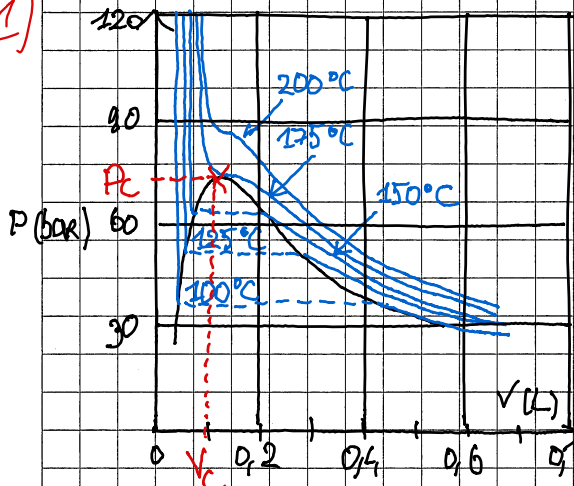
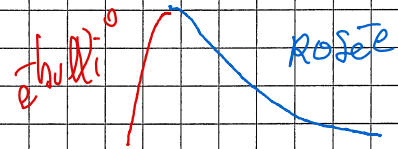


I/1)

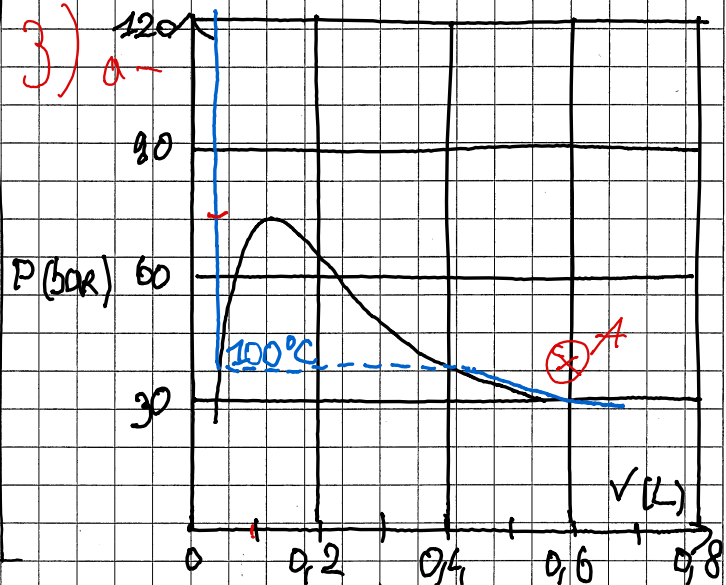


On lit  $V_c = 0,1 \text{ L}$   
et  $P_c = 70 \text{ bars}$

2)



3)

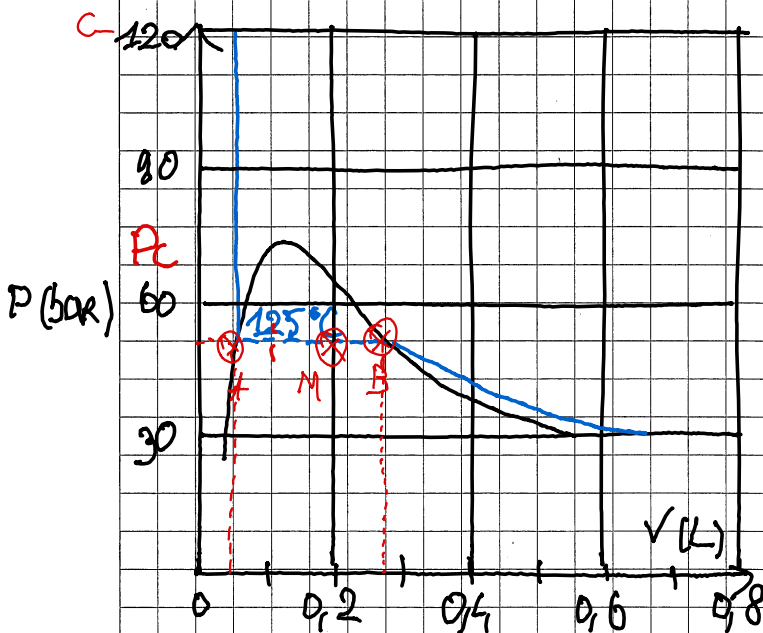


Ici, on est dans l'état gazeux

car  $T_A < T_{\text{critique}}$ , donc  $x_g = 1$ ,  $x_l = 0$ .

5) Dans ce cas,  $T_B > T_{\text{critique}}$ :  $x_g$  et  $x_l$  ne sont pas définies.  
On est dans l'état de fluide supercritique.

