

[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 :

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

Données :

- Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$
- 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.

- 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).
- Remuer légèrement mais de manière régulière afin d'homogénéiser la température.
- Mesurer $T(t)$ toutes les 10 s pendant 120 s. Tracer $T(t)$ dans le logiciel Regressi.

 Réaliser l'expérience dans un contenant en plastique transparent, sans couvercle. Faire une régression affine et déterminer le coefficient α_1 .

 Réaliser l'expérience dans le calorimètre en métal, sans couvercle ni isolant de protection. Faire une régression affine et déterminer le coefficient α_2 .

 Réaliser l'expérience dans le calorimètre en métal, sans couvercle mais avec isolant de protection. Faire une régression affine et déterminer le coefficient α_3 .

 Réaliser l'expérience dans le calorimètre en métal, avec couvercle et isolant de protection. Faire une régression affine et déterminer le coefficient α_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 :

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


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

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

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

 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.


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

 Sachant que le calorimètre possède une masse équivalente en eau de l'ordre de $\mu_{\text{calo}} = 60$ 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 μ d'eau liquide fictive qui a la même capacité thermique C que ce corps. Ainsi, la valeur en eau du calorimètre est définie par :

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


 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 ?

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

-  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 τ pour que la température augmente de 15 °C environ (température finale notée T_f). Remuer au cours de la chauffe.
 - Éteindre la bouilloire.

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

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

 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 $\Delta_{\text{vap}}h$. 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 continue 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 : $C = m_0 \times c_{\text{eau}}$.

⚙️📄 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 :

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

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

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

⚙️📄 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 constant 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 Regressi.

⚙️📄 Effectuer une régression linéaire sur chaque phase. En déduire les valeurs expérimentales de c_{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 $T_2 = 100^\circ\text{C}$ 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 : $\Delta_{\text{fus}}h = 333 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$