

Chapitre II : Thermométrie – Chaleur - Calorimétrie – Travail de force de pression

II.1 : Thermométrie.

La thermométrie est une branche de la physique qui a pour objet la mesure des températures.

II.1.1 : Température.

La température est une grandeur intensive repérable et mesurable. Elle caractérise l'état d'un corps (froid – chaud), donc le degré d'agitation des particules. Plus la température est élevée plus l'énergie cinétique des particules est élevée.

II.1.1.2 : Echelle de température

Pour fixer une échelle de température sur un thermomètre, on choisit 02 températures que l'on peut obtenir facilement (la température d'ébullition et de congélation de l'eau).

Ces deux températures constituent les points fixes supérieur et inférieur. L'intervalle entre ces deux points fixes est divisé en un nombre de parties égales appelé degré.

a : Echelle centigrade ou Celsius.

(Inventée par le physicien suédois Anders Celsius en 1742)

On adopte les valeurs

- $t = 0$ lorsque le thermomètre est placé dans la glace fondante sous la pression atmosphérique ambiante.
- $t = 100$ lorsque le thermomètre est placé dans l'eau bouillante sous la pression atmosphérique ambiante.

$$[t] = ^\circ\text{C} \text{ (degré Celsius ou centigrade)}$$

b : Echelle Fahrenheit. $[\theta_{\circ F}] = ^\circ\text{F}$ (degré fahrenheit)

Proposée par le physicien allemand Daniel Gabriel Fahrenheit en 1724

Utilisée dans les pays anglo-saxons.

La température de la glace fondante correspond à 32°F , celle de l'eau bouillante à 212°F .

$$[\theta_{\circ F}] = \frac{9}{5} t(^{\circ}\text{C}) + 32 = 1,8 t(^{\circ}\text{C}) + 32$$

c : Echelle absolue ou kelvin (T)

L'expérience a montré qu'il y a une limite à la notion du froid. A la température $- 273\text{ }^{\circ}\text{C}$, et à l'échelle microscopique, les particules ne possèdent plus d'énergie thermique (pas d'agitation moléculaires) et on ne peut pas descendre en dessous de cette température qui est appelée zéro absolu (0°K)

$$0^{\circ}\text{K} = 273,15^{\circ} \quad T (^{\circ}\text{K}) = t (^{\circ}\text{C}) + 273,15$$

Point de fusion de la glace $273,15^{\circ}\text{K}$ ou 0°C

Point d'ébullition de l'eau $373,15^{\circ}\text{K}$ ou 100°C

II.1.2 : Thermomètre et grandeurs thermométriquesII.1.2.1 Thermomètre.

Un thermomètre est un appareil destiné à mesurer et à afficher la valeur de la température notamment au moyen de la dilatation ou de la contraction d'une substance (généralement liquide ou gazeuse) dans un tube gradué. Pour cela, nous le mettons en équilibre avec les corps dont nous voulons connaître la température.

II.1.2.2 Grandeurs thermométriques.

Ce sont les variations d'une grandeur physique en fonction de la température qui permettent l'usage des thermomètres. De telles grandeurs s'appellent des grandeurs thermométriques.

- Exemple :*
- Longueur d'une tige.
 - Volume d'un liquide.
 - Résistance électrique d'un fil.

II.1.3 Relation thermométriques dans l'échelle centésimale.

*Consiste à exprimer la température centésimale (**t**) en fonction de la grandeur thermométrique (**x**).*

*Par commodité, on a adopté une loi linéaire comme relation entre la température (**t**) et la grandeur thermométrique (**x**)*

$$t = a x + b$$

t = 0 (thermomètre plongé dans la glace fondante à $p = 1\text{ atm}$)

t = 100 (thermomètre plongé dans l'eau bouillante à $p = 1\text{ atm}$)

Soient : x_0 et x_{100} les valeurs des variables thermométriques respectivement aux températures $t=0^\circ\text{C}$ et $t = 100^\circ\text{C}$

