

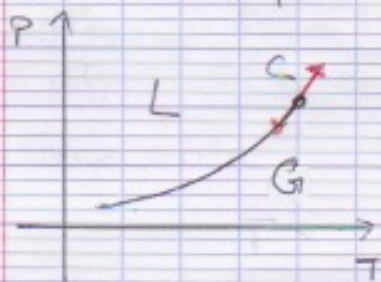
TD 8 Thermo: Corps pur sous 2 phases

Exercice 1

1) On peut le voir de plusieurs façon.

* Avec la relation de Clapeyron: $\frac{dP_{eq}}{dT} = \frac{l_{l \rightarrow g}}{T(\nu_g - \nu_l)}$

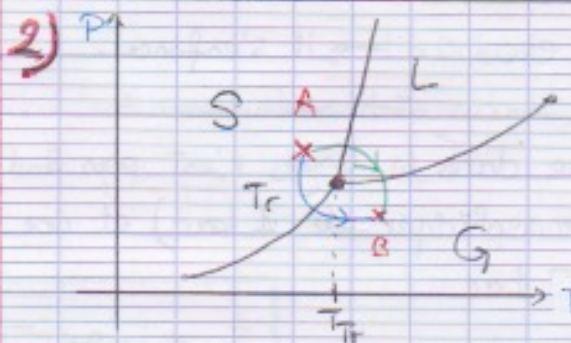
Dans le diagramme (P,T) la courbe d'équilibre Liq/Gaz s'arrête au point C:



la tangente en C existe et ne vaut pas l'_{∞} .

Or lorsque $T \rightarrow T_c$ les volumes massiques sont identiques $\nu_g \rightarrow \nu_l$

donc d'après la formule de Clapeyron, pour que $\frac{dP_{eq}}{dT} \neq +\infty$ il faut que $\boxed{l_{l \rightarrow g} \xrightarrow{T \rightarrow T_c} 0}$



2 chemins possible pour aller de A à B

(On considère A et B très proche du point Triple T_r)

Chemins 1: $h_B - h_A = l_{\text{sublimation}}(T_r)$

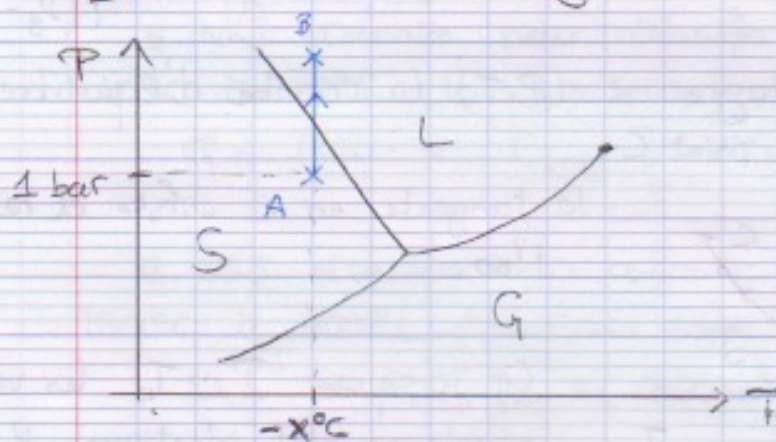
Chemins 2: $h_B - h_A = l_{\text{fusion}}(T_r) + l_{\text{vaporisation}}(T_r)$

Comme R est une fonction d'état, la variation est identique pour les 2 chemins. d'où :

$$L_{\text{sublimation}}(T_{\text{Tr}}) = L_{\text{fusion}}(T_{\text{Tr}}) + L_{\text{vaporisation}}(T_{\text{Tr}})$$

⚠ Cette relation n'est vraie qu'au point triple!

