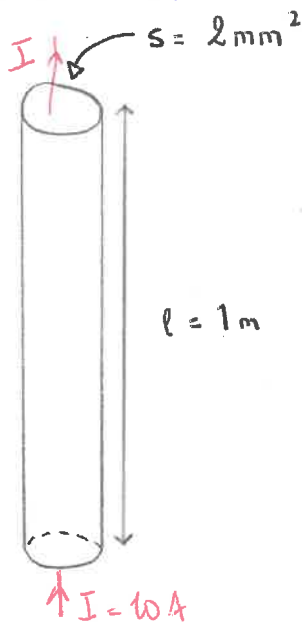


Exercice 1

TD 15.

Groupe 2



Bilan énergétique:

Variation d'énergie interne

$$mc d\theta$$

Puissance accumulée.

D'après le 1^{er} principe
 $\frac{dU}{dt} = P_J - P_{\text{Rayonné}}$

$$mc \frac{d\theta}{dt} = P_{\text{Joules}} - P_{\text{Rayonné}}$$

$$P_{\text{Joules}} = RI^2$$

$$\text{avec } R = \ell \frac{\rho}{S}$$

$$P_{\text{Rayonné}} = kS(\theta - \theta_0)$$

$$\frac{d\theta}{dt} + \underbrace{\left(\frac{kS}{\mu V_F c} \right)}_{\tau} \theta = \frac{\ell \frac{\rho}{S} I^2}{\mu V_F c} + \frac{kS}{\mu V_F c} \theta_0$$

$$\begin{aligned} S &= \pi r^2 \\ S &= 2\pi r \ell \\ &= 2\pi \ell \sqrt{\frac{2}{\pi}} \\ &= 2\pi \times 1 \times \sqrt{\frac{10^{-6} \times 2}{\pi}} \\ &= 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\tau = \frac{kS}{\mu V_F c} = \frac{10 \times 2\pi \times \sqrt{\frac{2}{\pi}} \times 10^{-6} \times 1}{8000 \times 2 \times 10^{-6} \times 1} = 3,13 \text{ s} = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V_F = \pi r^2 \ell = 5 \ell$$

A l'équilibre

$$\frac{d\theta}{dt} = 0 \Rightarrow P_{\text{Joule}} = P_{\text{rayonnante}}$$

$$\ell \frac{\rho}{S} I^2 = kS(\theta_F - \theta_0)$$

$$\ell \frac{\rho}{S} I^2 + \theta_0 = \theta_F$$

expression numérique?

$$\theta_F = 20 + \frac{1,1 \times 10^{-7} \times 1 \times 10^2}{10 \times 5 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^{-6}}$$

$$\theta_F = 423 \text{ K} \text{ ou } 130^\circ \text{C. } \underline{\text{oui}}$$

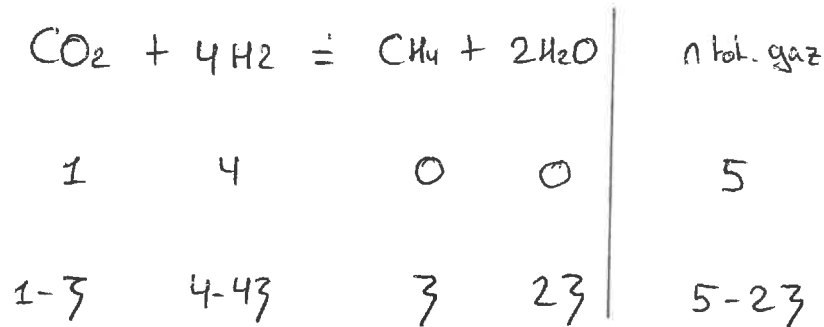
$$\tau = \frac{\mu V_F c}{k S} = \frac{\mu \ell S c}{k 2\pi r \sqrt{\frac{2}{\pi}}} = \frac{\mu c}{2k} \frac{\Delta}{\pi} \sqrt{\frac{\pi}{\Delta}} = \frac{8000 \times 460}{2 \times 10} \sqrt{\frac{2 \times 10^{-6}}{\pi}}$$

$$= \frac{\mu c}{2k} \sqrt{\frac{\Delta}{\pi}} = 147 \text{ s}$$

groupe 4.

