

# Capacité thermique et enthalpie de fusion de l'eau par calorimétrie

- ◇ Calorimètre à fond plat peu épais (agitation magnétique), thermomètres,
- ◇ Agitateur magnétique,
- ◇ Générateur continu de puissance, fil chauffant,
- ◇ Balance,
- ◇ Glace de température connue en fin de TP.

Utilisation  
du matériel

- Ne pas laisser le fil chauffant branché au générateur à l'air libre, le faire fonctionner uniquement dans l'eau avec agitation
- Ne pas laisser la résistance chauffer plus de 5 minutes.

## Notions et contenus

Enthalpie associée à une transition de phase : enthalpie de fusion, enthalpie de vaporisation, enthalpie de sublimation.

## Capacités exigibles

Mettre en œuvre un protocole expérimental permettant de mesurer d'une grandeur thermodynamique énergétique (capacité thermique, enthalpie de fusion...).

Le calorimètre fait partie des instruments de physique que les étudiants doivent savoir utiliser.

Le but est de mesurer la capacité thermique et l'enthalpie de fusion de la glace d'eau à pression atmosphérique à l'aide d'un calorimètre.

## 1 Présentation du système

Le calorimètre utilisé est constitué de deux vases cylindriques concentriques en aluminium, isolés thermiquement l'un de l'autre par de l'air (calorimètre de Berthelot). On peut améliorer les mesures en utilisant un calorimètre Dewar : les deux vases sont séparés par un vide poussé (diminution des pertes par conduction thermique) et le vase intérieur est argenté (diminution des pertes par rayonnement). Les échanges thermiques s'effectuent alors à la pression atmosphérique dans une enceinte calorifugée (réacteur chimique adiabatique et isobare).

## 2 Détermination de la capacité thermique du calorimètre : méthode des mélanges

### Principe de l'expérience

Dans un premier temps est versé dans un calorimètre une masse  $m_1$  d'eau chaude (prise au robinet de la paillasse professeur) de capacité thermique massique  $c_{eau}$  (censé valoir 4,185 kJ/K/kg en CNTP mais c'est ce que l'on cherche à mesurer dans ce TP). Le calorimètre et ses accessoires (thermomètre, béccher ...) ont une capacité thermique  $C_{cal} = \mu c_{eau}$  avec  $\mu$  la "valeur en eau" du calorimètre et de ses accessoires : **cette quantité représente une masse fictive d'eau ayant la même capacité calorifique que le calorimètre et ses accessoires**. Une masse en eau négative est absurde, on veillera à réaliser correctement l'expérience et les calculs avant de demander vérification auprès du professeur :)

L'ensemble {liquide + calorimètre + accessoires} est à la température initiale  $T_1$ . Utiliser un agitateur magnétique pour homogénéiser rapidement la température du calorimètre et de l'eau.

Une masse  $m_2$  d'eau de température  $T_2 < T_1$  est ajoutée dans le calorimètre et la température d'équilibre  $T_e$  est relevée. La température passe par un extremum correspondant à l'équilibre adiabatique du mélange puis évolue car l'ensemble n'est pas parfaitement calorifugé. Il faudra veiller à effectuer les mesures des températures initiales au tout dernier moment avant de lancer l'expérience pour minimiser les incertitudes dues aux variations de températures par échange avec l'atmosphère.

Un bilan enthalpique appliqué au système conduit à :

$$\Delta H = (m_1 c_{eau} + C_{cal})(T_e - T_1) + m_2 c_{eau}(T_e - T_2) = 0 \implies \mu = \frac{m_2(T_2 - T_e)}{T_e - T_1} - m_1$$

### 3 Mesure de la capacité thermique du calorimètre

Ne connaissant pas la capacité thermique massique de l'eau liquide, on cherchera à déterminer la valeur en eau  $\mu$  du calorimètre et de ses accessoires. Proposer un protocole permettant de mesurer  $\mu$ .

