

# Correction exercices de thermodynamique chap 1

## Exercice n°1

1.  $p = \frac{m}{V}$  et  $PV = nRT$ ;  $m = n \times M$

$$p = \frac{n \times M}{\frac{P}{RT}} \quad \boxed{p = \frac{PM}{RT}}$$

2.  $d = \frac{p}{\rho_{\text{air}}}$   $d = \frac{\frac{PM}{RT}}{\frac{P M_{\text{air}}}{RT}} = \frac{M}{M_{\text{air}}}$   $\boxed{d = \frac{M}{M_{\text{air}}}}$

3.  $M_{\text{air}} = \frac{80}{100} \times (2 \times 14) + \frac{20}{100} \times (2 \times 16)$   $\boxed{M_{\text{air}} = 28,8 \text{ g.mol}^{-1}}$

4.  $d_{\text{CH}_4} = \frac{M_{\text{CH}_4}}{M_{\text{air}}}$   $d_{\text{CH}_4} = \frac{12 + 4 \times 1}{28,8} = \frac{16}{28,8}$

$$\boxed{d_{\text{CH}_4} = 0,56}$$

## Exercice n°2

1. Le patineur exerce sur le sol, la force  $F = mg$  ce qui correspond à la pression:  $P = \frac{F}{S}$  avec  $S = 3,5 \times 10^{-3} \times 22 \times 10^{-2} \text{ m}^2$

$$F = 70 \times 10 = 700 \text{ N}$$

$$S = 77 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

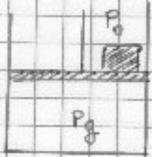
$$\left. \begin{array}{l} F = 700 \\ S = 77 \times 10^{-5} \end{array} \right\} P = \frac{700}{2,77 \times 10^{-5}} = 9,1 \times 10^5 \text{ Pa} = 4,5 \times 10^5 \text{ Pa}$$

A  $-5^\circ\text{C}$  sous une pression de  $9,1 \times 10^5 \text{ Pa}$ ; la glace a fondu. Le patineur évolue sur une couche d'eau liquide.

2. Avec des chaussures,  $S \gg 77 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \Rightarrow P$  diminue et donc la glace reste sous l'état solide. Le patineur ne glisse plus.

**Exercice n°3**

1. EI → l'état d'équilibre:  $P_{\text{gaz}} = P_0$  et  $T_{\text{gaz}} = T_0$

2.  Equilibre:  $\sum \vec{F} = \vec{0}$

système (piston)  
référentiel: la Terre  
supposé galiléen.  
(03): repère.

$$-P_0 S + P_g S - Mg = 0$$

$$P_g = P_0 + \frac{Mg}{S}$$

A.N:  $P_g = 10^5 + \frac{100 \times 10^{-3} \times 9,81}{10^{-3}} = 100981 \text{ Pa}$

Comme les parois sont diathermes  $T_g = T_0$

3.  $P_g = P_0 + \frac{(M+m)g}{S}$  A.N:  $P_g = 10^5 + \frac{120 \times 10^{-3} \times 9,81}{10^{-3}} = 101177 \text{ Pa}$

4. la transformation étant brutale, on ne peut pas définir  $P_0$  et  $T_0$  les deux états

**Exercice n°4**

1.  $V = N \times V_0$  A.N.:  $6 \times 10^{23} \times 0,1 \times 10^{-9} = 6 \times 10^{13} \text{ m}^3$

2.  $V = S \times h$  d'où  $h = \frac{V}{S}$  A.N:  $h = \frac{6 \times 10^{13}}{550000 \times 10^6} = 109 \text{ m}$

**Exercice n°5**

1.  $P = 10^{-6} \text{ Pa}$   $T = 27 + 273,15 \text{ K}$   $PV = nRT$   $n = \frac{N}{N_A}$   $PV = \frac{N}{N_A} RT$

$PV = N k_B T$  car  $R = k_B N_A$

$n_0 = \frac{N}{V} = \frac{P}{k_B T}$

$n_0 = \frac{P}{k_B T}$  A.N:  $n_0 = \frac{10^{-6} \times 1,01325 \times 10^5}{1,38 \times 10^{-23} \times 300,15}$

ce qui donne:  $2,45 \times 10^{13} \text{ molécules cm}^{-3}$   $n_0 = 2,45 \times 10^{13} \text{ molécules m}^{-3}$

2.  $\frac{V}{m} = \frac{1 \times RT}{P}$  car  $n = 1$   $\frac{V}{m} = \frac{8,314 \times 273,15}{1,01325 \times 10^5} = 0,0224 \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$   $V_m = 22,4 \text{ L mol}^{-1}$