C



On est dans la zone diphasée.  
D'après le théorème des mo<sup>+</sup>,

$$x_g = \frac{A/M}{A/B} = \frac{V - V_l}{V_g - V_l} = \frac{V_m - V_{m,l}}{V_{m,g} - V_{m,l}}$$

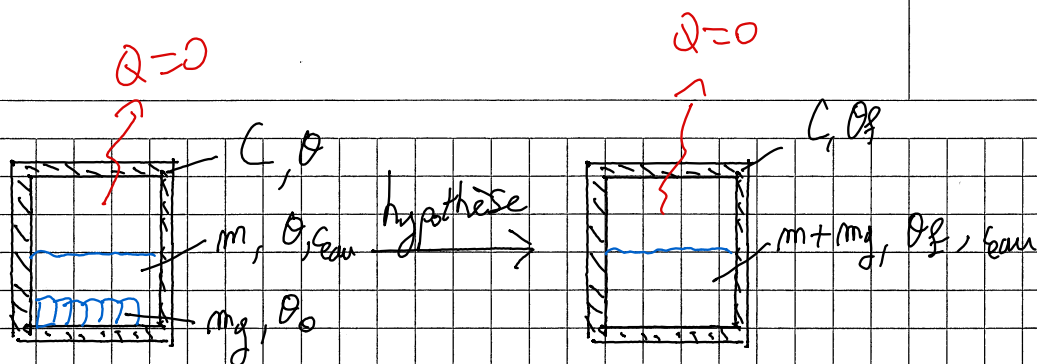
avec  $V_g = 0,28 \text{ L}$  et  $V = 0,2 \text{ L}$   
 $V_l = 0,05 \text{ L}$

AN:  $x_g = 0,65$  et  $x_l = 0,35$

4)

Pour lire le volume (molaire) de la vapeur saturante à 60 bars, on se reporte sur la courbe de rosée, et on lit  $V_m \approx 0,1 \text{ L.mol}^{-1}$

II/A)



On suppose que toute la glace a fondu. Dans ce cas, l'eau transformée est isobare, et que le calorimètre est adiabatique,

$$\Delta H_{\text{tot}} = Q = 0 \Rightarrow \Delta H_{\text{eau}} + \Delta H_{\text{glace}} = 0$$

$$\text{Or, } \Delta H_{\text{eau}} = C(T_f - T)$$

$$\Delta H_{\text{eau}} = m_{\text{eau}}(T_f - T)$$

$$\Delta H_{\text{glace}} = m_g c_{\text{eau}}(T_f - T_0) + m_g \Delta h_{\text{fus}}$$

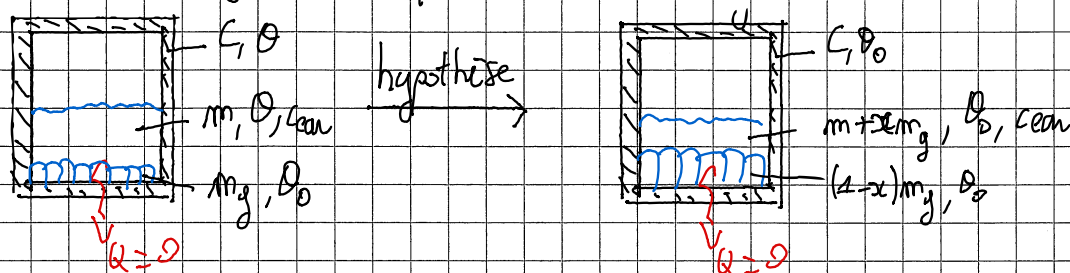
$$\text{D'où } (C + m_{\text{eau}} + m_g c_{\text{eau}}) T_f = (C + m_{\text{eau}}) T + m_g c_{\text{eau}}(T_f - T_0) + m_g \Delta h_{\text{fus}}$$

$$\Rightarrow T_f = \frac{(C + m_{\text{eau}}) T + m_g c_{\text{eau}} T_0 + m_g \Delta h_{\text{fus}}}{C + (m + m_g) c_{\text{eau}}}$$

avec  $T = 18^\circ\text{C}$ ,  $T_0 = 0^\circ\text{C}$ ,  $C = 150 \text{ J.K}^{-1}$ ,  $m = 400 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ ,  $m_g = 25 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$   
 $c_{\text{eau}} = 4185 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $\Delta h_{\text{fus}} = 335 \cdot 10^3 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

A.N.:  $T_f = 2,76^\circ\text{C} \rightarrow$  cohérent avec l'hypothèse ✓

B) même expérience avec  $C = 246 \text{ J.K}^{-1}$  et  $m_g = 50 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ ,  
 la même hypothèse donne  $T_f = -5,5^\circ\text{C}$  ! Incohérent. d'expérience  
 est un mélange eau liquide et eau solide, à  $T = T_0$ . Soit  $x$  la frac. d'eau  
 qui a gelé.



