



## I. Introduction

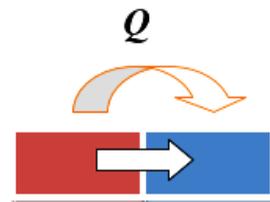
La calorimétrie est la partie de la physique où l'on mesure les quantités de chaleur perdues ou gagnées par un corps. La quantité de chaleur est souvent notée  $Q$

## II. Transfert d'énergie thermique :

### 1) Notion de transfert thermique :

deux systèmes  $S_1$  et  $S_2$  en présence, l'un ayant une température  $\theta_1$  plus élevée que  $\theta_2$  celle de l'autre et donc plus chaud que l'autre et chacun de ces systèmes subit une transformation, car sa température varie, il y a donc un échange chaleur entre les deux systèmes.

Le système  $S_1$  a donc cédé de la chaleur et le système  $S_2$  a reçu de la chaleur.



on dit qu'il y'a transfert d'énergie entre les deux corps, il s'agit ici d'un transfert d'énergie thermique noté  $Q$  qui s'exprime en joule.

### 2) Notion d'équilibre thermique :

Si deux systèmes mis en présence n'échangent pas de chaleur, on dit qu'ils sont en équilibre,  $\Sigma Q_i = 0$  dans ce cas :  $Q_1 + Q_2 = 0$

$S_1$  $S_2$	$S_1$  $S_2$
<p>Les deux systèmes ne sont pas en équilibre thermique <math>\theta_1 \neq \theta_2</math>; il y a échange de chaleur</p>	<p>Les deux systèmes sont en équilibre thermique <math>\theta_1 = \theta_2</math>; il n'y pas d'échange de chaleur.</p>

### Remarque :

Pour un système (corps chaud + corps froid) dans une enceinte quasi -adiabatique. le bilan énergétique du système à l'état final :  $\Delta E = \Delta E_m + \Delta U$

- Le système n'échange pas de l'énergie avec le milieu extérieur, donc  $\Delta E = 0$
- Il n'y a pas d'échange d'énergie mécanique, il y a seulement un transfert thermique entre corps chaud et corps froid, donc  $\Delta E_m = 0$ .

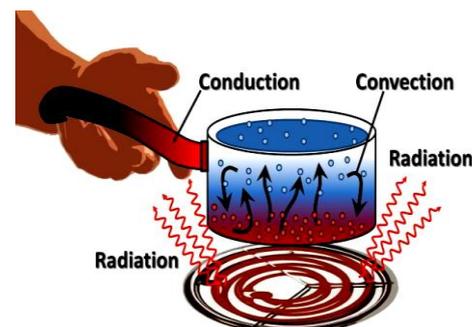
Donc le bilan énergétique :  $\Delta U = 0$  et d'après le premier principe de la thermodynamique : on a  $Q + Q' + W = 0$   
et puisque  $W = 0$  alors on a :  $Q + Q' = 0$

### 3) Les différents modes de transferts de chaleur :

on peut admettre que la chaleur (ou l'énergie thermique) ne peut passer que d'un corps qui est chaud vers un corps à température plus basse.

Il existe trois mécanismes de transfert de chaleur :

- **Le rayonnement** : transport d'énergie sans support matériel
- **La conduction** : contact à travers la matière (solide). Les métaux sont, par exemple, de bons conducteurs.
- **La convection** : la chaleur va se propager à travers des



molécules qui se déplacent (fluide)

Dans cette situation de la vie quotidienne, les trois modes de transport de l'énergie sont illustrés :

- la chaleur (énergie thermique) voyage au sein du liquide par des mouvements de convection,
- la casserole est chauffée à l'aide des rayonnements par la plaque .
- le manche métallique est un bon conducteur de chaleur vers la main.

