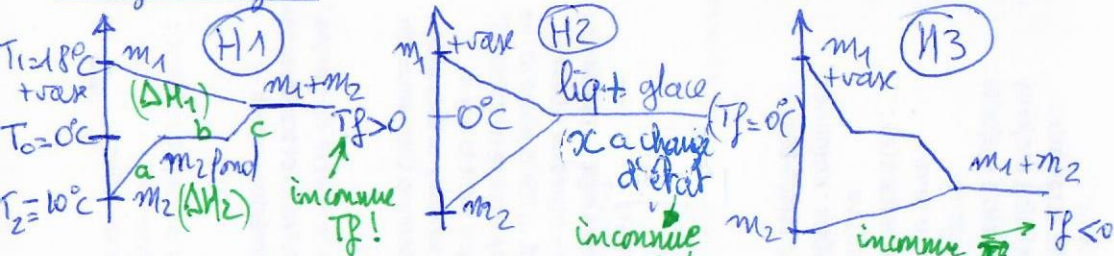


Changement d'état

Mélange eau-glace



changement d'état à $P = \text{cte} \Rightarrow$ on utilise $\Delta H_{\text{sys}} = 0$

• H1: $(m_1 c_e + C)(T_f - T_1) + m_2 (c_g (T_0 - T_f) + L_f + c_e (T_f - T_0)) = 0$

Annotations: ΔH_1 (refroidissement), ΔH_2 (rechauff glaces), L_f (fonte), ΔH_3 (rechauff eau).

$\Rightarrow T_f = \frac{(m_1 c_e + C) T_1 + m_2 (c_g (T_0 - T_0) - L_f - c_e T_0)}{m_1 c_e + C + m_2 c_e}$

AN: $T_f = \frac{(200 \times 4,18 + 120) \cdot 18 + 72 [2,09(-10) - 333 - 0]}{200 \times 4,18 + 120 + 72 \times 4,18}$

$T_f = -6,6^\circ\text{C}$, contradiction avec H1, donc fausse

• H2: $(m_1 c_e + C)(T_0 - T_1) + m_2 c_g (T_0 - T_2) + L_f x = 0$

Annotations: x grammes de glace ont fondu.

(H2 vraie si $-m_1 < x < m_2 \dots$)

$\Rightarrow x = \frac{(m_1 c_e + C)(T_1 - T_0) + m_2 c_g (T_2 - T_0)}{L_f}$

AN: $x = 47\text{g} \Rightarrow$ H2 vraie. Finalement,

$T_f = 0^\circ\text{C}$, $m_{\text{eau}} = m_1 + x = 247\text{g}$
 $m_{\text{gl}} = m_2 - x = 25\text{g}$

2) $\Delta S = \underbrace{(m_1 c_e + C) \ln\left(\frac{T_f}{T_1}\right)}_{\text{refroidissement}} + \underbrace{m_2 c_g \ln\left(\frac{T_0}{T_2}\right)}_{\text{rechauff}} + x \frac{L_f}{T_0}$

Annotations: Δ ici T en K!!; cgt d'état (à $0^\circ\text{C} \dots$)

AN: $\Delta S = 956 \times \ln\left(\frac{273}{291}\right) + 150 \ln\left(\frac{273}{263}\right) + 47 \times \frac{333}{273}$
 $= 1,88 \text{ J K}^{-1}$

Vaporisation rev/inrev

1) Transfo isotherme, quasistatique, isobare, réversible (sens inversable).

$V_i = 1\text{L}$ (1 kg d'eau...). $V_f = 1,67\text{ m}^3$ (données...)

Transfo isobare $\Rightarrow \Delta H = m \Delta h = 2,25 \text{ MJ} = Q_p$ (chaleur reçue à $P = \text{cte}$).

On a $W = -\int p_{\text{ext}} dV = -p_0 (V_f - V_i) = -0,167 \text{ MJ}$

Annotations: isobare; le gaz repousse le piston

1^{er} P: $\Delta U = W + Q = 2,08 \text{ MJ}$

Transfo réversible $\Rightarrow S^c = 0$, $\Delta S = S^e = \frac{Q}{T_0} = 6,03 \text{ kJ K}^{-1}$

2) Transfo brutale, monotherme, non monobare, isochore

Annotations: S^c non nulle a priori.

A l'état final $V_f = 1,67\text{ m}^3$, $T = T_0$, $P = P_0$ (vapeur saturée $\Rightarrow$ équilibre liq vap $\Rightarrow$ si $T = T_0$, $P = P_0$ (syst monovariant)). Les états finaux/initiaux sont les m[^] qu'en 1) $\Rightarrow$

$\Delta H = 2,25 \text{ MJ} \neq Q$, $\Delta U = 2,08 \text{ MJ}$.

