

## Thermodynamique | Chapitre 3 | Correction TD (03)

### Exercice n°1 • Expériences de calorimétrie

cours

Dans tout l'exercice, le système est {le calorimètre et tout ce qu'il contient}. On appliquera le premier principe version enthalpique car la transformation est monobare (en contact avec l'atmosphère). Le calorimètre étant parfait,  $\Delta H_{syst} = W_u$

1) Le premier principe donne :

$$\begin{aligned} \Delta H_{syst} &= 0 = \Delta H_{calo} + \Delta H_{eau1} + \Delta H_{eau2} \\ &= \mu c_{eau} (T_f - T_1) + m_1 c_{eau} (T_f - T_1) + m_2 c_{eau} (T_f - T_2) \\ \Rightarrow \mu &= -\frac{m_1 (T_f - T_1) + m_2 (T_f - T_2)}{T_f - T_1} \end{aligned}$$

2) Le premier principe donne :

$$\begin{aligned} \Delta H_{syst} &= RI^2 \Delta t = \Delta H_{calo} + \Delta H_{eau} \\ &= \mu c_{eau} (T_f - T_1) + m_1 c_{eau} (T_f - T_1) \\ \Rightarrow c_{eau} &= \frac{RI^2 \Delta t}{(\mu + m_1) (T_f - T_1)} \end{aligned}$$

3) Le premier principe donne :

$$\begin{aligned} \Delta H_{syst} &= 0 = \Delta H_{calo} + \Delta H_{eau} + \Delta H_{solide} \\ &= \mu c_{eau} (T_f - T_1) + m_1 c_{eau} (T_f - T_1) + m_2 c (T_f - T_2) \\ \Rightarrow c &= -\frac{(\mu + m_1) c_{eau} (T_f - T_1)}{m_2 (T_f - T_2)} \end{aligned}$$

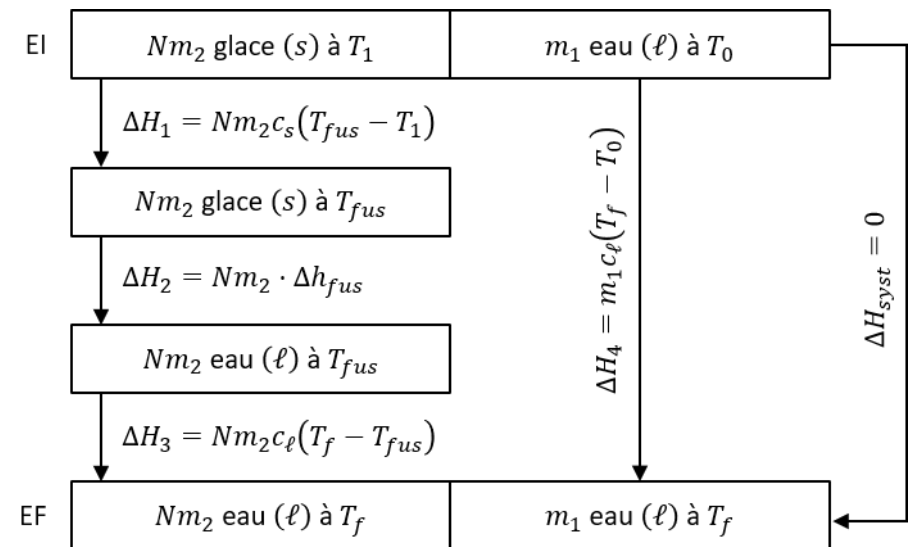
### Exercice n°2 • Préparation d'un thé glacé

cours

1) Dans l'état final, le système peut être :

- entièrement liquide si « peu » de glaçons ont été ajoutés, dans ce cas  $T_f > 0$  est à déterminer ;
- entièrement solide si « beaucoup » de glaçons ont été ajoutés, dans ce cas  $T_f < 0$  est à déterminer ;
- un mélange solide / liquide à la température  $T_{fus} = 0^\circ\text{C}$ , dans ce cas la fraction massique du système dans la phase liquide  $x_\ell \in [0, 1]$  est à déterminer.

2) On suppose que le système est entièrement liquide dans l'état final. On imagine une série de transformation (fictive) qui transforme le système de l'état initial dans l'état final.