### III. Mesure de la quantité de chaleur :

#### 1) Définition de la quantité de chaleur ( l'énergie thermique) :

- L'énergie thermique Q, est l'énergie échangée sous forme de chaleur, elle peut faire varier la température d'un corps ou provoquer son changement d'état physique.
- La chaleur, c'est la quantité d'énergie transférée d'un corps "chaud"  $\theta_1$  vers un corps froid.  $\theta_2 < \theta_1$
- La quantité de chaleur Q ( joules ) qu'il faut apporter à un corps de masse m ( kg ) pour faire passer sa température de  $\theta_1$  à  $\theta_2$  ( °C ) est donnée par la formule :

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = m \cdot c (\theta_f - \theta_i) \left\{ \begin{array}{l} Q: \text{ est la chaleur ou l'énergie reçue par la substance} \\ \text{chauffée ou refroidie [J].} \\ m: \text{ masse du corps exprimée dans (SI) en Kg} \\ \Delta\theta = \Delta T: \text{ variation de température exprimée dans (SI)} \\ \text{en } ^\circ\text{C (ou en K)} \\ c : \text{ est la chaleur massique du corps ( J / kg } \cdot ^\circ\text{C).} \end{array} \right.$$

Une telle formule, appelée formule de calorimétrie.

#### 2) Chaleur massique ou capacité calorifique massique:

*La chaleur massique c d'un corps (ou la capacité calorifique massique) représente la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1°C la température de 1 kg de ce corps (sans changement d'état physique de ce corps) :*  $c = \frac{Q}{m\Delta\theta} = \frac{Q}{m\Delta T}$

. Elle se mesure en  $J \cdot Kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$  dans le SI.

**Remarque :** L'unité légale d'énergie thermique et de chaleur est le joule (J).

Autres unités : la calorie (cal), 1 cal = 4,1868 J

#### Exemples

Corps	c (J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	Corps	c (J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
eau	4,1855.10 <sup>3</sup>	Aluminium	0,92.10 <sup>3</sup>
glace	2,1.10 <sup>3</sup>	Fer	0,75.10 <sup>3</sup>
eau vapeur	1,9.10 <sup>3</sup>	Air	1.10 <sup>3</sup>

#### Exercice d'application 1:

Quelle quantité de chaleur faut-il fournir à un vase métallique pesant 190 g pour élever sa température de 21 °C à 41 °C ? Dans l'intervalle considéré, la chaleur massique du métal est 380 J.kg<sup>-1</sup> .K<sup>-1</sup> .

### 3) La Capacité thermique :

La capacité thermique notée  $\mu$  ou  $C$  (en majuscule), d'un matériau correspond à l'énergie qu'il faut lui apporter pour augmenter sa température  $1^\circ\text{C}$ . La capacité thermique, traduit l'aptitude d'un matériau à absorber une quantité de chaleur  $Q$  et à s'échauffer (élévation de sa température) de  $\Delta T$  :

$$C = \mu = mc = \frac{Q}{\Delta T} \Rightarrow Q = \mu\Delta\theta = \mu\Delta T$$

Exprimée en (SI) par  $\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$  ou  $\text{J} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$

#### Exercice d'application 2 : Bain à $37^\circ\text{C}$ :

On désire obtenir un bain d'eau tiède à la température  $\theta = 37^\circ\text{C}$ , d'un volume total  $V = 250$  litres, en mélangeant un volume  $V_1$  d'eau chaude à la température initiale  $\theta_1 = 70^\circ\text{C}$  et un volume  $V_2$  d'eau froide à la température initiale  $\theta_2 = 15^\circ\text{C}$ .

Déterminer  $V_1$  et  $V_2$  en supposant négligeables toutes les fuites thermiques lors du mélange.

**Données:** Chaleur massique de l'eau :  $c_e = 4185 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  ;

Masse volumique de l'eau :  $\rho_e = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

## IV. Mesures calorimétriques :

### 1- Principe du calorimètre adiabatique :

Pour mesurer des quantités de chaleur, on utilise des calorimètres. C'est une enceinte

*quasi-adiabatique* car elle permet de limiter les pertes de chaleur de l'intérieur du calorimètre vers l'extérieur (pas d'échange de chaleur entre le milieu extérieur du calorimètre et le contenu de son intérieur).