## Exercice n°6

- 1- L'hélium est gazeux sous la pression de 1,2 bar et à température ambiante. (partie basse très à droite pour  $\sim 300$  K et 1,2 bar : zone de l'état GAZ)).
- 2- Il reste en l'air parce que l'hélium est un gaz plus léger que l'air ( $d_{\text{He}} = 4/29 = 0,14$ ).
- 3- En le comprimant, il va passer dans sa phase fluide supercritique. Mais il ne sera pas possible de le liquéfier, ni de le solidifier tout ceci à température constante.
- 4- Il faudra descendre à très très basse température pour le liquéfier et à température très proche du zéro absolu, on pourra l'observer solide sous une pression élevée, supérieur à 25 bar.
- 5- Non, il ne peuvent jamais être à l'équilibre (trop éloignés).
- 6- la particularité de la ligne  $\lambda$  du diagramme est de séparer le superfluide du liquide.
- 7- Sous 1 bar, à partir de la température ambiante, si on refroidit, l'hélium va se liquéfier à 4,2 K. Vers 2 K, nous arriverons sur la ligne  $\lambda$  et l'hélium liquide passera dans sa phase super liquide.

## Exercice n°7

- 1- La pression dans l'enceinte augmente au cours de la vaporisation de l'eau et se bloque à  $P_{\text{sat}}$  ; on en déduit la quantité de moles gazeuses (supposé gaz parfait):

$$P_{\text{sat}} V = n_v R T .$$

La quantité de matière de gaz présent dans le récipient est alors :  $n_v = P_{\text{sat}} V / (RT)$

A.N.:

$$n_v = 10^5 \times 10^{-3} / (8,314 \times 373) = 0,032 \text{ mol ce qui correspond à } m_v = 0,032 \times 18 = 0,58 \text{ g} = 580 \text{ mg.}$$

$$m_l = m_{\text{eau}} - m_v = 1 - 0,58 = 0,42 \text{ g} = 420 \text{ mg.}$$

$$x_v = m_v / m_{\text{eau}} = 0,58 / 1 = 0,58 \text{ et } x_l = m_l / m_{\text{eau}} = 0,42 / 1 = 0,42$$

### 2.1-

L est le point de l'isotherme sur la courbe d'ébullition, le fluide est entièrement sous forme liquide ;

V est le point de l'isotherme sur la courbe de rosée, le fluide est entièrement sous forme vapeur ;

F est le point correspondant à l'état final du système liquide-vapeur.

- Si le fluide est entièrement sous sa forme liquide, la donnée de sa masse volumique suffit pour accéder au volume massique :  $v_l = 1/\rho = 10^{-3} \text{ L}\cdot\text{g}^{-1}$ .

- Si le fluide est entièrement sous sa forme gazeuse, l'équation d'état donne pour 1 g de gaz :

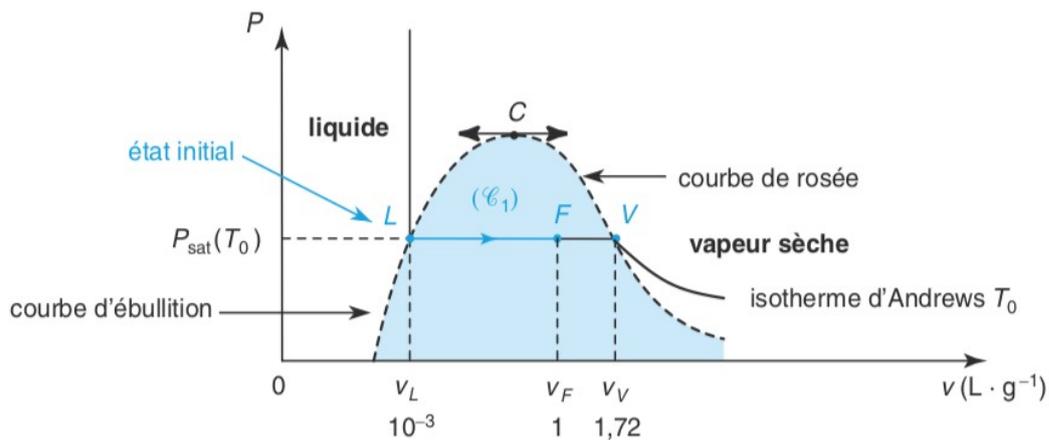
$$n_v RT = P_{\text{sat}} V \quad \text{donne} \quad V/n_v = RT/P_{\text{sat}} \quad \text{et} \quad n_v = m_v/M \quad \text{d'où} \quad v_v = V/m_v = RT/MP_{\text{sat}}$$

A.N.:  $v_v = 8,314 \times 373 : (18 \times 10^{-3} \times 10^5) = 1,72 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} = 1,72 \text{ L}\cdot\text{g}^{-1}$ . (1L = 1dm<sup>3</sup>)

- À l'équilibre final, le mélange liquide-gaz comprenant une partie vapeur occupe tout le récipient de volume  $V = 1,0 \text{ L}$  et, par conservation de la masse, sa masse totale reste  $m_{\text{eau}} = 1,0 \text{ g}$ . Son volume massique est le rapport du volume total du récipient par la masse d'eau :  $v_F = V/m_{\text{eau}} = 1 \text{ L}\cdot\text{g}^{-1}$ .

