

TI - Formes d'énergie

Exercice 1

Paramètres extensifs :

masse, volume, quantité de matière, énergie cinétique,

Paramètres intensifs :

pression, volume molaire, masse volumique, concentration

Exercice 2

$$PV = nRT$$

$$\text{d'où : } P \frac{V}{n} = RT \quad (\text{ou}) \quad P \cdot V_m = RT$$

d'où :

$$V_m = \frac{RT}{P} = \frac{8,314 \times 273,15}{1,013 \cdot 10^5} = \frac{224 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}}{1} = \underline{\underline{22,4 \text{ L/mol}}}$$

Exercice 3

$$T_A = 20^\circ\text{C} \quad P_A = 3,0 \text{ bar} \quad V_A = 35 \text{ L}$$

$$1) \quad PV = nRT$$

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{3 \cdot 10^5 \times 35 \cdot 10^{-3}}{8,314 \times (273 + 20)} = \underline{\underline{44 \text{ mol}}}$$

$$2) \quad PV = nRT$$

$$V = cte ; n = cte ; R = cte$$

$$\begin{array}{l} P_A V_A = n_A R T_A \quad (\text{ou}) \quad P_A V = n R T_A \quad (1) \\ P_B V_B = n_B R T_B \quad (\text{ou}) \quad P_B V = n R T_B \quad (2) \\ P_C V_C = n_C R T_C \quad (\text{ou}) \quad P_C V = n R T_C \quad (3) \end{array}$$

$$\frac{(2)}{(1)} \Rightarrow \frac{P_B}{P_A} = \frac{T_B}{T_A} \Rightarrow P_B = \frac{T_B}{T_A} \cdot P_A$$

$$P_B = \frac{273 + 10}{273 + 20} \times 3,0 = \underline{\underline{2,9 \text{ bar}}}$$

De même :

$$P_C = \frac{273 + 40}{273 + 20} \times 3,0 = \underline{\underline{3,2 \text{ bar}}}$$

3) Equilibre mécanique :

$$P_A = \frac{mg/4}{S} = \frac{mg}{4S}$$

d'où :

$$S = \frac{mg}{4P_A} = \frac{1,44 \cdot 10^3 \times 10}{4 \times 3 \cdot 10^5}$$
$$= 12 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$
$$= 12 \text{ dm}^2$$
$$= 120 \text{ cm}^2$$

Description d'un système thermodynamique à l'équilibre - TD

Exercice 4 : Equilibre entre deux récipients

EI :

V_A	V_B
T_A	T_B
n_A	n_B

1.
$$P_A V_A = n_A R T_A$$

$$P_A = \frac{n_A R T_A}{V_A}$$

$$P_A = \frac{0,30 \times 8,31 \times 293}{1 \cdot 10^{-3}}$$

$$P_A = 7,3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_A = 7,3 \text{ bar}$$

De même :

$$P_B = \frac{n_B R T_B}{V_B}$$

$$P_B = \frac{0,10 \times 8,31 \times 293}{2 \cdot 10^{-3}}$$

$$P_B = 1,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_B = 1,2 \text{ bar}$$

EF :

V, T
n

2.
$$V = V_A + V_B = 3,00 \text{ L}$$

(grandeurs extensive)

$$T = T_A = T_B$$

(grandeurs intensive)

$$n = n_A + n_B = 0,40 \text{ mol}$$

(grandeurs extensive)

$$P V = n R T$$

$$P = \frac{n R T}{V}$$

$$P = \frac{0,40 \times 8,31 \times 293}{3 \cdot 10^{-3}}$$

$$P = 3,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$P = 3,2 \text{ bar}$$

2. (a) avec les pressions partielles

$$P_{A,f} = \frac{V_A}{V} P_A = \frac{1}{3} \times P_A = 2,4 \text{ bar}$$

$$P_{B,f} = \frac{V_B}{V} P_B = \frac{2}{3} \times P_B = \frac{2}{3} \times 1,2 = 0,8 \text{ bar}$$

$$P_f = P_{A,f} + P_{B,f} = 3,2 \text{ bar}$$

Exercice 2 : Étude d'un gaz réel

1. $PV = nRT$

Hypothèses : $U = E_{c,mias} + E_{p,int}$
avec $E_{p,int} = 0$

\Leftrightarrow Pas d'interactions entre les particules en dehors des chocs.

