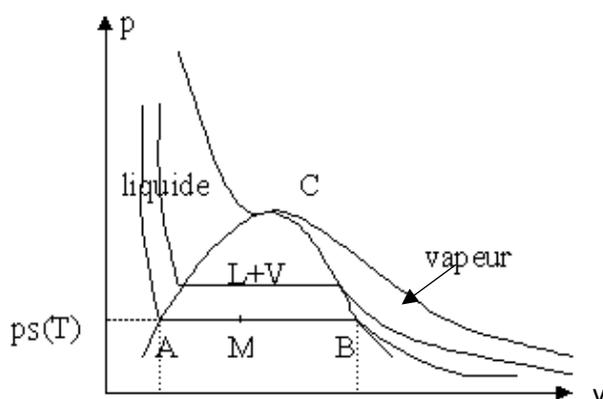


TD23 - CORPS PUR DIPHASÉ EN ÉQUILIBRE

On donne pour tout le TD : $M_{\text{EAU}}=18\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $R=8,31\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$; $\theta(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273,15$

Exercice 1 : Questions de cours (à savoir faire sans le cours sous les yeux)

- 1 Définir le titre molaire en vapeur dans un système en équilibre liquide/vapeur. Même question pour le titre massique en vapeur.
- 2 Dessiner l'allure du diagramme de phase (P, T) de la majorité des corps purs. Placer les domaines de stabilité des différentes phases. Placer les points remarquables et rappeler brièvement leur signification.
- 3 Donner l'allure du diagramme (P, T) de l'eau. Placer les différentes phases et les points remarquables.
- 4 Donner l'allure du diagramme (P, v) (dit « de Clapeyron ») d'un corps pur dans le cas général. Placer les domaines de stabilité des différentes phases et le point critique.
- 5 Tracer plusieurs isothermes d'Andrews sur le diagramme (P, v) (pour $T < T_c$, pour $T = T_c$, pour $T > T_c$).
- 6 Placer sur le diagramme (P, v) la courbe de saturation, la courbe de rosée et la courbe d'ébullition.
- 7 Définir la pression de vapeur saturante. De quel(s) paramètre(s) dépend cette grandeur ?
- 8 On considère le point M sur le diagramme de Clapeyron ci-contre. Énoncer la règle des moments chimiques permettant de déterminer la masse de liquide et la masse de vapeur au point M.



- 9 Démontrer la règle des moments.
- 10 Définir la pression partielle d'un constituant d'un mélange de gaz. Déterminer la pression partielle de O_2 dans l'air à pression atmosphérique. Comment calculer la pression partielle p_i d'un constituant si on connaît la pression totale p et la fraction molaire x_i du constituant ?
- 11 Expliquer pourquoi le linge peut sécher à pression atmosphérique dans une pièce alors qu'il n'y fait pas 100°C . Que faut-il faire pour que le linge sèche le plus vite possible ? Justifier par des arguments physiques.

Exercice 2 : Pression de vapeur saturante et variation de température

Dans une enceinte de volume $V=10\text{L}$ (ne contenant pas l'air) maintenue à une température T se trouve une masse $m=4\text{g}$ d'eau. On assimilera la vapeur d'eau à un gaz parfait. Déterminer la masse de vapeur m_v et la masse de liquide m_L :

- 1 Si $T=T_1=80^{\circ}\text{C}$;
- 2 Si $T=T_2=100^{\circ}\text{C}$.

On donne : $P_{\text{SAT}}(T=80^{\circ}\text{C})=0,467\text{ bar}$ et $P_{\text{SAT}}(T=100^{\circ}\text{C})=1,013\text{ bar}$.

Exercice 3 : Pression de vapeur saturante et variation de volume

Dans une enceinte de volume V maintenue à une température $T=423\text{K}$ se trouve une masse $m=100\text{g}$ d'eau. On assimilera la vapeur d'eau à un gaz parfait. On donne : $P_{\text{SAT}}(T=423\text{K})=4,76\text{ bar}$.

- 1 Déterminer la masse de vapeur m_v et la masse de liquide m_L si $V=V_1=50\text{L}$;
- 2 Déterminer la masse de vapeur m_v et la masse de liquide m_L si $V=V_1=30\text{L}$:
 - a En faisant l'hypothèse que $V_L \ll V_1$
 - b * En ne faisant pas l'hypothèse $V_L \ll V_1$ et en utilisant les fractions massiques et volumes massiques.
 - c Conclure quant aux résultats du a. et du b.

Exercice 4 : Pression de vapeur saturante

On introduit dans un volume V initialement vide une masse m d'eau. On assimilera la vapeur sèche et la vapeur saturante à des gaz parfaits.

- Déterminer, en fonction de R , T , V , P_{SAT} et M_{EAU} , la masse maximale m' d'eau que l'on peut introduire pour que l'eau soit entièrement sous forme de vapeur.
- On suppose que $m < m'$. Comment faut-il modifier V (qualitativement) pour que l'eau puisse être simultanément sous forme liquide et vapeur ?
- Déterminer, en fonction de m , R , T , P_{SAT} et M_{EAU} , le volume V' à partir duquel l'eau contenue dans le cylindre se trouve simultanément sous forme liquide et vapeur.

