



🕒 **Durée du TP : 2 séances**

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 :  $U = 230 \text{ V}$

## I - Fabrication d'un calorimètre maison

### I.1 - 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.

On notera  $\mathcal{P}_{th}$  la puissance thermique **reçue** par le système de la part du milieu extérieur. En particulier, si la température du système est supérieure à la température extérieur,  $\mathcal{P}_{th} < 0$ . Dans tout le TP, on supposera que, pour une expérience donnée,  $\mathcal{P}_{th}$  est constante. Cette approximation reste vraie tant que la température du système ne varie « pas trop ». Plus de détails seront vus en deuxième année.

On rappelle que les échanges peuvent se faire par conduction, convection et rayonnement. Dans la partie suivante, nous allons construire un calorimètre maison qui limite au maximum ces 3 modes d'échange.

### I.2 - Calorimètre

Le calorimètre que nous allons fabriquer est un bécher de 250 mL. Nous allons y introduire environ 100 mL d'eau chaude (de température  $T_0$ ), puis mesurer l'évolution temporelle de la température  $T(t)$ . On note  $C$  la capacité thermique du système {calorimètre + tout ce qu'il contient}.

🏠 Appliquer le premier principe (version enthalpique, car la transformation est monobare) de la thermodynamique au système et montrer que :

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

#### Expérience n°1 : aucune limitation des pertes

📏 Mettre 100 mL à  $T_0 = 60 \text{ °C}$  dans le bécher. Remuer légèrement mais de manière régulière afin d'homogénéiser la température dans le bécher. Mesurer  $T(t)$  toutes les 10 s pendant 120 s. Tracer  $T(t)$  dans le logiciel Regressi.

Remarque : mettre initialement une température légèrement supérieure à  $60 \text{ °C}$  et démarrer l'expérience lorsque la température atteint  $60 \text{ °C}$ .

📏 Faire une régression affine et déterminer le coefficient  $\alpha_1$ .

#### Expérience n°2 : limitation des pertes par rayonnement

📏 Comment améliorer ce calorimètre afin de limiter les pertes par rayonnement ? Recommencer le même protocole avec ce nouveau calorimètre. Déterminer le coefficient  $\alpha_2$ .

### Expérience n°3 : limitation des pertes par conduction

Comment améliorer ce calorimètre afin de limiter les pertes par conduction ? Recommencer le même protocole avec ce nouveau calorimètre. Déterminer le coefficient  $\alpha_3$ .

### Expérience n°4 : limitation des pertes par convection

Comment améliorer ce calorimètre afin de limiter les pertes par convection ? Recommencer le même protocole avec ce nouveau calorimètre. Déterminer le coefficient  $\alpha_4$ .

### Bilan des résultats

Expérience	1	2	3	4
$\alpha$ ( $K \cdot s^{-1}$ )				

Conclure sur l'importance des différents modes de transport de la chaleur (dans notre expérience).

## II - Mesure de l'enthalpie de vaporisation de l'eau

Cette expérience se réalise avec une bouilloire et une balance. Si le matériel n'est pas disponible, commencer la partie III, et revenir sur cette partie dès que le matériel s'est libéré.

Prendre une bouilloire et une balance. Penser à remettre le matériel à sa place une fois l'expérience finie.

### II.1 - Description de l'expérience

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 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.

Système : {bouilloire et tout ce qu'elle contient}. On suppose que la capacité totale du système est uniquement égale à la capacité de l'eau introduite :  $C = m_0 c_{eau}$  (avec  $m_0$  la masse d'eau). On note  $\mathcal{P}_{th} < 0$  la puissance thermique reçue par le système de la part du milieu extérieur. On note  $\mathcal{P}_b = U^2/R > 0$  la puissance reçue par effet Joule.