Le système est macroscopiquement au repos, les parois du thermos sont calorifugées et la transformation est monobare. Le premier principe de la thermodynamique donne donc :

$$\Delta H_{syst} = 0$$

Par additivité de l'enthalpie :

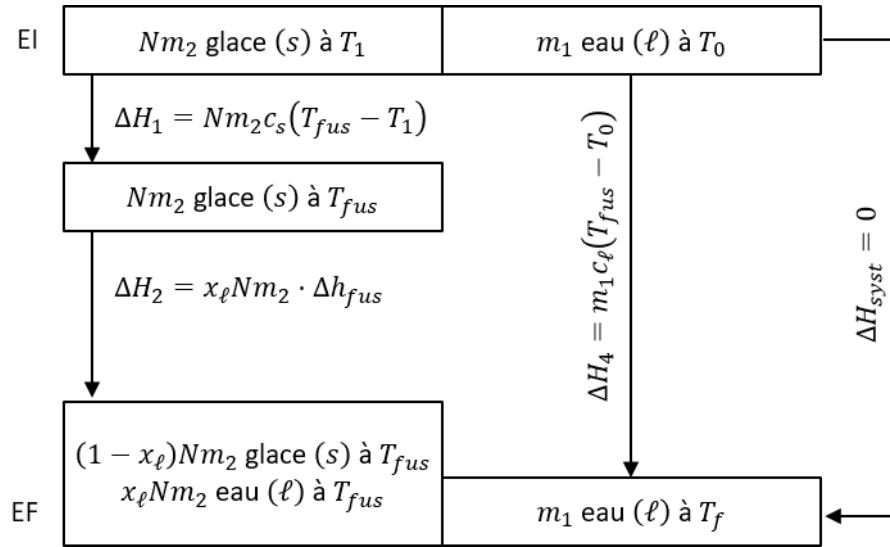
$$\Delta H_{syst} = 0 = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4$$

On peut isoler  $T_f$  et l'application numérique donne :

$$T_f = \frac{-Nm_2 c_s (T_{fus} - T_1) - Nm_2 \Delta h_{fus} + Nm_2 c_\ell T_{fus} + m_1 c_\ell T_0}{Nm_2 c_\ell + m_1 c_\ell} = 13,4^\circ\text{C}$$

On trouve  $T_f > 0$  donc l'hypothèse est vérifiée.

3) On peut déjà reprendre la formule précédente et on trouve  $T_f = -1,1 \text{ °C} < 0$ . L'hypothèse est donc fautive. Étant que la température obtenue est proche de  $T_{fus} = 0 \text{ °C}$ , on fait à présent l'hypothèse que l'état final est un mélange solide / liquide à  $T_{fus}$ .



On fait de même :

$$x_l = \frac{-Nm_2c_s(T_{fus} - T_1) - m_1c_l(T_{fus} - T_0)}{Nm_2\Delta h_{fus}} = 92,8 \%$$

Cohérent avec l'hypothèse. 93 % de la masse des glaçons est passer sous forme liquide.

### Exercice n°3 • Marteau-pilon



On applique le premier principe au système marteau pilon (P) et l'objet (A) en tenant compte de l'énergie potentielle de pesanteur du marteau pilon, immobile au départ.

$$\underbrace{\Delta \mathcal{E}_{p,P}}_{=0 - m_Pgh} + \underbrace{\Delta U_P}_{=0} + \underbrace{\Delta U_A}_{= \frac{3Rm_A}{M_A}\Delta T} = 0 \Rightarrow \Delta T = \frac{m_PghM_A}{3Rm_A} = 64 \text{ K}$$

### Exercice n°4 • Bouteille thermos



1) Le premier principe (version enthalpique) sur le système {calorimètre + tout ce qu'il contient} donne (en négligeant la capacité thermique du calorimètre) :

$$\Delta H_{syst} = 0 = mc_{eau}(T_{eq,0} - T_1) + mc_{eau}(T_{eq,0} - T_2)$$

$$\Rightarrow T_{eq,0} = \frac{T_1 + T_2}{2} = 50 \text{ °C}$$

Puisque  $T_{eq,0} \neq 49 \text{ °C}$ , la capacité thermique du calorimètre n'est pas négligeable.