Dans ce cas, l'eau et la glace se refroidissent jusqu'à  $0^\circ\text{C}$ , et une frac.  $x$  de la glace fond. Ainsi,

$$\begin{cases} \Delta H_{\text{calo}} = C(\theta_2 - \theta) \\ \Delta H_{\text{eau}} = m_{\text{eau}}(\theta_2 - \theta) \quad \text{et} \quad \Delta H_{\text{bat}} = 0 \\ \Delta H_{\text{glace}} = \alpha m_g \Delta h_{\text{fus}} \end{cases}$$

$$\text{D'où } (C + m_{\text{eau}})(\theta_2 - \theta) + \alpha m_g \Delta h_{\text{fus}} = 0$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{(C + m_{\text{eau}})(\theta - \theta_2)}{m_g \Delta h_{\text{fus}}}$$

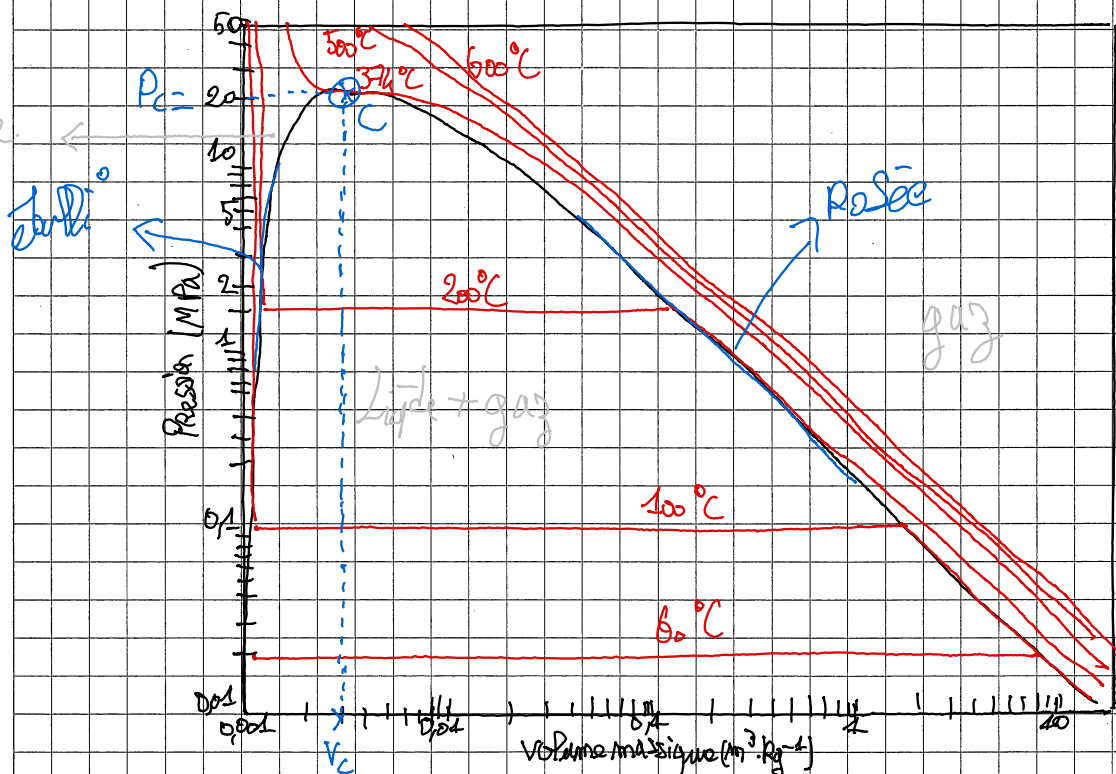
avec

$$\begin{cases} C = 245 \text{ J.K}^{-1} \\ c_{\text{eau}} = 4,185 \cdot 10^3 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} \\ m = 100 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \\ m_g = 50 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \\ \theta_2 = 18^\circ \text{C} \\ \theta_1 = 0^\circ \text{C} \\ \Delta h_{\text{fus}} = 335 \cdot 10^3 \text{ J.kg}^{-1} \end{cases}$$

A.N.:  $\alpha = 0,71$

Autre<sup>±</sup> dit, 71% de la glace a fondu.