2. $P(V_m - b) = RT$

(a) $P\left(\frac{V}{n} - b\right) = RT$

$P\left(\frac{V - bn}{n}\right) = RT$

$P(V - bn) = nRT$

Non
pas

(b) Hypothèse toujours valable : particules sans interaction

Hypothèse qui n'est plus valable : particules non ponctuelles mais qui possèdent un volume propre b .

(c) $PV - Pbn = nRT$

$PV = nRT + bnP$

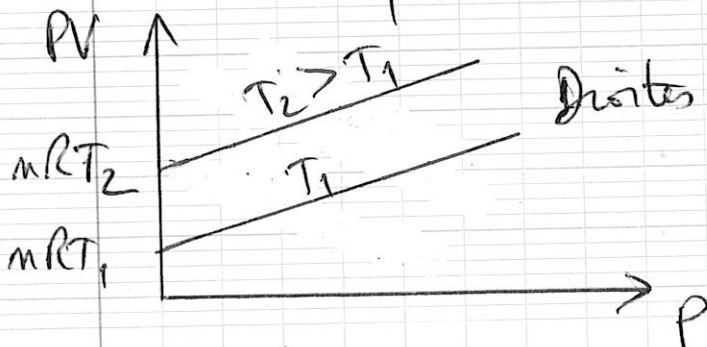
$y = nRT + bn x$

$\left\{ \begin{array}{l} PV \rightarrow y \\ P \rightarrow x \end{array} \right.$

Isotherme : $T = cte$

donc : $y = b + ax$

Eq (1) de droite



Droites // de coeff. directeur bn

\Rightarrow On peut déduire b lorsque n connu.

Exercice 4: Complément

3. Comment évolue le système si $T_A = 293 \text{ K}$
 $T_B = 393 \text{ K}$

Etat initial:

$$P_{A_i} V_A = n_A R T_A \quad (1)$$

$$P_{B_i} V_B = n_B R T_B \quad (2)$$

(4 inconnues P, T, P_{A_f}, P_{B_f})

Etat final

$$P_{A_f} V = n_A R T \quad (3)$$

$$P_{B_f} V = n_B R T \quad (4)$$

$$P V = n R T$$

(pression totale)

→ P et T inconnues à l'état final.

D'après (1) et (3):

$$\frac{P_{A_f} V}{P_{A_i} V_A} = \frac{n_A R T}{n_A R T_A} \Rightarrow P_{A_f} = \frac{T}{T_A} \times \frac{V_A}{V} \times P_{A_i}$$

D'après (2) et (4):

$$\frac{P_{B_f} V}{P_{B_i} V_B} = \frac{n_B R T}{n_B R T_B} \Rightarrow P_{B_f} = \frac{T}{T_B} \times \frac{V_B}{V} \times P_{B_i}$$

Or:

$$P_{A_f} + P_{B_f} = P \quad (P = \sum P_{\text{partielles}})$$

$$\boxed{\frac{T}{T_A} \frac{V_A}{V} P_{A_i} + \frac{T}{T_B} \frac{V_B}{V} P_{B_i} = P}$$

⇒ 2 inconnues P et T .

Utilisation de l'énergie interne: l'énergie interne ne dépend que de la température
 $U = k n T$ avec k constante

