

# TD 22 – Calorimétrie

*Chaleurs latentes* : fusion de la glace  $L_{\text{fus}} = 334 \text{ J/g}$  – vaporisation de l'eau  $L_{\text{vap}} = 2257 \text{ J/g}$

*Capacités thermiques* : glace et vapeur  $c = 2,05 \text{ J/g.K}$  – eau liquide  $c = 4,18 \text{ J/g.K}$

## 1. Étalonnage d'un calorimètre

Dans un calorimètre en équilibre mécanique avec l'atmosphère, on introduit une masse  $m_1$  d'eau assimilée à une P.C.I.I. de capacité calorifique inconnue mais constante  $c_e$ . Lorsque celle-ci est en équilibre thermique avec le calorimètre et ses accessoires, on relève leur température  $T_1$ . On ajoute alors une masse  $m_2$  d'eau à la température  $T_2$ .

$$m_1 = 400 \text{ g}$$

$$m_2 = 600 \text{ g}$$

$$T_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 100^\circ\text{C}$$

1. Après le mélange, quelle température finale  $T_F$  prévoit-on en négligeant la capacité calorifique du calorimètre et de ses accessoires ?
2. On mesure en réalité  $T_F' = 63^\circ\text{C}$ . Commenter le signe de l'écart avec  $T_F$ . En déduire la « masse en eau »  $\mu$  du calorimètre et de ses instruments.
3. Un fois l'ensemble revenu à  $T_1 = 20^\circ\text{C}$ , on fournit, via une résistance chauffante faisant partie des accessoires, une quantité de chaleur  $Q_p$  au contenu du calorimètre. Pour élever la température de  $20^\circ\text{C}$ , soit  $T_3 = 40^\circ\text{C}$ , on mesure  $Q_p = 93,3 \text{ kJ}$ . Déterminer la capacité calorifique de l'eau, puis celle du calorimètre.

## 2. Chauffage chimique

- a) Écrire la réaction de combustion du propane.
- b) Quelle est l'énergie dégagée par la combustion de 10 g de propane sachant que le pouvoir calorifique d'un alcane à  $n$  atomes de carbone vaut  $(662n + 260) \text{ kJ/mol}$  ?

Cette combustion a servi à chauffer 3 kg d'eau, dont la température de départ vaut  $15^\circ\text{C}$ .

- c) Quelle est la température finale de l'eau ?

## 3. Chauffage électrique

On place dans un calorimètre une masse  $M = 400 \text{ g}$  d'eau que l'on chauffe à l'aide d'une résistance électrique alimentée par un courant d'intensité  $0,85 \text{ A}$ , sous une tension de  $220 \text{ V}$ . Il en résulte un accroissement régulier de la température de l'eau de  $4,86^\circ\text{C}$  par minute.

Quelle est la capacité thermique  $C$  du calorimètre ?

#### 4. Bouilloire de voyage

Madame Michu possède une bouilloire de voyage, constituée d'un serpentin métallique fournissant par effet Joule une puissance thermique constante  $\mathcal{P}_{\text{th}} = 200 \text{ W}$ . Elle souhaite utiliser cette bouilloire pour chauffer à l'air libre une masse  $m = 200 \text{ g}$  d'eau liquide, initialement à la température  $T_0 = 293 \text{ K}$  (soit  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ), contenue dans une tasse de capacité calorifique négligeable.

1. Calculer le temps  $\tau_1$  au bout duquel l'eau se met à bouillir.
2. Madame Michu, étourdie, oublie d'arrêter sa bouilloire qui ne dispose pas de système d'arrêt automatique. Calculer le temps  $\tau_2$  au bout duquel toute l'eau s'est évaporée.

On donne :  $c = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  (capacité thermique de l'eau liquide) et

$\Delta_{\text{vap}}h = 2,25 \cdot 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$  (enthalpie massique de vaporisation de l'eau liquide à  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

#### 5. Fusion de la glace

Sur un bloc de glace à  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , on place un morceau de fer pesant  $250 \text{ g}$  et chauffé à  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ . Quelle est la masse de glace qui fond ?

