

T4 – CHANGEMENTS D'ETAT

Travaux Dirigés

Exercice 1 : Vapeur sèche ou saturante

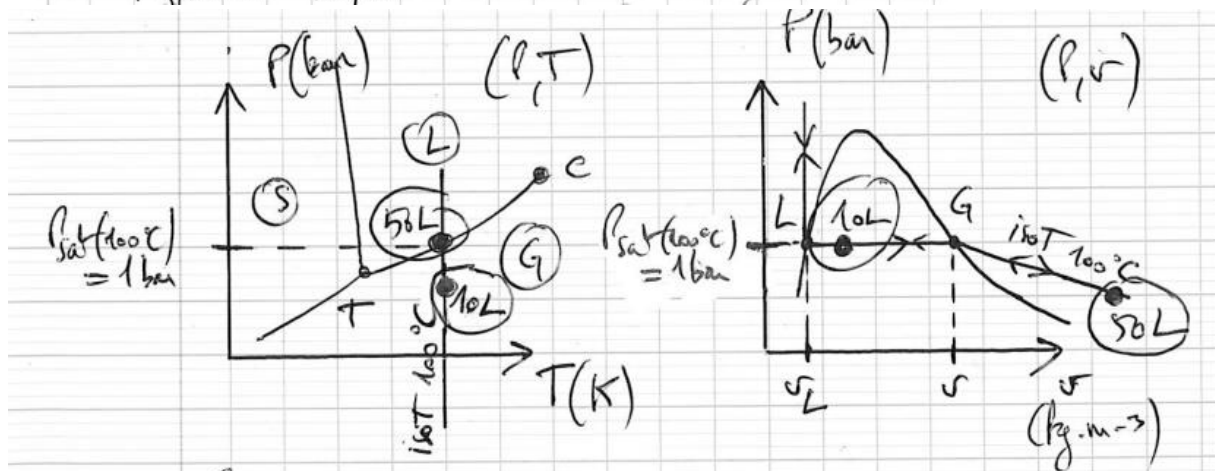
On injecte une mole d'eau dans des récipients initialement vides de volumes respectifs $V_1 = 10 \text{ L}$ puis $V_2 = 50 \text{ L}$. Ces récipients sont thermostatés et maintenus à la température $\theta = 100^\circ\text{C}$ telle que $P_{\text{sat}}(T) = 1 \text{ bar}$.

Décrire l'état final du système dans chacun des deux cas étudiés.

Rép. : 1) $x_{\text{vap}} = 32\%$ 2) $P = 0,62 \text{ bar}$

1) Hypothèse : vapeur saturante.
 $V_{\text{vap}} \leq V_{\text{tot}} \quad (+) \quad \text{Vapeur condensée comme GL.}$
 $\Rightarrow P_{\text{sat}} \cdot V_{\text{tot}} = n_{\text{vap}} \cdot RT$
 $\Rightarrow n_{\text{vap}} = \frac{P_{\text{sat}} \cdot V_{\text{tot}}}{RT} = \frac{1 \cdot 10^5 \times 10 \cdot 10^{-3}}{8,31 \times (100 + 273)}$
 $= 0,32 \text{ mol} < n_{\text{tot}}$
 Hypothèse vérifiée : $x_{\text{vap}} = 0,32$

2) Même hypothèse : vapeur saturante.
 $\Rightarrow n_{\text{vap}} = 1,6 \text{ mol} > n_{\text{tot}}$
 Hypothèse non vérifiée.
 Hypothèse : vapeur sèche.
 $n_{\text{vap}} = n_{\text{tot}}$
 $P \cdot V_{\text{tot}} = n_{\text{tot}} \cdot RT$
 $\Rightarrow P = \frac{n_{\text{tot}} \cdot RT}{V_{\text{tot}}} = \frac{1 \times 8,31 \times (100 + 273)}{50 \cdot 10^{-3}}$
 $= 62 \cdot 10^3 \text{ Pa} = 0,62 \text{ bar}$
 $< P_{\text{sat}}$
 Hypothèse vérifiée



Exercice 2 : Vaporisation d'un liquide dans le vide

Un récipient, initialement vide, de volume V , est plongé dans un thermostat à 373 K.

a) On introduit 1 g d'eau liquide dans le récipient. Calculer V minimal pour que toute l'eau soit sous forme vapeur.

b) On prend $V = 1$ L. Déterminer la fraction massique de la vapeur.

On donne $P_s(373 \text{ K}) = 1,013 \text{ bars}$ et $M(\text{eau}) = 18 \text{ g/mol}$.

