

## Le corps pur sous plusieurs phases

### Exercice 1 PIÈCE HUMIDE

On appelle « humidité relative » ou « degré hygrométrique » d'une atmosphère le rapport de la pression partielle de la vapeur d'eau à la pression de vapeur saturante de l'eau à la même température.

Calculer la masse d'eau contenue dans l'air d'une pièce de 5,0 m × 4,0 m × 3,0 m à 20 °C avec un degré hygrométrique de 80 %.

À 20 °C,  $P_s(\text{H}_2\text{O}) = 1,75 \text{ cmHg} = 2,33 \text{ kPa}$ .

### Exercice 2 SURFUSION

Soit un récipient calorifugé contenant une masse  $m = 10,0 \text{ g}$  de phosphore liquide surfondu à la température  $T = 34 \text{ °C}$  sous la pression atmosphérique.

- On fait cesser la surfusion (en introduisant un germe de cristal ou en remuant un peu le récipient) et on observe un nouvel état d'équilibre diphasé du phosphore. Déterminer la quantité de masse respective de chacune des phases.
- Calculer la variation d'entropie correspondante.
- Quel serait l'état final si on faisait cesser la surfusion d'une même masse de phosphore initialement à la température  $T' = 17,5 \text{ °C}$  ?

On donne pour le phosphore :  $T_f = 317 \text{ K}$ ,  $\ell_f(T_f) = 20,9 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$  sous la pression atmosphérique et  $c_{P,\text{liq}} = 0,795 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  (valeur supposée indépendante de  $T$  dans l'intervalle de température considéré) et  $c_{P,\text{sol}} = 0,840 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

### Exercice 3 VAPORISATION D'EAU LIQUIDE

On vaporise une masse  $m = 1,0 \text{ g}$  d'eau liquide de deux manières différentes :

→ la masse  $m$  est enfermée à  $T_0 = 100 \text{ °C}$  sous la pression atmosphérique  $P_0$ , dans un cylindre fermé par un piston.

Par déplacement lent du piston, on augmente le volume à température constante et l'on s'arrête dès que toute l'eau est vaporisée. Le volume est alors égal à  $V_0 = 1,67 \text{ L}$ .

→ On introduit rapidement la masse  $m$  d'eau liquide initialement à  $T_0 = 100 \text{ °C}$  dans un récipient fermé de même température, de volume  $V_0$ , initialement vide et en contact avec un thermostat de température  $T_0$ .

L'enthalpie massique de vaporisation de l'eau est  $\ell_v = 2,25 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

- Pour chacune des deux transformations, calculer les variations d'énergie interne, d'enthalpie et d'entropie de l'eau.
- Pour chacune des deux transformations, calculer le transfert thermique reçu, le travail reçu et l'entropie créée.

### Exercice 4 CALORIMÈTRE

L'exercice a pour but de décrire une méthode de détermination de l'enthalpie de fusion de l'eau.

- Dans un calorimètre de valeur en eau  $M = 20 \text{ g}$ , on dispose une quantité d'eau liquide de masse  $m_1 = 200 \text{ g}$  à la température ambiante  $\theta_1 = 25,0 \text{ °C}$ . Puis on ajoute une quantité d'eau solide de masse  $m_2 = 10 \text{ g}$  à la température  $\theta_2 = -5,0 \text{ °C}$ . Lorsque l'équilibre thermique est réalisé, on repère la valeur de la température finale,  $\theta_f = 20,4 \text{ °C}$ .

- On néglige les pertes du calorimètre, calculer la valeur de l'enthalpie de fusion de la glace. On donne la chaleur massique de l'eau liquide  $c_\ell = 4,18 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  et celle de l'eau solide  $c_s = 2,1 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . On suppose ces quantités constantes sur les intervalles de températures de l'expérience.
  - En déduire les variations d'entropie de chaque masse d'eau au cours de la transformation. Commenter leurs signes.
2. On suppose maintenant que la puissance  $\mathcal{P}_{\text{pertes}}$  des pertes thermiques du calorimètre est constante.
- Montrer que l'on peut, en réalisant deux manipulations, déterminer une nouvelle valeur de l'enthalpie de fusion de l'eau. On note  $\Delta t$  l'intervalle de temps nécessaire pour arriver à l'équilibre thermique.
  - Les résultats des deux mesures sont rassemblées dans le tableau ci-contre, en déduire la nouvelle valeur de  $\ell_f$ .

