

EXERCICES : TRANSFERTS THERMIQUES

I. Bain à 37°C

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

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

II. Chaleur massique du plomb

On sort un bloc de plomb de masse $m_1 = 280$ g d'une étuve à la température $\theta_1 = 98$ °C. On le plonge dans un calorimètre de capacité thermique $C = 209$ J.K⁻¹ contenant une masse $m_2 = 350$ g d'eau. L'ensemble est à la température initiale $\theta_2 = 16$ °C. On mesure la température d'équilibre thermique $\theta_e = 17,7$ °C.

Déterminer la chaleur massique du plomb.

III. Bloc de fer plongé dans l'eau

Un morceau de fer de masse $m_1 = 500$ g est sorti d'un congélateur à la température $\theta_1 = -30$ °C. Il est plongé dans un calorimètre, de capacité thermique négligeable, contenant une masse $m_2 = 200$ g d'eau à la température initiale $\theta_2 = 4$ °C.

Déterminer l'état final d'équilibre du système (température finale, masse des différents corps présents dans le calorimètre).

IV. Fusion d'un glaçon (version 1)

Un calorimètre de capacité thermique $C = 150$ J.K⁻¹ contient une masse $m_1 = 200$ g d'eau à la température initiale $\theta_1 = 70$ °C. On y place un glaçon de masse $m_2 = 80$ g sortant du congélateur à la température $\theta_2 = -23$ °C.

Déterminer l'état final d'équilibre du système (température finale, masse des différents corps présents dans le calorimètre).

V. Fusion d'un glaçon (version 2)

Un calorimètre de capacité thermique $C = 150$ J.K⁻¹ contient une masse $m_1 = 200$ g d'eau à la température initiale $\theta_1 = 50$ °C. On y place un glaçon de masse $m_2 = 160$ g sortant du congélateur à la température $\theta_2 = -23$ °C.

Déterminer l'état final d'équilibre du système (température finale, masse des différents corps présents dans le calorimètre).

VI. Détermination de la capacité thermique d'un calorimètre

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

1. Quelle serait la température d'équilibre thermique θ_e de l'ensemble si la capacité thermique du calorimètre et de ses accessoires était négligeable?

2. On mesure en fait une température d'équilibre thermique $\theta_e = 50$ °C. Déterminer la capacité thermique C du calorimètre et de ses accessoires.

Données :

Masse volumique de l'eau : $\mu = 1000$ kg.m⁻³.

Capacité thermique massique de l'eau : $c_e = 4185$ J.kg⁻¹.K⁻¹.

Capacité thermique massique de la glace : $c_g = 2090$ J.kg⁻¹.K⁻¹.

Capacité thermique massique du fer : $c_{Fe} = 460$ J.kg⁻¹.K⁻¹.

Chaleur latente massique de fusion de la glace : $L_f = 3,34.10^5$ J.kg⁻¹.

Chaleur latente massique de solidification de l'eau : $L_s = -3,34.10^5$ J.kg⁻¹.

CORRECTION DES EXERCICES DE CALORIMÉTRIE

I. Bain à 37°C

Soit Q_1 la quantité de chaleur cédée par l'eau chaude : $Q_1 = m_1 c_e (\theta - \theta_1)$.

Soit Q_2 la quantité de chaleur captée par l'eau froide : $Q_2 = m_2 c_e (\theta - \theta_2)$.

Le système {eau} est isolé : $Q_1 + Q_2 = 0$

$$\text{soit } m_1 c_e (\theta - \theta_1) + m_2 c_e (\theta - \theta_2) = 0$$

$$\text{d'où } m_1 (\theta - \theta_1) + m_2 (\theta - \theta_2) = 0$$

A. N :

$$m_1 (37 - 70) + m_2 (37 - 15) = 0 \text{ d'où } -33 m_1 + 22 m_2 = 0$$

D'autre part, le volume total du bain est de 250 L ; sa masse est de 250 kg. On a donc : $m_1 + m_2 = 250$

$$\text{D'où le système : } \begin{cases} -33m_1 + 22m_2 = 0 & [1] \\ m_1 + m_2 = 250 & [2] \end{cases}$$

$$\text{Résolution : } [1] + 33.[2] \Leftrightarrow 55.m_2 = 8250 \Leftrightarrow m_2 = 150\text{kg}$$

$$m_1 + m_2 = 250 \Leftrightarrow m_1 = 250 - m_2 \Leftrightarrow m_1 = 250 - 100 \Leftrightarrow m_1 = 100\text{kg}$$

Il faut donc **150 L** d'eau froide à **15°C** et **100 L** d'eau chaude à **70°C** pour obtenir **250 L** d'un bain à **37°C**.