Rép : $V_{\min} = 1,7 \text{ L}$ $x = 59 \%$

a) Hypothèse "Vapeur sèche" valable si $P \leq P_{SAT}$

$$P_s V \geq nRT$$

$$V \geq \frac{nRT}{P_s} = \frac{\frac{m}{M} RT}{P_s} = \frac{mRT}{MP_s}$$

$$= \frac{10^{-3} \times 8,31 \times 373}{18 \cdot 10^{-3} \times 1,013 \cdot 10^5}$$

$$V \geq 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = \underline{1,7 \text{ L}}$$

b)

$$P_{SAT} \cdot V_{TOT} = n_{VAP} RT$$

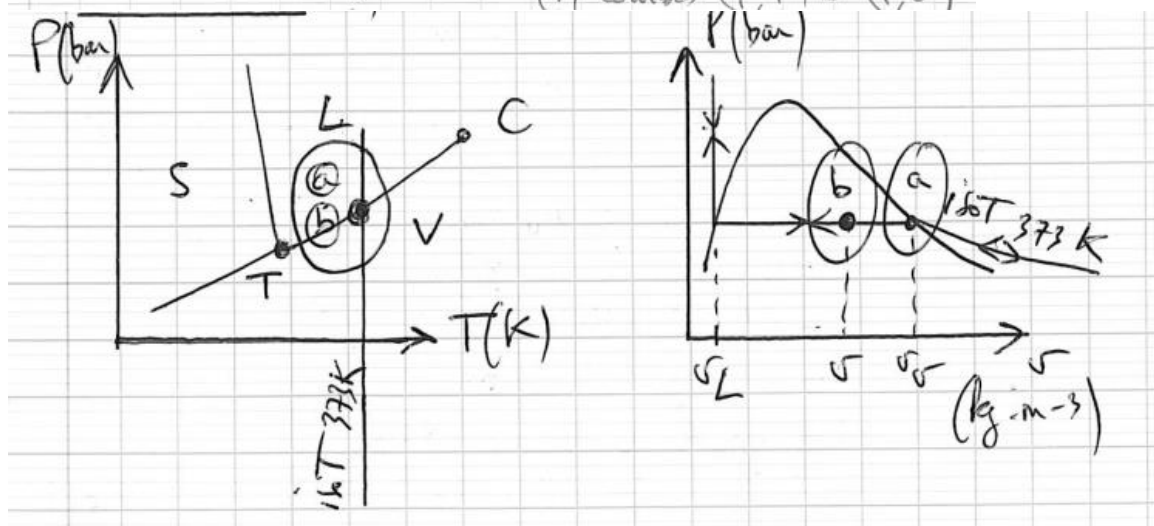
$$\Rightarrow n_{VAP} = \frac{P_{SAT} \cdot V_{TOT}}{RT} = \frac{1,013 \cdot 10^5 \times 1 \cdot 10^{-3}}{8,31 \times 373}$$

$$= 3,3 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

$$x_{VAP} = \frac{n_{VAP}}{n_{TOT}} = \frac{n_{VAP}}{\frac{m}{M}} = \frac{n_{VAP} \times M}{m}$$

$$= \frac{3,3 \cdot 10^{-2} \times 18}{1} = \underline{0,59}$$

(*) Combes (P, T) et (P, V)



Exercice 3 : Enthalpies de transition de phase

- 1) Quelle est la chaleur libérée par la solidification de 200 g d'eau liquide au cours d'une transformation isobare à 0°C ?
- 2) Quelle élévation de température subirait 1 kg d'eau liquide initialement à 10°C si on apportait (à pression constante) un transfert thermique égal à celui qui permettrait la fusion d'1 kg de glace ?
- 3) Quelle est l'énergie nécessaire pour, à pression atmosphérique faire passer un kilogramme d'eau de l'état liquide à l'état vapeur à 100°C ?

Données :

Enthalpie de fusion ou chaleur latente de fusion de l'eau à 0°C (sous 1 atm) :

$$\Delta_{fus}h(0^\circ\text{C}) = l_{fus}(0^\circ\text{C}) = 333 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Enthalpie de vaporisation ou chaleur latente de vaporisation de l'eau à 100°C (sous 1 atm) :

$$\Delta_{vap}h(100^\circ\text{C}) = l_{vap}(100^\circ\text{C}) = 2,26 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Capacité thermique massique de l'eau liquide :

$$c_0 = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Rép. : 3) $Q_1 = 66,6 \text{ kJ}$; $T_2 = 90^\circ\text{C}$; $Q_3 = 2,26 \text{ MJ}$.

