

---

# [θ] TP n°1 – Expériences de calorimétrie (4h)

---

La calorimétrie est, comme son nom l'indique, une branche qui s'occupe des mesures des quantités de chaleur. Dans ce TP, nous allons :

- o apprendre à construire un calorimètre et évaluer ses pertes thermiques ;
- o mesurer des grandeurs thermodynamique (capacité thermique, enthalpie de changement d'état) et les comparer aux grandeurs tabulée.

Données :

- o Capacité thermique massique de l'eau liquide :  $c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
- o Tension délivrée par EDF :  $U = 230 \text{ V}$

 **Un compte-rendu est à rendre pour ce TP**

## I) Évaluation des pertes thermiques

---

Les expériences de calorimétrie sont difficiles à réaliser puisqu'il existe toujours une puissance thermique échangée avec le milieu extérieur au calorimètre, et qu'il est difficile d'estimer ces échanges avec précision.

### 1) Modes de transfert thermique

Le système est le calorimètre avec tout ce qu'il contient. On note  $C$  sa capacité thermique.

On notera  $\mathcal{P}_{th}$  la puissance thermique **reçue** par le système de la part du milieu extérieur. En particulier, si le système perd de puissance, alors  $\mathcal{P}_{th} < 0$ .

 **Rappeler les trois modes de transfert thermique.**

On suppose dans cette partie que les pertes thermiques sont constantes  $\mathcal{P}_{th} = cte$ .

 **Appliquer le premier principe (version enthalpique et infinitésimale) et montrer que :**

$$T(t) = \alpha t + T_0 \quad \text{avec :} \quad \alpha = \frac{\mathcal{P}_{th}}{C}$$

On considère le protocole suivant, que nous allons réaliser pour 3 calorimètres différents.

- o Mettre 100 mL à 60 °C dans le calorimètre (mettre initialement une température légèrement supérieure à 60 °C et démarrer l'expérience lorsque la température atteint 60 °C).
- o Remuer légèrement mais de manière régulière afin d'homogénéiser la température.
- o Mesurer  $T(t)$  toutes les 10 s pendant 120 s. Tracer  $T(t)$  dans le logiciel Rgressi.

 **Réaliser l'expérience dans un contenant en plastique transparent, sans couvercle. Faire une régression affine et déterminer le coefficient  $\alpha_1$ .**

 **Réaliser l'expérience dans le calorimètre en métal, sans couvercle ni isolant de protection. Faire une régression affine et déterminer le coefficient  $\alpha_2$ .**

 **Réaliser l'expérience dans le calorimètre en métal, sans couvercle mais avec isolant de protection. Faire une régression affine et déterminer le coefficient  $\alpha_3$ .**

 **Réaliser l'expérience dans le calorimètre en métal, avec couvercle et isolant de protection. Faire une régression affine et déterminer le coefficient  $\alpha_4$ .**

 **Interpréter les résultats des différentes expériences.**

Dans la suite, on se servira exclusivement du calorimètre en métal avec couvercle et isolant de protection.

## 2) Détermination d'un coefficient de Newton

On suppose dans cette partie que les pertes thermiques sont données par la loi :

$$\mathcal{P}_{th} = -h(T - T_{ext})$$

où  $T$  est la température du système,  $T_{ext}$  celle du milieu extérieur et  $h$  le coefficient de Newton.

❶ Appliquer le premier principe (version enthalpique et infinitésimale) et montrer que :

$$T(t) = (T_0 - T_{ext}) e^{-t/\tau} + T_{ext} \quad \text{avec : } \tau = \frac{C}{h}$$

❷ Mettre 100 mL à une température proche de 100 °C dans le calorimètre. Remuer légèrement mais de manière régulière afin d'homogénéiser la température. Mesurer régulièrement  $T(t)$  jusqu'à observer une chute significative de la température. Consigner les valeurs dans Regressi.

❸ Déterminer  $\tau$  à l'aide d'une régression linéaire. Que penser de la loi  $\mathcal{P}_{th} = -h(T - T_{ext})$  ?

❹ Sachant que le calorimètre possède une masse équivalente en eau de l'ordre de  $\mu_{calo} = 60$  g, en déduire la valeur de  $h$ .

## II) Mesure d'une valeur en eau

On appelle **valeur en eau** ou **masse équivalente en eau** d'un corps, la masse  $\mu$  d'eau liquide fictive qui a la même capacité thermique  $C$  que ce corps. Ainsi, la valeur en eau du calorimètre est définie par :

$$C = \mu \times c_{eau}$$

❶ Mesurer la résistance  $R$  d'une bouilloire en connectant un Ohmmètre aux bornes de sa prise électrique (l'interrupteur de chauffe doit être enclenché). En déduire sa puissance  $\mathcal{P}_b$  lorsqu'elle est branchée sur une prise secteur. Est-ce cohérent avec les indications du fabricant ?

L'objectif est d'utiliser la calorimétrie électrique pour mesurer la valeur en eau  $\mu_{calo}$  du calorimètre.

❷ Réaliser le protocole ci-dessous. On néglige toute perte thermique dans cette expérience.

- Introduire dans la bouilloire une masse  $m_1$  d'eau connue (introduire le minimum d'eau autorisé) à la température  $T_1$ .
- Allumer la bouilloire et attendre le temps  $\tau$  pour que la température augmente de 15 °C environ (température finale notée  $T_f$ ). Remuer au cours de la chauffe.
- Éteindre la bouilloire.