Montrer que dans la phase (1), le premier principe donne :

$$T(t) = \alpha t + T_0 \quad \text{avec :} \quad \alpha = \frac{\mathcal{P}_b + \mathcal{P}_{th}}{m_0 c_{eau}} > 0$$

Montrer que dans la phase (2), le premier principe donne :

$$m(t) = -\beta t + m_0 \quad \text{avec :} \quad \beta = \frac{\mathcal{P}_b + \mathcal{P}_{th}}{\Delta_{vap}h} > 0$$

### II.2 - Expérience

Laisser la bouilloire débranchée. Avec du scotch, bien verrouiller l'interrupteur en position allumé.

Mesurer la résistance  $R$  de la bouilloire en connectant un ohmmètre aux deux bornes de la prise électrique.

Mettre environ 1 kg d'eau dans la bouilloire. Placer la bouilloire sur la balance et tarer.

Remarque : durant toute la phase (1) de l'expérience, la balance devrait afficher  $m = 0$ . Or, quand la masse reste constant trop longtemps, la balance s'éteint 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 350 g. Stocker les résultats dans Regressi.

## II.3 - Analyse des résultats

Données : enthalpie massique de vaporisation de l'eau :  $\Delta_{\text{vap}}h = 2257 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

a) En négligeant les pertes thermiques

☞ En analysant la partie (2) et en supposant que  $\mathcal{P}_{th} = 0$ , déterminer  $\Delta_{\text{vap}}h$ .

☞ Connaissant le signe de  $\mathcal{P}_{th}$ , prévoir si l'on surestime ou sous-estime la valeur de  $\Delta_{\text{vap}}h$  dans cette expérience. Est-ce cohérent avec vos résultats ?

b) En estimant les pertes thermiques

☞ En analysant les parties (1) et (2), déterminer  $\Delta_{\text{vap}}h$  sans négliger les pertes thermiques. Conclure.

## III - Mesure de la valeur en eau du calorimètre

---

On appelle **valeur en eau**  $\mu$  d'un corps, la masse d'eau liquide fictive qui a la même capacité thermique que ce corps. La valeur en eau  $\mu_{\text{calo}}$  du calorimètre vaut :

$$C_{\text{calo}} = \mu_{\text{calo}} c_{\text{eau}}$$

### III.1 - Principe de la calorimétrie électrique

☞) **Faire très attention !!** Un thermoplongeur branché et laissé à l'air libre quelques secondes est un thermoplongeur détruit. Toujours brancher le thermoplongeur après qu'il ait été mis dans l'eau. Toujours sortir le thermoplongeur de l'eau après qu'il ait été débranché.

La méthode électrique consiste à plonger une résistance électrique  $R$  (appelée « thermoplongeur ») dans un calorimètre contenant une masse  $m_1$  d'eau liquide de température  $T_1$ . La résistance est alimentée pendant un temps  $\tau$ , pendant lequel elle délivre une puissance  $\mathcal{P}_R = U^2/R > 0$ . On note  $T_f$  la température de l'eau après le temps  $\tau$ .

☞ On suppose que le calorimètre est parfaitement calorifugé. Appliquer le premier principe au système {calorimètre et tout ce qu'il contient} et montrer que :

$$\mu_{\text{calo}} = \frac{\mathcal{P}_R \tau}{c_{\text{eau}} (T_f - T_1)} - m_1$$

☞ Mesurer la résistance  $R$  du thermoplongeur en connectant un ohmmètre aux deux bornes de la prise électrique.

### III.2 - Expérience et analyse

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

☞ Réaliser le protocole ci-dessous.

- Peser le calorimètre vide (sans ses accessoires : thermomètre, agitateur, couvercle).
- Remplir le calorimètre d'eau à température ambiante (aux deux tiers environ) et mesurer précisément la masse  $m_1$  d'eau introduite.
- Remettre les accessoires du calorimètre et placer le thermoplongeur.
- Mettre le thermoplongeur sous tension puis déclenchez le chronomètre.
- Attendre le temps  $\tau$  pour que la température augmente de 15 °C environ. Noter ce temps  $\tau$ .