II. Capacité thermique massique du plomb

Soit Q_1 la quantité de chaleur cédée par le bloc de plomb : $Q_1 = m_1 C_{Pb} (\theta_\xi - \theta_1)$.

Soit Q_2 la quantité de chaleur captée par l'eau froide et le calorimètre : $Q_2 = (m_2 c_{eau} + \mu) (\theta_\xi - \theta_2)$.

Le système {eau + calorimètre + plomb} est isolé : $Q_1 + Q_2 = 0$

$$\text{On a : } m_1 C_{Pb} (\theta_\xi - \theta_1) + (m_2 C_{eau} + \mu) (\theta_\xi - \theta_2) = 0$$

$$\text{soit } m_1 C_{Pb} (\theta_\xi - \theta_1) = - (m_2 C_{eau} + \mu) (\theta_\xi - \theta_2)$$

$$\text{d'où : } C_{Pb} = (m_2 C_{eau} + \mu) (\theta_\xi - \theta_2) / m_1 (\theta_1 - \theta_\xi)$$

$$\text{A.N. : } C_{Pb} = \frac{(350.10 - 3 \times 4185 + 209) (17,7 - 16)}{280.10 - 3 (98 - 17,7)}$$

$$C_{Pb} = 126,5 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

III. Bloc de fer plongé dans l'eau

Soit Q_1 l'énergie captée par le bloc de fer pour passer de -30°C à 0°C : $Q_1 = m_1 C_{Fe} (0 - \theta_1)$.

$$Q_1 = 500.10^{-3} \times 460 (0 - (-30)) \quad Q_1 = 6900 \text{ J}$$

Soit Q_2 l'énergie cédée par l'eau pour passer de 4°C à 0°C : $Q_2 = m_2 C_{eau} (0 - \theta_2)$

$$Q_2 = 200.10^{-3} \times 4185 (0 - 4) \quad Q_2 = -3348 \text{ J}$$

$|Q_1| > |Q_2|$ L'énergie captée par le fer est supérieure à celle cédée par l'eau pour

abaisser sa température jusqu'à 0°C . Une partie de l'eau va donc geler

pour céder de

l'énergie thermique au bloc de fer.

Soit Q l'énergie cédée par cette eau pour geler.

$$\text{Le système \{eau + fer\} est isolé : } Q + Q_1 + Q_2 = 0 \text{ soit } Q = -Q_1 - Q_2$$

A.N. : $Q = -6900 - (-3348)$ $Q = -3552 \text{ J}$

Soit m la masse d'eau gelée. $Q = m L_s$ soit $m = \frac{Q}{L_s}$

A.N. : $m = \frac{-3552}{-3,34 \cdot 10^5}$ $m \approx 10,6 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ soit $m \approx 10,6 \text{ g}$

Le système est donc composé de :
500 g de fer à la température de 0 °C ;
10,6 g de glace à la température de 0 °C ;
200 - 10,6 = 189,4 g d'eau à la température de 0 °C.

Autre méthode

Soit Q_1 l'énergie captée par le fer pour passer de $\theta_1 = -30 \text{ °C}$ à θ_e .

$$Q_1 = m_1 C_{Fe} (\theta_e - \theta_1)$$

A.N. : $Q_1 = 0,5 \times 460 (\theta_e - (-30))$ $Q_1 = 230 \theta_e + 6900$

Soit Q_2 l'énergie cédée par l'eau pour passer de $\theta_2 = 4 \text{ °C}$ à θ_e .

$$Q_2 = m_2 C_{eau} (0 - \theta_2) + m_2 L_s + m_2 C_{glace} (\theta_e - 0)$$

A.N. : $Q_2 = 0,2 \times 4185 \times (0 - 4) + 0,2 \times (-3,34 \cdot 10^5) + 0,2 \times 2090 (\theta_e - 0)$

$$Q_2 = -3348 - 66800 + 418 \theta_e$$

L'eau si elle se transforme entièrement en glace cédera beaucoup plus d'énergie que celle nécessaire pour que le morceau de fer ait une température de 0 °C.

La température d'équilibre sera donc de 0 °C. On aura donc : $Q_1 = 6900 \text{ J}$ et $Q_2 = -3348$

Soit m la masse d'eau qui va geler et soit Q l'énergie cédée par l'eau pour se transformer en glace.

Le système {eau + fer} est isolé : $Q + Q_1 + Q_2 = 0$ soit $Q = -Q_1 - Q_2$

A.N. : $Q = -6900 + 3348$

$$Q = -3552 \text{ J}$$

$$Q = m L_s \quad m = \frac{Q}{L_s} \quad m = \frac{-3552}{-3,34 \cdot 10^5} \quad m \approx 0,011 \text{ kg (11 g)}$$

Le système est donc composé de :
11 g de glace à la température de 0 °C.
200 - 11 = 189 g d'eau à la température de 0 °C.
500 g de fer à la température de 0 °C.