Exercice 5 : Point triple de l'ammoniac

- Rappeler la définition du point triple. Quelles sont les coordonnées du point triple de l'eau ?
- La pression de vapeur saturante (exprimée en bar) de l'ammoniac liquide est donnée par la relation $\ln(P_l) = 12,87 - \frac{3063}{T}$, et celle de l'ammoniac solide par $\ln(P_s) = 16,41 - \frac{3754}{T}$. En déduire les coordonnées du point triple de l'ammoniac.

Exercice 6* : Règle des moments

Soit $m=1\text{g}$ d'eau dans un état A ($V_A=0,1\text{m}^3$ et $T_A=27^\circ\text{C}$). On le porte de manière isotherme à l'état B ($V_B=0,01\text{m}^3$ et $T_B=T_A=27^\circ\text{C}$). On admet que, lorsqu'il existe de l'eau liquide dans le mélange liquide vapeur, son volume peut être négligé devant le volume total, et que la vapeur d'eau (qu'elle soit sèche ou saturante) peut être assimilée à un gaz parfait. On donne pour tout l'exercice : $P_{\text{SAT}}(T=300\text{K})=3564\text{Pa}$

- Calculer le volume massique de l'eau à l'état A et à l'état B. Conclure sur l'état physique de l'eau à l'état A et à l'état B.
- Représenter la transformation réalisée sur un diagramme de Clapeyron (P , v).
- Calculer le titre massique en vapeur à l'état B en utilisant la règle des moments.

Exercice 7 : Degré d'hygrométrie

Dans une pièce hermétiquement fermée, de volume $V=40\text{m}^3$, on place un récipient contenant un volume $V_0=200\text{mL}$ d'eau liquide. L'air de la pièce est à la pression $P_0=1\text{bar}$ et à la température $T_0=20^\circ\text{C}$. Son degré d'hygrométrie est $H=60\%$. H est le rapport de la pression partielle de l'eau divisée par la pression de vapeur saturante de l'eau, valant dans ces conditions $P_{\text{SAT}}(T=20^\circ\text{C})=2,3\text{kPa}$. On assimile la vapeur d'eau à un gaz parfait.

- Exprimer en fonction de H , P_{SAT} , R , V et T_0 la quantité de vapeur d'eau initialement contenue dans l'atmosphère de la pièce. Faire l'application numérique.
- Toute l'eau liquide contenue dans le verre va-t-elle s'évaporer ? Justifier.
- Calculer le degré d'hygrométrie final de l'air de la pièce.
- Quel volume d'eau liquide aurait-il fallu mettre dans le récipient pour saturer la pièce en eau ?

Exercice 8 : Calorimétrie et changements d'état (1)

Dans un calorimètre de masse en eau μ négligeable devant toutes les autres masses mises en jeu, on met en contact un glaçon de masse $m_G=5,0\text{g}$ à $T_G=0^\circ\text{C}$ et $m_L=100\text{g}$ d'eau liquide à $T_L=20^\circ\text{C}$. Quelle est la composition et la température T_{eq} à l'équilibre ?

Données : Enthalpie de fusion de l'eau $L_f=334\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$ $c_{\text{eau}} = 4,18\cdot 10^3\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

Exercice 9* : Calorimétrie et changements d'état (2)

Dans un calorimètre de masse en eau μ négligeable devant toutes les autres masses mises en jeu, on met en contact $m_G=25\text{g}$ de glace à $T_G=0^\circ\text{C}$ et $m_V=10\text{g}$ de vapeur d'eau à $T_V=100^\circ\text{C}$. Quelle est la composition (valeurs de $m_{G_{\text{rq}}}$, $m_{L_{\text{rq}}}$ et $m_{V_{\text{rq}}}$) et la température T_{eq} à l'équilibre ?

Données : Enthalpie de fusion de l'eau $L_f=334\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$, enthalpie de vaporisation de l'eau $L_V=2260\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$
 $c_{\text{eau}} = 4,18\cdot 10^3\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

Exercice 10 L'eau en atmosphère inerte

On donne le modèle suivant pour la pression partielle de l'eau en fonction de la température :

$$\ln\left(\frac{P_{sat}(T)}{P_0}\right) = a - \frac{b}{T}$$

avec $a = 14,6$; $b = 5,37 \cdot 10^3 \text{ K}$; $P_0 = 1,00 \text{ bar}$

Des données supplémentaires peuvent être nécessaires pour résoudre les problèmes suivants.

Problème 1 : On considère une atmosphère à l'humidité relative $H = 30 \%$ à la température $T_A = 25 \text{ °C}$ à 20 h le soir. Si la température baisse suffisamment au cours de la nuit ; on verra apparaître de la rosée. Calculer la température T_B à laquelle se produit ce phénomène.

Problème 2 : Une pièce standard d'une maison a une surface de 10 m^2 et une hauteur sous plafond de $2,5 \text{ m}$. Elle est considérée comme une boîte déformable et parfaitement calorifugée, équipée d'un radiateur. Initialement elle ne contient que de l'air sec à P_0 . On pose dans la pièce un verre de 200 mL d'eau, la pièce étant maintenue à une température constante de 20 °C . L'air et l'eau en phase gaz pourront être considérés comme des gaz parfaits.

1. Une fois l'équilibre atteint, l'eau du verre s'est-elle totalement évaporée ?
2. Calculer l'humidité relative obtenue.
3. Le radiateur a-t-il dû fournir de l'énergie pour maintenir la température de la pièce constante pendant la transformation ? Si oui, combien ?
4. Que se passerait-il si on réalisait cette expérience à 0 °C ?