

TP 20 : Calorimétrie

Les points du programme :

- Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure d'une grandeur thermodynamique énergétique (capacité thermique).
- Mettre en œuvre une technique de calorimétrie.
- Mesurer une température.

Objectif

- Se familiariser avec les techniques de calorimétrie.
- Déterminer la capacité thermique massique de l'eau et comparer à la valeur tabulée.

La valeur de la capacité thermique massique de l'eau est une donnée importante en thermodynamique. Le but de ce TP est de déterminer expérimentalement cette valeur.

Définition : Calorimétrie

La **calorimétrie** correspond à l'**étude quantitative des transferts d'énergie** d'un système à l'autre en se basant sur la **mesure des températures**. En particulier, la calorimétrie permet la mesure des capacités calorifiques des différents corps.

Définition : Calorimètre

Un calorimètre est un appareil utilisé pour mesurer les échanges d'énergie par transfert thermique. C'est un système **calorifugé**, c'est-à-dire conçu pour empêcher les transferts thermiques vers l'extérieur. Le vase intérieur a lui-même une capacité thermique C_{calo} , qui s'exprime en $J \cdot K^{-1}$.

1. Mesure de la capacité thermique du calorimètre

La première chose à faire est de déterminer la capacité thermique du calorimètre. Ce dernier va en effet participer aux échanges thermiques, en s'échauffant ou en se refroidissant.

Protocole : Méthode des mélanges

- Verser dans le calorimètre un volume V_1 d'environ 150 mL d'eau à température ambiante, en mesurant avec précision sa masse m_1 .
- Relever la température initiale θ_1 lorsqu'elle est stabilisée.
- Prélever (rapidement) un volume V_2 d'environ 150 mL d'eau chaude provenant du bain thermostaté en déterminant sa masse m_2 à l'aide d'une balance. Mesurer sa température θ_2 puis ajouter cette eau dans le calorimètre.
- Fermer le calorimètre, agiter et noter la température d'équilibre θ_f de l'ensemble.

Exploitation

- Q1.** Quel est le système fermé étudié ?
- Q2.** La transformation suivie est-elle monobare ? Isobare ? Isotherme ? Adiabatique ? Autre ? Justifier.
- Q3.** Exprimer ΔH en fonction de C_{calo} la capacité thermique du calorimètre, m_1 , m_2 , $c_{eau,l}$, θ_f , θ_1 et θ_2 .
- Q4.** En déduire :

$$C = \frac{m_2 \cdot c_{eau,l} (\theta_2 - \theta_f)}{\theta_f - \theta_1} - m_1 \cdot c_{eau,l}$$

- Q5.** Faire l'application numérique avec $c_{eau,l} = 4180 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.
- Q6.** Mettra en commun les résultats de la classe, pour en calculer la moyenne, l'écart-type puis l'incertitude-type.

Méthode : Associer une incertitude-type à une série de mesure (rappel) :

$$x = \bar{x} \pm \frac{s}{\sqrt{n}}$$

- Avec \bar{x} la moyenne des valeurs mesurées ;
 s l'écart-type expérimental de la série de mesure (parfois noté σ_{n-1}) ;
 n le nombre de points de mesure.

- Q7.** Comment expliquer la variabilité des mesures ? Réfléchir aux hypothèses que l'on a effectuées ou aux manipulations réalisées.

2. Mesure de la capacité thermique massique de l'eau

La valeur de la capacité thermique massique de l'eau c_{eau} est toujours donnée dans les exercices. Mais comment faire pour la déterminer par une expérience ?

On place une masse m de ce liquide dans un calorimètre de capacité thermique C_{calo} dans lequel plonge une résistance électrique. L'ensemble est initialement à la température θ_i . On fait passer un courant électrique dans la résistance pendant un certain temps Δt , il en résulte une élévation de température due à la puissance électrique dissipée par effet Joule par la résistance, l'élévation de température donnant accès à la capacité thermique massique du liquide

Protocole

Attention

- Vérifier que les résistances trempent entièrement.
- Ne pas alimenter les résistances à l'air libre (mais uniquement une fois immergées) car elles chauffent très vite et sont facilement endommagées.
- Surveiller la valeur du courant débité car il peut y avoir des faux contacts...

- Verser environ un volume $V = 250$ mL d'eau dans la cuve après avoir déterminé sa masse m_{eau} .

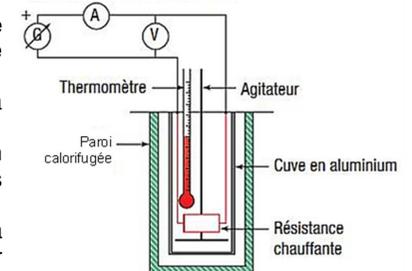
- Réaliser le montage ci-contre sans mettre en route le générateur. Attention l'ampèremètre sera réglé sur le calibre pour courants élevés !

- Attendre l'équilibre thermique et mesurer la température initiale de l'eau θ_i .

- Allumer le générateur et le régler pour avoir un courant de l'ordre de 2 A et déclencher alors rapidement le chronomètre.

- Mesurer alors de la tension U aux bornes de la résistance et le courant I dans le circuit. Vérifier que leur valeur reste constante durant toute l'expérience.

- Relever la température θ de l'eau toutes les minutes (pendant 15 minutes environ). Agiter régulièrement.



Exploitation

On considère le système {résistance} :

Q8. Schématiser les échanges énergétiques entre ce système et l'extérieur en indiquant la nature et le signe des transferts d'énergies.

Q9. Exprimer le travail électrique δW_{res} reçu par la résistance pendant un temps dt en fonction de U , I et de la durée dt .

On admet que tout le travail électrique δW_{res} reçu par la résistance est intégralement transformé en énergie thermique δQ_{res} .

Q10. Que vaut alors la variation d'énergie interne de la résistance notée δU_{res} ?

Soit le système {eau + calorimètre} : ce système reçoit le transfert thermique cédé par la résistance.

Q11. Schématiser les échanges énergétiques entre ce système et l'extérieur.

Q12. En déduire une relation entre la variation d'enthalpie $dH_{eau+cal}$ du système et U , I et dt .

Q13. Donner la relation entre la variation d'enthalpie $dH_{eau+cal}$ et la variation de température $d\theta$. En déduire l'expression de $d\theta/dt$ en fonction de U , I , m_{eau} , c_{eau} et C_{calo} .

Q14. A l'aide de vos mesures et du programme python disponible sur le cahier de prépa, déterminer la valeur expérimentale de $d\theta/dt$.

Q15. Déterminer la valeur expérimentale obtenue pour c_{eau}

Q16. Mettra en commun les résultats de la classe, pour en calculer la moyenne, l'écart-type puis l'incertitude-type et comparer à la valeur de référence $c_{eau,l} = 4,18.10^3 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$.