

APPLICATION :  
MESURE  
CALORI-  
MÉ-  
TRIQUE

allal  
Mahdade

Introduction

Équilibre  
thermique

Applications :  
mesures  
calorimé-  
triques

# APPLICATION : MESURE CALORIMÉTRIQUE

## Chapitre 5

allal Mahdade

Groupe scolaire La Sagesse Lycée qualifiante

20 décembre 2015

# Sommaire

APPLICATION :

MESURE  
CALORI-  
MÉ-  
TRIQUE

allal  
Mahdade

Introduction

Équilibre  
thermique

Applications :  
mesures  
calorimé-  
triques

1 Introduction

2 Équilibre thermique

3 Applications : mesures calorimétriques

# Sommaire

APPLICATION :

MESURE  
CALORI-  
MÉ-  
TRIQUE

allal  
Mahdade

Introduction

Équilibre  
thermique

Applications :  
mesures  
calorimé-  
triques

① Introduction

② Équilibre thermique

③ Applications : mesures calorimétriques

# Sommaire

APPLICATION :

MESURE  
CALORI-  
MÉ-  
TRIQUE

allal  
Mahdade

Introduction

Équilibre  
thermique

Applications :  
mesures  
calorimé-  
triques

① Introduction

② Équilibre thermique

③ Applications : mesures calorimétriques

# Introduction

APPLICATION :

MESURE  
CALORI-  
MÉ-  
TRIQUE

allal  
Mahdade

Introduction

Équilibre  
thermique

Applications :  
mesures  
calorimé-  
triques

On a vu que le transfert thermique est un transfert d'énergie thermique d'un corps chaud vers un corps froid.

**comment peut-on déterminer cet énergie thermique ?**

# I. Équilibre thermique

APPLICATION :

MESURE  
CALORI-  
MÉ-  
TRIQUE

allal  
Mahdade

Introduction

Équilibre  
thermique

Applications :  
mesures  
calorimé-  
triques

## 1. Expérience 1

On place dans une enceinte isolante (fuites thermiques négligeables) deux masses d'eau  $m_1 = m_2 = 100g$ , de températures successives  $\theta_1 = 20^\circ C$  et  $\theta_2 = 60^\circ C$ . Après un certain temps la température se stabilise à  $\theta_f = 40^\circ C$ .

# I. Équilibre thermique

APPLICATION :

MESURE  
CALORI-  
MÉ-  
TRIQUE

allal  
Mahdade

Introduction

Équilibre  
thermique

Applications :  
mesures  
calorimé-  
triques

## 2. Exploitation

1. Décrire ce qui se passe entre les deux corps .

On observe que le corps chaud perd de l'énergie  $Q$  et sa température diminue , le corps froid reçoit l'énergie  $Q$ , et sa température augmente. cet échange d'énergie se poursuit jusqu'à ce que la température du mélange se stabilise à  $\theta_f = 40^\circ C$  .  
Ils sont alors dans un état **d'équilibre thermique**.

# I. Équilibre thermique

APPLICATION :

MESURE  
CALORI-  
MÉ-  
TRIQUE

allal  
Mahdade

Introduction

Équilibre  
thermique

Applications :  
mesures  
calorimé-  
triques

2. On considère le système (corps chaud + corps froid) . Donner 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

$$Q + Q' = 0$$



# I. Équilibre thermique

APPLICATION :

MESURE  
CALORI-  
MÉ-  
TRIQUE

allal  
Mahdade

Introduction

Équilibre  
thermique

Applications :  
mesures  
calorimé-  
triques

3. Dans quelles conditions cette relation est-elle précise ?

Pour que cette relation soit précise, il faut que les échanges d'énergie thermique avec l'extérieur soient très faibles, i.e. que le système soit énergétiquement isolé.

Pour minimiser les fuites au cours d'un échange thermique, on utilise un dispositif expérimental appelé **calorimètre**, on dit que le calorimètre est **une enceinte adiabatique**.

## 3. Conclusion

Tout système thermiquement isolé, s'il ne se produit aucun échange thermique avec le milieu extérieur.

# I. Équilibre thermique

APPLICATION :  
MESURE  
CALORI-  
MÉ-  
TRIQUE

allal  
Mahdade

Introduction

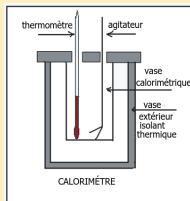
Équilibre  
thermique

Applications :  
mesures  
calorimé-  
triques

## 3. Qu'est ce qu'un calorimètre ?

### Définition

Le calorimètre est un appareil destiné à mesurer les échanges d'énergie thermique. Cet échange peut se produire entre plusieurs corps, mettre en jeu des changements d'état ou des réactions chimiques.