IV/1)



2) Soit  $m = m_g + m_l$ ,  $V = V_g + V_l$ ,  $x_g = \frac{m_g}{m} = 1 - x_l$  et  $x_l = \frac{m_l}{m}$

Par définition,  $v = \frac{V}{m}$ ,  $v_g = \frac{V_g}{m_g}$  et  $v_l = \frac{V_l}{m_l}$

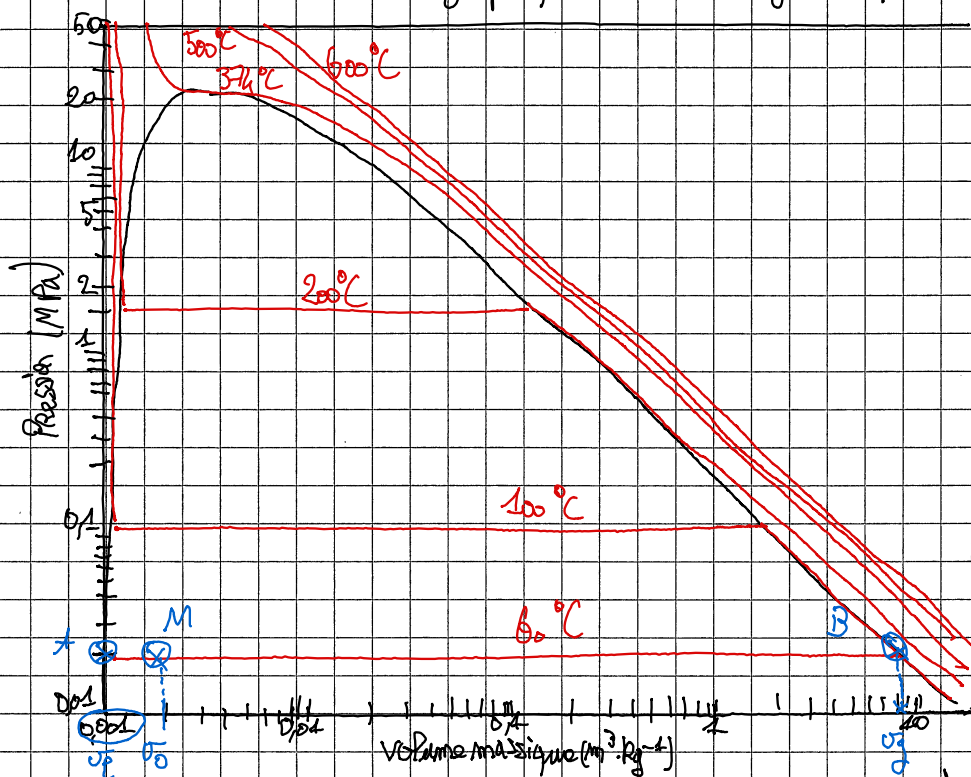
Soit  $v = \frac{V_g}{m} + \frac{V_l}{m} \Rightarrow v = \frac{v_g m_g}{m} + \frac{v_l m_l}{m} \Rightarrow v = x_g v_g + x_l v_l$

On peut alors isoler  $x_g$  en écrivant  $x_l = 1 - x_g$ :

$$v = x_g v_g + (1 - x_g) v_l \Rightarrow v - v_l = x_g (v_g - v_l)$$

$$\Leftrightarrow x_g = \frac{v - v_l}{v_g - v_l}$$

3) On a  $\sigma_0 = \frac{V_0}{m}$  avec  $V_0 = 200\text{ L}$  et  $m = 100\text{ kg}$  :  $\sigma_0 = 200 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$   
On est à  $T = 60^\circ\text{C}$ , soit avec le graphique : un mélange liquide-gaz.



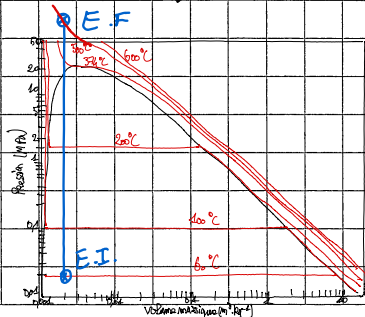
Avec le théorème des moments,  $x_g = \frac{AM}{AB} = \frac{\sigma_0 - v_l}{v_g - v_l}$  avec

A.N:  $x_g = 1,25 \cdot 10^{-4}$

$$\begin{aligned} v_l &= 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \\ v_0 &= 200 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \\ v_g &= 8 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \end{aligned}$$

D'où  $\begin{cases} m_g = x_g m = 13\text{ g} \\ m_l = (1 - x_g) m \approx 100\text{ kg} \end{cases}$

4) Volume fixe :  $\sigma$  fixe. On se déplace donc verticalement depuis  $\sigma_0$ , par exemple l'isotherme  $500^\circ\text{C}$ . On est dans l'état supercritique.