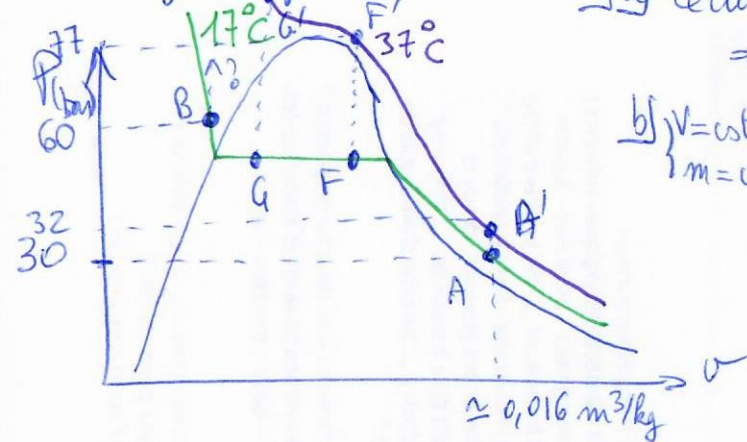
1^{er} P: $\Delta U = W + Q \Rightarrow Q = 2,08 \text{ MJ}$

Annotations: 0 car isochore

$\Delta S = 6,03 \text{ kJ K}^{-1}$ (d'après 1), comme S fct d'état)

$S^e = \frac{Q}{T_0} = 5,58 \text{ kJ K}^{-1} \Rightarrow S^c = \Delta S - S^e = 448 \text{ J K}^{-1}$

Stockage des fluides



1) a) lecture $\Rightarrow v = 0.016 \text{ m}^3/\text{kg}$
 $\Rightarrow \rho = \frac{1}{v} = 63 \text{ kg m}^{-3}$

b) $V = \text{cte}$
 $m = \text{cte} \Rightarrow v = \text{cte}$
 $\Rightarrow P_A' \approx 32 \text{ bar}$

2) a) $P_{F'} \approx 77 \text{ bar}$ b) $P_{G'} \approx 100 \text{ bar}$ (explosion...)

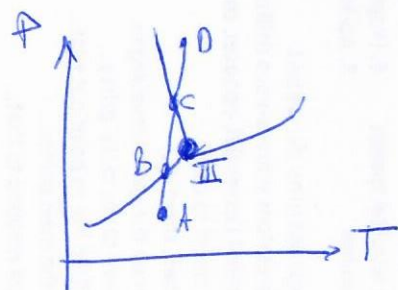
3) b) $P \uparrow$ jusqu'à ?? $\rightarrow$ explosion

4) meilleur stockage en F (sécurité + vol assez réduit)
 (A gauche du pt critique)

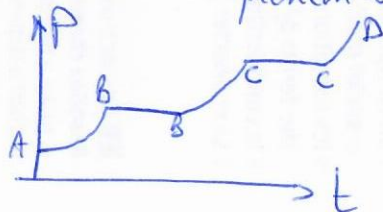
5) Si $T > T_c$, plus de "pente verticale", stockage sans problème particulier (le fluide surcritique est compressible)

Compression de vapeur d'eau

On est très proches du pt triple! ($T_A < T_{III}$)



A-B : compression vapeur
 B : condensation (vap $\rightarrow$ solide)
 B-C : compression solide (glace)
 C : fusion glace
 C-D : compression liquide



Compression isotherme d'un mélange eau-gaz

1) $n_{\text{eau}} = \frac{1}{18} = 5.5 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$. 2 possibilités } - vap seule si $P < P_s$
 } - vap + liq $\Rightarrow P = P_s$

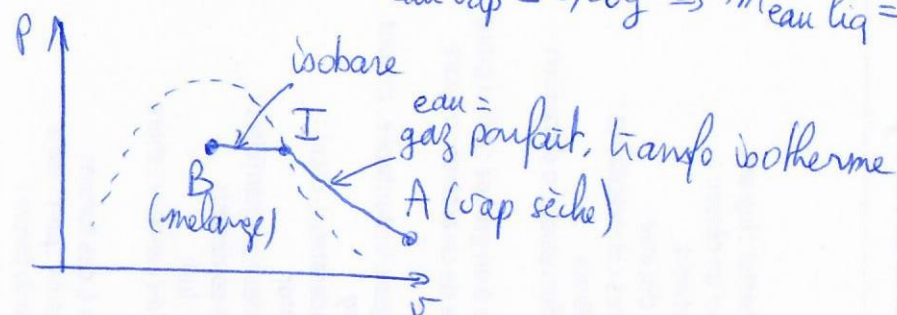
Hypothèse : vap seule : alors $P_{\text{eau}} = \frac{n_{\text{eau}} RT}{V} = \frac{0.055 \times 8.31 \times 300}{0.1} = 1370 \text{ Pa}$

On a bien $P_{\text{eau}} < P_s \Rightarrow$ vapeur sèche.