## II. Applications : mesures calorimétriques

APPLICATION :

MESURE  
CALORI-  
MÉ-  
TRIQUE

allal  
Mahdade

Introduction

Équilibre  
thermique

Applications :  
mesures  
calorimé-  
triques

### 1. Échange thermique sans changements d'état physique

#### Activité 1 :

##### 1.1 Mesure de la capacité thermique d'un calorimètre .

On verse rapidement une masse  $m_2 = 300g$  d'eau chaude de température  $\theta_2 = 61^\circ C$  dans un calorimètre contenant une masse  $m_1 = 200g$  d'eau froide de température  $\theta_1 = 20^\circ C$ . On agite le mélange , après un certain temps , la température de mélange se stabilise à  $\theta_e = 42,5^\circ C$  (équilibre thermique )

## II. Applications : mesures calorimétriques

### APPLICATION :

#### MESURE CALORI- MÉ- TRIQUE

allal  
Mahdade

#### Introduction

#### Équilibre thermique

#### Applications : mesures calorimé- triques

1. Quel type de transfert d'énergie mis en évidence dans cet expérience ?

Échange d'énergie thermique entre l'eau froide et l'eau chaude .

2. Déterminer le sens de cet échange ?

Le sens d'échange est de l'eau chaude vers l'eau froide .

3. Donner l'expression de la variation de l'énergie interne du système ( $S_1$ )

{calorimètre + eau froide}

La variation de l'énergie interne du système est égale à la somme de la variation de l'énergie interne du calorimètre et de l'eau froide :

$$\Delta U_1 = \Delta U_{calo} + \Delta U_{e,f} = \mu_c(\theta_f - \theta_1) + m_1 c_{eau}(\theta_f - \theta_1)$$

$$\Delta U_1 = (\mu_c + m_1 c_{eau})(\theta_f - \theta_1)$$

## II. Applications : mesures calorimétriques

APPLICATION :

MESURE  
CALORI-  
MÉ-  
TRIQUE

allal  
Mahdade

Introduction

Équilibre  
thermique

Applications :  
mesures  
calorimé-  
triques

4. Donner l'expression de la variation de l'énergie interne du système ( $S_2$ )  
{ eau chaude }

La variation de l'énergie interne l'eau chaude est égale :

$$\Delta U_2 = m_2 c_{eau}(\theta_f - \theta_2)$$

## II. Applications : mesures calorimétriques

APPLICATION :

MESURE  
CALORI-  
MÉ-  
TRIQUE

allal  
Mahdade

Introduction

Équilibre  
thermique

Applications :  
mesures  
calorimé-  
triques

5. Donner l'expression de la variation de l'énergie interne du système ( $S_1 + S_2$ )

{calorimètre + eau froide+eau chaude}

Puisque le calorimètre est une enceinte adiabatique ( n'échange pas de l'énergie thermique avec l'extérieur , d'après le 1er principe de la thermodynamique on a

$$\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 + W = 0$$

## II. Applications : mesures calorimétriques

APPLICATION :

MESURE  
CALORI-  
MÉ-  
TRIQUE

allal  
Mahdade

Introduction

Équilibre  
thermique

Applications :  
mesures  
calorimé-  
triques

6. Déduire la capacité thermique du calorimètre et calculer sa valeur

absence de l'échange de travail , donc la dernière relation devient :

$$\Delta U_1 + \Delta U_2 = 0 \Rightarrow m_2 c_{eau}(\theta_f - \theta_2) + (\mu_c + m_1 c_{eau})(\theta_f - \theta_1)$$

$$\mu_c = \frac{m_2 c_e (\theta_2 - \theta_e)}{\theta_e - \theta_1} - m_1 c_e$$

Application numérique : on donne  $c_{eau} = 4180 \text{ J/kg.K}$

$$\mu_c = \frac{0,3 \cdot 4180 (61 - 42,5)}{42,5 - 20} - 0,2 \cdot 4180 = 195 \text{ J/K}$$

## II. Applications : mesures calorimétriques

APPLICATION :

MESURE  
CALORI-  
MÉ-  
TRIQUE

allal  
Mahdade

Introduction

Équilibre  
thermique

Applications :  
mesures  
calorimé-  
triques

### 1.2 Détermination de la capacité thermique massique d'un métal

On dispose un calorimètre de capacité thermique  $\mu_c = 100 J/K$ , contenant une masse  $m_1 = 300g$  dont la température est  $\theta_1 = 19,8^\circ C$ . On introduit dans le calorimètre un petit bloc d'un métal de masse  $m = 122g$  après avoir retiré d'une eau chauffée jusqu'au  $\theta_2 = 76^\circ C$  et l'avoir séché. Après agitation, la température du mélange se stabilise et prendre la valeur  $\theta_e = 22,1^\circ C$ .