($k = \frac{3}{2} R$ si gaz monoatomique)

$$EI: \\ U_A = k_{m_A} T_A$$

$$U_B = k_{m_B} T_B$$

$$EF: \\ U = k_m T$$

Or il n'y a pas de variation d'énergie interne entre EI et EF car:

bon premier principe. $\leftarrow \begin{cases} * Q = 0 \\ * W = 0 \end{cases}$ (parois calorifugées)

$$D'où: \\ k_{m_A} T_A + k_{m_B} T_B = k_m T$$

$$T = \frac{m_A}{m} T_A + \frac{m_B}{m} T_B$$

$$T = \frac{m_A}{m_A + m_B} T_A + \frac{m_B}{m_A + m_B} T_B$$

A.N:

$$T = \frac{0,30}{0,40} \times 293 + \frac{0,10}{0,40} \times 343$$

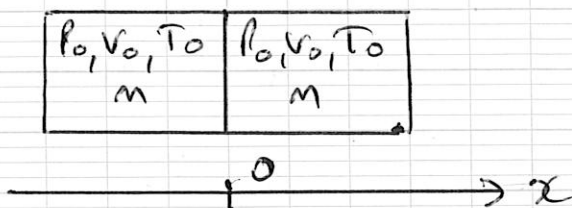
$$T = \underline{305,5 \text{ K}}$$

$$P = \frac{305,5}{293} \times \frac{1}{3} \times 7,3 + \frac{305,5}{343} \times \frac{2}{3} \times 1,2$$

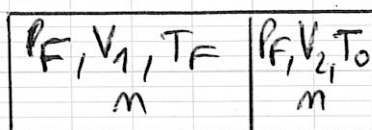
$$P = \underline{3,25 \text{ bars}}$$

Exercice 5 : Excavite à deux compartiments

1. EI :



EF



Egalité des pressions à l'état final car équilibre de la paroi.

Etat initial :

$$P_0 V_0 = nRT_0 \Rightarrow V_0 = \frac{nRT_0}{P_0}$$

Etat final :

$$P_F V_1 = nRT_F \Rightarrow V_1 = \frac{nRT_F}{P_F}$$

$$P_F V_2 = nRT_0 \Rightarrow V_2 = \frac{nRT_0}{P_F}$$

pourquoi?

Or :

$$V_1 + V_2 = 2V_0$$

$$\frac{nRT_F}{P_F} + \frac{nRT_0}{P_F} = 2 \frac{nRT_0}{P_0}$$

$$\frac{T_F}{P_F} + \frac{T_0}{P_F} = 2 \frac{T_0}{P_0}$$

P_F non demandée!

Ou sais-je?

Etat final :

$$P_F V_1 = nRT_F \Rightarrow P_F = \frac{nRT_F}{V_1}$$

$$P_F V_2 = nRT_0 \Rightarrow P_F = \frac{nRT_0}{V_2}$$

Donc :

$$\frac{nRT_F}{V_1} = \frac{nRT_0}{V_2} \Rightarrow V_2 T_F - V_1 T_0 = 0 \quad (1)$$

D'autre part:

$$V_1 + V_2 = 2V_0 \quad (2)$$

$$V_2 = 2V_0 - V_1$$

$$(1) \Rightarrow (2V_0 - V_1)T_F - V_1T_0 = 0$$

$$2V_0T_F - V_1(T_0 + T_F) = 0$$

$$V_1 = \frac{2T_F}{T_0 + T_F} V_0$$

$$\text{AN : } V_1 = \frac{2 \times 300}{300 + 300} \times 10 = 10,77 \text{ L}$$

$$\text{d'où : } V_1 - V_0 = 0,77 \text{ L}$$

Avec :

$$(V_1 - V_0) = Sx$$

D'où :

$$x = \frac{V_1 - V_0}{S} = \frac{0,77 \cdot 10^{-3}}{200 \cdot 10^{-4}}$$

$$x = 3,85 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 3,85 \text{ cm.}$$

$$x = \frac{2T_F V_0 - V_0}{(T_0 + T_F) S}$$

$$x = \frac{2T_F V_0 - T_0 V_0 + T_F V_0}{(T_0 + T_F) S}$$

$$x = \frac{T_F V_0 - T_0 V_0}{(T_0 + T_F) S}$$

$$x = \frac{V_0 (T_F - T_0)}{S (T_F + T_0)}$$

2. gaz monoatomique
 $\Rightarrow U = \frac{3}{2} nR T$

$$\Rightarrow \Delta U = \frac{3}{2} nR \Delta T$$

Compartment gauche :