Puisque le volume massique  $v_F$  est compris entre  $v_l$  et  $v_v$ , l'état final du système est un équilibre liquide-gaz .

Le théorème des moments permet d'obtenir le titre massique en vapeur et le titre massique en liquide :



$$x_V = \frac{v_F - v_L}{v_V - v_L} = \frac{LF}{LV} \quad \text{et} \quad x_L = 1 - x_V = \frac{v_V - v_F}{v_V - v_L} = \frac{FV}{LV}$$

$$x_V = \frac{1 - 10^{-3}}{1,72 - 10^{-3}} \approx \frac{1}{1,72} \quad \text{et} \quad x_L = \frac{1,72 - 1}{1,72 - 10^{-3}} \approx \frac{0,72}{1,72}$$

titre massique  $x_v = m_v/m_{\text{eau}} = 0,58$  et  $x_L = m_L/m_{\text{eau}} = 0,42$ .

Ces résultats obtenus sont cohérents avec ceux que nous avons obtenus par la première méthode.

3- Le calcul du volume massique pour l'état final donne :  $v_F = 1/0,5 = 2 \text{ L}\cdot\text{g}^{-1}$ . Le point F correspondant à l'état d'équilibre final du système est dans le domaine de la vapeur sèche sur l'isotherme d'Andrews de température  $T_0$  :  $v_F > v_v$ . Tout est donc à l'état vapeur.

## Exercice n°8

Lecture sur le graphe:

$$v_M = 0,01 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

$$v_B = 0,002$$

$$v_C = 0,045$$

Par application du théorème des moments, on trouve:

$$x_v = BM/BC = (0,01 - 0,002)/(0,045 - 0,002) = 0,186$$

$$x_L = MC/BC = (0,045 - 0,01)/(0,045 - 0,002) = 0,814$$

$$x_v = m_v/m_{\text{eau}} = 0,186 \text{ et } x_L = m_L/m_{\text{eau}} = 0,814.$$

Comme  $m_{\text{eau}} = 1 \text{ kg}$  alors  $m_v = 186 \text{ g}$  et  $m_L = 814 \text{ g}$ .