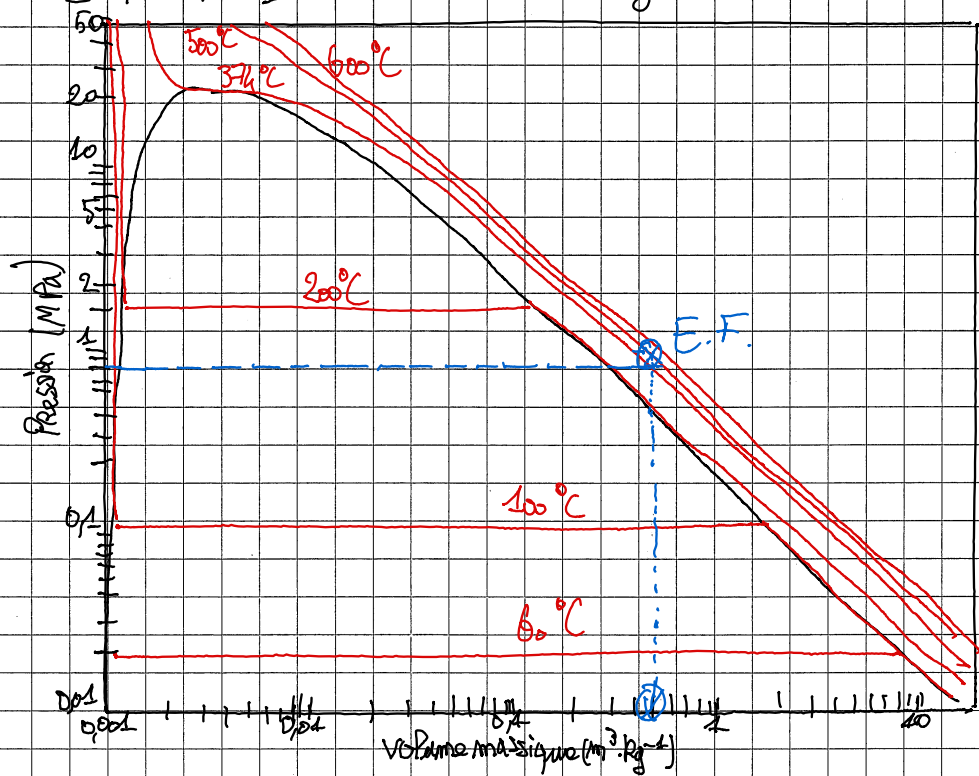
Avec  $V = V_0$ ,  $P_h\left(\frac{V}{V_0}\right) = \alpha(T - T_0) - \chi(P - P_0)$

$$\Leftrightarrow P = P_0 + \frac{\alpha(T - T_0)}{\chi_T} = 2,1 \cdot 10^3 \text{ bars}$$

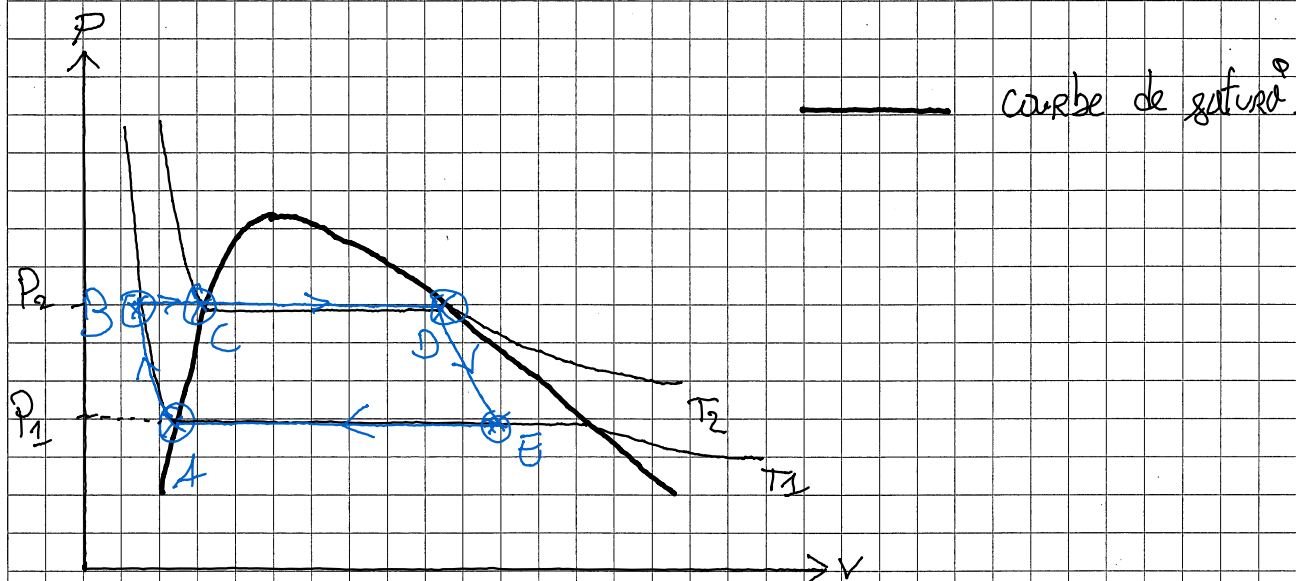
Risque d'explosion!



