

TD 25 | T5- Changements d'états

I Chaleur latente de fusion (★)

Un vase calorimétrique (calorifugé, capacité thermique négligeable) contient initialement une masse $m_e = 120$ g d'eau liquide à $T_e = 50$ °C et une masse $m_g = 50$ g de glace à $T_g = -15$ °C. Au bout d'un certain temps, un nouvel équilibre thermodynamique est atteint et on mesure $T_f = 9,5$ °C. On rappelle qu'à pression atmosphérique, $T_{fus} = 0$ °C et on considère que la transformation étudiée est monobare.

1. Quel est alors l'état du système (solide, liquide ou mélange)
2. Décomposez la transformation en plusieurs étapes fictives élémentaires pour chaque corps pur et représentez ces informations sur un schéma.
3. En déduire la chaleur latente massique de fusion de l'eau l_{fus}

Données :

Capacités thermique pour la glace et l'eau : $c_g = 2,09$ kJ K⁻¹ kg⁻¹ et $c_e = 4,18$ kJ K⁻¹ kg⁻¹.

II Grêlons (★)

Par suite des frottements dus à l'air, les grêlons acquièrent très rapidement dans leur chute une vitesse constante.

Données. Pour l'eau $c = 4,18$ kJ kg⁻¹ K⁻¹ (solide et liquide) et $l_{S \rightarrow L} = 333$ kJ kg⁻¹ (à 0 °C).

1. En supposant que la température d'un grêlon est de 0°C, celui-ci est-il totalement fondu lorsqu'il arrive au sol après une chute de 20km ?
2. Si ce n'est pas le cas, quelle est la proportion massique de grêlon fondu ?
3. Quelle est la hauteur de chute minimale du grêlon pour qu'il fonde totalement ?

III Stockage d'une eau chaude (★)

Une masse $m = 100$ kg d'eau chaude est stockée dans une cuve fermée de volume $V_0 = 200$ L, que l'on modélise comme étant indéformable. Pour simplifier, on ne tient pas compte de l'air contenu dans la cuve en plus de l'eau. Suite à un échauffement accidentel, l'eau normalement maintenue à $T_0 = 60$ °C passe à $T = 500$ °C.

La vapeur d'eau est modélisée par un gaz parfait. On tient compte de la légère compressibilité et dilatabilité de l'eau liquide par une équation d'état de la forme :

$$\ln \frac{V}{V_0} = \alpha(T - T_0) - \chi_T(P - P_0) \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \alpha = 1,1 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1} \\ \chi_T = 5,7 \times 10^{-9} \text{ Pa}^{-1} \end{cases}$$

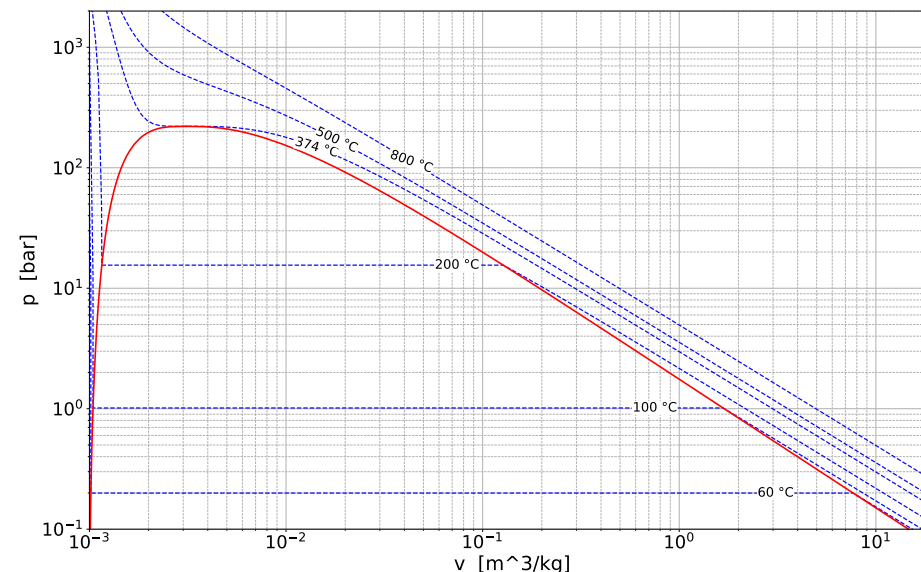


FIGURE 1 – Diagramme de Clapeyron (P,v) de l'eau. Plusieurs isothermes sont représentées pour des températures allant de 60 à 600 °C. Attention, les échelles sont logarithmiques.

1. Identifiez, sur le diagramme de Clapeyron, la courbe de rosée, la courbe d'ébullition, le point critique et les différentes phases dans lesquelles se trouve l'eau.
2. En utilisant le diagramme de Clapeyron, déterminer la composition du mélange liquide-gaz initial.
3. Sous quelle forme trouve-t-on l'eau après l'échauffement accidentel ? Déterminer la pression P correspondante par deux méthodes distinctes. Commenter.
4. La soupape de sécurité permet au fur et à mesure du chauffage de laisser de la vapeur d'eau s'échapper : la cuve est finalement presque vide et ne contient plus que $m_0 = 400$ g d'eau. Déterminer la pression finale et conclure.