Exercice B TD 15:

en mol:



$$P_{\text{H}_2} = 0,12 \text{ bar} = \frac{n_{\text{H}_2} RT}{V} = \frac{4(1-3)RT}{V}$$

$$P_{\text{CO}_2} = \frac{n_{\text{CO}_2} RT}{V} = \frac{(1-3)RT}{V} \quad \checkmark$$

Ainsi, $P_{\text{H}_2} = 4 P_{\text{CO}_2}$ $\checkmark$

De plus, $P_{\text{CH}_4} = \frac{3RT}{V}$ et $P_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{23RT}{V}$

Ainsi, $P_{\text{H}_2\text{O}} = 2 P_{\text{CH}_4}$ $\checkmark$

$P_{\text{H}_2} = 0,12 \text{ bar}$, donc $P_{\text{CO}_2} = \frac{0,12}{4} = 0,03 \text{ bar}$ $\checkmark$

$$P_{\text{H}_2} = 0,12 = \frac{4(1-3)RT}{V} \quad (\Rightarrow) \quad 3 = 1 - \frac{0,12 \cdot V}{4RT}$$

$$\begin{aligned} \text{Ainsi, } P_{\text{CH}_4} &= \left(1 - \frac{0,12 \cdot V}{4RT}\right) \left(\frac{RT}{V}\right) \\ &= \frac{4RT - 0,12 \cdot V}{4V} = \frac{RT}{V} - \frac{0,12}{4} \\ &= \frac{RT}{V} - 0,03 \text{ bar} \end{aligned}$$

maladroite

$$P_i = \frac{n_i}{n_{\text{tot gaz}}} \times P_{\text{TOT}}$$

avec $P_{\text{TOT}} = P_{\text{CO}_2} + P_{\text{H}_2} + P_{\text{CH}_4} + P_{\text{H}_2\text{O}}$

$$P_{\text{TOT}} = \frac{P_{\text{H}_2}}{4} + P_{\text{H}_2} + P_{\text{CH}_4} + 2P_{\text{CH}_4}$$

$$P_{\text{CH}_4} = \frac{P_{\text{TOT}} - \frac{5}{4} P_{\text{H}_2}}{3}$$

$$= \frac{2,1 - \frac{5}{4} \times 0,12}{3}$$

$$P_{\text{CH}_4} = 0,65 \text{ bar}$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = 1,30 \text{ bar}$$

Δ Vous n'avez pas utilisé la donnée de $P_{\text{TOT}} = 2,1 \text{ bar}$

$$= \frac{(5-2)RT}{V}$$
$$\Rightarrow \frac{RT}{V} = \frac{P_{\text{TOT}}}{5-2}$$

Ex. 3: TD 15 Groupe 3.

1) On associe à chaque domaine un état physique de l'eau :

1 = gaz

2 = liquide

3 = solide

4 = fluide supercritique.

2) Le point A est le point triple

Le point B est le point critique.

3) L'eau se trouve à l'état solide sur Mars sous forme de glace dans le sol.

4). La pression sur Mars est de 600 Pa et la température est inférieure à 0°C $\rightarrow$ ce point se trouve donc à gauche de A où l'eau est bien à l'état solide

