

## TD $\varphi$ 6 – Description d'un corps pur en équilibre diphasé

### Relier cours et exercices

#### Capacités et compétences du cours ...

- ▶ Donner l'allure du diagramme  $P = f(T)$ , le commenter et l'exploiter.
- ▶ S'aider du diagramme  $P = f(v)$  pour déterminer l'état physique d'un système.
- ▶ Déterminer la composition d'un mélange diphasé.

#### ... à appliquer dans ...

- ▶ Exercices n° 1 et 2
- ▶ Exercice n° 4
- ▶ Exercices n° 3, 5 et 6

### Conseils à suivre, erreurs à éviter

- ▶ Peu importe que ce soit demandé plus tard dans l'exercice ou pas demandé du tout, il est souvent conseillé de représenter la transformation avec changement d'état dans un diagramme de Clapeyron ( $P, v$ ).
- ▶ À une température donnée, une vapeur est sèche si la pression est inférieure à la pression de vapeur saturante ; elle est saturante si la pression est égale à la pression de vapeur saturante à cette température.
- ▶ Lorsqu'il s'agit d'un mélange d'air et de vapeur d'eau, il faut considérer la pression partielle de l'eau dans ce mélange. Notez que l'eau bout à  $100^\circ\text{C}$  sous la pression normale de 1,013 bar.
- ▶ Pour déterminer l'état physique (inconnu) d'un système (en général soit monophasé vapeur ou diphasé liquide-vapeur), faites une hypothèse et vérifiez sa validité à la fin ! Par exemple, si vous supposez que le système est monophasé vapeur, vous devez trouver une pression inférieure à la pression de vapeur saturante. Dans le cas contraire, votre hypothèse était fautive !

### Savoir appliquer son cours

#### Exercice n° 1 : Diagramme du corps pur pour le naphthalène<sup>1</sup> ☹️ ★

On considère les équilibres du naphthalène (noté N) gazeux ( $g$ ) avec le liquide ( $\ell$ ) ou le solide ( $s$ ) au voisinage du point triple. On donne en Pa la pression de la vapeur saturante (c'est-à-dire en présence de liquide ou de solide) pour chacun de ces équilibres :

$$N(\ell) \rightleftharpoons N(g) \text{ avec } \ln P_{\text{vap}} = 22,76 - \frac{5566}{T} \text{ et } N(s) \rightleftharpoons N(g) \text{ avec } \ln P_{\text{sub}} = 29,48 - \frac{7935}{T}$$

1. Déterminer les coordonnées du point triple.
2. Représenter le diagramme ( $P, T$ ) du naphthalène.

#### Exercice n° 2 : Diagramme de phases du dioxyde de carbone ☹️ ★

On s'intéresse au diagramme de phase du dioxyde de carbone en coordonnées ( $p, T$ ). On donne les coordonnées du point triple du dioxyde de carbone :  $T_T = 217\text{ K}$ ,  $p_T = 5,18 \times 10^5\text{ Pa}$ , et du point critique :  $T_C = 304\text{ K}$ ,  $p_C = 73,8 \times 10^5\text{ Pa}$ . À pression atmosphérique le dioxyde de carbone se sublime à  $-78,5^\circ\text{C}$ .

1. Donner l'allure du diagramme de phase du dioxyde de carbone en respectant les indications précédentes. Placer sur ce diagramme les points caractéristiques ainsi que leurs coordonnées et les zones d'existence des différentes phases.
2. On prend un échantillon de dioxyde de carbone, initialement à la température de 150 K et à pression atmosphérique puis on le place à température ambiante sans modifier la pression. Représenter la transformation sur le diagramme de phase et tracer la courbe d'analyse thermique. Indiquer sur la courbe les ordonnées du ou des point(s) qui vous sembleront intéressants et la (ou les) phase(s) en présence au cours de la transformation.

#### Exercice n° 3 : Vapeur sèche et vapeur saturante ☹️ ★

1. On introduit dans un récipient de volume  $V = 10,0\text{ L}$  initialement vide et maintenu à  $20^\circ\text{C}$ , une masse  $m = 10,0\text{ g}$  d'eau liquide. Montrer que la vapeur ne peut pas être sèche (pour rappel, on parle de vapeur sèche quand il n'y a pas présence de liquide).
2. À  $T = 20^\circ\text{C}$ , dans un récipient de volume  $V = 10,0\text{ L}$  contenant initialement de l'air sec à la pression ambiante  $p_0 = 1013\text{ hPa}$ , on introduit une masse  $m_e = 10,0\text{ mg}$  d'eau liquide. Calculer la pression dans le récipient quand le système n'évolue plus.