IV Évaporation d'un verre d'eau (★★)

Le degré hygrométrique H d'une atmosphère est défini comme le rapport de la pression partielle en vapeur d'eau P_{H_2O} sur la pression de vapeur saturante P_{sat} à une température donnée : $H = \frac{P_{H_2O}}{P_{sat}}$. On le donne généralement sous la forme d'un pourcentage.

On considère une pièce hermétiquement fermée, de volume $V = 40$ m³, dans laquelle on place un récipient contenant 200 mL d'eau liquide. L'air de la pièce est à la pression $P_0 = 1 \times 10^5$ Pa et à la température $T_0 = 293$ K. Son degré d'hygrométrie est $H_0 = 60\%$.

On donne $P_{sat}(293) = 2,3 \text{ kPa}$. On assimile l'eau à un gaz parfait de masse molaire $M = 18 \text{ g/mol}$.

1. Calculez la quantité de matière en eau initialement présente dans l'air de la pièce.
2. Montrez que toute l'eau contenu dans le récipient va s'évaporer.
3. Quel volume d'eau liquide faut-il évaporer pour saturer la pièce en eau (degré hygrométrique de 100 %) ? Que se passe-t-il si le récipient contient un volume d'eau supérieur à cette valeur ?

V Entropie créée pour une détente de Joule-Kelvin (***)

Dans une machine frigorifique, un gaz de fréon subit une détente de Joule-Kelvin (adiabatique et isenthalpique) de l'état A à l'état B , x désignant le titre en vapeur, on donne :

$T_A = 303 \text{ K}$; $x_A = 0$ pour l'état A puis :

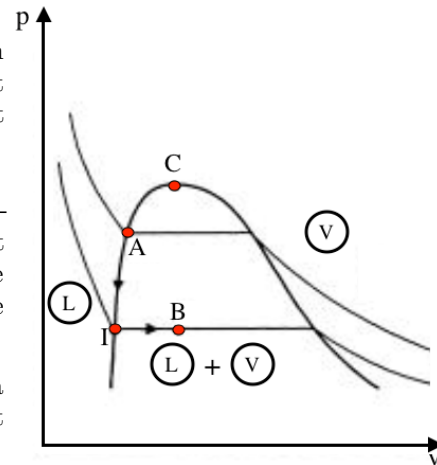
$T_B = 263 \text{ K}$, l'enthalpie massique de vaporisation à $T = 263 \text{ K}$ notée $l_{263} = 159 \text{ kJ kg}^{-1}$ et la capacité thermique massique du fréon liquide $c = 0,96 \text{ kJ K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ (supposée indépendante de la température).

On pourra utiliser la relation suivante pour la variation d'entropie d'un corps pur, monphasé et incompressible :

$$\Delta s = c \ln \left(\frac{T_f}{T_i} \right)$$

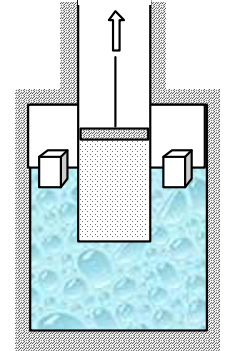
Déterminez puis calculez les quantités suivantes :

1. le titre massique en vapeur x_B dans l'état final
2. la création d'entropie massique lors de la détente envisagée, commentez son signe.



VI Fabrication de glace (***)

Un cylindre aux parois diathermanes enferme une mole d'air considéré comme un gaz parfait à la température $T_0 = 273 \text{ K}$ que l'on détend de manière réversible de la pression $P_1 = 7 \text{ bar}$ à la pression $P_2 = 3 \text{ bar}$ en soulevant le piston. Le corps du cylindre est en contact thermique avec de l'eau liquide en équilibre avec de la glace également à la température initiale de 273 K sous la pression atmosphérique normale. On donne la chaleur latente de fusion de la glace : $l_f = 334 \text{ kJ kg}^{-1}$ à 273 K .



1. Quelle masse de glace est obtenue lors de cette opération ?
2. Quelle est la variation d'entropie du système {gaz - système diphasé} ? Que vaut l'entropie créée ? Commenter la cohérence.

Éléments de réponses :

E1 Q3 : $l_{fus} \approx 335 \text{ kJ kg}^{-1}$

E2 Q2 : $x = \frac{gh}{l_{S \rightarrow L}} = 59 \%$

E5 Q2 : $\Delta s_{AB} = c \ln \left(\frac{T_B}{T_A} \right) + x_B \frac{l_{263}}{T_B} = 10,4 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$

E6 Q1 : $m_g = 5,8 \text{ g}$