☞ Déterminer la valeur en eau  $\mu_{\text{calo}}$  du calorimètre.

☞ D'où peuvent venir les éventuelles erreurs de mesure dans cette expérience ?

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

### IV.1 - Principe de la méthode des mélanges

La méthode des mélanges consiste à plonger un morceau de métal ou de glace de température  $T_2$  dans un calorimètre contenant une masse  $m_1$  d'eau liquide de température  $T_1$ , tout en relevant la température de l'ensemble au cours du temps.

Le système est composé du calorimètre et de tout ce qu'il contient. Les parois du calorimètre sont parfaitement calorifugées.

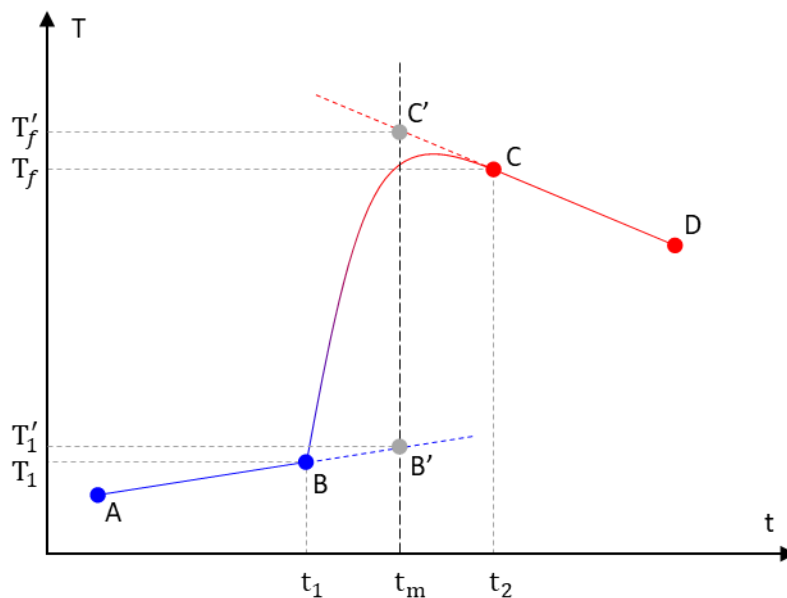
⇧ Déterminer la nature de la transformation et en déduire que :

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

### IV.2 - Méthode de correction des fuites thermiques

Aucun calorimètre n'est strictement parfait car il existe toujours des fuites thermiques vers l'extérieur. Le temps de cette expérience n'étant pas négligeable devant le temps caractéristique de ces transferts thermiques, il est nécessaire de les prendre en compte.

L'idée de la méthode est de considérer le calorimètre parfait (car les pertes sont difficiles à évaluer) mais de remplacer les températures initiale  $T_1$  et finale  $T_f$  par des valeurs corrigées  $T'_1$  et  $T'_f$ , qui donneraient la même mesure de capacité  $C_{\text{métal}}$  dans un calorimètre parfait.



Pour connaître les valeurs des températures corrigées, on utilise la méthode de correction suivante :

- On relève la température à intervalle de temps fixé, puis on trace le graphe  $T(t)$ . L'exemple ci-dessus représente le cas où la température ambiante est comprise entre  $T_1$  et  $T_f$ , mais cela n'importe pas dans le principe de la méthode de correction.
- On relève les instants  $t_1$  de début de mélange et  $t_2$  de fin de mélange (instant à partir duquel la variation de température redevient linéaire).
- On prolonge les droites (AB) et (CD) jusqu'à l'instant moyen  $t_m = \frac{t_1+t_2}{2}$  (points B' et C').
- Les températures corrigées initiale  $T'_1$  et finale  $T'_f$  sont celles des points B' et C'.

