

## Série d'exercices n°12

### \* **Exercice 1** *Petit tour des chaleurs latentes*

Suggestion : penser à utiliser la formule de Clapeyron (transparent 11).

Démontrer que la chaleur latente de sublimation d'un corps pur quelconque est plus grande que sa chaleur latente d'évaporation. En déduire que la pente de la courbe de sublimation est plus élevée que celle de la courbe d'évaporation pour un corps pur quelconque. *Astuce : Considérer un cycle solide  $\rightarrow$  liquide  $\rightarrow$  gaz  $\rightarrow$  solide au voisinage du point triple du corps pur considéré.*

### \* **Exercice 2** *Qui trop écoute la météo passe sa vie au bistrot*

Exercice conceptuel sans calcul, sur les chaleurs latentes de changement d'état.

Expliquer qualitativement pourquoi la limite pluie-neige tend à baisser au cours du temps lors d'une chute de neige.

### \*\* **Exercice 3** *Glace et chocolat chaud*

Calorimétrie sur les chaleurs latentes de changement d'états appliquée à la vie quotidienne.

1. On dépose 40 g de glace d'eau à 273 K dans 640 g d'eau à 295 K. On suppose le système isolé thermiquement (il n'y a pas d'échange de chaleur avec l'extérieur). Est-ce que toute la glace fond ? Quelle est la température finale de l'eau ?
2. On répète l'expérience avec 250 g de glace à 273 K dans 800 g d'eau à 293 K. Quelle est la température finale et quelle quantité de glace non fondue reste-t-il ?
3. Pour préparer un chocolat chaud, un barman réchauffe 250 mL de lait en y injectant de la vapeur d'eau à 100 °C. Le lait, qui sort du réfrigérateur, est initialement à 6 °C. Le barman injecte la vapeur d'eau en continu jusqu'à ce que le lait atteigne une température de 90 °C. En supposant que toute la vapeur d'eau condense dans le lait, pensez-vous que le client se fait avoir, à savoir qu'il boit au final plus d'eau que de lait ?

Données :

- Capacité calorifique de l'eau :  $c = 1 \text{ cal K}^{-1} \text{ g}^{-1}$ .
- Chaleur latente de fusion de la glace :  $L_f = 80 \text{ cal g}^{-1}$ .
- Chaleur latente d'évaporation de l'eau :  $L_e = 500 \text{ cal g}^{-1}$ .

### \*\*\* **Exercice 4** *Point triple de l'eau*

Analyse quantitative de l'expérience sur le point triple de l'eau, semblable à celle faite avec l'azote en cours (transparent 16)

On s'intéresse au point triple de l'eau.

1. Représenter schématiquement le diagramme de phase de l'eau sur un diagramme p-T en donnant les différents domaines et les points importants.

2. On place une masse  $m_i = 1$  kg d'eau liquide dans un ballon isolé thermiquement (dewar), fermé hermétiquement et relié à une pompe. Initialement, on a pompé l'air et il ne reste plus que de l'eau et de la vapeur d'eau en équilibre à  $20^\circ\text{C}$ . On met la pompe en marche.
  - (a) Décrire qualitativement ce qui se passe.
  - (b) Quelle est la masse d'eau  $\Delta m$  évaporée lorsque de la glace commence à se former ?

Pour les applications numériques, on prendra :

$$\begin{aligned} \text{Capacité calorifique de l'eau} \quad C_p^{eau} &= 1 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \\ \text{Chaleur latente de vaporisation} \quad L_{vap} &= 500 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1} \\ \text{Chaleur latente de fusion} \quad L_{fus} &= 80 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1} \end{aligned}$$

On donne également :  $e^{-0.04} \simeq 0.96$

- (c) Quelle est la masse supplémentaire d'eau évaporée  $m_v$  jusqu'à ce qu'il ne reste plus d'eau liquide ? On négligera dans un premier temps la sublimation de la glace en vapeur d'eau.
  - (d) On prend maintenant en compte la sublimation de la glace en vapeur d'eau. On note  $L_{sub}$  la chaleur latente de sublimation. Montrer que le résultat de la question c) reste inchangé.
  - (e) Tracer qualitativement l'évolution de la pression en fonction du temps en notant les étapes importantes.
  - (f) Tracer qualitativement sur la même courbe (couleur différente) l'évolution de la température avec le temps.
3. On arrête la pompe alors qu'il reste de la glace. L'isolation thermique du Dewar n'est pas parfaite, le système reçoit lentement de la chaleur. Décrire qualitativement l'évolution du système. Tracer l'évolution de la température et de la pression au cours du temps.

### \*\*\* Exercice 5 *Un peu de cuisine*

Thermodynamique appliquée à la vie quotidienne. Il clarifie quelques idées erronées sur le fonctionnement d'une cocotte-minute. Nécessite une bonne compréhension des notions de pression partielle, pression de vapeur saturante et ébullition.

On considère une cocotte minute d'un volume de 10 litres. On y met 1 litre d'eau puis on la ferme. On suppose que l'air présent dans la cocotte était initialement sec et à pression atmosphérique ( $10^5$  Pa). Dans tout l'exercice, on considère la vapeur d'eau comme un gaz parfait. La table donnant les pressions de vapeur saturantes en fonction de la température est annexée. On néglige la variation du volume d'eau liquide avec la température.

1. On laisse l'ensemble dans la cuisine à  $20^\circ\text{C}$ . Quelle est la pression totale dans la cocotte, quelle masse d'eau est sous forme de vapeur ?
2. On commence à chauffer la cocotte. La soupape est réglée pour autoriser une pression de  $P_{lim} = 2 \cdot 10^5$  Pa dans la cocotte. À quelle température  $T_{lim}$  la soupape va-t-elle commencer à laisser échapper de la matière ? Quelle masse d'eau est alors sous forme de vapeur ? On suppose que dans la gamme de températures  $80$ - $120^\circ\text{C}$  la pression saturante dépend linéairement de  $T$  selon  $P_{sat} = (aT - b) \cdot 10^3$  avec  $a = 4.3827$  et  $b = 1530.7$  (cf graphique). Que valent alors  $P_{0,eau}$  et  $P_{0,air}$  ? Calculez  $X_0$ , la fraction molaire d'air à l'ouverture de la soupape.



3. On suppose que l'air et la vapeur d'eau sont constamment en mélange homogène. Donc par la soupape il sort un mélange air/vapeur d'eau, avec un débit volumique  $D_v$ , la pression  $P_{lim}$  étant maintenue grâce à l'évaporation de l'eau.
- Quelle est la température  $T_2$  quand il n'y a plus que de l'eau dans la phase gazeuse ?
  - Justifier qu'on puisse considérer que le nombre total de moles sous forme gazeuse est constant bien que  $T$  varie. Que peut-on dire du débit molaire  $D$  ?
  - Calculer le nombre de moles d'air  $n_{air}(t)$  en fonction de  $n_0$ , nombre total de moles, de  $D$  et de  $X_0$ .
  - Soit  $X$  la fraction résiduelle d'air après un temps  $t$  donné :  $X = \frac{n_{air}(t)}{n_0}$ . Calculer le nombre de moles d'eau qui ont quitté la cocotte après un temps  $t$ , lorsque la fraction d'air vaut  $X$ , en fonction de  $n_0$ ,  $X$  et  $X_0$ .
  - Calculer la masse d'eau évacuée lorsqu'il ne reste que 1% d'air dans la phase gazeuse.
  - À quel moment l'eau commence à bouillir ?