$$\Delta U_1 = \frac{3}{2} nR (T_F - T_0) = \frac{3}{2} \times 2 \times 8,314 \times (300 - 300)$$

$$\Delta U_1 = 1,25 \cdot 10^3 \text{ J} = 1,25 \text{ kJ}$$

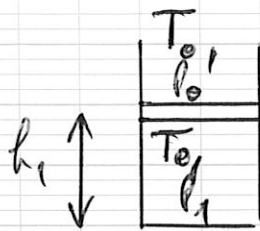
Compartment droit : $\Delta U_2 = 0$ car $\Delta T = 0$

Variation totale d'énergie :

$$\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 = 1,25 \text{ kJ}$$

Exercice 8 : gaz parfait dans une enceinte

Etat 1



Equilibre du piston :

$$P_1 S = P_0 S + mg \Rightarrow P_1 = P_0 + \frac{mg}{S}$$

Or :

$$P_1 V_1 = nRT_0 \quad \text{avec } V_1 = h_1 S$$
$$P_1 h_1 S = nRT_0$$
$$\left(P_0 + \frac{mg}{S}\right) h_1 S = nRT_0$$

$$h_1 (P_0 S + mg) = nRT_0$$

$$h_1 = \frac{nRT_0}{P_0 S + mg}$$

Etat 2

Même raisonnement, mais avec T au lieu de T_0

$$h_2 = \frac{nRT}{P_0 S + mg}$$

Etat 3

Même raisonnement, mais la masse du piston-paire de m à $(m+M)$

$$h_3 = \frac{nRT}{P_0 S + (m+M)g}$$

Etat 4

$$h_4 = \frac{nRT_0}{P_0 S + (m+M)g}$$

Exercice 9 : Pompe à vide

1. EI :

EF :

Systeme :
le gaz de l'enceinte
(systeme ouvert)

$$\begin{array}{c} P_0, n_0 \\ V, T \end{array}$$

$$\begin{array}{c} P_1, n_1 \\ V, T \end{array}$$

On ne nous parle pas de variation de température

$$\Rightarrow T_f = T_i$$

EI : $P_0 V = n_0 R T$

EF : $P_1 V = n_1 R T$ (1)

Or : $n_1 = n_0 - n_2$ (2)

avec n_2 quantité de matière
emmagasinée dans le volume V_0 de
la pompe

$$P_0 V_0 = n_2 R T$$

$$\Rightarrow n_2 = \frac{P_0 V_0}{R T}$$

en supposant $P = P_0$
dans la pompe
pendant cette
phase

(2) et (1) $\Rightarrow P_1 V = (n_0 - n_2) R T$

(3) $\Rightarrow P_1 V = \left(n_0 - \frac{P_0 V_0}{R T} \right) R T$

$$P_1 V = n_0 R T - P_0 V_0$$

Avec

$$n_0 = \frac{P_0 V}{R T}$$

On obtient :

$$P_1 V = P_0 V - P_0 V_0$$

$$\underline{P_1 = P_0 \frac{V - V_0}{V}}$$

$$2. P_2 = P_1 \frac{V - V_0}{V} = P_0 \left(\frac{V - V_0}{V} \right)^2$$

$$3. P_N = P_0 \left(\frac{V - V_0}{V} \right)^N$$

4. On veut

$$P_N = 0,001 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Avec $P_0 = 1,000 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

Donc :

$$\frac{P_N}{P_0} = 10^{-3} = \left(\frac{V - V_0}{V} \right)^N$$

$$\Rightarrow \ln \left(\frac{P_N}{P_0} \right) = N \ln \left(\frac{V - V_0}{V} \right)$$

$$N = \frac{\ln \left(\frac{P_N}{P_0} \right)}{\ln \left(\frac{V - V_0}{V} \right)} = \frac{\ln 10^{-3}}{\ln \left(\frac{10 - 0,05}{10} \right)} = 1378$$

$$\begin{aligned} V &= 10,0 \text{ L} \\ V_0 &= 50,0 \text{ cm}^3 \\ &= 0,05 \text{ dm}^3 \\ &= 0,05 \text{ L} \end{aligned}$$