5) Toujours à  $V_0$ , mais  $m_0 = 400g \Rightarrow V_0 = 0,500 m^3 \cdot kg^{-1}$ .  
On est donc sur cette isotherme à  $500^\circ C$  pour l'abscisse  $V_0$ ;  
on lit  $P = 0,7 MPa = 7 bar$ , et le système est totale<sup>±</sup> gazeux.



IV/1)



2)a- Pour un liq,  $\Delta s_{AB} = c_{p,l} \ln \left( \frac{T_B}{T_A} \right)$ . Or ici,  $A \rightarrow B$  est, donc  $T_B = T_A$ ; ainsi,  $\Delta s_{AB} = 0$ .

b-  $\Delta s_{BC} = s_C - s_B = c_{p,l} \ln \left( \frac{T_C}{T_B} \right)$  ED  $s_C - s_B = c_{p,l} \ln \left( \frac{T_2}{T_1} \right)$

c-  $C \rightarrow D = \text{vaporis. totale} \Rightarrow \text{transi. de phase}$   

$$\Delta s_{CD} = s_D - s_C = \frac{\Delta h_{CD}}{T_2} = \frac{h_g(T_2) - h_f(T_2)}{T_2}$$

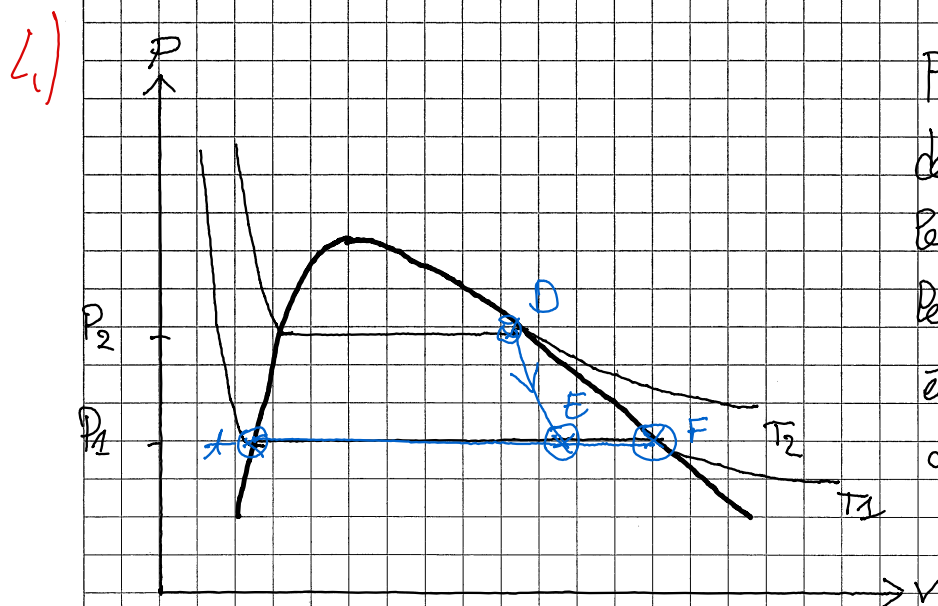
d-  $D \rightarrow E = \text{adiabatique (} \dot{Q} = 0 \text{) réversible (} \dot{S}_{\text{c    }} = 0 \text{)} = \text{isentrope}$   
 $\Delta s_{DE} = 0$

Donc  $\Delta s_{DE} = s_E - s_D = 0$ .