Chaleur massique du fer :  $460 \text{ J/kg.K}$

#### 6. Boisson

On veut refroidir un verre de jus de fruit pris à  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . La capacité calorifique du verre et du jus est de  $550 \text{ J/K}$ .

On introduit alors une certaine masse  $m$  de glace à  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ . On veut que la température finale de l'ensemble soit de  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Calculer la masse de glace nécessaire.

#### 7. Chaleur latente de fusion de l'eau

Un calorimètre, de capacité thermique  $C = 120 \text{ J/K}$ , contient  $250 \text{ g}$  d'eau et  $40 \text{ g}$  de glace en équilibre thermique.

- a) Quelle est sa température?

On chauffe lentement l'ensemble avec une résistance électrique. La température de l'eau du calorimètre atteint  $28,8 \text{ }^\circ\text{C}$  lorsque la quantité de chaleur dissipée par la résistance est égale à  $51530 \text{ J}$ .

- b) En déduire la valeur de la chaleur latente de fusion de la glace.

#### 8. Vapeur d'eau et glace

On met en contact  $m_1 = 100 \text{ g}$  de glace pure à  $T_1 = -40 \text{ }^\circ\text{C}$  avec une masse  $m_2$  de vapeur d'eau pure à la température  $T_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

L'ensemble est calorifugé dans une enceinte de capacité thermique négligeable et l'expérience est isobare.

- a) Calculer  $m_2$ , sachant qu'on obtient à la fin de l'eau liquide pure (sans vapeur) à la température  $T_2$ .
- b) Quelle est la composition finale du système (titres) si la masse de vapeur introduite dans les mêmes conditions est  $m'_2 = 2m_2$  ?

9.

**Exercice 2 Vaporisation de l'eau sous différentes pression**

L'eau liquide est assimilée à une phase condensée idéale de capacité calorifique massique  $c_e$ . La courbe d'équilibre physique liquide/vapeur de l'eau est donnée ci-contre dans le diagramme  $PT$ , entre 0 et 100 °C. On pourra en outre utiliser le diagramme de la figure 36.

1. On dispose d'un litre d'eau à  $T_0 = 20^\circ\text{C}$ . Combien faut-il d'énergie pour le vaporiser entièrement au sommet de l'Everest, sous la pression  $P_1 = 0,2 \text{ bar}$  ?

2. Avec la même quantité d'énergie, peut-on porter à ébullition un litre d'eau à  $20^\circ\text{C}$  au niveau du sol, sous  $P_1 = 1 \text{ bar}$  ? Si oui, quel volume d'eau liquide reste-t-il lorsque toute l'énergie est consommée ?

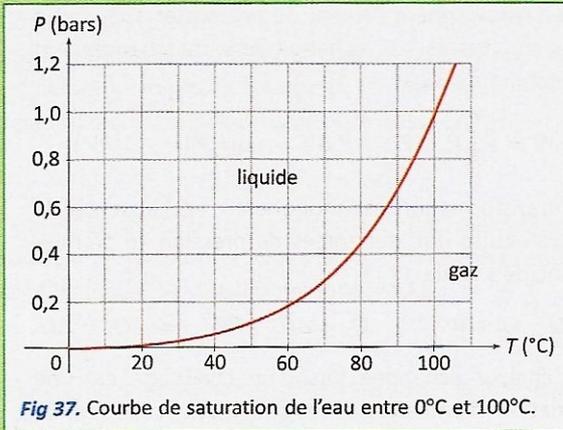


Fig 37. Courbe de saturation de l'eau entre 0°C et 100°C.