Détermination de t :

$N(\text{tr})$	$t(\text{min})$
300	1
1378	$\frac{1378}{300} = 4,59 \text{ min}$ $= 27,5$

Exercice 13 : Chauffage isobare d'un mélange liquide - vapeur.

n inconnue



1. $0,9 \text{ m}^3$ d'eau vapeur considérée comme un GP
 $PV = nRT$

1. Mélange liquide - vapeur sous 1 bar.
 $\Rightarrow T = 151,86 \text{ }^\circ\text{C}$

$$2. m_{\text{eau}} = \rho_l V_l + \rho_v V_v$$

$$m_{\text{eau}} = \frac{V_l}{v_l} + \frac{V_v}{v_v} = \frac{0,1}{1,093 \cdot 10^{-3}} + \frac{0,9}{0,3749} = 93,9 \text{ kg}$$

3. Déterminons la pression de vapeur saturante à 200 °C (c'est à dire 473 K).

$$P^0 \approx \left(\frac{T}{100} \right)^4 = \left(\frac{200}{100} \right)^4 = 16 \text{ bar.}$$

La transformation étant isobare, on a: $P_f = P_i = 5 \text{ bar}$
 \Rightarrow A l'état final, nous ne sommes plus à la pression de vapeur saturante mais en vapeur sèche.

Vapeur \Leftrightarrow GP
 $\Leftrightarrow PV = nRT$

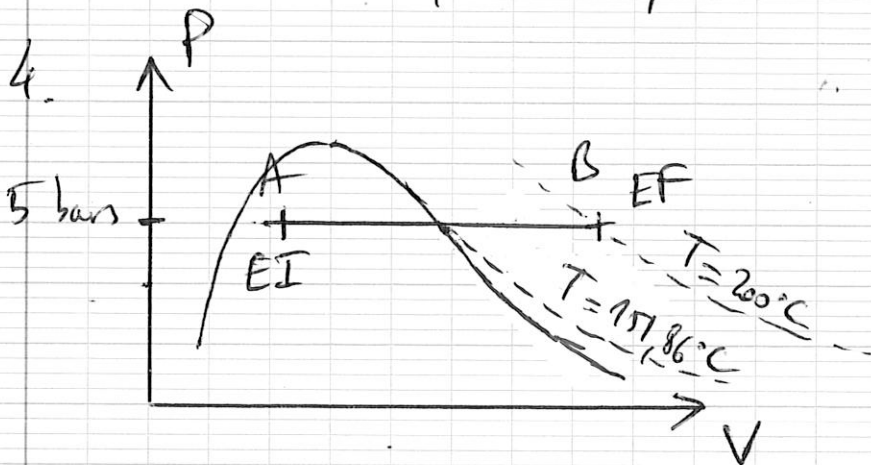
$$\Leftrightarrow \frac{PV}{M} = \frac{n}{m} RT$$

$$\Leftrightarrow P_V = \frac{RT}{M}$$

$$\Leftrightarrow v_{\text{eau}} = \frac{RT}{MP} = \frac{8,31 \times 473}{18 \cdot 10^{-3} \times 5 \cdot 10^5} = 0,437 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

d'où :

$$V_{\text{eau}} = v_{\text{eau}} \times m_{\text{eau}} = 0,437 \times 93,9 = 41 \text{ m}^3$$