3) On considère la neige comme de l'eau sous forme solide



- Sans le bâtiment, l'eau est au point A.
- On construit l'observatoire \rightarrow On augmente la pression sous le bâtiment : $A \rightarrow B$
- L'eau sous l'observatoire fond et s'écoule plus loin.
- L'observatoire repose alors sous de la nouvelle neige qui fond à son tour, etc... \rightarrow il s'enfonce.

4) L'eau ^{liquide} contenue dans le linge n'est pas à l'équilibre (à la pression atmosphérique de 1 bar) et une pression partielle en eau de 0,05 bar.

\Rightarrow l'eau va se vaporiser pour augmenter la pression partielle en eau gaze dans l'air.

Si il n'y a pas de vent et d'aération, le taux d'humidité

de la pierre augmente jusqu'à 100% et le linge ne peut plus sécher.

Si il y a du vent, l'eau sous forme gazeuse créée est tout de suite évacuée et donc l'eau liquide reste avec une pression partielle faible \rightarrow Vaporisation plus rapide.

5) On sait que $l_{\text{fusion}}(0^\circ\text{C})$ a lieu à une pression de 1 bar.

On peut supposer que l_{fusion} varie peu entre 0°C et -1°C .

$$\frac{dP_{\text{eq}}}{dT} = \frac{l_{\text{fusion}}}{T(V_{\text{liq}} - V_{\text{solide}})}$$

$$\text{Pour } 0^\circ\text{C} : \frac{dP_{\text{eq}}}{dT} = \frac{335 \cdot 10^6}{273 \left(1 - \frac{1}{0,92}\right)} = -139 \text{ bar} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$$

On considère que sur l'intervalle $[-1^\circ\text{C}, 0^\circ\text{C}]$, la courbe d'équilibre Solide/Liquide est une droite, d'où :

$$\begin{aligned} P_{\text{eq}}(-1^\circ\text{C}) &= P_{\text{eq}}(0^\circ\text{C}) + \frac{dP_{\text{eq}}}{dT}(0^\circ\text{C})(-1^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) \\ &= 1 \text{ bar} + \frac{dT}{139} \text{ bar} \\ &= 140 \text{ bar} \end{aligned}$$

C'est une valeur très grande, signe que la courbe Solide/Liquide est presque verticale.

Exercice 2

A priori, Le système \checkmark 3 états d'équilibre possible :

- Gaz à une température $\geq 100^\circ\text{C}$
- Eau liquide à une température $\leq 100^\circ\text{C}$
- Un mélange des 2 à une température $= 100^\circ\text{C}$

Il faut calculer les quantités de chaleur "disponible"
pour savoir lequel de ces états est le bon.

• Tout se passe à la pression P_0 donc $L_{\text{vap}} = Q$.
Et le système est calorifugé donc toute l'énergie perdue par
une phase est gagnée par l'autre.

• Calcul des énergies nécessaires :

• NRTJ nécessaire pour réchauffer 1 g d'eau liquide de
 10°C à 100°C (toujours sous forme liquide):

$$Q = (100 - 10) \cdot C_{\text{eau liq}} = 90 \times 4,2 = 378 \text{ J.}$$

• NRTJ nécessaire pour refroidir 1 g de vapeur d'eau de
 150°C à 100°C (toujours sous forme gaz).

$$Q = 50 C_{\text{eau gaz}} = 100 \text{ J.}$$

Il y a 3 fois plus d'énergie nécessaire pour faire chauffer
l'eau: C'est la vapeur qui va se refroidir pour réchauffer
le liquide:

$$Q_{\text{eau liq}} + Q_{\text{eau vap}} = 0$$

$$m C_{\text{eau liq}} (T_f - 10^\circ\text{C}) + m C_{\text{eau-gaz}} (100 - 150) = 0$$

$m = 1 \text{ g}$

$$T_f = 50^\circ \frac{C_{\text{eau gaz}}}{C_{\text{eau liq}}} + 10^\circ\text{C} = 38,81^\circ\text{C}$$

Le gaz se refroidit à 100°C et le liquide se réchauffe
jusqu'à T_f .