Indications :

- Les accessoires sont ici un bécher, le thermomètre, la résistance chauffante et le barreau magnétique.
- On prendra  $m_1 = m_2 = 150$  g

Appelez le professeur pour vérifier votre production. Puis mettre en oeuvre le protocole expérimental.

Répondre directement ci-dessous aux points suivants :

- Donner la masse équivalente en eau (i.e. valeur en eau) du calorimètre. Commenter (la capacité massique de l'acier est de  $460 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$  et celle de l'aluminium de  $897 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ ).
- Évaluer la variabilité des mesures sur les masses et les températures. Commenter.

Dans la suite, ne pas modifier les accessoires du calorimètre afin de conserver la même valeur de  $\mu$ .

### 4 Mesure de la capacité thermique de l'eau

Considérons un calorimètre, de capacité thermique  $C_{cal} = \mu c_{eau}$ , contenant une masse  $m_1$  d'eau de capacité thermique massique  $c_{eau}$ , le tout à la température initiale  $T_1$ .

Pendant une durée  $t$ , on fournit de l'énergie au liquide par l'intermédiaire d'un thermoplongeur de résistance  $R$  alimenté par un générateur de tension  $U$ . On relève la température  $T(t)$  à l'instant  $t$  au cours du chauffage.

Un bilan enthalpique appliqué au système entre  $t = 0$  et  $t$  conduit à :

$$\Delta H = Q_p = c_{eau} (m_1 + \mu) (T(t) - T_1) = UI \times t \implies T(t) = T_1 + \frac{UI}{c_{eau} (m_1 + \mu)} t$$

Proposer un protocole permettant de mesurer la capacité thermique de l'eau. Répondre ci-dessous à la question suivante : comment peut-on estimer la valeur de  $c_{eau}$  en utilisant une modélisation affine ?

- On prendra  $m_1 = 400$  g
- On utilisera un voltmètre et un ampèremètre.
- Choisir  $U = 8$  V
- On cherchera à déterminer la résistance interne de la résistance chauffante. Attention, celle-ci est faible !

Appelez le professeur pour vérifier votre production et mettre en oeuvre le protocole expérimental.

Répondre directement ci-dessous au point suivants :

- Déduire des mesures la capacité thermique massique de l'eau.
- La comparer avec la valeur théorique

## 5 Mesure de l'enthalpie de fusion de l'eau (si le temps le permet : 30 min)

On verse dans un calorimètre, de capacité thermique  $C_{cal} = \mu c_{eau}$ , une masse  $m_1$  d'eau de capacité thermique massique  $c_{eau}$ . L'ensemble est à la température initiale  $T_1$  après homogénéisation.

On place ensuite dans le calorimètre une masse  $m_2$  de glace de capacité thermique massique  $c_{glace}$  à la température  $T_2$ . On relève la température d'équilibre  $T_e$  lorsque toute la glace a fondu. Soient  $T_0$  la température de fusion de la glace et  $l_f$  son enthalpie massique de fusion.

Il est possible de montrer, en réalisant un bilan enthalpique sur le système étudié, que :

$$l_f = \frac{m_1 + \mu}{m_2} c_{eau} (T_1 - T_e) + c_{glace} (T_2 - T_0) + c_{eau} (T_0 - T_e)$$

Proposer un protocole permettant de mesurer l'enthalpie massique de fusion de l'eau.

Indications :

- On travaillera avec l'eau que l'on vient de chauffer dans le calorimètre pour avoir un écart de température important.
- La glace sèche est sortie du congélateur à une température de  $-18^\circ\text{C}$ , on réalisera la manipulation le plus tôt possible une fois la glace disponible pour pouvoir supposer que sa température est restée inchangée. On prendra  $c_{glace} = 2.06 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Appelez le professeur pour vérifier votre production et mettre en œuvre le protocole expérimental.

Répondre directement ci-dessous au point suivants :

- Déduire des mesures la chaleur latente massique de fusion.
- La comparer avec la valeur théorique.

Nom :

Prénom :

Présentez les limites de cette expérience à la vue de vos résultats.

1 <

 S'approprier  Analyser/Raisonner  Réaliser  Valider  Communiquer

Note :