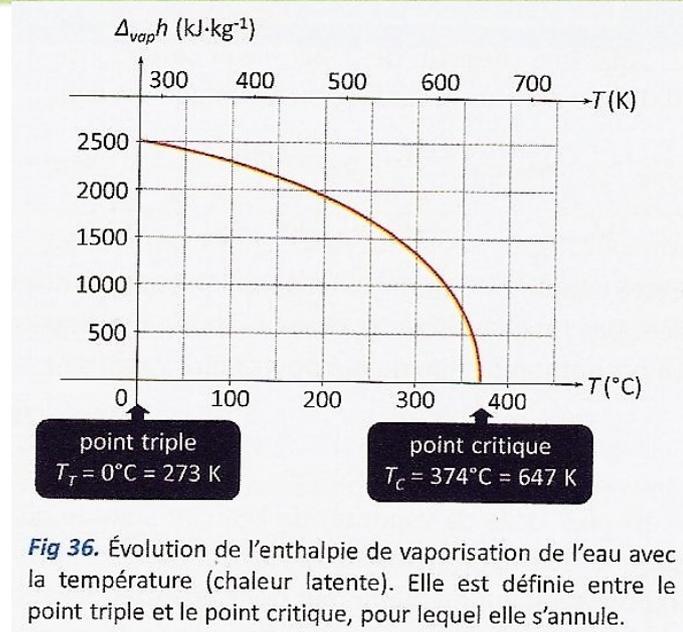


Fig 36. Évolution de l'enthalpie de vaporisation de l'eau avec la température (chaleur latente). Elle est définie entre le point triple et le point critique, pour lequel elle s'annule.

Plus de précision : [https://www.thermexcel.com/french/tables/vap\\_eau.htm](https://www.thermexcel.com/french/tables/vap_eau.htm)

**10.****Formation de la neige artificielle, d'après CCP PC**

La neige artificielle est obtenue en pulvérisant de fines gouttes d'eau liquide à  $T_l = 10\text{ °C}$  dans l'air ambiant à  $T_a = -15\text{ °C}$ .

1. Dans un premier temps la goutte d'eau supposée sphérique (rayon  $R = 0,2\text{ mm}$ ) se refroidit en restant liquide. Elle reçoit de l'air extérieur un transfert thermique  $h(T_a - T(t))$  par unité de temps et de surface, où  $T(t)$  est la température de la goutte. On rappelle que la masse volumique de l'eau est  $\rho = 10^3\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  et sa capacité thermique massique  $c = 4,18\cdot 10^3\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .

a. Établir l'équation différentielle vérifiée par  $T(t)$ .

b. En déduire le temps  $t$  auquel  $T(t)$  est égale à  $-5\text{ °C}$ . Effectuer l'application numérique pour  $h = 65\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ .

2. a. Lorsque la goutte atteint la température de  $-5\text{ °C}$ , la surfusion cesse : la goutte est partiellement solidifiée et la température devient égale à  $0\text{ °C}$ . Calculer la fraction  $x$  de liquide restant à solidifier en supposant la transformation très rapide et adiabatique. On néglige aussi la variation de volume. L'enthalpie massique de fusion de la glace est  $L_f = 335\cdot 10^3\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

b. Au bout de combien de temps la goutte est-elle complètement solidifiée ?

**11.****□ Exercice 24.3. Mélange d'eau sous trois états \***

On introduit dans un calorimètre aux parois athermanes et de capacité thermique négligeable :

- une masse  $m_1 = 100\text{ g}$  de glace à la température  $T_1 = 273\text{ K}$  ( $0\text{ °C}$ ) ;
- une masse  $m_2 = 250\text{ g}$  d'eau liquide à la température  $T_2 = 293\text{ K}$  ( $20\text{ °C}$ ) ;
- une masse  $m_3 = 100\text{ g}$  de vapeur d'eau à la température  $T_3 = 373\text{ K}$  ( $100\text{ °C}$ ).

On suppose que la transformation a lieu à pression constante  $P = 1,01\text{ bar}$ . Déterminer la composition et la température finales.

On donne :  $\Delta_{\text{fus}}h = 3,35\cdot 10^2\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  (enthalpie massique de fusion de la glace à  $0\text{ °C}$ ),  $c = 4,18\text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$  (capacité thermique de l'eau liquide) et  $\Delta_{\text{vap}}h = 2,25\cdot 10^3\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  (enthalpie massique de vaporisation de l'eau liquide à  $100\text{ °C}$ ).