Le système n'est toujours pas à l'équilibre !

⇒ La vapeur d'eau va se liquéfier pour faire augmenter

la température du liquide.

On suppose que seulement une fraction x de 1 g d'eau gaze se liquéfie.

$$Q_{\text{eau liq}} + Q_{\text{liquéfaction}} = 0 \quad (\Leftrightarrow) \quad Q_{\text{eau liq}} + x \cdot L_{\text{liq}} = 0$$

La transformation s'arrête lorsque $T_{\text{liquide}} = 100^\circ\text{C}$

$$Q_{\text{eau liq}} = m C_{\text{eau-liq}} (100^\circ\text{C} - T_F)$$

$$\text{d'où : } x = \frac{m C_{\text{eau-liq}} (100 - T_F)}{L_{\text{liquide}}} = 0,12 \text{ g}$$

Le système à l'état final est alors 0,88 g de vapeur d'eau à 100°C et $P_0 = 1 \text{ bar}$ 1,12 g d'eau liquide

Exercice 3

1) Pour un liquide $dU = C \cdot dT = \delta Q$

$$dU = C \cdot \frac{4}{3} \pi R^3 \rho \cdot dT = A (T(t) - T_e) \int_S d\Sigma dt$$

$$\frac{dT}{T(t) - T_e} = \frac{3A}{4\pi R^3 \rho C} \times 4\pi R^2 dt = \frac{3A}{R\rho C} dt$$

$$2) \frac{d(T(t) - T_e)}{T(t) - T_e} = \frac{3A}{R\rho C} dt$$

$$T(t) - T_e = C^{te} \exp(-t/\tau) \quad \text{avec} \quad \tau = \frac{R\rho C}{3A}$$

$$\text{NB: } [\tau] = \frac{\text{L} \cdot \text{M} \cdot \text{L}^{-3} \cdot \text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}}{\text{J} \cdot \text{T}^{-1} \cdot \text{C}^2 \cdot \text{K}^{-1}} = \text{T} \quad \text{OK c'est homogène.}$$

$$\text{À } t=0 \quad T - T_e = T_i - T_e$$

$$\text{d'où : } T - T_e = (T_i - T_e) e^{-t/\tau}$$

$$3) \quad T(t_0) = -5^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad \frac{t_0}{\tau} = \ln\left(\frac{T_i - T_e}{T(t_0) - T_e}\right)$$

$$t_0 = 3,95 \text{ s}$$

4) Toute l'énergie de passage de l'eau liq à -5°C vers l'eau liquide à 0°C est utilisée pour le changement d'état

$$Q_{-5^\circ\text{C} \rightarrow 0^\circ\text{C}} = \underbrace{\rho \frac{4}{3} \pi R^3 c}_{m} (T_F - T_0) = x' m L_{\text{vap}}$$

$$x' = \frac{c(T_F - T_0)}{L_{\text{vap}}} = 0,06$$

La fraction restante d'eau à liquéfier est $x = 1 - x'$

$$x = 0,94$$

5) Le système reste à la température $T_F = 0^\circ\text{C}$ pendant toute la transformation:

Le flux de chaleur est alors:

$$\frac{\delta Q}{dt} = A 4\pi R^2 (T_F - T_e)$$

La transformation (solidification) est isobare donc

$$dH = \delta Q = dm \ell_{\text{solidification}}$$

$$\text{Masse solidifiée pendant } dt: \quad dm = -\frac{4\pi R^2 (T_F - T_e) dt}{\ell_{\text{liq}}}$$

$$m(t) = -\frac{4\pi R^2 (T_F - T_e)}{\ell_{\text{liq}}} t$$

On cherche t_1 tel que

$$m(t_1) = \frac{4}{3} \pi \rho R^3 x$$

$$\Rightarrow t_1 = \frac{x \rho R \ell_{\text{liq}}}{3A(T_F - T_e)} \quad t_1 = 21,5 \text{ s}$$