Ce qui donne d'après la loi linéaire $t = ax + b$:

$$0 = a x_0 + b \dots\dots\dots(1)$$

$$100 = a x_{100} + b \dots\dots\dots(2)$$

$$(2) - (1) \text{ donne : } 100 - 0 = a (x_{100} - x_0) \text{ ou } a = \frac{100}{x_{100} - x_0}$$

$$b = - a x_0 = - \frac{100 x_0}{x_{100} - x_0} \quad b = - \frac{100 x_0}{x_{100} - x_0}$$

ce qui permet d'écrire en remplaçant a et b dans l'équation $t = ax + b$

$$t(x) = \frac{100 x}{x_{100} - x_0} - 100 \frac{x_0}{x_{100} - x_0} = \frac{100 x - 100 x_0}{x_{100} - x_0} = 100 \frac{(x - x_0)}{x_{100} - x_0}$$

$$t(x) = 100 \frac{(x - x_0)}{x_{100} - x_0}$$

Remarque :

Dans certains ouvrages la grandeur thermométrique peut être notée par le symbole θ

$$t(\theta) = 100 \frac{(\theta - \theta_0)}{\theta_{100} - \theta_0}$$

II.2 : Quantité de chaleur.

A l'échelle microscopique, la chaleur consiste en mouvement désordonné des molécules, d'atomes ou ions, appelé agitation thermique. Elle correspond à la somme des énergies cinétiques liées à l'agitation (translation, rotation, vibration) des particules du système

II.2.1 : Chaleur sensible : (chaleur échangée sans changement d'état du système)

C'est la chaleur qui est consommée ou produite par un système lorsque sa température varie.

$$\text{A pression constante, } Q = mC_p \Delta T. = n C_p \Delta T$$

Avec :

m : masse du corps en kg

C_p : Chaleur massique du corps en $\text{J/kg}^\circ\text{K}$

n : nombre de moles du corps

$\mathcal{C}_p$: Chaleur molaire du corps en $\text{J/mol}^\circ\text{K}$

La chaleur massique notée **C_p** , c'est la quantité d'énergie à fournir pour élever d'un (1) kelvin la température de **l'unité de masse** d'une substance.

La chaleur molaire notée **$\mathcal{C}_p$** , c'est la quantité d'énergie à apporter par échange thermique pour élever d'un (1) kelvin la température **d'une mole** d'une substance.

Exemple : chauffage de 20°C à 80°C de $m = 2 \text{ kg}$ d'eau à pression constante.

$$Q = 2 \cdot 10^3 * 4,185(80 - 20) = 502,2 \text{ kJ} = 120 \text{ kcal}$$

II.2.2 - Chaleur latente : (Lors d'un changement d'état physique d'un corps).

$$Q = m L = n \mathcal{L}$$

Avec : L : Chaleur latente massique en J/kg

$\mathcal{L}$: Chaleur latente molaire en J/mol

Etat de la matière.