### 2- Détermination de la capacité thermique $\mu_c$ d'un calorimètre

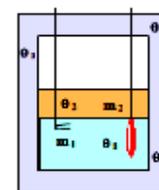
#### a- Manipulation :

Dans un calorimètre contenant une masse  $m_1 = 300\text{g}$  d'eau froide à la température  $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$ , on verse rapidement une quantité d'eau chaude de masse  $m_2 = 400\text{g}$  et de température  $\theta_2 = 61^\circ\text{C}$  et la température d'équilibre thermique du mélange se stabilise à la valeur

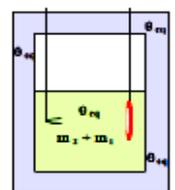
$$\theta_f = 42^\circ\text{C}.$$

#### Données :

la capacité thermique massique de l'eau  $c_e = 4180 \text{ J} / \text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$ .



Etat initial



Etat d'équilibre

#### b- Exploitation :

Question : Déterminer la capacité thermique  $\mu_c$  du calorimètre.

- L'eau froide a reçue l'énergie thermique  $Q_1 = m_1 \cdot c_1 (\theta_f - \theta_1)$
- L'eau chaude a perdue l'énergie thermique  $Q_2 = m_2 \cdot c_2 (\theta_f - \theta_2)$
- Le calorimètre a reçue l'énergie thermique  $Q_3 = \mu_c (\theta_f - \theta_1)$

Puisque le calorimètre est une enceinte adiabatique alors :  $\Sigma Q_i = 0$

$$\Rightarrow Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$$

$$\Rightarrow m_1 \cdot c_1 (\theta_f - \theta_1) + m_2 \cdot c_2 (\theta_f - \theta_2) + \mu_c (\theta_f - \theta_1) = 0$$

$$\Rightarrow \mu_c = \frac{m_1 \cdot c_1 (\theta_f - \theta_1) + m_2 \cdot c_2 (\theta_f - \theta_2)}{(\theta_1 - \theta_f)}$$

$$AN: \mu_c = \frac{300 \cdot 10^{-3} \cdot 4180 (42 - 20) + 400 \cdot 10^{-3} \cdot 4180 (42 - 65)}{(20 - 42)} J \cdot K^{-1}$$

$$\Rightarrow \mu_c = 190 J/K$$

**Exercice d'application 3:** Détermination de la capacité thermique d'un calorimètre:

Un calorimètre contient une masse  $m_1 = 250\text{mL}$  d'eau. La température initiale de l'ensemble est  $\theta_1 = 18^\circ\text{C}$ . On ajoute une masse  $m_2 = 300\text{mL}$  d'eau à la température  $\theta_2 = 80^\circ\text{C}$ .

- 1) Quelle serait la température d'équilibre thermique  $\theta_e$  de l'ensemble si la capacité thermique du
- 2) calorimètre et de ses accessoires était négligeable ?
- 3) On mesure en fait une température d'équilibre thermique  $\theta_{eq} = 50^\circ\text{C}$ .

Déterminer la capacité thermique  $\mu_c$  du calorimètre et de ses accessoires.

**Données:** Chaleur massique de l'eau :  $c_e = 4185 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Masse volumique de l'eau :  $\rho_e = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

**3- Détermination de la capacité thermique massique d'un corps :**

**a- Manipulation :**

Un calorimètre de capacité thermique  $\mu_c = 190 \text{ J/K}$  contient une masse  $m_1 = 200\text{g}$  d'eau à la température

$\theta_1 = 20^\circ\text{C}$  de façon que l'ensemble (calorimètre - eau) soit en équilibre thermique (figure a).

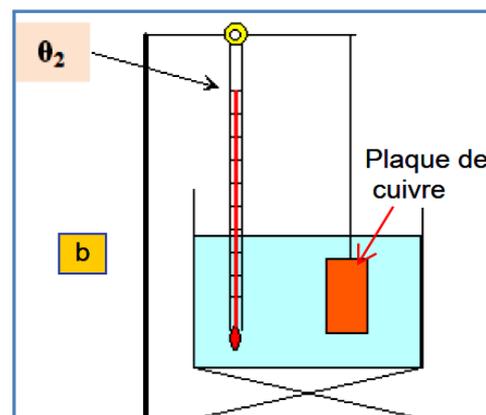
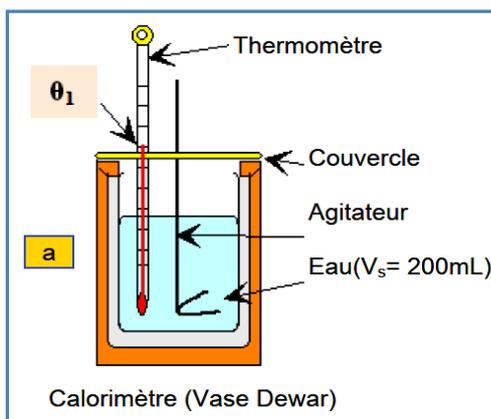
On fait entrer rapidement dans le calorimètre une plaque de cuivre de masse  $m_{cu} = 50\text{g}$  et de température

