Ex 6 Vaporisation d'eau dans le vide

Une enceinte de volume $V = 1\ \mathrm{L}$, initialement vide est maintenue à la température constance $T_0 = 373\ \mathrm{K}$. On y introduit une masse $m = 1,00\ \mathrm{g}$ d'eau liquide à la température T_0. La vapeur d'eau sera assimilée à un gaz parfait.

On donne la pression de vapeur saturante de l'eau : $P_{sat} = 1,01\ \mathrm{bar}$, l'enthalpie de vaporisation de l'eau liquide à T_0 : $\Delta h_{\mathrm{vap}} = 2,25\ \mathrm{kJ \cdot g^{-1}}$, la masse molaire de l'eau $M = 18\ \mathrm{g/mol}$.

1. Déterminer la composition finale du système.

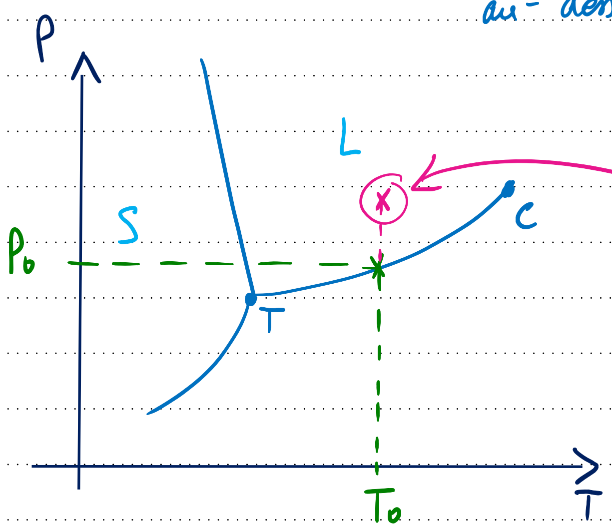
2. Calculer la variation d'entropie au cours de cette transformation

3. Reprendre les questions précédentes en considérant maintenant une masse d'eau $m' = m/2$.

① Composition finale : 3 possibilités :
- → tout liquide
- → équilibre liq/vap
- → tout vapeur.

$V = 1\ \mathrm{L}$
$m = 1\ \mathrm{g}$
T_0

1g d'eau liquide occupe un volume $V = 1\ \mathrm{cm}^3$
⇒ hyp. incohérente
il y aurait du vide au-dessus.



domaine liquide avec l'hyp que toute l'eau est vapeur : incohérence.

Hyp : On suppose que toute l'eau est sous forme de vapeur.
La température est fixée. On exprime la pression et on vérifie la cohérence avec le diag (P,T)!

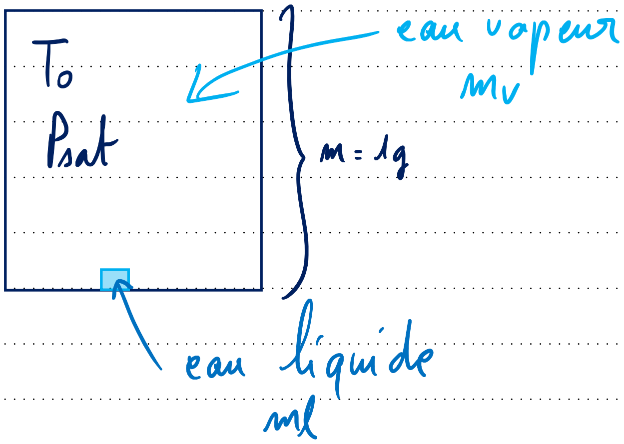
Hyp : vapeur d'eau assimilée à un GP :

$PV = nRT_0 \qquad P = \dfrac{nRT_0}{V} \quad$ et $\quad n = \dfrac{m}{M}$

$$\boxed{P = \frac{m}{M} \times \frac{RT_0}{V}}$$

AN : $\underbrace{P = 1{,}7 \text{ bar} > P_{sat}}_{\text{incohérence : voir diag } (P,T).}$

On doit avoir un équilibre liquide-vapeur à T_0 et P_{sat}.



On note x le titre massique en vapeur.

On néglige le volume occupé par le liquide devant celui occupé par la vapeur

$$V_v \gg V_l \quad \left(\text{au moins un rapport } 10^3\right)$$

Vapeur assimilée à un GP

$$PV = m_v RT \qquad P_{sat} V = \frac{m_v}{M} RT_0$$

et $x = \dfrac{m_v}{m}$

$$\boxed{x = \frac{P_{sat} V}{RT_0} \frac{M}{m}}$$

$$\underline{x = 5{,}8 . 10^{-2}}$$

2e méthode : on peut appliquer le théorème des moments :

$$x = \frac{v - v_l}{v_v - v_l}$$

v = volume massique

$$v = \frac{1.10^{-3}}{1.10^{-3}} \qquad v = 1 \, m^3/kg$$

$$v_l = 10^{-3} \, m^3/kg \qquad v_v = \frac{RT_0}{M P_{sat}} \text{ (Hyp GP)} \qquad v_v = 1{,}7 \, m^3/kg$$

On retrouve $\underline{x = 5{,}8 . 10^{-2}}$.

② Variation d'entropie =

Changement d'état à T_0 :

EI : titre en vapeur $x_i = 0$
EF : titre en vapeur x.

$$\boxed{\Delta S = m \times x \, \frac{\Delta h_{vap}}{T_0}}$$

$\Delta S = 3,6 \text{ J/K}$

③ On considère une masse $m' = \frac{m}{2}$

Hyp : Toute l'eau est sous forme de vapeur.

$$\boxed{P' = \frac{m'}{\Pi} \frac{RT_0}{V} = \frac{m}{2\Pi} \frac{RT_0}{V}}$$

$P' = 0,86 \text{ bar}$

$P' < P_{sat}$

Hyp validée.

Variation d'entropie =

Transformation isotherme en 2 étapes :

* changement d'état à P_{sat}
* détente de la vapeur assimilée à 1 GP à T_0 de P_{sat} à P'

Entropie variable (T,P)

$$\Delta S = m' \frac{\Delta h_{vap}}{T_0} + \underbrace{\frac{m'}{\Pi} \frac{R}{\gamma - 1} \ln\left(\frac{P'^{1-\gamma} \cancel{T^{\gamma}}}{P_{sat}^{1-\gamma} \cancel{T_0^{\gamma}}}\right)}_{\text{Entropie variable (T,P)}} \qquad T = T_0$$

$$\boxed{\Delta S = m' \frac{\Delta h_{vap}}{T_0} - \frac{m'}{\Pi} \ln\left(\frac{P'}{P_{sat}}\right)}$$

$\Delta S = 3 \text{ J/K}$