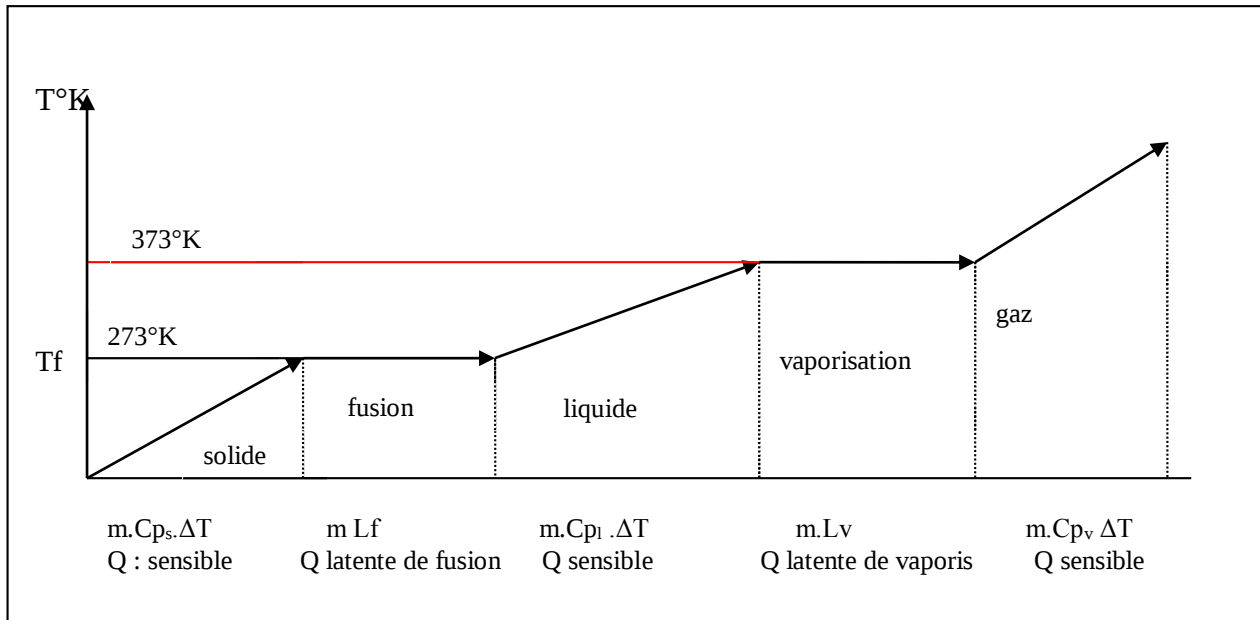
La matière peut être **solide**, **liquide** ou **gazeuse**. Le changement d'état physique d'un corps se fait toujours à la température constante et à pression constante. On passe d'un état physique à un autre état par échange de chaleur appelée **chaleur latente**, donc, la chaleur latente C'est une chaleur qui est consommée ou produite par un système qui change de phase. Sa température reste constante.

Exemple : fusion de la glace. $L_f = 80 \text{ cal/g} = 330 \text{ kJ/kg}$ pour l'eau.

L_f : chaleur latente de fusion

Vaporisation de l'eau. $L_v = 2256 \text{ kJ/kg} = 539 \text{ kcal/kg}$

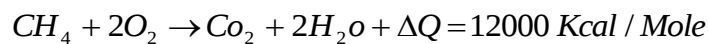
L_v : chaleur latente de vaporisation



II.2.3 -Chaleur de réaction :

Cette chaleur est analogue à la chaleur latente puisque c'est la quantité de chaleur consommée ou produite par un système au cours d'une réaction chimique.

Exemple :



Voir chapitre : réactions chimiques

II.3 : Calorimétrie.

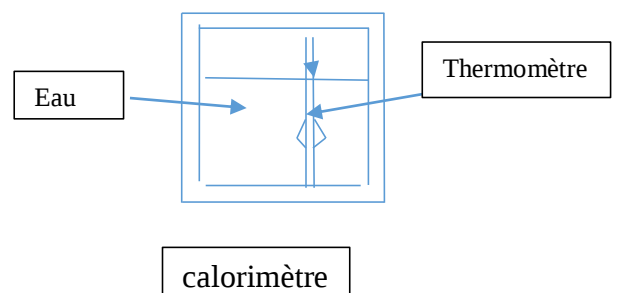
II.3.1 : Objet :

La **calorimétrie** est la partie de la thermodynamique qui a pour objet la mesure des quantités de chaleur. On utilise pour cela un calorimètre.

II.3.2 Calorimétre.

Un calorimètre est un système thermodynamique isolé qui n'échange aucune énergie avec le milieu extérieur (ni travail $W = 0$, ni chaleur $Q = 0$), cela implique que la somme des chaleurs échangées Q_i au sein du calorimètre est nulle:

$$\sum Q_i = 0.$$



II. 3.3 Valeur en eau d'un calorimètre.

En calorimétrie, la valeur en eau (ou équivalent en eau) d'un corps est la masse d'eau fictive μ qui a la même capacité thermique que le corps.

Soit : - C_m : capacité thermique du corps exprimé en $J/^\circ K$
 - C_{eau} : chaleur massique de l'eau ; soit $4185 J/kg^\circ K$

Alors la valeur en eau est donnée par : $\mu C_{eau} = C_m \Rightarrow \boxed{\mu = \frac{C_m}{C_{eau}}}$

Exemple :

Un calorimètre adiabatique contient 1 l d'eau à $15^\circ C$. On verse dans ce calorimètre un autre litre d'eau à $60^\circ C$. La température finale est de $35^\circ C$. Calculer la valeur en eau du calorimètre.