Cette méthode de correction peut être justifiée par l'argument suivant : supposons que l'équilibre thermique se fasse instantanément à la date moyenne  $t_m$ , les fuites thermiques n'ont alors pas le temps de s'effectuer et le segment B'C' représente ainsi la variation de température en l'absence de fuites thermiques, c'est-à-dire la variation de température corrigée.

### IV.3 - Expérience et analyse

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

🗨️ Bien réfléchir, en amont de l'expérience, aux gestes que vous allez effectuer dans l'objectif de réaliser une expérience de calorimétrie la plus précise possible.

📋 Réaliser le protocole ci-dessous.

- Peser le calorimètre vide (sans ses accessoires : thermomètre, agitateur, couvercle).
- Remplir le calorimètre d'eau à température ambiante (de quoi immerger entièrement les morceaux de métal) et mesurer précisément la masse  $m_1$  d'eau introduite. L'eau devra juste recouvrir les blocs de métaux, ne pas mettre beaucoup plus d'eau !
- Remettre les accessoires du calorimètre et le couvercle.
- Tout en agitant régulièrement (mais pas tout le temps et sans sortir l'agitateur de l'eau), mesurer la température toutes les 20 s pendant 2 minutes. Ne pas s'attarder sur cette étape si la température est constante.
- Prendre deux morceaux de métal dans l'eau de la bouilloire de température  $T_2$  et l'introduire rapidement dans le calorimètre.
- Continuer à mesurer la température, plus régulièrement cette fois, tout en agitant jusqu'à ce que la température diminue.
- Une fois que la température commence à diminuer, relever la température toutes les 20 s pendant 2 minutes.
- Une fois l'expérience terminée, déterminer la masse  $m_2$  du métal.

📋 Tracer la courbe de la température en fonction du temps :  $T(t)$ . Appliquer la méthode de correction des températures initiale et finale et déterminer la capacité thermique **massique**  $c_{\text{métal}}$  du métal. Comparer la valeur expérimentale à la valeur tabulée (aller voir, par exemple, l'article « Heat capacity » de Wikipédia).

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

---

L'objectif est d'utiliser la méthode des mélanges pour mesurer l'enthalpie massique de fusion de la glace.

Données : enthalpie massique de fusion de la glace :  $\Delta_{\text{fus}}h = 333 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

🗨️ Bien réfléchir, en amont de l'expérience, aux gestes que vous allez effectuer dans l'objectif de réaliser une expérience de calorimétrie la plus précise possible. Avant de vous lancer dans l'expérience, appeler le professeur pour lui montrer l'expression de  $\Delta_{\text{fus}}h$  obtenue, et pour lui expliquer quels glaçons vous avez décidé de choisir pour l'expérience.

📋 Réaliser le protocole ci-dessous.

- Peser le calorimètre vide (sans ses accessoires : thermomètre, agitateur, couvercle).
- Remplir le calorimètre d'eau à température ambiante (au tiers environ) et mesurer précisément la masse  $m_1$  d'eau introduite.
- Remettre les accessoires du calorimètre et le couvercle.
- Tout en agitant régulièrement (mais pas tout le temps et sans sortir l'agitateur de l'eau), mesurer la température toutes les 20 s pendant 2 minutes. Ne pas s'attarder sur cette étape si la température est constante.
- Introduire quelques glaçons dans le calorimètre. Continuer à mesurer la température, plus régulièrement cette fois, tout en agitant jusqu'à ce que la température augmente.
- Une fois que la température commence à augmenter, relever la température toutes les 20 s pendant 2 minutes.
- Déterminer la masse  $m_g$  des glaçons introduits.

🏠 Déterminer, à l'aide du premier principe, l'expression de  $\Delta_{\text{fus}}h$ .

📋 Tracer la courbe de la température en fonction du temps :  $T(t)$ . Appliquer la méthode de correction des températures initiale et finale et déterminer l'enthalpie massique de fusion de la glace à  $T_0 = 273 \text{ K}$ . Comparer la valeur expérimentale à la valeur tabulée.