## II. Applications : mesures calorimétriques

APPLICATION :

MESURE  
CALORI-  
MÉ-  
TRIQUE

allal  
Mahdade

Introduction

Équilibre  
thermique

Applications :  
mesures  
calorimé-  
triques

1. Donner l'expression de la variation de l'énergie interne du système ( $S_1$ )

{calorimètre + eau froide}

La variation de l'énergie interne du système est égale à la somme de la variation de l'énergie interne du calorimètre et de l'eau froide :

$$\Delta U_1 = \Delta U_{calo} + \Delta U_{e.f} = \mu_c(\theta_f - \theta_1) + m_1 c_{eau}(\theta_f - \theta_1)$$

$$\Delta U_1 = (\mu_c + m_1 c_{eau})(\theta_f - \theta_1)$$

## II. Applications : mesures calorimétriques

APPLICATION :

MESURE  
CALORI-  
MÉ-  
TRIQUE

allal  
Mahdade

Introduction

Équilibre  
thermique

Applications :  
mesures  
calorimé-  
triques

2. Donner l'expression de la variation de l'énergie interne du système ( $S_2$ )

{bloc du métal}

La variation de l'énergie interne du bloc de métal est égale :

$$\Delta U_2 = mc_m(\theta_f - \theta)$$

## II. Applications : mesures calorimétriques

APPLICATION :

MESURE  
CALORI-  
MÉ-  
TRIQUE

allal  
Mahdade

Introduction

Équilibre  
thermique

Applications :  
mesures  
calorimé-  
triques

3. Donner l'expression de la variation de l'énergie interne du système ( $S_1 + S_2$ )

{calorimètre + eau froide+bloc de métal}

Puisque le calorimètre est une enceinte adiabatique ( n'échange pas de l'énergie thermique avec l'extérieur , d'après le 1er principe de la thermodynamique on a

$$\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 + W = 0$$

## II. Applications : mesures calorimétriques

APPLICATION :

MESURE  
CALORI-  
MÉ-  
TRIQUE

allal  
Mahdade

Introduction

Équilibre  
thermique

Applications :  
mesures  
calorimé-  
triques

4. Déduire la capacité thermique  $c_m$  du bloc de métal et calculer sa valeur

absence de l'échange de travail , donc la dernière relation devient :

$$\Delta U_1 + \Delta U_2 = 0$$

$$m c_m (\theta_f - \theta) + (\mu_c + m_1 c_{eau}) (\theta_f - \theta_1) = 0$$

$$c_m = \frac{(m_1 c_{eau} + \mu_c) (\theta_e - \theta_1)}{m (\theta_2 - \theta_f)}$$

Application numérique :

$$c_m = 453 \text{ J/}^\circ \text{ C.kg}$$

## II. Applications : mesures calorimétriques

APPLICATION :

MESURE  
CALORI-  
MÉ-  
TRIQUE

allal  
Mahdade

Introduction

Équilibre  
thermique

Applications :  
mesures  
calorimé-  
triques

### 2. Échange thermique avec changement d'état physique d'un corps pur : chaleur latente

Nous admettrons que la variation d'énergie de la masse  $m$  d'une substance qui subit un changement d'état physique, sous une pression et une température constante peut s'exprimer par la relation :

$$\Delta U = m.L^*$$

$m$  la masse du substance subissent le changement d'état en  $kg$  et Le coefficient  $L^*$  s'appelle **la chaleur latente massique de changement d'état**, exprimé en  $J/kg$  qui dépend de la substance

## II. Applications : mesures calorimétriques

### APPLICATION :

#### MESURE CALORI- MÉ- TRIQUE

allal  
Mahdade

Introduction

Équilibre  
thermique

Applications :  
mesures  
calorimé-  
triques

- $43L$  correspond au transfert d'énergie thermique nécessaire pour faire changer l'état physique de l'unité de masse de la substance .
- **Exemple** : La chaleur latente massique de fusion pour l'eau (glace) sous une pression de 1 atm est  $L_f = 335kJ/kg$  à température  $0^\circ C$ . i.e que l'énergie nécessaire pour faire le changement d'état d'un bloc de glace de  $2kg$  sous la pression 1 atm est  $670kJ$ .
- ☞ Pour une substance donnée , à chaque changement d'état correspond une chaleur latente.