Exercice 6

$$\text{Ar: } U(T) = \frac{3}{2} nRT \quad \text{O}_2: U(T) = \frac{5}{2} nRT$$

$$a) C_V = \frac{\partial U}{\partial T} = \frac{dU}{dT} = \frac{3}{2} nR \quad \text{pour Ar}$$

$$C_V = \frac{5}{2} nR \quad \text{pour O}_2$$

$$b) C_{Vm} = \frac{C_V}{n} = \frac{3}{2} R \quad \text{pour Ar}$$

$$C_{Vm} = \frac{5}{2} R \quad \text{pour O}_2$$

$$c) c_v = \frac{C_V}{m} = \frac{\frac{3}{2} nR}{m} = \frac{3}{2} \frac{R}{M} \quad \text{pour Ar}$$

$$c_v = \frac{5}{2} \frac{R}{M} \quad \text{pour O}_2.$$

$$d) \Delta u = c_v \cdot \Delta T$$

pour 1 mol:

$$\Delta u = c_v \cdot \Delta T$$

Argon:

$$\Delta u = \frac{3}{2} \frac{R}{M} \cdot \Delta T$$

$$= \frac{3}{2} \times \frac{8,31}{40 \cdot 10^{-3}} \times 10 = 31 \cdot 10^3 \text{ J} \\ = \underline{\underline{31 \text{ kJ/kg}}}$$

Dioxygène:

$$\Delta u = \frac{5}{2} \frac{R}{M} \cdot \Delta T$$

$$= \frac{5}{2} \times \frac{8,31}{16 \times 2 \times 10^{-3}} = \underline{\underline{6,5 \text{ kJ/kg}}}$$

Avec

$$\text{Argon: } \Delta E_p = mg \Delta z = \Delta u.$$

$$\Delta z = \frac{\Delta u}{mg} = \frac{31 \cdot 10^3}{10 \times 10} = \underline{\underline{31 \text{ m}}}$$

Exercice 7

$$\begin{aligned}\Delta U &= m \cdot c \cdot \Delta T \\ &= 1 \times 4180 \times 100 = 4,18 \cdot 10^5 \text{ J}\end{aligned}$$

Exercice 10 : Pompe et pneus.

1) Variation de $T = 273 - 10 = 263 \text{ K}$
à $273 + 30 = 303 \text{ K}$.

\Rightarrow Variation relative de $\frac{303 - 263}{263} = 15\%$
de la Température.

Or: $PV = nRT$

A V et n constants, P proportionnelle à T
 $T \nearrow 15\% \Rightarrow P \nearrow 15\% > 10\%$
 \Rightarrow Nécessaire d'ajuster.

2) a)

$P_i = 1 \text{ atm}$
V_i
$T_i = 283 \text{ K}$

n

Etat Initial
(EI)

$$P_i V_i = nRT_i$$

d'où :

$$\frac{P_f V_f}{P_i V_i} = \frac{nRT_f}{nRT_i}$$

$$P_f = P_i \frac{T_f}{T_i} \frac{V_i}{V_f} = 1 \times \frac{313}{283} \times \frac{1}{0,28} = \underline{\underline{3,95 \text{ atm}}}$$

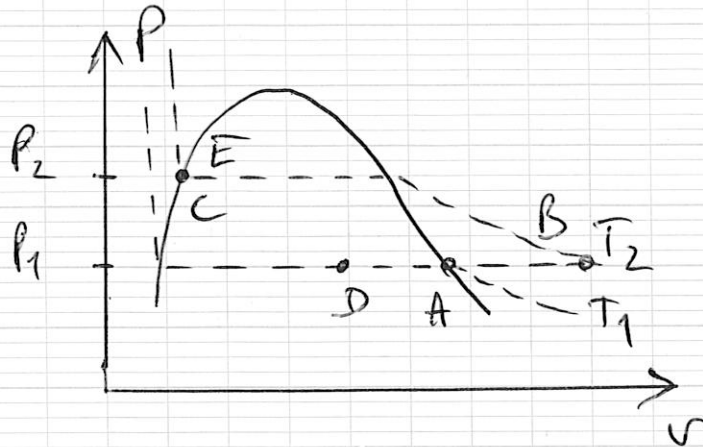
$P_f = ?$
$V_f = 0,28 V_i$
$T_f = 313 \text{ K}$