2) On reprend le premier principe en ajoutant la capacité thermique du calorimètre.

$$\Delta H_{syst} = 0 = mc_{eau}(T_{eq} - T_1) + mc_{eau}(T_{eq} - T_2) + C_t(T_{eq} - T_1)$$

$$\Rightarrow C_t = -\frac{mc_{eau}(2T_{eq} - T_1 - T_2)}{T_{eq} - T_1} = 167 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$$

3) On rappelle que  $c_{eau} = 4,18 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Calculons la valeur en eau du calorimètre.

$$m_c = \frac{C_t}{c_{eau}} = 40 \text{ g}$$

On trouve bien la valeur indiquée.

4) Lorsque  $T(t) > T_{ext}$ , on a  $\mathcal{P}_{th} > 0$ . Donc la puissance thermique perdue par la bouteille est positive, ce qui est cohérent car la bouteille va perdre de la chaleur.

5) Appliquons le premier principe (version infinitésimale). On rappelle que les travaux/puissances sont ceux algébriquement reçus par le système. Or, ici on donne une puissance perdue, il s'agit donc de l'opposé d'une puissance reçue.

$$dH_{syst} = -\mathcal{P}_{th}dt = CdT \Rightarrow \frac{dT}{dt} + \frac{kS}{C}T = \frac{kS}{C}T_{ext}$$

On note  $\tau = \frac{C}{kS}$  le temps caractéristique de variation de la température.

6) Solution :

$$T(t) = (T_0 - T_{ext})e^{-t/\tau} + T_{ext}$$

Graphes : exponentielle décroissante allant de  $T_0$  à  $T_{ext}$ .

7) On a :

$$\Delta T = T(t = \Delta t) - T(t = 0) = (T_0 - T_{ext}) (e^{-\Delta t/\tau} - 1)$$
$$\Rightarrow e^{-\Delta t/\tau} = 1 + \frac{\Delta T}{T_0 - T_{ext}}$$
$$\Rightarrow \tau = -\frac{\Delta t}{\ln\left(1 + \frac{\Delta T}{T_0 - T_{ext}}\right)} = 395 \text{ min}$$

C'est un bon thermos !

### Exercice n°5 • Plaque à induction



Système : { casserole + eau }. On suppose que le système est fermé et que le temps de chauffe est suffisamment court pour que l'on puisse négliger les échanges thermiques avec l'air. On suppose que la température initiale de l'eau est de  $T_0 = 20 \text{ °C}$ . On souhaite l'emmener à  $T_{eb} = 100 \text{ °C}$ . Enfin, on néglige la capacité thermique de la casserole.

Le premier principe (version enthalpique) donne :

$$\Delta H_{syst} = m_{eau} c_{eau} (T_{eb} - T_0) = \mathcal{P} \Delta t \Rightarrow \Delta t = m_{eau} \frac{T_{eb} - T_0}{\mathcal{P}} = 146 \text{ s}$$

L'ordre de grandeur est le bon : environ 2 min 30 s.

### Exercice n°6 • Transpiration



On applique le premier principe à la peau du corps humain (capacité  $C_{peau}$ ). On suppose qu'il s'agit d'un système fermé. La peau :

- reçoit de la chaleur ( $Q_{peau} = \mathcal{P}_{meta} \Delta t$ ) venant du métabolisme humain ;
- fournit de la chaleur ( $Q_{transpi.} = -m_{eau} \Delta h_{vap}$  la chaleur reçue) pour faire évaporer de l'eau ;
- et peut échanger de la chaleur avec l'atmosphère (on note  $Q_{atm}$  la chaleur reçue).

Ainsi,

$$\Delta H = C_{peau} \Delta T = \mathcal{P}_{meta} \Delta t - m_{eau} \Delta h_{vap} + Q_{atm}$$

L'énoncé nous demande  $m_{eau}$  sur une journée de sorte que :

$$0 = \mathcal{P}_{meta} \Delta t - m_{eau} \Delta h_{vap} \Rightarrow m_{eau} = \frac{\mathcal{P}_{meta} \Delta t}{\Delta h_{vap}} = 2,7 \text{ kg}$$

Grâce au métabolisme, le corps peut donc évaporer  $2,7 \text{ L}$  d'eau.

Le corps humain se maintient à température constante ( $\Delta T = 0$ ). L'eau réellement évaporée vaut :

$$m_{eau} = \frac{\mathcal{P}_{meta} \Delta t + Q_{atm}}{\Delta h_{vap}}$$

Puisque  $Q_{atm} < 0$  (le corps humain est en général plus chaud que l'atmosphère, il perd donc de la chaleur), on a bien  $m_{eau} < 2,7 \text{ kg}$ .