3) Sur un diagramme (P, v) de transi. de phase liq-vapeur, les lignes massiques  $s_g$  et  $s_f$  en gaz et liquide d'un   l  me diphasé se calculent par

$$s_g = \frac{h_g}{T_g} \text{ et } s_f = \frac{h_f}{T_f}$$

avec  $h_f$  un point de la phase,  $A$  le liq. saturé correspondant et  $B$  la vapeur saturée correspondante



Pour appliquer le th. des moments, on prend  $E$  le point équivalent à  $h_f$ ,  $A$  le point  $A$  et  $F$  le point équivalent à  $B$ . On a donc

$$x = \frac{AE}{AF}$$

Soit  $x = \frac{s_E - s_A}{s_F - s_A}$ . On sait d'après 2)d- que  $s_E = s_D$ .

On peut écrire:  $s_E - s_A = s_D - s_A = s_D - s_C + s_C - s_B + s_B - s_A$   
 puis  $\Delta s_{AE} = \frac{h_g(T_2) - h_f(T_2)}{T_2} + c_{p,liq} P_1 \left( \frac{T_2}{T_1} \right) + 0$

On ne connaît pas le poids  $s_f - s_g$ . Cependant, cette

transforma<sup>°</sup>. correspondrait à une transi<sup>°</sup> de phase complète de vapeur saturante à  $T_1, P_1$  en liquide saturant à  $T_1, P_1$ , dont on connaît le  $\Delta h$ :  $\Delta h_{sf} = h_g(T_1) - h_f(T_1)$ . On connaît donc  $\Delta s_{sf} = \Delta h_{sf} / T_1 = \frac{h_g(T_1) - h_f(T_1)}{T_1}$ . Ainsi,

$$x = \frac{T_1}{T_2} \frac{h_g(T_2) - h_f(T_2)}{h_g(T_1) - h_f(T_1)} + T_1 c_{p,v} P_n \left( \frac{T_2}{T_1} \right) \frac{1}{h_g(T_2) - h_g(T_1)}$$

avec  $T_1 = 338,15 \text{ K}$ ,  $h_g(T_2) = 2,6834 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $h_g(T_1) = 2,6184 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  
 $T_2 = 378,45 \text{ K}$ ,  $h_f(T_1) = 4,4017 \cdot 10^5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $h_f(T_2) = 872021 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$   
 et  $c_{p,v} = 4,48 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

A.N.:  $x = 0,922$ , soit 92,2% de vapeur.

On remonte à  $v_E$ :  $x = \frac{v_E - v_f}{v_g - v_f}$  ~~AD~~  $v_E = v_f + x(v_g - v_f)$

soit  $v_E = 5,72 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$

5)

Entre B et C, la transforma<sup>°</sup> est isobare donc  $\Delta h_{BC} = q_{BC}$  et  $\Delta h_{BC} = m c_{p,v} (T_2 - T_1)$ ; en massiques:  $\Delta h_{BC} = c_{p,v} (T_2 - T_1) = q_{BC}$ . Entre C et D, on a aussi une transforma<sup>°</sup> isobare donc  $\Delta h_{CD} = q_{CD}$ ,  $\Delta h_{CD} = h_g(T_2) - h_f(T_2)$ ; ainsi

$$q_{BCD} = c_{p,v} (T_2 - T_1) + h_g(T_2) - h_f(T_2)$$

A.N.:  $q_{BCD} = 2,41 \cdot 10^6 \text{ J} = 241 \text{ kJ}$

Entre E et A,  $\Delta h_{EA} = q_{EA} = h_A - h_E$ . Or,  $h_A = h_f(T_1)$  et  $h_E = x h_g(T_1) + (1-x) h_f(T_1)$ ; soit  $q_{EA} = x(h_f(T_1) - h_g(T_1))$

A.N.:  $q_{FA} = -2,16 \cdot 10^6 \text{ J} = -2,16 \text{ kJ}$

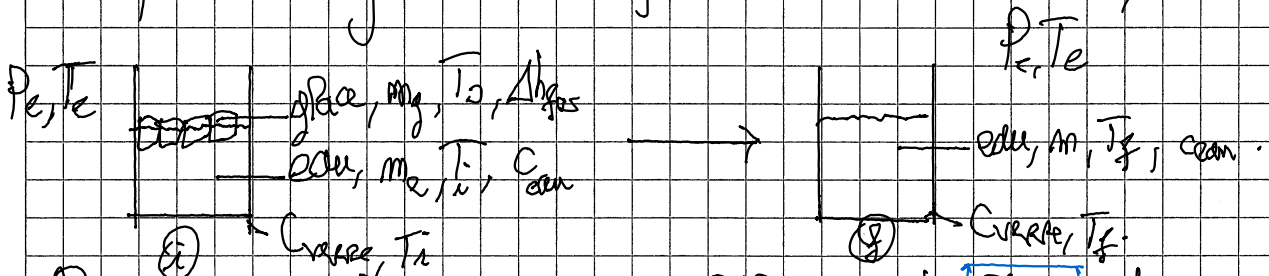
→ On reçoit bien de la chaleur lors de la vaporisation, on en cède lors de la liquéfaction.