$\theta_2 = 70^\circ\text{C}$  après l'avoir chauffé dans four. la température d'équilibre thermique du mélange se stabilise à la valeur  $\theta = 20,9^\circ\text{C}$  (figure b).

Données :  $c_e = 4180 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ .

**b- Exploitation :**

Question : Déterminer la capacité thermique massique du cuivre.



- Le système froid  $S_1$ : {calorimètre + eau froide}.

Ce système  $S_1$  va capter une quantité de chaleur  $Q_1 > 0$ .

Quantité de chaleur captée par l'eau froide:  $Q_1 = (\mu_c + m_1 \cdot c_e) \cdot (\theta_f - \theta_1)$ .

- Système 2 chaud  $S_2$  : {eau chaude}

Ce système  $S_2$  : {plaque de cuivre} va perdre une quantité de chaleur  $Q_2 < 0$ .

Quantité de chaleur cédée par l'eau chaude:  $Q_2 = m_2 \cdot c_{Cu} \cdot (\theta_f - \theta_2)$ .

Or le calorimètre est une enceinte adiabatique (pas d'échange d'énergie thermique avec le milieu extérieur), la relation calorimétrique s'écrit :  $Q_1 + Q_2 = 0$

$$(\mu_c + m_1 \cdot c_e) \times (\theta_f - \theta_1) + m_2 \cdot c_{Cu} \times (\theta_f - \theta_2) = 0$$

$$\Rightarrow c_{Cu} = -\frac{(\mu_c + m_1 \cdot c_e) \times (\theta_f - \theta_1)}{m_2 \times (\theta_f - \theta_2)}$$

$$AN: c_{Cu} = -\frac{(190 + 200 \cdot 10^{-3} \times 4180) \times (20,9 - 20)}{50 \cdot 10^{-3} \times (20,9 - 70)} = 376 \text{ J} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

**Exercice d'application4:** Chaleur massique du plomb:

On sort un bloc de plomb de masse  $m_1=280\text{g}$  d'une étuve à la température  $\theta_1=98^\circ\text{C}$ . On le plonge dans un calorimètre de capacité thermique  $\mu_c=209\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$  contenant une masse  $m_2=350\text{g}$  d'eau. L'ensemble est à la température initiale  $\theta_2=16^\circ\text{C}$ .

On mesure la température d'équilibre thermique  $\theta_e=17,7^\circ\text{C}$ .

- Donner l'expression de la quantité de chaleur cédée par le bloc de plomb.
- Donner l'expression de la quantité de chaleur gagnée par le système froid.
- Déterminer la chaleur massique du plomb.

Données: Chaleur massique de l'eau :  $c_e = 4,185 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

## V. Energie thermique du changement d'état : chaleur latente :

### 1- Définition :

La **chaleur latente** de changement d'état d'un corps pur est la **quantité de chaleur** qu'il faut fournir à une unité de masse de ce corps pris à sa température de changement d'état pour l'amener entièrement dans un autre état.

Elle se mesure en  $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$  dans le SI.

Lors d'un changement d'état, la température d'un corps pur reste constante

### 2- Expressions de la chaleur latente :

### 3-

l'énergie nécessaire au changement d'état du système  $Q_L$  en Joule.

$$Q_L = mL : \begin{cases} Q_L : \text{L'énergie nécessaire au changement d'état du système en Joule} \\ m : \text{la masse du système en kg} \\ L = \frac{Q_L}{m} : \text{La chaleur latente est exprimée en } \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \end{cases}$$

Une substance peut changer d'état physique de plusieurs façons, il existe donc plusieurs chaleurs latentes :