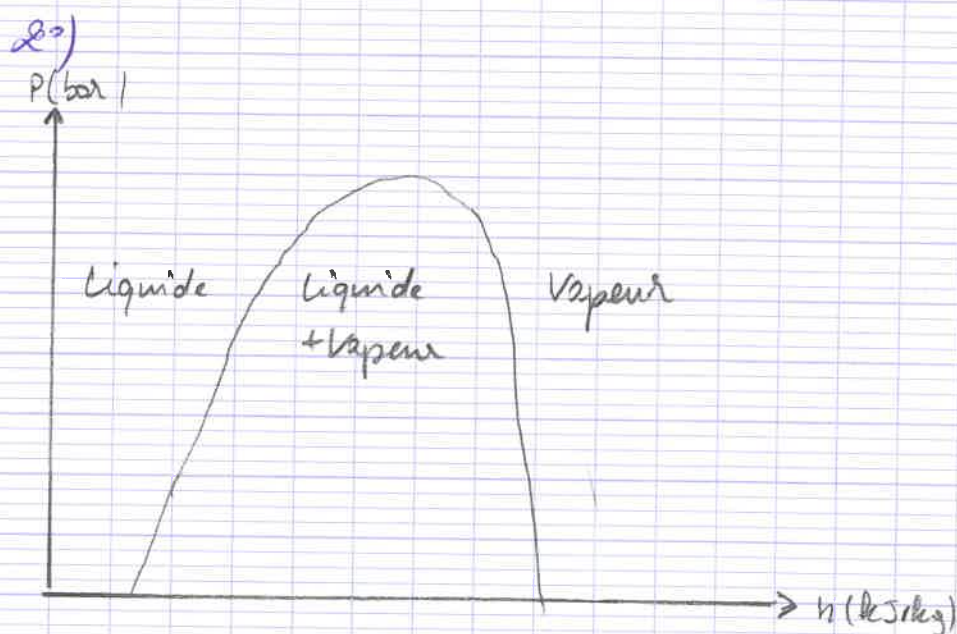
Groupe 8

Veillez à bien annoter le diagramme en précisant toutes les valeurs numériques.
N'oubliez pas d'utiliser des feuilles blanches, cf. placard I05

IV - Liquéfaction du diazote par détente isentropique

- 1°) La formule de l'enthalpie de vaporisation du diazote
$$\Delta H_{\text{vap}} = H_{\text{gaz}} - H_{\text{liquide}} = Q_{\text{vap}} \text{ N}_2(l) = \text{N}_2(g)$$

La relation d'ordre est
$$H_{\text{gaz}} > H_{\text{liquide}} \quad \checkmark$$



- 3°) Dans la région d'équilibre liquide-vapeur, les isothermes sont des lignes horizontales et cela prouve que la température reste constante lors d'un changement de phase à pression constante. $\checkmark$

- 4°) Pour un gaz parfait, l'enthalpie s'écrit $h = c_p T$ ^{manque}
Les isothermes d'un gaz parfait ont une pente positive et sont courbées vers le haut.
L'annulation est valable dans le domaine de la
d'après l'expression précédente les isothermes sont des droites verticales.

Où, où les isothermes sont des droites verticales.

vapeur surchauffée, à basses pressions et hautes températures

non représentées mais oui! 5) Dans cette région les isothermes sont des lignes presque verticales (avec une légère pente positive.)

6) On se place sur l'isotherme à -180°C et on regarde
 $92 \text{ kJ kg}^{-1} \approx h_{\text{liquide}} = 81,63 \text{ kJ kg}^{-1} \approx$ on vous demande l'entropie massique $\rightarrow$ courbe bleue
 $280 \text{ kJ kg}^{-1} \approx h_{\text{gaz}} = 283,33 \text{ kJ kg}^{-1}$ et on demande l'entropie massique $\rightarrow$ courbe bleue
 $s_e \approx 0,02 \text{ kJ kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
 $s_g \approx 2,35 \text{ kJ kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
approximés! ici

7)

$P_1 = 10,00 \text{ bar}$ à l'aide du diagramme.
 Le diazote se trouve sous forme gazeuse car le point est en dehors du dôme vers la droite B

8)

On a $s_2 = s_1 = 1,7 \text{ kJ kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ puisque la turbine est parfaitement isolée et la détente REVERSIBLE
 $P_2 = 1,3 \text{ bar}$ par lecture sur le diagramme
 Le diazote se trouve entre l'état liquide et gazeux puisque le point 2 se trouve dans le dôme.