Solution :

$$(\mu c + m_1 c_1)(t_f - t_1) + m_2 c_2 (t_f - t_2) = 0$$

$$m_1 = m_2 = m$$

$$c_1 = c_2 = c = 4,185 \text{ J/g}^\circ C \text{ (même liquide } H_2O)$$

$$(\mu c + mc)(t_f - t_1) + m c (t_f - t_2) = 0$$

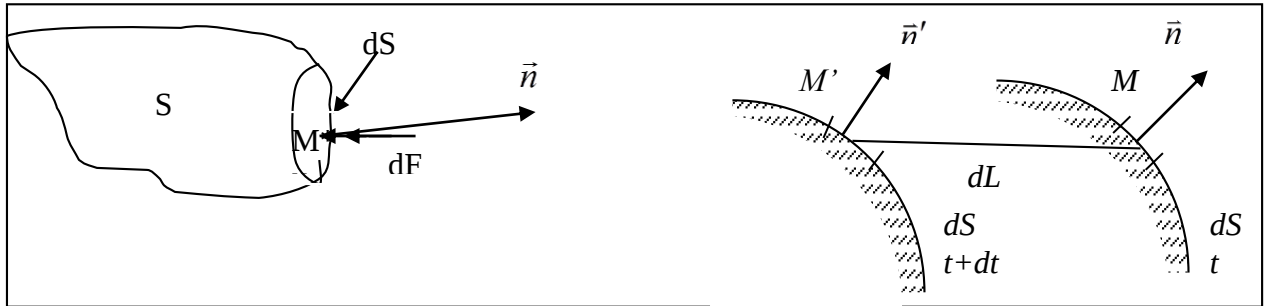
$$\mu (t_f - t_1) = m (t_2 - t_f) - m(t_f - t_1)$$

$$\mu = m \frac{t_2 - t_f}{t_f - t_1} - m = \rho v \left[\frac{t_2 - t_f}{t_f - t_1} - 1 \right]$$

$$AN : \quad \mu = 250 \text{ g}$$

II.4 : Travail de forces de pression :II.4.1 : Travail élémentaire

Soit un système matériel S et soit un élément de surface dS de ce système auquel est exercée une force élémentaire $d\vec{f}$ en un point M de cet élément de surface en un instant t .



Cette force élémentaire $d\vec{f}$ est donnée par $d\vec{f} = -p_e \cdot dS \cdot \vec{n}$

- p_e : Pression qu'exerce M_E sur S .

+ p_e : Pression qu'exerce S sur M_E .

A l'instant $t+dt$, le point M passe de M à M' (dL). Or par définition, le travail c'est le produit d'une force par un déplacement, d'où le travail élémentaire sera :

$$\delta W_p = d\vec{F} \cdot d\vec{L}$$

En remplaçons $d\vec{F}$ par sa valeur, on obtient :

$$\delta W_p = -p_e \cdot dS \cdot dL = -p_e \cdot dv \Leftrightarrow \boxed{\delta W_p = -p_e \cdot dv.}$$

- Si $dv > 0$ (détente) $\Rightarrow \delta W_p < 0$
- Si $dv < 0$ (compression) $\Rightarrow \delta W_p > 0$

II.4.2 : Travail total

Au cours d'une transformation d'un état (1) à un état (2) le

travail total sera
$$W_p = \int_1^2 \delta W_p = - \int_1^2 P_e \cdot dv.$$

Représentation graphique du travail de forces de pression dans le diagramme de CLAPYRON (P, V):

Au cours d'une transformation d'un état $M_1 (p_1, v_1)$ à un état $M_2 (p_2, v_2)$, le travail de forces de pression peut être représenté dans le diagramme de CLAPYRON (P, V) comme suit :

a- Cas d'une détente :

$$w_p = - \int_1^2 p \cdot dv. \quad dv > 0 \Rightarrow (W_p)_d < 0$$

$(w_p)_d$ correspond à $-l'$ aire $(V_1 M_1 M_2 V_2) = -A$

b- Cas de la compression :

$$w_p = - \int_1^2 p \cdot dv. \quad dv < 0 \Rightarrow (W_p)_c > 0.$$

$(w_p)_c$ correspond à $+l'$ aire $(V_1 M_1 M_2 V_2) = +A$

c- Cas d'un cycle :

Deux cas se présentent : cycle moteur et cycle générateur.