## Exercice n°9

1- a)  $400^\circ\text{C}$  et  $0,2 \text{ bar}$

soit  $673,15 \text{ K}$  et  $0,2 \text{ bar}$   
état gazeux

b)  $-10^\circ\text{C}$  et  $0,1 \text{ bar}$

soit  $263,15 \text{ K}$  et  $0,1 \text{ bar}$   
état solide

c)  $100^\circ\text{C}$  et  $1 \text{ atmosphère}$

soit  $T = 373 \text{ K}$  et  $\sim 1 \text{ bar}$

c'est la température d'ébullition de  
l'eau sous pression atmosphérique

équilibre liquide/ gaz

d)  $273,16 \text{ K}$  et  $0,006 \text{ bar}$

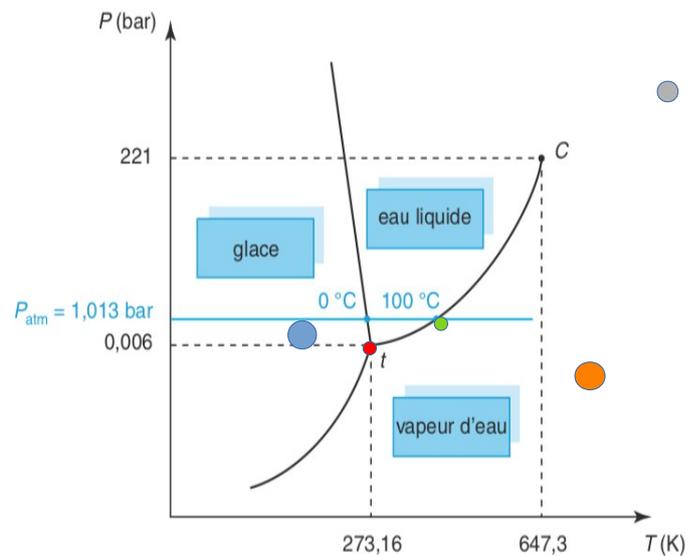
point triple de l'eau

équilibre liquide/ gaz /solide

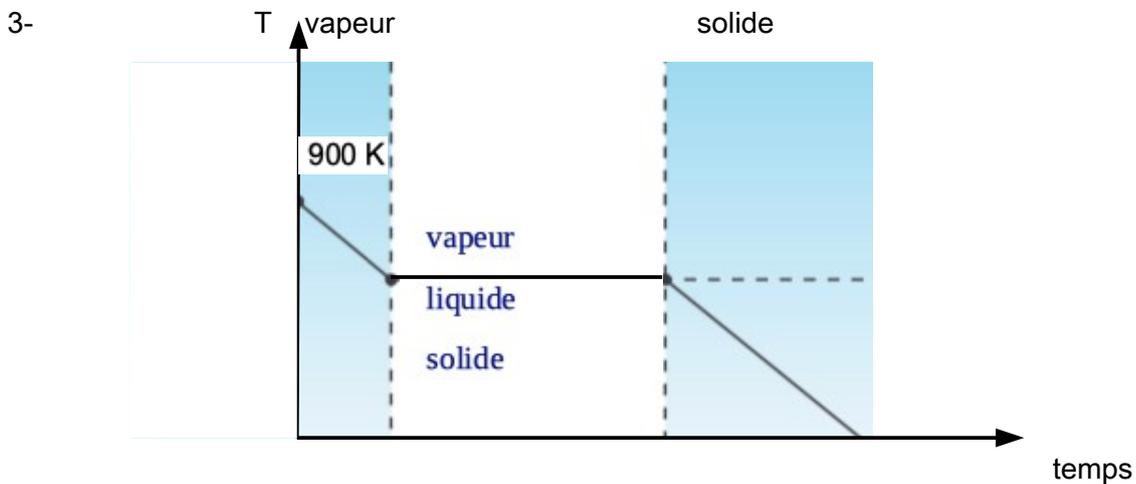
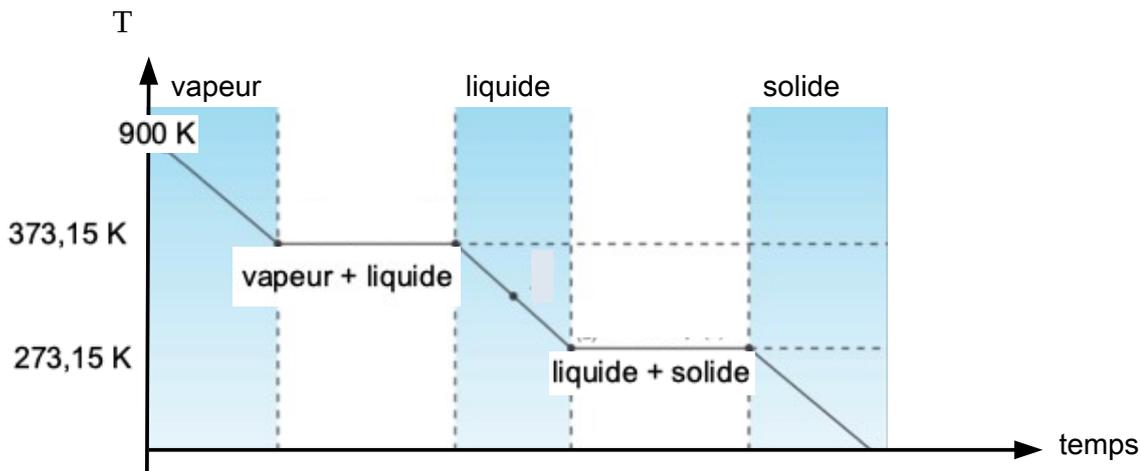
e)  $800 \text{ K}$  et  $250 \text{ bar}$ .

État fluide supercritique

Diagramme d'état (P, T) de l'eau



2- Allure de la courbe d'évolution de la température en fonction du temps en repérant les points caractéristiques de la courbe.



4- a) en subissant un changement d'état.

température 500 K et à la pression 0,002 bar  $\longrightarrow$  500 K et 100 bar trajet [1]

On comprime le gaz qui passe alors à l'état liquide. On « traverse » pour cela la courbe de vaporisation.

b) sans subir aucun changement d'état . Trajet [2]

Trajet A, A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> (on contourne le point critique).

chauffage isobare

compression isotherme

A (500K ; 0,002 bar)  $\longrightarrow$  A<sub>1</sub> (T<sub>A1</sub> > 647,30K ; 0,002 bar)  $\longrightarrow$  B<sub>1</sub> (T<sub>B1</sub> = T<sub>A1</sub> ; P<sub>B1</sub> > 218,4 bar)  $\longrightarrow$  B<sub>2</sub> (500K ; P<sub>B2</sub> = P<sub>B1</sub>)  $\longrightarrow$  B (500K ; 100 bar).

refroidissement isobare

