

# CALORIMÉTRIE

## OBJECTIFS DU TP

- Mettre en œuvre une technique de calorimétrie.
- Utiliser le matériel adapté à la précision requise pour la mesure d'un volume (éprouvette graduée).
- Mettre en oeuvre un capteur de température.
- Utiliser un thermomètre, une thermistance et un thermomètre infrarouge.
- Effectuer des bilans d'énergie.

*La sonde de température reliée à l'ordinateur et utilisée pour mesurer la température en fonction du temps est une **thermistance**. Les thermistances sont obtenues par frittage à haute température de poudre d'oxyde métallique (Fe, Ni, Mn, Ti). Leur résistance varie à l'inverse de la température suivant une loi théorique<sup>1</sup>. Le courant passant dans la thermistance doit être le plus faible possible afin de ne pas augmenter sa température par effet Joule.*

## I. Détermination de la capacité thermique C du calorimètre et de ses accessoires : méthode des mélanges

- Placer dans le calorimètre environ exactement 150 cm<sup>3</sup> d'eau chauffée préalablement aux environs de 50°C dans un bécher (il se peut que cette eau soit proposée déjà chaude dans un seau sur la paillasse professeur : si c'est le cas, prendre cette eau là). Cette quantité d'eau (masse  $m_C$ ) sera mesurée à l'éprouvette graduée.
- Mesurer la température  $\theta_F$  de l'eau se trouvant dans la bouteille en plastique à la température ambiante avec le thermomètre numérique ou avec le thermomètre à alcool au cinquième de degré ( $-10^\circ\text{C}$ ;  $60^\circ\text{C}$ )<sup>2</sup>. Noter  $\theta_F$ .
- Bien fermer le calorimètre, introduire la sonde de température, l'agitateur.
- Préparer l'acquisition :
  - ★ À la souris, cliquer-glisser l'icône sonde de température (première icône) en ordonnées, l'icône chronomètre ou métronome (temps) en abscisses.
  - ★ Choisir une durée de 15 min, un nombre de points de 501, ne pas cocher le carré acquisition, synchro : non.
  - ★ Thermo : grandeur T, unité °C, minimum 28°C, maximum 65°C.

**Remarque :** pour modifier l'échelle à tout instant, avec clic droit, puis représentation, puis échelle.

- Ne pas cocher fermer au lancement de l'acquisition.
- Lancer l'acquisition en cliquant sur l'icône drapeau à damier ou le cercle vert. Il apparaît un cadre où on donne un nom à l'expérience, puis on lance l'acquisition en cliquant sur lancer. Agiter **doucement** et **continuellement** avec l'agitateur prévu à cet effet.
- Préparer 150 cm<sup>3</sup> d'eau à température ambiante  $\theta_F$  (masse  $m_F$ ), les ajouter avec précaution au bout de 7 min.
- Continuer à **agiter doucement et continuellement**.

1. La loi théorique est  $R_T = R_0 \exp \left[ B \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right]$  avec  $R_T$  la résistance à la température T, B une « constante » comprise entre 2000 et 9000 K suivant les thermistances (B varie généralement un peu avec la température),  $R_0$  la résistance à la température  $T_0$  (en K) et  $T_0$  la température à laquelle  $R_0$  a été mesurée (généralement  $T_0 = 273,16$  K).

2. Attention, la lecture est difficile.

- À l'aide du pointeur (clic droit – *pointeur* – cliquer – glisser), déterminer la température stabilisée  $\theta_C$  de l'eau dans le calorimètre juste avant l'ajout d'eau froide ainsi que la température stabilisée  $\theta_{\text{fin}}$  obtenue par extrapolation de la courbe réelle.

Pour tracer les droites utiles : clic droit – *droite* – cliquer – glisser – valider.

1. ♣ En négligeant les fuites thermiques et en considérant l'évolution comme isobare, établir l'équation

$$m_F c_e (\theta_{\text{fin}} - \theta_F) + (m_C c_e + C) (\theta_{\text{fin}} - \theta_C) = 0 \quad (1)$$

avec  $c_e$  la capacité thermique de l'eau  $c_e = 4,18.10^3 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ .

2. Déterminer  $C$  en  $\text{J.K}^{-1}$  et la valeur en eau  $\mu$  du calorimètre (telle que  $C = \mu c_e$ ). Comparer la valeur obtenue de  $C$  à sa valeur théorique (ordre de grandeur :  $C_{\text{théo}} \approx 110 \text{ J.K}^{-1}$ ).

- **Enregistrer votre travail sur votre compte.** Indiquer votre nom (affichage, puis annotation de courbe). **Avant d'imprimer**, modifier l'épaisseur des courbes et choisir une couleur sombre (clic droit sur le nom de la courbe T, T<sub>1</sub>, ... situé en haut à gauche du cadre où sont les courbes).