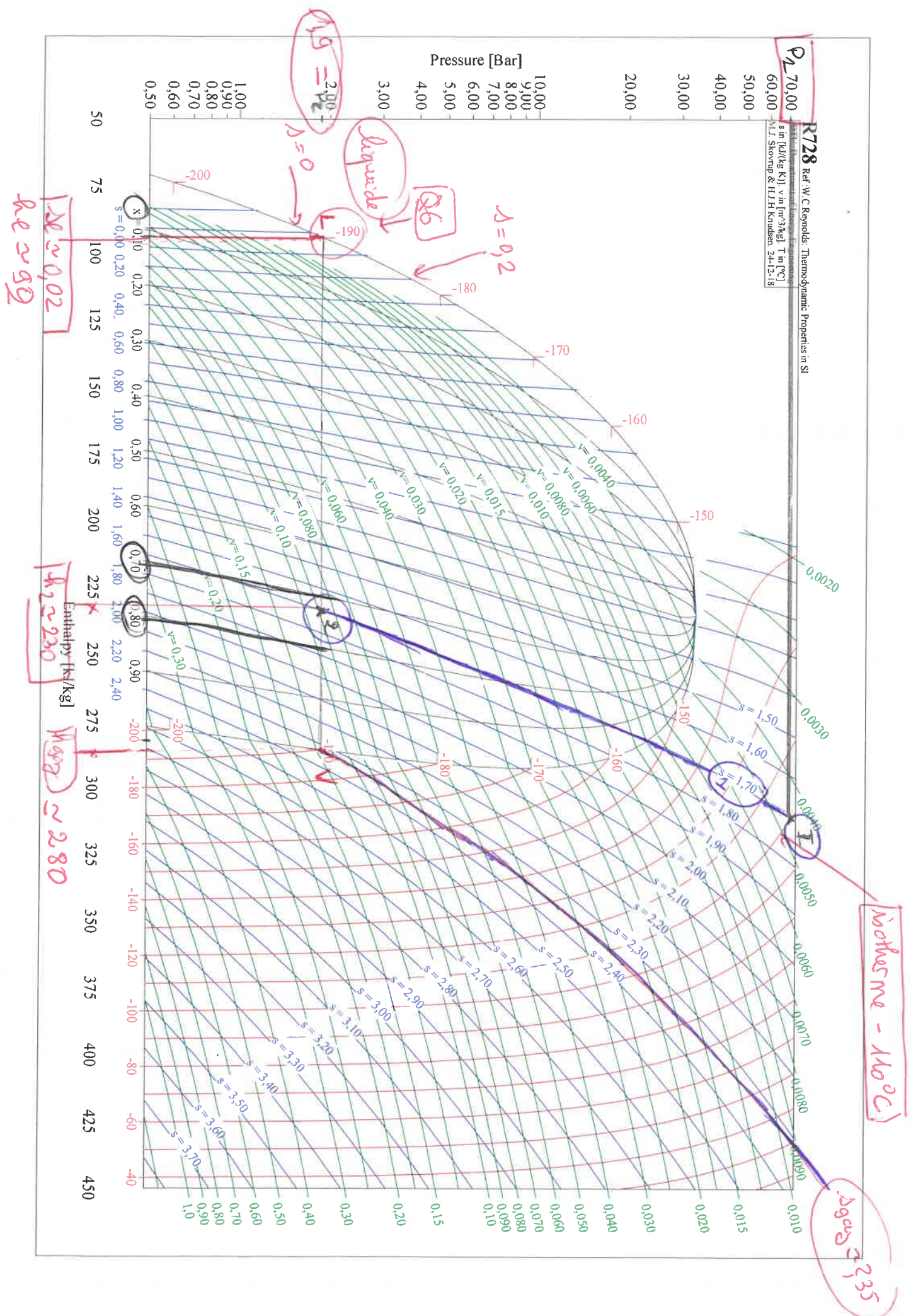
9) Règle des moments $x_v = \frac{L_2}{L_v} = \frac{7,8 \text{ cm}}{10,7 \text{ cm}} = 0,73$

Les lignes de titre sont en noir 2 est plus proche de 0,7 que de 0,8 $\rightarrow x_v = 0,73 \text{ OK}$