	$\theta_1 \text{ (°C)}$	$\theta_2 \text{ (°C)}$	$\theta_f \text{ (°C)}$	$m_1 \text{ (g)}$	$m_2 \text{ (g)}$	$\Delta t \text{ (min)}$
Exp 1	25,0	-5,0	20,4	200	10	5
Exp 2	25,0	0,0	16,3	200	20	5

### Exercice 5 FORMATION DE LA NEIGE DE CULTURE

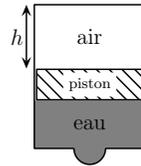
La neige de culture est obtenue en pulvérisant de fines gouttes d'eau liquide à  $T_1 = 10 \text{ °C}$  dans l'air ambiant à  $T_a = -15 \text{ °C}$ . On suppose que cette goutte reçoit, pendant la durée  $dt$ , de l'air extérieur un transfert thermique  $\delta Q = h(T_a - T(t))s dt$  où  $s$  est sa surface. On rappelle que la masse volumique de l'eau est  $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  et sa capacité thermique massique  $c = 4,18 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ .

- Dans un premier temps la goutte d'eau supposée sphérique (rayon  $R = 0,20 \text{ mm}$ ) se refroidit en restant liquide.
  - Établir l'équation différentielle vérifiée par  $T(t)$ .
  - En déduire la durée  $t_1$  au bout de laquelle  $T(t)$  est égale à  $T_0 = -5,0 \text{ °C}$ . Faire l'application numérique avec  $h = 65 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ .
- Lorsque la goutte atteint la température de  $T_0 = -5,0 \text{ °C}$ , la surfusion cesse : la goutte est partiellement solidifiée et la température devient égale à  $0,0 \text{ °C}$ .
  - Calculer la fraction  $x$  de liquide restant à solidifier en supposant la transformation très rapide et adiabatique. L'enthalpie massique de fusion de la glace est  $\ell_f = 335 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ .
  - Au bout de combien de temps  $t_2$  la goutte est-elle complètement solidifiée ?

▀ *Remarque* : on préfère parler de « neige de culture » plutôt que de « neige artificielle » pour insister sur le fait que *in fine* la neige obtenue est de la vraie neige, à savoir de l'eau gelée. La neige artificielle fait alors référence à de la neige en plastique utilisée pour les décors de film (par ex. le seigneur des anneaux, la communauté de l'anneau).

### Exercice 6 CYLINDRE ET PISTON

On considère un cylindre avec un piston mobile sans frottement et de masse négligeable. Le piston sépare la partie supérieure remplie d'air de la partie inférieure contenant de la vapeur d'eau ; cette dernière provient d'une petite cavité placée au bas du cylindre qui contenait initialement  $n_0 = 1,0 \text{ mol}$  d'eau liquide ( $m_0 = 18 \text{ g}$ ). La section du cylindre vaut  $s = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$  et la hauteur initiale du compartiment est  $h = 0,50 \text{ m}$ .



L'air enfermé, supposé parfait, est à la pression  $P_0 = 1,0$  bar lorsque la température est 373 K et le piston est alors bloqué en bas du cylindre.

1. Calculer la quantité  $n$  d'air enfermées dans le cylindre.
2. Le piston étant mobile, on chauffe progressivement l'ensemble du cylindre, avec l'air et l'eau qu'il contient, depuis  $T_0 = 300$  K.

Que se passe-t-il au cours du chauffage ?

Montrer que le piston atteint une position d'équilibre lorsque la température est suffisamment élevée.

Déterminer alors la hauteur du piston.

3. La pression d'équilibre de la vapeur d'eau avec l'eau liquide est donnée approximativement par  $P_s(T) = P_0 \left( \frac{T - 273}{100} \right)^4$  et la vapeur est à peu près un gaz parfait.

Montrer que la température  $T_1$ , lorsque le piston a atteint sa position d'équilibre finale, est donnée par l'équation suivante :  $\frac{n + n_0}{n} \times \frac{T_1}{T_0} = \left( \frac{T_1 - 273}{100} \right)^4$ .

Expliquer une méthode permettant de trouver graphiquement  $T_1$  et déterminer numériquement sa valeur.

4. Quelle est le transfert thermique fourni au système { air + eau } pour passer de  $T_0$  à  $T_1$  ?

On assimile l'air et la vapeur d'eau à des gaz parfaits et on suppose que le volume massique de l'eau liquide est constant.

On donne les capacités thermiques molaires à volume constant de l'air :  $C_{V,m} = 20,8 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ , de l'eau liquide :  $C_{e,m} = 75,2 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$  et la chaleur latente massique de vaporisation de l'eau en  $\text{J.mol}^{-1}$  :  $L_{v,m}(T) = A - BT$  avec  $A = 6,0.10^4 \text{ J.mol}^{-1}$  et  $B = 52,5 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ .