines irréversibles entre ces mêmes sources ont un rendement inférieur à celui des machines réversibles :

$$\frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} < 0 \Rightarrow \frac{Q_f}{Q_c} < -\frac{T_f}{T_c} \Rightarrow 1 - \frac{Q_f}{Q_c} = \eta' < 1 - \frac{T_f}{T_c} = \eta \Rightarrow \eta'_{irreversible} < \eta_{reversible}$$

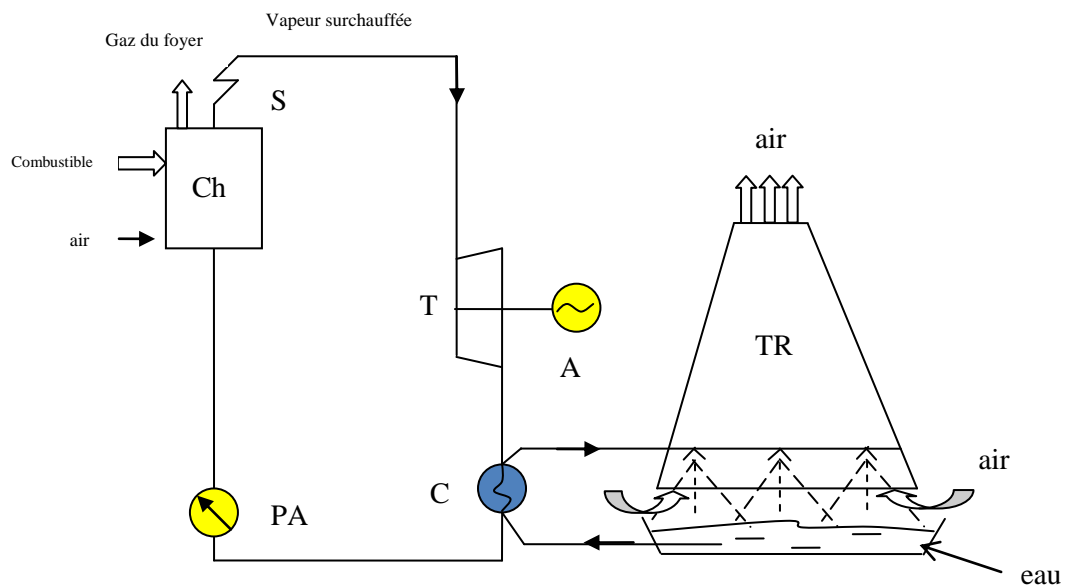
### I.7. Différentes machines thermiques :



(a) Moteur thermique.

(b) Machine frigorifique ou pompe à chaleur.

**Figure I.6 :** Schémas des machines thermiques.

**I.8. Schéma de principe d'une centrale thermique à vapeur:****Figure I.7 :** Centrale thermique.

S : Surchauffeur, TR : Tour réfrigérante, Ch : Chaudière, PA : pompe d'alimentation, T : Turbine, C : Condenseur, A : Electro Générateur (alternateur).