Exercice 3 : Enthalpies de transition de phase

1) $Q_{libérée} = -Q_{reçue} = -\Delta H_{reçue} = -m \cdot \Delta_{sol}h(0^\circ\text{C})$
 $= -(-m \cdot \Delta_{fus}h(0^\circ\text{C}))$
 $= m \cdot \Delta_{fus}h(0^\circ\text{C})$
 $= 200 \cdot 10^{-3} \cdot 333$
 $= 66,6 \cdot 10^3 \text{ J} = \underline{66,6 \text{ kJ}}$

2) Système : Eau liquide.
 $\Delta H_{glace} = Q_p$ car manobare
 $= m \cdot \Delta_{fus}h(0^\circ\text{C})$
 $\Delta H_{liquide} = m \cdot \Delta_{fus}h(0^\circ\text{C}) = m \cdot c_0 \cdot (T_f - T_i)$
Donc :
 $T_f = T_i + \frac{\Delta_{fus}h(0^\circ\text{C})}{c_0}$
 $T_f = 10 + \frac{333}{4,18}$
 $T_f = \underline{90^\circ\text{C}}$

3) $\Delta H = Q_p = m \cdot \Delta_{vap}h(100^\circ\text{C})$
 $= \underline{2,26 \text{ MJ}}$

Exercice 4 : Variations d'enthalpie

Une masse $m = 100 \text{ g}$ d'eau passe de l'état solide à -10°C à l'état liquide à $+10^\circ\text{C}$ sous une pression de 1 atm .

Calculer la quantité de chaleur nécessaire pour réaliser cette transformation.

Données :

Chaleur latente de fusion de l'eau : $l_f = 334 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ à 0°C sous 1 atm

Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_l = 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

Capacité thermique massique de l'eau solide : $c_s = 2,1 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

Rép. : $Q = 39,7 \text{ kJ}$

Exercice 4 : Variations d'enthalpie.

$$\begin{aligned}\Delta H = Q_p &= m \cdot l_f + m \cdot c_s \cdot \Delta T_1 + m \cdot c_l \cdot \Delta T_2 \\ &= m \cdot (l_f + c_s \cdot \Delta T_1 + c_l \cdot \Delta T_2) \\ &= 0,100 \text{ kg} \times (334 + 2,1 \times 10 + 4,2 \times 10) \cdot 10^3 \\ &= \underline{\underline{39,7 \text{ kJ}}}\end{aligned}$$

Exercice 5 : État d'un système déterminé à partir d'un extrait de table

Extrait d'une table donnant les grandeurs massiques pour une vapeur d'eau saturante :

Vapeur d'eau saturante $P = 10 \text{ bar}$ $\theta = 179,86^\circ\text{C}$	Volume massique		Enthalpie massique	
	liquide	vapeur	liquide	vapeur
	$v_l (\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1})$	$v_v (\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1})$	$h_l (\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1})$	$h_v (\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1})$
	$1,127 \cdot 10^{-3}$	0,1947	761,2	2772

Un ballon de $10,0 \text{ m}^3$ contient 169 kg d'eau sous $10,0 \text{ bar}$.

Quel est l'état de l'eau ? On précisera sa pression et sa température, son titre en vapeur et son enthalpie totale.

Exercice 5: État d'un système déterminé à partir d'un extrait de table.

$$v = \frac{V}{m} = \frac{10}{169} = 59,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

$\Rightarrow v_l < v < v_v$
 \Rightarrow Mélange diphasique liquide-vapeur
 $\Rightarrow P = P_{\text{SAT}} = 10 \text{ bars}$
 $T = T_{\text{SAT}} = 179,86^\circ\text{C}$

$x = \frac{h - h_L}{h_v - h_L}$... h non connue
 ou
 $x = \frac{v - v_L}{v_v - v_L} = \frac{59,2 \cdot 10^{-3} - 1,127 \cdot 10^{-3}}{0,1947 - 1,127 \cdot 10^{-3}} \approx 0,30$

(*)

$$\begin{aligned}
 h &= x_L h_L + x_v h_v \\
 &= (1 - x_v) h_L + x_v h_v \\
 &= (1 - 0,30) \times 761,2 + 0,30 \times 2772 \\
 &= 1364 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \\
 H &= m \cdot h = 169 \times 1364 \\
 &= 230 \cdot 10^3 \text{ kJ} = \underline{\underline{230 \text{ MJ}}}
 \end{aligned}$$