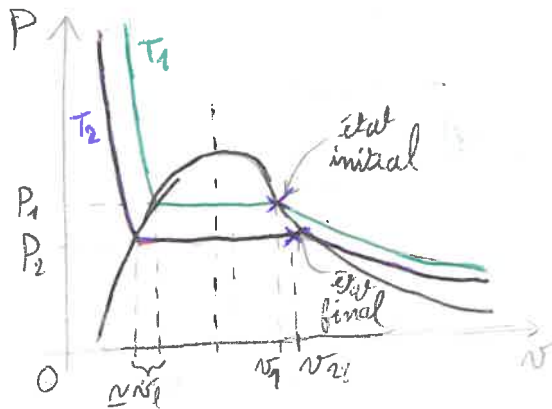
$$x_v = \frac{s_1 - s_e}{s_v - s_e} = \frac{1,7 - 0,02}{2,35 - 0,02} = 0,72 \rightarrow \text{OK}$$

$$x_v = \frac{h_g - h_e}{h_v - h_e} = \frac{230 - 92}{280 - 92} \approx 0,73 \rightarrow \text{OK}$$

Grape 8



1- a)



$$T_1 = 212^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 81^\circ\text{C}$$

$$P_1 = 20 \text{ bar}$$

$$T_1 = 485 \text{ K}$$

$$T_2 = 354 \text{ K}$$

$$P_1 = 2,0 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$P_2 = 0,5 \text{ bar}$$

$$P_2 = 5 \times 10^5 \text{ Pa}$$

de la vapeur

b) on note v_1 et v_2 les volumes massiques à respectivement (P_1, T_1) et (P_2, T_2) , en utilisant l'équation des gaz parfaits on a :

$$PV = nRT \quad \text{de plus } n = \frac{m}{M}$$

$$\text{donc } \frac{V}{n} = \frac{VM}{m} = vM = \frac{RT}{P} \quad \Leftrightarrow v = \frac{RT}{PM}$$

$$\text{alors } v_1 = \frac{RT_1}{P_1 M_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{8,314 \times 485}{2,0 \times 10^6 \times 18 \times 10^{-3}} \quad \text{et } v_2 = \frac{8,314 \times 354}{5 \times 10^5 \times 18 \times 10^{-3}}$$

$$v_1 = 1,12 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$v_2 = 3,27 \times 10^{-1} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

c) l'eau liquide peut être assimilée à une phase condensée idéale donc on peut prendre $v_{\text{liq}} = 1 \text{ L} \cdot \text{kg}^{-1} = 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$

d) la courbe d'ébullition est la partie gauche de la courbe de saturation, l'état initial est à (P_1, v_1) , sur la courbe verte (l'isotherme du haut). lors d'une détente, en supposant que le système est fermé, donc que la masse d'eau est constante, comme le volume diminue, le volume massique v diminue aussi lors d'une détente le volume augmente

2- a) pour une transformation isobare et réversible on a $\delta_{\text{rév}} = 0$ donc

$$\Delta S = \frac{\Delta H}{T}$$

où T est la température extérieure

pour la liquefaction totale

eau (g) $\rightarrow$ eau (liq)

à T_1

$$\Delta H_a = -h_v(T_1)$$

$$\Delta S_a = -h_v(T_1)/T_1$$

$$\Delta H = -h_v(T)$$

$$\Delta S = -h_v(T)/T$$

b) $\Delta H = h_v(T_2) m_{\text{eau}} x + c_l m_{\text{eau}} (T_2 - T_1)$
 $\Delta H = h_v(T_2) m_{\text{eau}} x + c_l m_{\text{eau}} (T_2 - T_1)$
 où $m_{\text{eau}} = 1 \text{ kg}$ et x est la fraction massique d'eau en gaz ($x=1$ si que du gaz)

on a donc $\Delta S = \frac{1}{T_2} (h_v(T_2) x + c_l (T_2 - T_1)) m_{\text{eau}}$