## II. Applications : mesures calorimétriques

### APPLICATION :

#### MESURE CALORI- MÉ- TRIQUE

allal  
Mahdade

Introduction

Équilibre  
thermique

Applications :  
mesures  
calorimé-  
triques

- $43L$  correspond au transfert d'énergie thermique nécessaire pour faire changer l'état physique de l'unité de masse de la substance .
- **Exemple** : La chaleur latente massique de fusion pour l'eau (glace) sous une pression de 1 atm est  $L_f = 335kJ/kg$  à température  $0^\circ C$ . i.e que l'énergie nécessaire pour faire le changement d'état d'un bloc de glace de  $2kg$  sous la pression 1 atm est  $670kJ$ .
- ☞ Pour une substance donnée , à chaque changement d'état correspond une chaleur latente.

## II. Applications : mesures calorimétriques

### APPLICATION : MESURE CALORI- MÉ- TRIQUE

allal  
Mahdade

Introduction

Équilibre  
thermique

Applications :  
mesures  
calorimé-  
triques

- $43L$  correspond au transfert d'énergie thermique nécessaire pour faire changer l'état physique de l'unité de masse de la substance .
- **Exemple :** La chaleur latente massique de fusion pour l'eau (glace) sous une pression de 1 atm est  $L_f = 335kJ/kg$  à température  $0^\circ C$ . i.e que l'énergie nécessaire pour faire le changement d'état d'un bloc de glace de  $2kg$  sous la pression 1 atm est  $670kJ$ .
- Pour une substance donnée , à chaque changement d'état correspond une chaleur latente.



## II. Applications : mesures calorimétriques

### APPLICATION : MESURE CALORI- MÉ- TRIQUE

allal  
Mahdade

Introduction

Équilibre  
thermique

Applications :  
mesures  
calorimé-  
triques

- $43L$  correspond au transfert d'énergie thermique nécessaire pour faire changer l'état physique de l'unité de masse de la substance .
- **Exemple :** La chaleur latente massique de fusion pour l'eau (glace) sous une pression de 1 atm est  $L_f = 335kJ/kg$  à température  $0^\circ C$ . i.e que l'énergie nécessaire pour faire le changement d'état d'un bloc de glace de  $2kg$  sous la pression 1 atm est  $670kJ$ .
- ☞ Pour une substance donnée , à chaque changement d'état correspond une chaleur latente.

## II. Applications : mesures calorimétriques

### APPLICATION :

#### MESURE CALORI- MÉ- TRIQUE

allal  
Mahdade

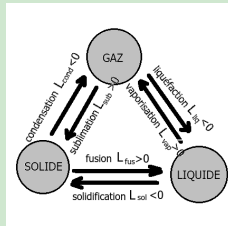
#### Introduction

#### Équilibre thermique

#### Applications : mesures calorimé- triques

La vaporisation , la fusion et la sublimation nécessite un transfert d'énergie , de l'extérieur vers le corps :  $L_{vap}$  ,  $L_f$  ,  $L_{sub}$  sont positif. En revanche , la solidification , liquéfaction, la condensation s'accompagnent d'un transfert d'énergie du corps vers l'extérieur :  $L_{sol}$  ,  $L_{cond}$ ,  $L_{liq}$  sont négatives .  
Entre ces chaleurs latentes existent les relations :

$$L_{sol} = -L_f \quad L_{con} = -L_{sub} \quad L_{liq} = -L_{vap}$$



## II. Applications : mesures calorimétriques

APPLICATION :  
MESURE  
CALORI-  
MÉ-  
TRIQUE

allal  
Mahdade

Introduction

Équilibre  
thermique

Applications :  
mesures  
calorimé-  
triques

### Application

Le freezer d'un réfrigérateur est maintenue à  $-5^{\circ}C$ . On y introduit un banc à glaçon contenant 200g d'eau à  $15^{\circ}C$ .  
Quelle est la variation de l'énergie interne de cette masse d'eau pour être transformée en glace à  $-5^{\circ}C$ ?

Données :

capacité thermique massique de l'eau liquide :  $c_e = 4185J/kg.K$

capacité thermique massique de l'eau glace :  $c_g = 2100J/kg.K$

chaleur latente massique de fusion :  $L_f = 335kJ/kg$

Réponse :  $\Delta U = -81,25kJ$