Etat final
(EF)

$$P_f V_f = nRT_f$$

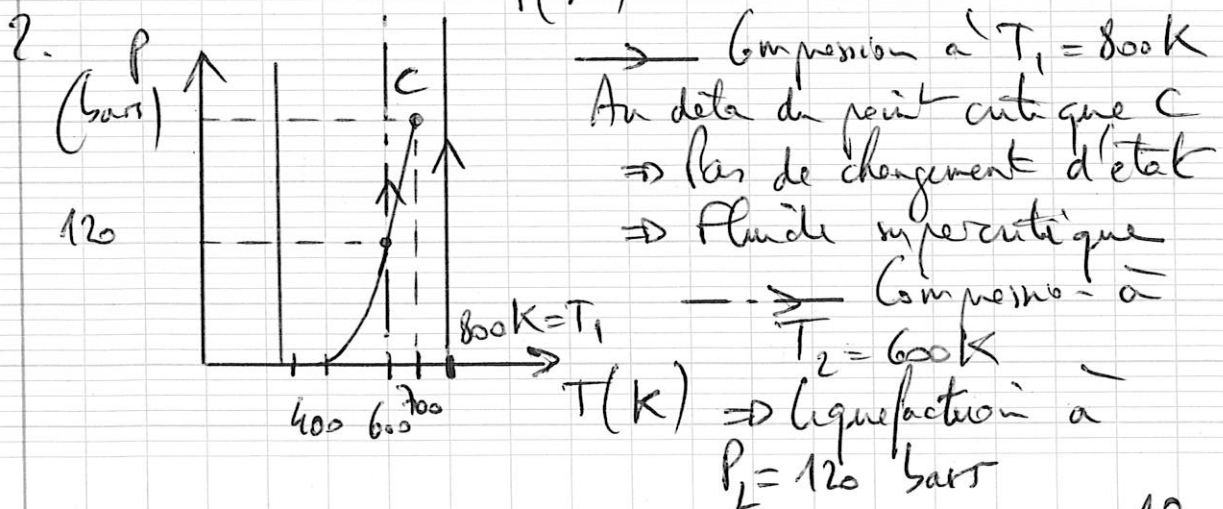
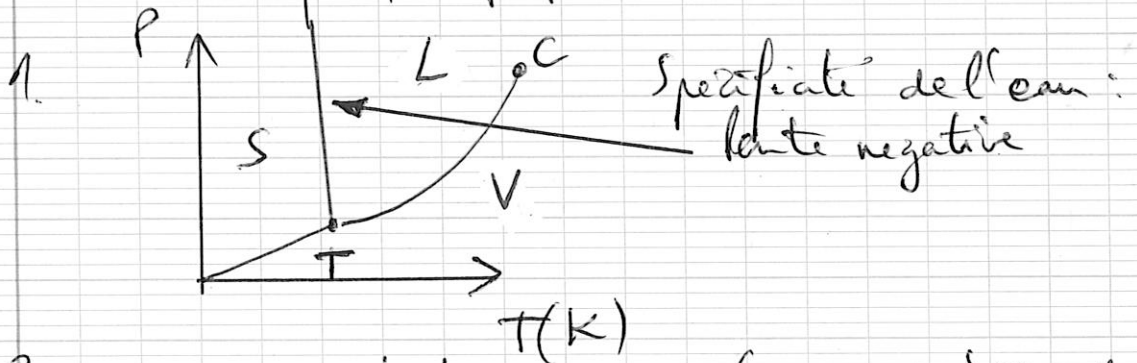
b) $P_{f2} = P_f \frac{T_{f2}}{T_f} \frac{V_f}{V_{f2}} = 3,95 \times \frac{273+85}{273+40} \times \frac{1}{1,02} = \underline{\underline{4,93 \text{ atm}}}$

Exercice 12: Isothermes d'Andrews



- $PV = nRT$
 Le produit PV est plus élevé à la température $T_2 \Rightarrow T_2 > T_1$
- Point D: Mélange liquide-vapeur à la pression P_1 et température T_1 .
 Point E: Point d'ébullition à la température T_2 .

Exercice 14: Quelques propriétés de l'eau



Observé pour tous les corps purs.