Données pour l'eau à  $20^\circ\text{C}$  :

- pression de vapeur saturante :  $p_{\text{sat}}^* = 0,0234\text{ bar}$  ;
- masse molaire :  $M(\text{H}_2\text{O}) = 18,0\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;
- constante des gaz parfaits :  $R = 8,314\text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

1.  $T_T = 352,5\text{ K}$  ;  $P_T = 1066\text{ mmHg}$

**Exercice n° 4** : Théorème des moments ☹️❤️

On considère une masse  $m = 1,0\text{ g}$  d'eau dans l'état A ( $V_A = 0,10\text{ m}^3$  et  $T_A = 27^\circ\text{C}$ ). On la porte de manière isotherme à l'état B ( $V_B = 0,010\text{ m}^3$  et  $T_B = 27^\circ\text{C}$ ). La vapeur d'eau se comporte comme un gaz parfait. La pression de vapeur saturante de l'eau à  $27^\circ\text{C}$  est  $p_{\text{sat}}^* = 3700\text{ Pa}$ . On considère que le volume massique de l'eau à  $27^\circ\text{C}$  vaut la valeur habituelle (à connaître par cœur).

- Déterminer l'état physique de l'eau dans l'état A.
- Représenter la transformation réalisée sur le diagramme  $(p, V)$ , en indiquant (un calcul sera peut-être nécessaire) les abscisses des points importants.
- Donner la fraction massique  $\omega_v$  en vapeur à l'état B. Calculer la masse d'eau liquide  $m_\ell$  et la masse de vapeur d'eau  $m_v$  dans l'état B.

**S'entraîner****Exercice n° 5** : Stockage de l'éther ☹️★★

On s'intéresse à l'éther, EtOEt, solvant très volatil utilisé en chimie organique.

On remplit une bouteille d'un litre avec 500 mL d'éther et on ferme la bouteille avec un bouchon muni d'un manomètre. La pression initiale est de 1,01 bar.

- Déterminer à l'état initial la composition de la bouteille à  $20^\circ\text{C}$ .
- Au bout de quelques heures, le manomètre indique une pression de 1,60 bar et la température de la pièce est toujours de  $20^\circ\text{C}$ . On fera l'hypothèse que le volume de liquide est peu modifié.
  - Expliquer ce qui se passe.
  - Déterminer la composition du système.
  - En déduire la pression de vapeur saturante de l'éther à  $20^\circ\text{C}$ .
  - Déterminer le nouveau volume de liquide. L'hypothèse qui consistait à considérer le volume de liquide comme peu modifié est-elle valable ?
- On laisse la bouteille tout l'été dans un placard où la température atteint  $35^\circ\text{C}$ . La pression mesurée est maintenant de 2,08 bar.
  - Comment varie la pression de vapeur saturante avec la température ? La déterminer.
  - Peut-on là encore considérer que le volume de la phase liquide a peu varié ?

Données :

- masse molaire :  $M = 74\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;
- densité de l'éther :  $d = 0,714$  ;
- point critique :  $P_C = 36,4\text{ bar}$  ;  $T_C = 194^\circ\text{C}$  ;
- point triple :  $P_T = 0,5\text{ Pa}$  ;  $T_T = -116^\circ\text{C}$  ;
- température d'ébullition :  $T_{\text{éb}} = 35^\circ\text{C}$ .

**Exercice n° 6** : L'eau du lavabo ☹️★★

Une salle de bain a une superficie de  $10\text{ m}^2$  et une hauteur sous plafond de 2,5 m. Le taux d'humidité dans la pièce est de 0,60 : il s'agit du rapport de la pression partielle de l'eau vapeur sur la pression de vapeur saturante de l'eau à la même température, supposée ici égale à  $20^\circ\text{C}$  tout au long de l'expérience. La pression de vapeur saturante à  $20^\circ\text{C}$  vaut 23 mbar.

- Déterminer la quantité de vapeur d'eau et d'air dans la pièce.

On verse dans le lavabo de la salle de bains un fond d'eau de volume égal à 1,0 L. On attend quelques heures et on revient dans la pièce.

- Déterminer la quantité de vapeur d'eau dans la pièce.
- En déduire le volume d'eau liquide au fond du lavabo.
- Que se passera-t-il si l'on décide alors d'ouvrir une fenêtre dans la salle de bain ?