6) Cycle dans le sens horaire donc moteur:  $e = \frac{-W}{Q_C}$  avec  $-W = Q_C + Q_F$ . Par analogie,  $w = \frac{W}{m}$  et  $q_{BCD} = \frac{Q_C}{m}$ ,  $q_{FA} = \frac{Q_F}{m}$

Ainsi,  $e = 1 + \frac{q_{FA}}{q_{BCD}}$

A.N.:  $e = 0,402$ , soit  $\approx 40\%$ .

IV/ On pose le système: transform<sup>n</sup>. isobare donc H, macrotherme



On suppose que le coe est assimilable à de l'eau, de capacité  $C_{eau} = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Le système est initialement à l'équilibre avec une masse  $m_e \approx 250 \text{ g}$  (verre de 300 mL pas plein) de coe. On peut supposer que le verre a une capacité thermique non nulle,  $C_{verre} \approx 300 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$  (à vérifier avec un calorimètre).

(On ajoute une masse  $m_g$  de glaçons. Pour connaître le nombre, il faut estimer la masse d'un glaçon. Sachant que  $d_{glace} = 0,9$ , par un glaçon de  $(2 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3)$ , on a  $m_{glaçon} \approx 7 \text{ g}$ . On prend  $T_i = 30^\circ \text{C}$ .

Reste la hypothèse: adiabatique ou pas?



On commence par considérer  $Q = 0$ . Dans ce cas, c'est un exercice de thermo/calorimétrie classique.

On suppose un état intermédiaire fictif  $E_1$ , où la glace a fondu (à  $0^\circ\text{C}$ ), et l'eau est à  $T_i = 303\text{ K}$ .

On a donc

$$\Delta H_{\text{eau}, i \rightarrow 1} = 0 = \Delta H_{\text{verre}, i \rightarrow 1}$$

et  $\Delta H_{\text{glace}, i \rightarrow 1} = m_g \Delta h_{\text{fus}}$

Puis,  $\Delta H_{\text{eau}, 1 \rightarrow f} = m_e c_{\text{eau}} (T_f - T_i)$

$$\Delta H_{\text{verre}, 1 \rightarrow f} = C_{\text{verre}} (T_f - T_i)$$

$$\Delta H_{\text{glace}, 1 \rightarrow f} = m_g c_{\text{eau}} (T_f - T_0)$$

Ensuite,  $\Delta H_{\text{tot}} = \Delta H_{i \rightarrow f} + \Delta H_{1 \rightarrow f} = Q = 0$

$$\Rightarrow m_g \Delta h_{\text{fus}} + (T_f - T_i) [m_e c_{\text{eau}} + C_{\text{verre}}] + (T_f - T_0) [m_g c_{\text{eau}}] = 0$$

$$\Rightarrow m_g (\Delta h_{\text{fus}} + c_{\text{eau}} (T_f - T_0)) = (T_i - T_f) [m_e c_{\text{eau}} + C_{\text{verre}}]$$

$$\Rightarrow N \cdot m_{\text{glace}} = (T_i - T_f) \cdot \frac{m_e c_{\text{eau}} + C_{\text{verre}}}{\Delta h_{\text{fus}} + c_{\text{eau}} (T_f - T_0)}$$

$$\Rightarrow N = \frac{(T_i - T_f) \cdot (m_e c_{\text{eau}} + C_{\text{verre}})}{m_{\text{glace}} (\Delta h_{\text{fus}} + c_{\text{eau}} (T_f - T_0))}$$

$$T_f = 8^\circ\text{C}$$

A.N.:  $N = 13,7$  soit  $N_{\text{min}} = 14$  glaçons !  $\parallel 11,6 \rightarrow 12$

Si  $Q \neq 0$ ,  $\begin{cases} P_{\text{ver}} = g_{\text{ver}} S_{\text{ver}} (T_{\text{th}} - T_c) \\ P_{\text{air}} = g_{\text{air}} S_{\text{air}} (T_{\text{th}} - T_c) \end{cases}$  avec  $S_{\text{ver}} = 2\pi r \cdot h$   
 $S_{\text{air}} = \pi r^2$

