

Capacités mises en œuvre :

- ☐ Mettre en œuvre une technique de calorimétrie ;
- ☐ Mettre en œuvre un capteur de température ;
- ☐ Mettre en œuvre un capteur infrarouge.
- ☐ Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure d'une grandeur thermodynamique énergétique (capacité thermique, enthalpie de fusion, etc...)

Objectifs :

Déterminer, par des mesures de température en calorimètre, la capacité thermique massique de l'eau liquide et la chaleur latente de fusion de la glace. On mettra en œuvre la méthode des mélanges et la méthode électrique.

Matériel :

- deux calorimètres (ensemble de deux récipients en aluminium séparés par une couche d'air) et leurs accessoires (agitateur, thermomètre),
- thermomètre infrarouge et caméra thermique (sur le bureau),
- alimentation 6/12V + rhéostat (ou alimentation variable), deux multimètres, résistance chauffante pour calorimètre,
- bain thermostaté d'eau chaude, glace, balance électronique,
- sonde de température et carte d'acquisition Eurosmart SYSAM-SP5 permettant l'interfaçage avec le logiciel LatisPro.

Données : capacité thermique massique de l'eau liquide $c = 4,18 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, chaleur latente massique de fusion de la glace : $\ell_f = 333 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$, masse molaire de l'aluminium $M_{\text{Al}} = 27,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

I Utilisation du logiciel LatisPro

Le logiciel LatisPro sera ici utilisé pour enregistrer l'évolution temporelle de la température à l'aide de la sonde de température. Pour cela :

Manipulations :

- Choisir la voie d'acquisition analogique (sur laquelle a été branchée la sonde de température), ainsi que le capteur dans la fenêtre Entrées Analogiques.
- Pour une acquisition temporelle, il est nécessaire de configurer l'échantillonnage (nombre de points mesurés par seconde) et la durée totale de l'acquisition dans la fenêtre Acquisition.
- L'acquisition est lancée par F10 et peut être interrompue par ESC.

Avant chaque acquisition, on configurera la fenêtre d'affichage (double-clic sur les axes) de manière à pouvoir observer toute l'évolution. On estimera pour cela les valeurs extrémales que prendra la température.

II Estimation des pertes énergétiques dues au défaut d'isolation

On étudie dans cette partie l'évolution de la température d'une quantité d'eau liquide déterminée introduite dans le calorimètre à une température supérieure à celle de l'atmosphère, qui diminue lentement en raison de l'isolation imparfaite du calorimètre.

On lancera l'acquisition informatique en début de séance et on laissera cette expérience se dérouler pendant environ un quart d'heure. On préparera les autres manipulations pendant que celle-ci se déroule.

Manipulations :

- configurer le logiciel pour une acquisition automatique toutes les vingt secondes pendant environ un quart d'heure,
- choisir le capteur de température et configurer la fenêtre pour afficher l'ordonnée entre 20°C et 70°C toute la durée de la manipulation en abscisse,
- introduire une quantité d'eau déterminée (environ 300 mL, de masse déterminée par pesée dans le récipient taré), préalablement chauffée dans le bain thermostaté, dans le calorimètre et déclencher l'acquisition. On n'oubliera pas de replacer son couvercle et on agitera une ou deux fois pour homogénéiser.
- on pourra vérifier rapidement les indications de température données par le thermomètre infrarouge,
- on pourra également observer la qualité de l'isolation du calorimètre en comparant à la caméra thermique la température de sa surface à celle de l'eau qu'il contient, ainsi qu'à celle d'un dispositif à simple paroi.

Questions :

- Déterminer l'équation différentielle d'évolution de la température T de l'ensemble eau + calorimètre de capacité thermique C_0 si la puissance thermique qu'il cède à l'atmosphère à la température T_a est $\mathcal{P}_{th} = h(T - T_a)$. En déduire $T(t)$.
- Identifier un temps caractéristique τ qu'on exprimera par ailleurs en fonction de h et C_0 .

Exploitation :

Déterminer expérimentalement le temps caractéristique τ .

III Mesure de la capacité thermique massique c de l'eau liquide

Le calorimètre muni que ses accessoires (y compris la résistance) possède une capacité thermique propre C_0 non négligeable dans les bilans énergétiques. La réalisation des deux expériences suivantes permet de déterminer c en tenant compte de C_0 .

Le calorimètre devra être identique pour les deux mesures : en particulier, il devra contenir les mêmes accessoires.

Pour chaque mesure, on effectuera un suivi informatique de la température pour distinguer les variations dues au mélange, de celles dues aux pertes.

On mesurera les températures juste avant le mélange.

On vérifiera impérativement que la résistance chauffante plonge entièrement dans l'eau avant de l'alimenter : dans l'air elle chaufferait trop et risquerait d'être endommagée.

