

Correction – TD – Diagrammes d'état des fluides réels purs

I Vrai-faux/questions courtes

★ | [●○○]

1 - Liquide saturé : liquide en équilibre avec sa vapeur. Dans un diagramme, le système est alors sur la courbe de saturation, côté liquide.

Vapeur saturée : vapeur en équilibre avec son liquide. Dans un diagramme, le système est alors sur la courbe de saturation, côté vapeur.

2 - a - $v = \frac{V}{m}$, $v_l = \frac{V_l}{m_l}$, $v_v = \frac{V_v}{m_v}$.

b - On a $V = V_l + V_v = m_l v_l + m_v v_v$, d'où en divisant par m : $v = x_l v_l + x_v v_v$.

3 - Sous 1 bar et à 25°C, pour l'eau, $v_l = 1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$.

Pour v_v de l'air on peut retenir l'ordre de grandeur $v_v \sim 1 \text{ m}^3/\text{kg}$ (ou 1.2 pour être plus précis), c'est-à-dire qu'un mètre cube à une masse de 1 kg environ.

4 - Ordre de grandeur de l'enthalpie de vaporisation de l'eau sous 1 bar : $\Delta h_{\text{vap}} \simeq 2000 \text{ kJ/kg}$.

- 5 -
- Vaporisation d'eau liquide : endothermique.
 - Fonte d'un glaçon : endothermique.
 - Liquéfaction d'un gaz : exothermique.

6 - Voir cours.

II Détermination de la composition d'un mélange diphasique

On doit trouver : 1- $v_v = 0.050 \text{ m}^3/\text{kg}$, 2- $x_v = 0.66$ que l'on néglige ou non v_l , 3- $x_v = 1$.

III Détermination de la composition d'un mélange diphasique

On trouve $x = 38.51\%$, $s_2 = 0.45616 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$, et $s_c = 31.755 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

IV Exploitation de diagrammes : machine frigorifique au fréon

Remarque :

À propos de la vaporisation : elle a lieu dans l'étape 4 vers 1 de façon isobare isotherme car on néglige toute perte de charge dans l'échangeur thermique. Via ce changement d'état, le fluide refroidit ainsi le milieu à 4°C (donc c'est un simple transfert thermique).

La différence entre 0°C (le fluide) et 4°C (le compartiment du réfrigérateur) permet au changement d'état d'avoir lieu plus rapidement (il faut ainsi une taille d'échangeur thermique raisonnable).

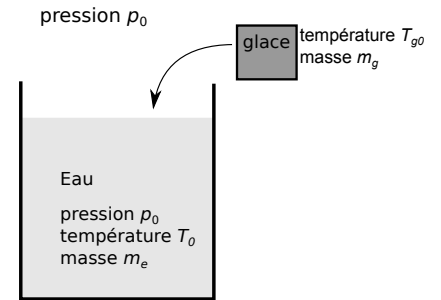
Bien noter également que la détente adiabatique 3 vers 4 est irréversible.

Voir www.abcclim.net/evaporateur.html

VII Glace dans l'eau

1 – On pose le problème

On fait un schéma. Que va-t-il se passer physiquement ? L'eau va refroidir (c'est la question posée) d'une part car le glaçon est initialement plus froid, et d'autre part car il va fondre, or on sait qu'une fusion "absorbe" de l'énergie thermique (afin de briser les liaisons du solide) : cette énergie thermique sera prélevée à l'eau, donc la fera refroidir.



On commence par donner un symbole aux différentes grandeurs qui pourront nous être utiles, et par estimer ou trouver leurs valeurs numériques.

- Température initiale de l'eau : par exemple $T_0 = 20^\circ\text{C}$; température initiale de la glace : on peut prendre $T_{g0} = -18^\circ\text{C}$ car c'est la température d'un congélateur.
- Masse d'eau : $m_e = 200\text{ g}$ pour un verre de 20 cl ; masse de glace : si on prend un glaçon de 2 cm de côté, soit 8 cm^3 , on a 8 g, qu'on arrondit à $m_g = 10\text{ g}$.
- On aura également besoin de la capacité thermique massique de l'eau liquide $c_e = 4.2\text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$, de celle de l'eau solide $c_g = 2.0\text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ (que l'on prendra toutes deux indépendantes de T), et de l'enthalpie massique de fusion de l'eau à $T_{\text{fus}} = 0\text{C}$: $h_{\text{fus}} = 334\text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

2 – On cherche une stratégie de résolution

On se souvient de problèmes analogues : mise en contact de deux solides de températures initiales différentes, canette auto-réfrigérante. À chaque fois, on a fait un bilan d'enthalpie ΔH pour tout le système, et on a écrit $\Delta H = 0$ car le système total est calorifugé.