Impossible d'être plus précis sans plus d'indication. La valeur de 0,5 L d'eau par jour annoncé est parfaitement cohérent avec le raisonnement.

Essuyer l'eau avec une serviette peut avoir deux effets :

- cela enlève une partie de l'eau présente sur la peau, cette eau ne participe donc plus au refroidissement de la peau par transpiration ;
- mais la serviette contribue également à étaler l'eau sur une plus grande surface de peau (l'eau n'est plus localisée au niveau des pores), ce qui augmente la rapidité des échanges thermiques.

### Exercice n°7 • Eau glacée



1) Les transformations sont adiabatiques et monobares. On a donc :  $\Delta H_{syst} = 0$  où le système est composé de l'enceinte (capacité nulle) de l'eau et des glaçons.

Premier cas : le système à l'équilibre est constitué de glace à  $0 \text{ °C}$

Dans ce cas, il faut :

- chauffer les glaçons jusqu'à  $T_0$  :  $\Delta H = m_2 c_2 (T_0 - T_2)$
- refroidir l'eau jusqu'à  $T_0$  :  $\Delta H = m_1 c_1 (T_0 - T_1)$
- solidifier entièrement l'eau :  $\Delta H = -m_1 \ell_{fus}$

Ainsi, le premier principe donne :

$$0 = m_2 c_2 (T_0 - T_2) + m_1 c_1 (T_0 - T_1) - m_1 \ell_{fus}$$

Donc :

$$x_s = \frac{c_1 (T_1 - T_0) + \ell_{fus}}{c_2 (T_0 - T_2)} = 14,9$$

Deuxième cas : le système à l'équilibre est constitué d'eau à  $0 \text{ °C}$

Dans ce cas, il faut :

- refroidir l'eau jusqu'à  $T_0$  :  $\Delta H = m_1 c_1 (T_0 - T_1)$
- chauffer les glaçons jusqu'à  $T_0$  :  $\Delta H = m_2 c_2 (T_0 - T_2)$

- faire fondre entièrement les glaçons :  $\Delta H = m_2 \ell_{fus}$

Ainsi, le premier principe donne :

$$0 = m_1 c_1 (T_0 - T_1) + m_2 c_2 (T_0 - T_2) + m_2 \ell_{fus}$$

Donc :

$$x_\ell = \frac{c_1 (T_1 - T_0)}{c_2 (T_0 - T_2) + \ell_{fus}} = 0,197$$

2) Pour  $x \leq x_\ell$  on n'a que de l'eau liquide à  $T > T_0$ , pour  $x \geq x_s$ , que de la glace à  $T < T_0$  et pour  $x \in [x_\ell; x_s]$  on a un mélange eau liquide/glace à  $T_0$  dont la composition est variable.

3) Prenons un glaçon de masse 10 g, on obtient :

$$\begin{aligned} m_{2,\ell} = x_\ell \cdot m_1 = 19,7 \text{ g} &\Rightarrow N_\ell = 2 \text{ glaçons} \\ m_{2,s} = x_s \cdot m_1 = 1,49 \text{ kg} &\Rightarrow N_s = 150 \text{ glaçons} \end{aligned}$$

4) Avec  $m_2 = 30 \text{ g}$  (ie.  $x = 0,3$ ), on se trouve dans le domaine où une partie de la glace a fondu. La température d'équilibre est alors  $T_0$ . Notons  $\alpha$  la fraction de la glace qui a fondu. Les variations d'enthalpie sont donc descriptibles comme :

- refroidir l'eau jusqu'à  $T_0$  :  $\Delta H = m_1 c_1 (T_0 - T_1)$
- chauffer les glaçons jusqu'à  $T_0$  :  $\Delta H = m_2 c_2 (T_0 - T_2)$
- faire fondre une fraction  $\alpha$  des glaçons :  $\Delta H = \alpha m_2 \ell_{fus}$

Ainsi, le premier principe donne :

$$0 = m_1 c_1 (T_0 - T_1) + m_2 c_2 (T_0 - T_2) + \alpha m_2 \ell_{fus}$$

Donc :

$$\alpha = \frac{m_1 c_1 (T_1 - T_0)}{m_2 c_2 (T_0 - T_2) + m_2 \ell_{fus}} = 0,63$$

On en déduit que 63 % de la masse des glaçons a fondu. Il reste donc environ 11,1 g de glace.