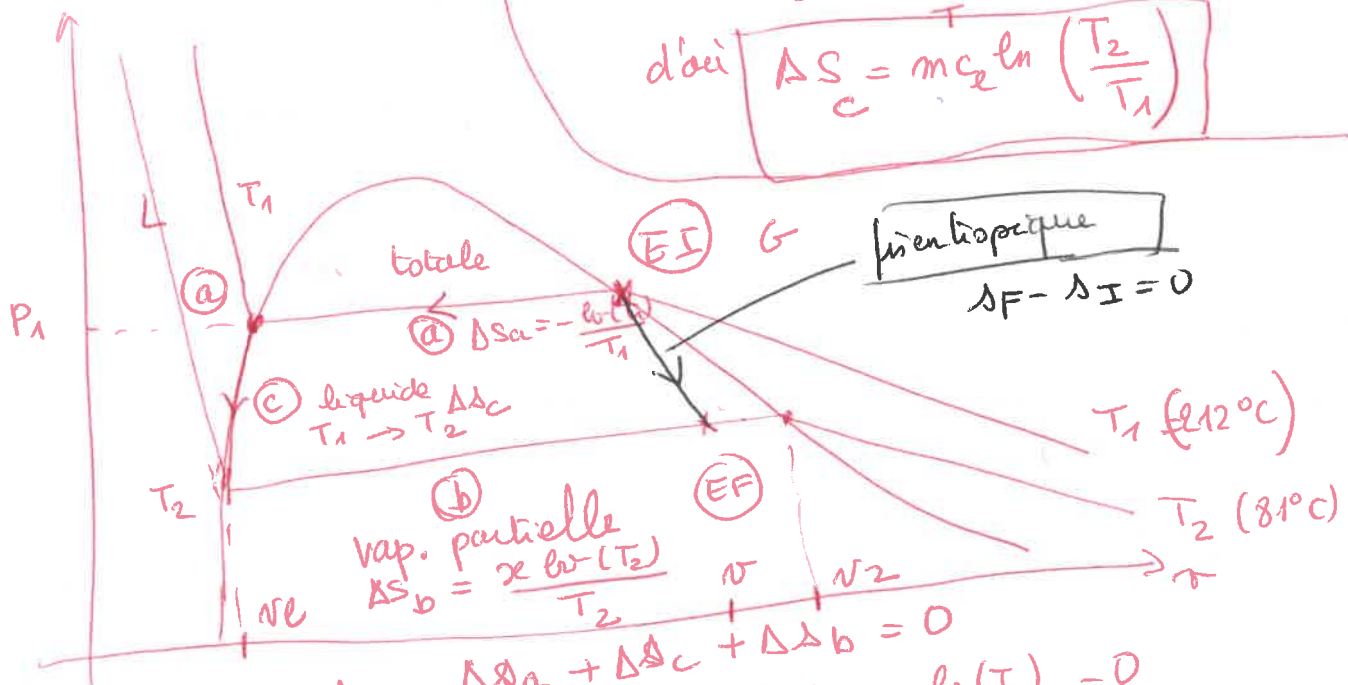
c) un liquide passant de T_1 à T_2 a une volume qui on peut supposer constant, on a alors $S_{\text{créée}} = 0$ et $\Delta S = \frac{\Delta H}{T}$ où $\Delta H = c_m \Delta T$

ici donc, $\Delta S = \frac{c_l m_{\text{eau}} (T_2 - T_1)}{T_1}$

d) on cherche x ,

à écrire différentiellement
 $dS = \frac{dH}{T}$ car T est une variable
 $= m c \frac{dT}{T}$

d'où $\Delta S = m c \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$



$\Delta I - \Delta F = \Delta S_a + \Delta S_b + \Delta S_c = 0$
 $-\frac{h_v(T_1)}{T_1} + c_l \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) + x \frac{h_v(T_2)}{T_2} = 0$

$x = \left[\frac{h_v(T_1)}{T_1} - c_l \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) \right] \times \frac{T_2}{h_v(T_2)}$
 $= \left(\frac{1850}{212+273} - 4,18 \ln \left(\frac{81+273}{212+273} \right) \right) \times \frac{81+273}{2270}$

$x = 0,8$

régle des moments $x = \frac{v - v_l}{v_2 - v_l}$
 $v = x(v_2 - v_l) + v_l$
 $= 0,8 \times (0,327 - 0,001) + 0,001 =$
 $v = 0,26 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$