Ici, le système est {eau + glace}. On va négliger les transferts thermiques avec l'extérieur : la transformation sera donc adiabatique.

La transformation est la suivante, décomposée en étapes :

$$0 \left| \begin{array}{l} \text{eau à } T_0 = 20^\circ\text{C} \\ \text{glaçon solide à } \\ T_{g0} = -18^\circ\text{C} \end{array} \right. \rightarrow 1 \left| \begin{array}{l} \text{eau à } T_{\text{fus}} = 0^\circ\text{C} \\ \text{glaçon solide à } \\ T_{\text{fus}} = 0^\circ\text{C} \end{array} \right. \rightarrow 2 \left| \begin{array}{l} \text{eau à } T_{\text{fus}} = 0^\circ\text{C} \\ \text{glaçon liquide à } \\ T_{\text{fus}} = 0^\circ\text{C} \end{array} \right. \rightarrow f \left| \begin{array}{l} \text{eau à } T_f = ? \\ \text{glaçon liquide à } \\ T_{gf} = T_f = ? \end{array} \right.$$

La transformation $0 \rightarrow f$ est adiabatique (par hypothèse).

Elle est aussi monobare ($p_{\text{ext}} = p_0 = \text{cst}$), et on a en plus $p_{\text{initial}} = p_{\text{final}} = p_{\text{ext}}$, donc on peut appliquer le premier principe avec H : $\Delta H = Q_{\text{reçu}}$, et $Q_{\text{reçu}} = 0$ ici.

On décompose selon les étapes :

$$0 = \Delta H = \Delta H_{01} + \Delta H_{12} + \Delta H_{2f} \\ = [m_g c_g (T_{\text{fus}} - T_{g0}) + m_e c_e (T_{\text{fus}} - T_{e0})] + m_g h_{\text{fus}}(0^\circ\text{C}) + [m_e c_e (T_f - T_{\text{fus}}) + m_g c_e (T_f - T_{\text{fus}})] \quad (1)$$

3 – On met en œuvre la stratégie

Il reste à extraire T_f de l'équation précédente. On trouve après quelques manipulations :

$$T_f - T_0 = \frac{m_g}{m_g + m_e} \left(-\frac{c_g}{c_e} (T_{\text{fus}} - T_{g0}) - \frac{h_{\text{fus}}}{c_e} - (T_0 - T_{\text{fus}}) \right) = -5.2^\circ\text{C}. \quad (2)$$

4 – On a un regard critique sur les résultats

La formule finale est homogène, et le résultat numérique semble raisonnable.

Remarque : On peut choisir un autre chemin pour décomposer la transformation. Quel que soit notre choix, le résultat final n'en dépend pas car H est une fonction d'état, donc ΔH pour la transformation totale ne dépend pas du chemin suivi (l'état initial et l'état final étant les mêmes à chaque fois).

Par exemple on aurait pu choisir :

$$0 \left| \begin{array}{l} \text{eau à } T_0 = 20^\circ\text{C} \\ \text{glaçon solide à} \\ T_{g0} = -18^\circ\text{C} \end{array} \right. \rightarrow 1 \left| \begin{array}{l} \text{eau à } T_0 = 20^\circ\text{C} \\ \text{glaçon solide à} \\ T_{\text{fus}} = 0^\circ\text{C} \end{array} \right. \rightarrow 2 \left| \begin{array}{l} \text{eau à } T_0 = 20^\circ\text{C} \\ \text{glaçon liquide à} \\ T_{\text{fus}} = 0^\circ\text{C} \end{array} \right. \rightarrow f \left| \begin{array}{l} \text{eau à } T_f = ? \\ \text{glaçon liquide à} \\ T_{gf} = T_f = ? \end{array} \right.$$

On arrive alors à exactement la même expression :

$$\boxed{T_f - T_0 = \frac{m_g}{m_g + m_e} \left(-\frac{c_g}{c_e} (T_{\text{fus}} - T_{g0}) - \frac{h_{\text{fus}}}{c_e} - (T_0 - T_{\text{fus}}) \right) = -5.2^\circ\text{C}.} \quad (3)$$

Remarque : Chacun des trois termes ci-dessus correspond à une des trois étapes. On se rend compte que le refroidissement dû à l'étape 01 est $-\frac{m_g}{m_g + m_e} \frac{c_g}{c_e} (T_{\text{fus}} - T_{g0}) = -0.4^\circ\text{C}$; celui dû à la fonte de

la glace est $-\frac{m_g}{m_g + m_e} \frac{h_{\text{fus}}}{c_e} = -3.8^\circ\text{C}$; celui dû à l'étape 2f est $-\frac{m_g}{m_g + m_e} (T_0 - T_{\text{fus}}) = -1^\circ\text{C}$.

C'est donc la fusion du glaçon qui est responsable de la majeure partie du refroidissement.