- Cycle moteur :

$W_\alpha < 0 \equiv -L'$ aire $(V_1 M_1 \alpha M_2 V_2)$ détente.

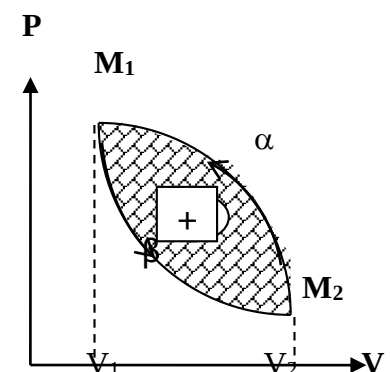
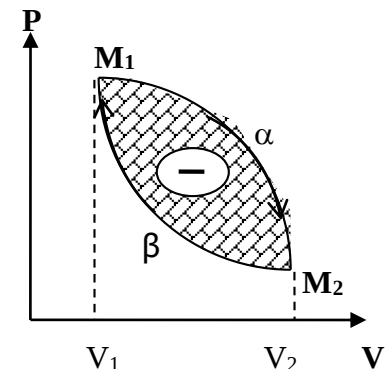
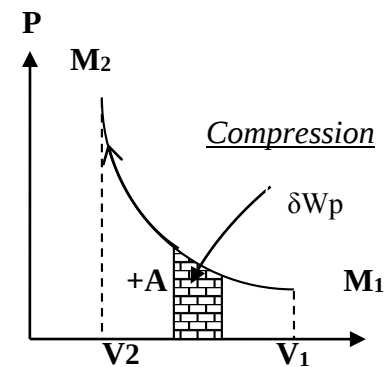
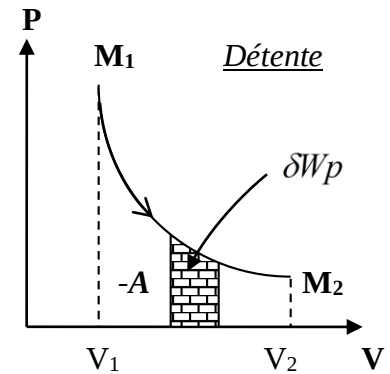
$W_\beta > 0 \equiv +L'$ aire $(V_2 M_2 \beta M_1 V_1)$ compression.

Or $W_\alpha > W_\beta$

$$(Cycle)_{moteur} = W_- \alpha + W_+ \beta \Rightarrow W(cycle)_{Mot} < 0.$$

$(Cycle)_{moteur}$ correspond à l'aire $(M_1 \alpha M_2 \beta)$.

- Cycle générateur :



$W_{\beta} < 0 \equiv -L'aire (V_1 M_1 \beta M_2 V_2)$ détente.

$W_{\alpha} > 0 \equiv +L'aire (V_2 M_2 \alpha M_1 V_1)$ compression.

Avec $W_{\beta} > W_{\alpha}$

$$(Cycle)_{gen} = W_{-} \alpha + W_{+} \beta \Rightarrow W(cycle)_{gen} > 0 .$$

$(Cycle)_{gen}$ correspond à l'aire $(M_1 \alpha M_2 \beta M_1)$.

Conclusion :

Le travail de forces de pression échangé entre M_E et S peut être représenté dans le diagramme de CLAPYRON (P, V) par l'aire du cycle..

- Affecté du signe (+) si le sens du cycle est décrit dans le sens trigonométrique.
- Affecté du signe (-) si le sens du cycle est décrit dans le sens d'une aiguille d'une montre.

Fin du chapitre