❸ Appliquer le premier principe (version enthalpique) et montrer que la valeur en eau de la bouilloire vaut :

$$\mu = \frac{\mathcal{P}_b \tau}{c_{eau} (T_f - T_1)} - m_1$$

❹ Faire l'application numérique.

## III) Mesure de l'enthalpie de vaporisation de l'eau

L'objectif est de mesurer l'enthalpie massique de vaporisation de l'eau  $\Delta_{vap}h$ . Pour cela, nous allons mettre de l'eau à chauffer dans une bouilloire (qui servira de « calorimètre »), cette dernière placée sur une balance. Nous allons bloquer l'interrupteur de la bouilloire de sorte qu'elle continu à fonctionner même une fois l'ébullition atteinte. Nous allons observer deux phases durant cette expérience :

- une phase de chauffe où  $T$  augmente et  $m$  reste constant (égale à la masse initiale) ;
- une phase d'ébullition où  $T$  reste constant (point d'ébullition de l'eau) et  $m$  diminue.

On néglige les pertes thermiques. On suppose de plus que la masse équivalente en eau de la bouilloire est négligeable devant la masse  $m_0$  d'eau introduite. On en déduit la capacité totale du système :  $C = m_0 \times c_{eau}$ .

⚙️📝 Mesurer la résistance  $R$  d'une bouilloire en connectant un Ohmmètre aux bornes de sa prise électrique (l'interrupteur de chauffe doit être enclenché). En déduire sa puissance  $\mathcal{P}_b$  lorsqu'elle est branchée sur une prise secteur. Est-ce cohérent avec les indications du fabricant ?

🏠📝 Appliquer le premier principe (version enthalpique et infinitésimale) durant la première phase et montrer que :

$$T(t) = \alpha T + T_0 \quad \text{avec : } \alpha = \frac{\mathcal{P}_b}{m_0 c_{\text{eau}}}$$

🏠📝 Appliquer le premier principe (version enthalpique et infinitésimale) durant la deuxième phase et montrer que :

$$m(t) = -\beta t + m_0 \quad \text{avec : } \beta = \frac{\mathcal{P}_b}{\Delta_{\text{vap}} h}$$

⚙️📝 Réaliser le protocole ci-dessous.

- Avec du scotch, bien verrouiller l'interrupteur en position allumé.
- Mettre environ 1 kg d'eau dans la bouilloire. Placer la bouilloire sur la balance et tarer. Remarque : durant toute la première phase de l'expérience, la balance doit afficher  $m = 0$ . Or, quand la masse reste constante trop longtemps, certaines balances s'éteignent automatiquement. Pour éviter cela, exercer régulièrement une légère pression avec la main pour « réveiller » la balance.
- Mesurer  $m(t)$  et  $T(t)$  toutes les 20 s jusqu'à voir perdu environ 300 g d'eau. Stocker les résultats dans Rgregssi.

⚙️📝 Effectuer une régression linéaire sur chaque phase. En déduire les valeurs expérimentales de  $c_{\text{eau}}$  et  $\Delta_{\text{vap}} h$ . Comparer aux valeurs théoriques.

Donnée :  $\Delta_{\text{vap}} h = 2275 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

## IV ) Mesure de la capacité thermique massique d'un métal

---

L'objectif est d'utiliser la méthode des mélanges pour mesurer la capacité calorifique d'un métal.

La méthode des mélanges consiste à plonger un corps de température  $T_2$  (ici, un métal de masse  $m_2$  et de capacité massique  $c_m$ ) dans un calorimètre contenant une masse  $m_1$  d'eau liquide de température  $T_1$ . La température finale  $T_f$  du système dépend alors des propriétés calorifiques du corps.

🏠📝 Appliquer le premier principe (version enthalpique) durant la première phase et montrer que :

$$c_m = -\frac{T_f - T_2}{(\mu_{\text{calo}} + m_1) c_{\text{eau}} (T_f - T_1)}$$

Pour les applications numériques, on prendra  $\mu_{\text{calo}} = 60 \text{ g}$ .

⚙️📝 Réaliser le protocole ci-dessous.

- Introduire dans le calorimètre de l'eau à température ambiante et mesurer précisément la masse  $m_1$  d'eau introduite. Introduire le minimum d'eau permettant de recouvrir les blocs de métaux.
- Prendre un ou deux morceaux de métal dans l'eau de la bouilloire de température  $T_2 = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$  et l'introduire rapidement dans le calorimètre. Attention à ne pas (trop) introduire d'eau chaude.
- Mesurer la température finale  $T_f$ , correspondant à la valeur de  $T$  lorsque celle-ci se stabilise (avant qu'elle ne diminue).

⚙️📝 Déterminer  $c_m$ . Comparer à la valeur théorique.

Données :

Métal	Cu	Al	Pb	Fe	Sn	Zn
$c_m$ en $\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$	385	897	129	444	228	380

## V ) Mesure de l'enthalpie massique de fusion de la glace

---

⚙️📝 Proposer un protocole permettant de mesurer l'enthalpie massique de fusion de la glace à l'aide de la méthode des mélanges.

⚙️📋 Le réaliser. Comparer à la valeur théorique.

Donnée :  $\Delta_{\text{fus}}h = 333 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$