Manipulations (Méthode des mélanges) :

- Peser le calorimètre sans ses accessoires. On notera m_C sa masse.
- Introduire une masse m_1 d'eau (environ 200 mL, précisément déterminée par pesée dans le récipient taré), chaude dans le calorimètre. Attendre l'équilibre thermique avec le calorimètre (on homogénéisera en agitant une ou deux fois) et noter la température d'équilibre T_1 .
- Introduire de même une masse m_2 équivalente d'eau à température ambiante T_2 (qu'on aura également mesurée au thermomètre). Homogénéiser et noter la température d'équilibre T_{eq} (avant l'évolution due aux pertes thermiques).

Manipulations (Méthode électrique) :

- Introduire une masse m d'eau (environ 250 mL, précisément déterminée par pesée dans le récipient taré, et suffisante pour que la résistance chauffante puisse y être complètement immergée), à température ambiante dans le calorimètre. Attendre l'équilibre thermique avec le calorimètre (on homogénéisera en agitant une ou deux fois) et noter la température d'équilibre T_i .
- Brancher en série l'alimentation, la résistance chauffante plongée dans l'eau et un ampèremètre. Brancher également un voltmètre aux bornes de la résistance. On note U la tension aux bornes de et I l'intensité du courant traversant le résistor.
- Régler le rhéostat pour que la puissance dissipée dans la résistance chauffante soit d'environ 20W.
- Noter l'évolution de la température en fonction du temps. On relèvera manuellement environ un point toutes les 15 s pendant une dizaine de minutes. On pourra utiliser le logiciel *LatISPro* si on dispose d'au moins 30 min d'acquisition pour l'étude des pertes énergétiques.
- Relever la température T_f au bout d'un temps Δt .

Exploitation :

1^{re} expérience Effectuer un bilan enthalpique entre l'état initial et l'état final. En déduire que cette mesure permet de déterminer le rapport $m_{calo} = C_0 / c$, nommé « valeur en eau » du calorimètre. Calculer m_{calo} . Quelle est sa dimension ?

2^e expérience Effectuer un bilan enthalpique sur un intervalle de temps Δt et déterminer l'expression de la température T_f au bout de Δt . En déduire que cette expérience permet, en connaissant la puissance \mathcal{P} électrique fournie, de déterminer la capacité thermique totale du système, C_0 .

- Déduire des deux mesures précédentes la valeur de la capacité thermique massique de l'eau c et la capacité thermique C_0 du calorimètre.
- Comparer la valeur de C_0 avec celle donnée par la loi de Dulong et Petit selon laquelle la capacité thermique molaire d'un solide cristallin est $C_m = 3R$.

Questions :

- Déterminer la précision relative des déterminations de C_0 de c en fonction, entre autres, des précisions relatives sur les masses, la puissance, les températures. Est-il préférable d'utiliser des masses proches, des températures initiales proches pour la méthode des mélanges ?
- Adapter l'équation différentielle du II à la méthode électrique en présence de pertes. Déterminer sa solution et justifier que le choix d'une température initiale égale à la température de l'atmosphère permet d'annuler au premier ordre en t/τ l'effet des pertes thermiques.

IV Mesure de la chaleur latente massique de fusion ℓ_f de la glace**Manipulations :**

- Introduire dans le calorimètre une masse m_1 (environ 150 mL) à la température T_1 élevée prélevée dans le bain thermostaté. Homogénéiser et noter la température d'équilibre T_e (avant l'évolution due aux pertes thermiques).
- Introduire dans le calorimètre, après les avoir soigneusement essuyés, quelques glaçons (masse m_s également déterminée par pesée) sortis du congélateur depuis un temps assez long (ils doivent être en contact avec de l'eau liquide et donc à la température $T_s = 273,15\text{K}$).
- Relever la température d'équilibre T_{eq} , après avoir vérifié qu'il ne reste plus de glace.

Exploitation :

Effectuer à nouveau un bilan enthalpique sur le système eau liquide-glace. En déduire l'expression de la chaleur latente massique de fusion¹ ℓ_f de la glace en fonction, entre autres, des masses, des températures, de c . Commenter la valeur du rapport ℓ_f / c .

Questions :

- Comment est-on certain que les glaçons sont à $T_s = 273,15\text{K}$? Quelle difficulté présenterait l'expérience avec des glaçons à une température inférieure ?
- Justifier qu'on préfère s'assurer que toute la glace est fondue à la fin de l'expérience.

¹La chaleur latente massique de fusion est la variation d'enthalpie d'une unité de masse de glace lors de sa fusion monotherme à $\theta = 0^\circ\text{C}$