## II. Mesure de la capacité thermique massique $c$ d'un métal

*Vous allez ici utiliser un **thermomètre à infrarouge**. Le rayonnement infrarouge émis par un objet peut être focalisé sur un élément détecteur grâce par exemple à une lentille. L'élément détecteur transforme le rayonnement capté en un signal électrique proportionnel au rayonnement. La conversion du signal en une grandeur de sortie proportionnelle à la température de l'objet est réalisée par amplification et traitement numérique du signal.*

- Peser le cylindre en métal avec une balance électronique. Noter  $m$  et son incertitude-type  $u(m)$ .
- Suspendre le cylindre en métal dans le bécher d'eau chaude (ne pas utiliser trop d'eau et choisir un cylindre de taille telle que tout le cylindre plongera dans l'eau du calorimètre) que l'on porte à une température proche de  $100^\circ\text{C}$ .
- Préparer l'acquisition :
  - ★ Choisir *durée* 15 min, *nombre de points* de 501, ne pas cocher le carré *acquisition, synchro* : non.
  - ★ Thermo : grandeur T, unité  $^\circ\text{C}$ , minimum  $18^\circ\text{C}$ , maximum  $40^\circ\text{C}$ .
- Pendant le temps de chauffe, introduire dans le calorimètre  $200 \text{ cm}^3$  d'eau à température ambiante (masse  $m_F$ ) mesurée à l'éprouvette graduée. Évaluer  $u(m_F)$ .
- Lancer l'acquisition. **Agiter doucement et continuellement.**
- Au bout de 10 minutes, noter la température de l'eau chaude  $\theta_{C1}$  dans le bécher qui est sensiblement celle du métal si l'équilibre thermique est atteint.
- L'opération qui suit doit être très rapide : sortir le métal du bécher, le viser avec le thermomètre à infrarouge pour obtenir d'une autre façon la température  $\theta_{C2}$  du métal. De  $\theta_{C1}$  ou  $\theta_{C2}$ , laquelle est la plus proche de la température exacte du solide ? On ne gardera par la suite que celle-ci et on la notera  $\theta_C$ . L'équilibre thermique du solide avait-il été atteint ?
- Introduire rapidement le cylindre dans le calorimètre en vous assurant que tout le métal est en contact avec de l'eau dans le calorimètre (il faut donc avoir choisi le morceau de métal approprié).

3. ♣ En négligeant les fuites thermiques et en considérant l'évolution comme isobare, établir l'équation

$$(m_F c_e + C) (\theta_{\text{fin}} - \theta_F) + m c (\theta_{\text{fin}} - \theta_C) = 0 \quad (2)$$

4. Déterminer la capacité thermique massique  $c$  du métal. Comparer la valeur obtenue de  $c$  à sa valeur théorique (ordre de grandeur  $c_{\text{théo}} \approx 400 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ ).

5. La masse molaire du métal est  $M_{\text{laiton}} = 65 \text{ g.mol}^{-1}$  (mélange cuivre/zinc) ou  $M_{\text{aluminium}} = 27 \text{ g.mol}^{-1}$ . Vérifier la loi de Dulong et Petit :

$$M_{\text{métal}} c \approx 25 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$$

6. Après avoir fait un inventaire des incertitudes expérimentales, calculer l'incertitude élargie  $U(c)$ . Commenter le résultat.

- **Enregistrer votre travail sur votre compte.**

### III. Mesure de l'enthalpie massique de fusion de la glace $h_F$ à $0^\circ\text{C}$

- Placer une masse  $m = 200 \text{ g}$  d'eau liquide mesurée à l'éprouvette graduée à la température ambiante  $\theta_C$  dans le calorimètre vide. Peser l'ensemble {vase en aluminium + eau}, noter la masse  $m_1$ .  $\theta_C$  est la température stabilisée : elle sera déterminée à partir de la courbe.
  - Préparer l'acquisition :
    - ★ Choisir *durée* 15 min, *nombre de points* 501, ne pas cocher le carré *acquisition, synchro* : non
    - ★ Thermo : grandeur T, unité  $^\circ\text{C}$ , minimum  $3^\circ\text{C}$ , maximum  $30^\circ\text{C}$ .
  - Remplacer le vase et fermer le calorimètre. Au bout de une à deux minutes, lancer l'acquisition.
  - Préparer 4 glaçons en contact avec leur eau de fusion à la température  $\theta_0 = 0^\circ\text{C}$ . Les essuyer sommairement avec du papier absorbant et les plonger dans le calorimètre une à deux minutes après le début de l'acquisition. **Agiter doucement et continuellement.**
  - Lorsque l'acquisition est terminée, **peser** l'ensemble {vase en aluminium + eau}. Noter la masse  $m_2$  et en déduire par différence la masse initiale  $M$  des glaçons.
7. ♣ En négligeant les fuites thermiques en en considérant l'évolution comme isobare, établir l'équation

$$(m c_e + C) (\theta_{\text{fin}} - \theta_C) + M c_e (\theta_{\text{fin}} - \theta_0) + M h_F(\theta_0) = 0$$

$\theta_{\text{fin}}$  et  $\theta_C$  seront déterminées à partir de la courbe.

8. Déterminer  $h_F(\theta_0)$ . Comparer la valeur obtenue de  $h_F(\theta_0)$  à sa valeur théorique, sachant que l'ordre de grandeur est  $h_F(\theta_0)_{\text{théo}} \approx 330 \text{ kJ.kg}^{-1}$ .

- **Enregistrer votre travail sur votre compte.**