$\hat{m}$ hyp en B: $P_{\text{eau}} = 13700 \text{ Pa} > P_s \Rightarrow$ Hyp fautive - Donc

$P_{\text{eau}} = P_s \Rightarrow n_{\text{eau}}^{\text{vap}} = \frac{P_s V_B}{RT} = 1.48 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$

$\Rightarrow m_{\text{eau vap}} = 0.26 \text{ g} \Rightarrow m_{\text{eau liq}} = 0.73 \text{ g}$



2) On comprime le GP et l'eau.

• GP: $W_1 = \int_A^B P dv = n_{\text{GP}} RT \ln\left(\frac{V_A}{V_B}\right)$, $n_{\text{GP}} = \frac{P_A V_A}{RT} = \frac{10^5 \times 0.1}{8.31 \times 300} = 40 \text{ mol}$

$\Rightarrow W_1 = 40 \times 8.31 \times 300 \times \ln\left(\frac{0.1}{0.01}\right)$

$W_1 = 23 \text{ kJ} (> 0 : \text{compression})$

• eau: GP de A à I. On a $V_I = \frac{n_{\text{eau}} RT}{P_s} = \frac{0.055 \times 8.31 \times 300}{3700}$

$\Rightarrow W_{A \rightarrow I} = n_{\text{eau}} RT \ln\left(\frac{V_A}{V_I}\right) = 137 \text{ J} = 3.7 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$

• isobare de I à B $\Rightarrow W = -P_s (V_B - V_I) = 102 \text{ J}$

$\Rightarrow W_{AB} \approx 23 \text{ kJ}$ (eau négligeable...)

$$3) Q_{\text{total}} = Q_{\text{GP}} + Q_{\text{H}_2\text{O liq}} + Q_{\text{H}_2\text{O vap}}$$

• $Q_{\text{GP}} = -W_{\text{GP}}$ (car $\Delta U_{\text{GP}} = 0$ car isotherme)
idem pour $\text{H}_2\text{O vap}$.

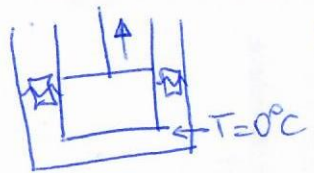
• $Q_{\text{H}_2\text{O l}} = -\Delta m L_v$ (pas de chgt de θ , juste d'état)
 $-0,73 \times 2450 = -1788 \text{ J}$

$$\Rightarrow Q_{\text{rot}} \approx -24 \text{ kJ.}$$

$$\text{et } \Delta U = W + Q = -1788 \text{ J} + 102 = -1686 \text{ J}$$

4) Tout se passe au contact d'un thermostat, réversiblement
 $\Delta S = S^e + S^c = \frac{Q_{\text{rot}}}{T} \approx -80 \text{ kJ K}^{-1}$ (< 0 , le désordre $\downarrow$)

Détente isotherme



1) Si on détend le gaz, il a tendance à se refroidir $\rightarrow$ l'extérieur lui cède de l'énergie thermique pour maintenir sa θ à $0^\circ\text{C} \rightarrow$ de la glace se forme

2) Syst = {gaz}, détente réversible isotherme :

$$\Delta U = 0 = W + Q, \text{ avec } W = -\int P dV = -RT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$\text{or } RT = \frac{P_1 V_1}{1} = \frac{P_2 V_2}{1} \Rightarrow W = RT \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = -RT \ln 3$$

Donc le gaz reçoit $Q = RT \ln 3 = \Delta m L_f$
dû au chngt d'état

$$\Rightarrow \Delta m = \frac{RT \ln 3}{L_f} \approx 7,4 \text{ g}$$

$$3) \Delta S_{\text{gaz}} \stackrel{\text{formulaire}}{=} -R \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = R \ln 3 = 9,1 \text{ J K}^{-1}$$

$$\Delta S_{\text{eau-glace}} = \frac{-\Delta m L_f}{T} = -R \ln 3 = -9,1 \text{ J K}^{-1}$$

$$\Rightarrow \Delta S_{\text{univers}} = 0 \Rightarrow \text{Transfo réversible.}$$

Détente isenthalpique

1) Pendant le passage dans le détendeur, le fluide ne subit que les forces de pression amont/aval

$$\Rightarrow 1^{\text{er}} \text{ P version H : } \Delta H = W_{\text{pression}} + Q = 0$$

$\Rightarrow$ détente isenthalpique

2) $A \rightarrow A'$ refroidissement du liquide (phase condensée):

$$\Delta H_1 \approx \Delta U = mc(T_2 - T_1)$$

$B \rightarrow B'$ changement d'état isobare et isotherme partiel.

$$\Delta H_2 = x m \Delta_{\text{vap}}$$

$$\Delta H_1 + \Delta H_2 \approx 0 \Rightarrow x = \frac{c(T_2 - T_1)}{\Delta_{\text{vap}}} = 0,165$$