V. Fusion d'un glaçon (version 2)

En supposant que toute la glace fonde, un calcul analogue à l'exercice précédent (version 1) donne :

$$\theta_e = \frac{(m_1 c_e + C) \theta_1 + m_2 c_g \theta_2 - m_2 L_f}{m_1 c_e + m_2 c_e + C}$$

A.N. : $\theta_e = \frac{(200 \cdot 10^{-3} \times 4185 + 150) 50 + 160 \cdot 10^{-3} \times 2090 \times (-23) - 160 \cdot 10^{-3} \times 3,34 \cdot 10^5}{200 \cdot 10^{-3} \times 4185 + 160 \cdot 10^{-3} \times 4185 + 150}$

$$\theta_e = -7,11 \text{ °C}$$

Ce résultat est aberrant car à cette température et sous la pression atmosphérique, l'eau est à l'état solide.

La totalité de la glace ne fondra pas et la température du système sera $\theta_e = 0 \text{ °C}$.

Soit Q_1 l'énergie cédée par l'eau et le calorimètre pour passer de $\theta_1 = 50 \text{ °C}$ à $\theta_e = 0 \text{ °C}$.

$$Q_1 = (m_1 c_e + C) (\theta_e - \theta_1)$$

A.N. : $Q_1 = (200 \cdot 10^{-3} \times 4185 + 150) (0 - 50)$ $Q_1 = -49350 \text{ J}$.

Soit Q_2 l'énergie captée par le bloc de glace pour passer de $\theta_2 = -23\text{ °C}$ à $\theta_e = 0\text{ °C}$.

$$Q_2 = m_2 c_g (\theta_e - \theta_1).$$

A.N. : $Q_2 = 160 \cdot 10^{-3} \times 2090 \times (0 - (-23))$ $Q_2 = 7691,20\text{ J}$

Soit m la masse de glace qui va fondre et soit Q l'énergie captée par cette glace.

Le système {eau + glace + calorimètre} est isolé : $Q + Q_1 + Q_2 = 0$ soit $Q = -Q_1 - Q_2$

A.N. : $Q = 49350 - 7691,2$ $Q = 41658,80\text{ J}$

$$Q = m L_f \quad m = \frac{Q}{L_f} \quad m = \frac{41\,658,80}{3,34 \cdot 10^5} \quad m = 125 \cdot 10^{-3}\text{ kg (125 g)}$$

Le système est donc composé de : $160 - 125 = 35\text{g}$ de glace à la température de 0 °C .

$200 + 125 = 325\text{g}$ d'eau à la température de 0 °C .

VI. Détermination de la capacité thermique d'un calorimètre

1. Quantité de chaleur captée par l'eau froide : $Q_1 = m_1 c_e (\theta_e - \theta_1)$.

Quantité de chaleur cédée par l'eau chaude : $Q_2 = m_2 c_e (\theta_e - \theta_2)$.

Le système {eau + calorimètre} est isolé : $Q_1 + Q_2 = 0$.

$$m_1 c_e (\theta_e - \theta_1) + m_2 c_e (\theta_e - \theta_2) = 0 \quad \text{d'où} \quad \theta_e = (m_1 \theta_1 + m_2 \theta_2) / (m_1 + m_2)$$

A.N. : $\theta_e = \frac{(250 \cdot 10^{-3} \times 18 + 300 \cdot 10^{-3} \times 80)}{(250 \cdot 10^{-3} + 300 \cdot 10^{-3})}$ $\theta_e = 51,8\text{ °C}$

2. Quantité de chaleur captée par l'eau froide et le calorimètre : $Q_1 = (m_1 c_e + C) (\theta_e - \theta_1)$

Quantité de chaleur cédée par l'eau chaude : $Q_2 = m_2 c_e (\theta_e - \theta_2)$

Le système {eau + calorimètre} est isolé : $Q_1 + Q_2 = 0$

$$\text{Soit} \quad (m_1 c_e + C) (\theta_e - \theta_1) + m_2 c_e (\theta_e - \theta_2) = 0$$

$$C (\theta_e - \theta_1) = -m_1 c_e (\theta_e - \theta_1) - m_2 c_e (\theta_e - \theta_2)$$

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

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

A.N. : $C = \frac{250 \cdot 10^{-3} \times 4185 (50 - 18) + 300 \cdot 10^{-3} \times 4185 (50 - 80)}{18 - 50}$ $C = 130,8\text{ J.K}^{-1}$

La capacité thermique du calorimètre est $130,8\text{ J.K}^{-1}$.