3. Etat solide

En effet: Equations de la droite de changement d'état $L \rightarrow S$.

$$P_{LS} = -133T + b$$

Passage par le point triple:

$$P_T = -133T_T + b$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow b &= P_T + 133T_T \\ &= 611 \cdot 10^{-3} + 133 \times 273,16 \\ &= 36330 \text{ bar} \end{aligned}$$

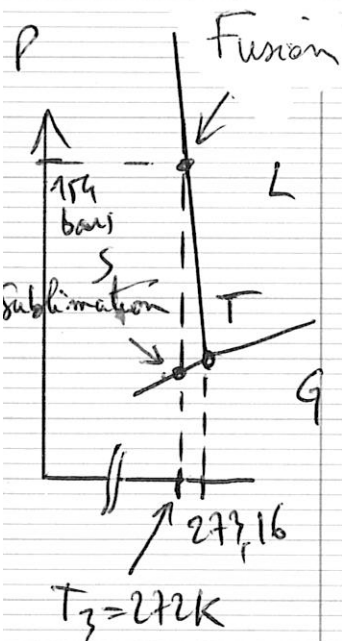
L'equation est donc:

$$P_{LS} = -133T + 36330$$

Pour $T = 272 \text{ K}$

$$\begin{aligned} P_{LS} &= -133 \times 272 + 36330 \\ &= 154 \text{ bar} \end{aligned}$$

Or $P = 1 \text{ bar} < P_{LS}$
 \Rightarrow état solide.



L'expérience quotidienne montre que pour $T = 272 \text{ K} = -1^\circ \text{C}$, l'eau est solide sous pression atmosphérique 1 bar.

Si on co-pressurise cette eau solide à 272 K , elle va fondre à $P_{LS} = 154 \text{ bar}$.

Spécifique au cas de l'eau car la course de la pente $L \rightarrow S$ est négative.

Pour $T = 272 \text{ K}$, si on hausse P à partir de $P_0 = 1 \text{ bar}$, on observe une sublimation (passage à l'état gazeux). Non spécifique à l'eau 11

Exercice 15 : Stockage d'eau chaude

1. $m = 100 \text{ kg}$ pour $V_0 = 200 \text{ L}$

d'où :

$$v = \frac{V_0}{m} = \frac{0,2}{100} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{L}^{-1}$$

Or $v = x_L v_L + x_G v_G$

Et :

$$x_L = \frac{v_G - v}{v_G - v_L} \quad \text{et} \quad x_G = \frac{v - v_L}{v_G - v_L}$$

Sur le diagramme, on lit, à 60°C :

$$v_G = 8 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}$$

$$v_L = 0,001 \text{ m}^3 \cdot \text{kg} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}$$

d'où :

$$x_L = \frac{8 - 2 \cdot 10^{-3}}{8 - 1 \cdot 10^{-3}} \approx 1 \approx 100\%$$

$$m_L \approx m = 100 \text{ kg}$$

$$x_G = \frac{2 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-3}}{8 - 1 \cdot 10^{-3}} = 0,0125\%$$

$$\text{d'où } m_G = x_G \cdot m = 12,5 \text{ g}$$

2. A 500°C , l'eau est à l'état liquide et puis-

$$v = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\ln \frac{v}{v_0} = \alpha (T - T_0) - X_T (P - P_0) \quad \text{(on trouve supercritique)}$$

$$\ln \frac{v}{v_0} = \ln 1 = 0$$

d'où :

$$\alpha (T - T_0) - X_T (P - P_0)$$

$$\alpha (T - T_0) = X_T (P - P_0)$$

$$P = \frac{\alpha (T - T_0)}{X_T} + P_0 = \frac{3 \cdot 10^{-4} (500 - 60)}{5,0 \cdot 10^{-6}} + 10^5$$

$$P = 2640 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 264 \cdot 10^3 \text{ bar}$$

* Explosion de la cuve.

3. Nouveau volume molaire:

$$v^l = \frac{V_0}{n} = \frac{0,2}{0,4} = 0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

On place le point d'abscisse $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$
et appartenant à l'isotherme 100°C

⇒ on lit $P = 0,8 \text{ MPa} = 8 \text{ bars}$.
Pression beaucoup plus supportable.