

# Thermodynamique : changements d'état (PCSI)

---

## EXERCICE SURFUSION

Une masse  $m$  d'eau liquide est portée à  $-6^\circ\text{C}$  dans un congélateur, tout en restant à l'état liquide. On perturbe légèrement le système, ce qui force sa solidification. On ne s'intéresse qu'à cette étape de l'évolution du système (on ne prend pas en compte la thermalisation de la glace ainsi formée).

Calculez l'entropie créée dans le processus.

*Données* : chaleur latente de fusion de la glace à  $0^\circ\text{C}$  sous  $P_{atm}$  :  $\Delta_{fus}h = 333\text{kJ.kg}^{-1}$   
capacités thermiques de l'eau et de la glace  $c_e = 4.18\text{kJ.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$  et  $c_g = 2.10\text{kJ.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$   
supposées constantes sur les plages de températures considérées.

### Solution

*Etats finaux possibles* : eau + glace à  $0^\circ\text{C}$  en proportion inconnue ou glace pure à température inconnue.

*Parcours fictif* :  $\left\{ \begin{array}{l} m_0 \text{ eau} \\ -6^\circ\text{C} \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} m_0 \text{ eau} \\ -0^\circ\text{C} \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} (m_0 - m_g) \text{ eau} + m_g \text{ glace} \\ 0^\circ\text{C} \end{array} \right\}$  et  $\Delta H = m_0(0 - (-6))c_e +$

$m_g(-\Delta h_{fus})$  et sans apport extérieur  $\Delta H = 0$  donc  $\frac{m_g}{m_0} = \frac{\Delta T c_e}{\Delta h_{fus}} = 0.076$  ok.

*Création d'entropie* :  $\Delta S = S_c$  car pas d'échange et  $\Delta S$  sur le chemin fictif vaut  $S_1 + S_2$  avec  $dS_1 = \frac{m_0 c_e dT}{T}$   
donc  $S_1 = m_0 c_e \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right)$  et  $S_2 = \frac{m_g(-\Delta h_{fus})}{T_f}$  donc  $S_c = m_0 c_e \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) - \frac{m_g \Delta h_{fus}}{T_f} = m_0 \left( c_e \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) - \frac{\Delta h_{fus}}{T_f} \frac{\Delta T c_e}{\Delta h_{fus}} \right) =$   
 $m_0 c_e \left( \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) - \frac{T_f - T_i}{T_f} \right)$

---

Dans une enceinte thermiquement isolée, où la pression est constante et égale à une atmosphère, on place :

- $m_1 = 120\text{g}$  de glace à  $t_1 = 0^\circ\text{C}$
- $m_2 = 260\text{g}$  d'eau liquide à  $t_2 = 20^\circ\text{C}$
- $m_3 = 100\text{g}$  de vapeur d'eau à  $t_3 = 100^\circ\text{C}$

*Données sous une atmosphère* :

Chaleur latente de fusion de la glace à  $0^\circ\text{C}$  :  $L_f = 333\text{J.g}^{-1}$

Chaleur latente de vaporisation de l'eau à  $100^\circ\text{C}$  :  $L_v = 2250\text{J.g}^{-1}$

Capacité thermique de l'eau liquide :  $c = 4.18\text{J.g}^{-1}\text{K}^{-1}$

---

On considère un projectile de plomb de masse  $m$  entrant en collision avec un obstacle avec une vitesse  $v$ . Ni l'obstacle, ni le projectile ne se déforment et on négligera les changements de température de l'obstacle. La collision est suffisamment rapide pour qu'on puisse négliger tout échange thermique avec l'extérieur.

1. Exprimez la température atteinte par le projectile après le choc en fonction de sa vitesse initiale en supposant que le plomb ne change pas d'état.
2. Déterminez la vitesse  $v_1$  minimale pour que le plomb commence à changer d'état.
3. Déterminez la vitesse  $v$  nécessaire à faire changer une fraction  $x$  du plomb solide en plomb liquide.
4. Déterminez la vitesse  $v_2$  nécessaire à changer l'intégralité du plomb liquide en plomb solide en plomb liquide.
5. Exprimez la température atteinte par le projectile après le choc pour une vitesse initiale supérieure à  $v_2$ .
6. Représentez sur un graphique la température finale en fonction de la vitesse.

Données : Température initiale du projectile :  $15^\circ\text{C}$ . Température de fusion du plomb sous  $P_{atm}$  :  $327^\circ\text{C}$ . Chaleur massique du plomb solide :  $129\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Chaleur massique du plomb liquide :  $142\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Chaleur latente de fusion  $26.3\cdot 10^3\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$

---

#### EXERCICE DANS UN VERRE DE WHISKEY

On place dans un verre de  $125\text{ mL}$  de whiskey à  $20^\circ\text{C}$  un glaçon de  $10\text{ g}$  à  $-19^\circ\text{C}$ . On néglige les échanges thermiques avec l'atmosphère.

1. Trouver l'état final du système.
2. Déterminer l'entropie créée.
3. La hauteur de liquide dans le verre a-t-elle augmenté ou diminué avec la fonte du glaçon ?

Données sous une atmosphère :

Chaleur latente de fusion de la glace à  $0^\circ\text{C}$  :  $L_f = 333\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$

Capacités thermiques du whiskey  $c_w = 2.46\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ , de l'eau  $c_e = 4.18\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\text{K}^{-1}$  et de la glace  $c_g = 2.10\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\text{K}^{-1}$  et supposées constantes sur les plages de températures considérées.

#### Solution

1. On postule que l'état final est eau à température  $T_f$ . On a donc

$$\Delta H = \Delta H_{\text{whiskey}} + \Delta H_{\text{eau}} + \Delta H_{\text{glace}} = m_w c_w (T_f - T_{\text{whiskey}}) + m_g c_g (0^\circ - T_{\text{glace}}) + m_g \Delta_{\text{fus}} h + m_g c_e (T_f - 0^\circ) = 0$$

et on en déduit

$$T_f = \frac{1}{c_w m_w + c_g m_e} (m_w c_w T_{\text{whiskey}} + m_g c_g T_g + (-m_g c_g + m_g c_e) 0^\circ\text{C} - m_g \Delta_{\text{fus}} h) = 11.9^\circ\text{C};$$

compatible avec l'hypothèse

2. Calcul de  $\Delta S$  : on prend un chemin réversible.

$$\Delta S = S_{\text{ech}}^{\text{rev}} = m_w c_w \ln \frac{T_f}{T_{\text{whiskey}}} + m_g c_g \ln \frac{0^\circ}{T_{\text{glace}}} + \frac{m_g \Delta_{\text{fus}} h}{0^\circ} + m_g c_e \ln \frac{T_f}{0^\circ}$$

Sur le chemin réel  $S_{\text{ech}}^{\text{reel}} = 0$  car pas d'échanges avec l'extérieur donc  $\Delta S = S_{\text{cree}}$ .

3. Quand glaçon, volume  $V$  occupé dans le verre tel que  $m_{\text{glaçon}} = V \rho_{\text{whiskey}}$  (poussée d'Archimède)  
Quand liquide, volume  $V'$  occupé tel que  $m_{\text{glaçon}} = V' \rho_{\text{eau}}$ . Donc si le liquide issu du glaçon est plus dense que l'environnement,  $V' < V$ .