

---

# Travaux dirigés de Thermodynamique 8 :

## Corps pur sous deux phases

École Centrale Pékin

2019-2020 - Année 3

---

### Données et approximations usuelles pour les exercices

— *Eau liquide* :

Capacité thermique massique  $c = 4,20 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  ;

le volume massique de l'eau liquide est négligeable devant celui de la vapeur ;

— *Eau vapeur* :

assimilable à un gaz parfait d'exposant  $\gamma = 1,3$  ;

Capacité thermique massique à pression constante  $c' = 2,00 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  ;

— *Eau solide* :

Masse volumique (approximativement indépendante de la pression)  $\rho_{sol} = 0,92 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

— *Chaleurs latentes* :

Enthalpie massique de vaporisation  $l_v(100^\circ\text{C}; 1\text{bar}) = 2,26 \times 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$  ;

Enthalpie massique de fusion  $l_f(\sim 0^\circ\text{C}; 1\text{bar}) = 330 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$  ;

### Exercice 1 : Questions courtes

1. On considère un liquide avec un point critique  $C = (P_c, T_c)$ . Que peut-on dire de  $L_{vap}(T)$  lorsque  $T$  tend vers  $T_c$  ?
2. On considère un liquide avec un point triple  $Tr = (P_{Tr}, T_{Tr})$ . Donner une relation approximative entre les chaleurs latentes de sublimation, de fusion et de vaporisation proche du point triple.
3. En 1893, un observatoire a été construit au sommet du mont Blanc, sur de la neige (qui normalement reste sous forme de neige toute l'année). Il a été abandonné en 1906 car il s'enfonçait. Proposer une explication.
4. Pourquoi le linge sèche-t-il plus vite à l'air libre et en présence de vent (que dans une pièce non aérée) ?
5. Calculer la pression de fusion de l'eau à  $-1^\circ\text{C}$  et commenter le résultat.

### Exercice 2 : Mélange d'eau et de vapeur d'eau dans un calorimètre

Un récipient fermé par un piston calorifugé maintenant une pression constante égale à la pression atmosphérique normale  $P_0 = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$ , parfaitement calorifugé contient 1,00 gramme d'eau à  $150^\circ\text{C}$ . On y introduit 1,00 g d'eau liquide à  $10^\circ\text{C}$  pris sous la pression  $P_0$ .

1. Calculer la température et la composition du système dans l'état final.
2. Calculer la variation totale d'entropie.

**Exercice 3 : Neige artificielle**

La neige artificielle est obtenue en projetant de fines gouttes d'eau liquide à  $T_i = 10$  °C dans l'air ambiant à la température  $T_e = -15$  °C. On propose de calculer le temps mis par une goutte d'eau pour passer de l'état liquide à l'état solide. On suppose que la goutte d'eau est sphérique de rayon  $R = 0,2$  mm, et que sa température à tout instant est uniforme.

À l'interface eau-air, le flux de chaleur par unité de surface ( $d\Sigma$ ) est donné par

$$d\Phi = \frac{\delta Q}{dt} = A(T(t) - T_e)d\Sigma$$

avec  $A = 65\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$  supposé constant.

1. En utilisant le premier principe de la thermodynamique, et en supposant la goutte indéformable en équilibre mécanique, établir l'équation différentielle qui donne la variation temporelle  $T(t)$  de l'eau liquide. On fera intervenir  $\rho$  la masse volumique de l'eau liquide et  $c$  la capacité thermique massique de l'eau liquide. Ces deux grandeurs sont supposées constantes.
2. Montrer alors que la variation de température est donné par l'équation suivante :

$$\frac{T(t) - T_e}{T_i - T_e} = e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Exprimer  $\tau$  en fonction de  $A, \rho, c$  et  $R$ .

3. Calculer le temps  $t_0$  mis par la goutte pour atteindre l'état de surfusion  $T_0 = -5$  °C.
4. Lorsque que la goutte atteint la température  $T_0$ , l'équilibre métastable est rompu, et très rapidement, une partie de l'eau liquide se solidifie. Calculer la fraction  $x$  de liquide restant à solidifier à ce moment là.
5. Calculer le temps nécessaire à la solidification du reste de l'eau liquide (on suppose que l'eau gelée se situe au milieu de la goutte).