

⚡ 👁 Dès l'entrée en salle de T.P., mesurer la masse de l'échantillon métallique en cuivre. Cette valeur sera utilisée dans la partie IV du T.P.



BUT DU T.P.

Mettre en œuvre deux techniques de mesure de capacité thermique massique, la première se rapportant aux liquides ; la seconde aux solides. Par un calcul d'incertitude on discutera la précision de ces méthodes.

I ÉTUDE THÉORIQUE

1) Méthode de calcul des incertitudes

Soit une fonction f de trois variables x, y, z entachées chacune des incertitudes $U(x), U(y), U(z)$. Il en résulte sur f une incertitude $U(f)$. L'expression de $U(f)$ est donnée par la formule de propagation des incertitudes, voir photocopié *Mesures en physique : chiffres significatifs, erreurs et incertitudes*

En utilisant la formule de propagation des incertitudes, on obtient :

$$U(f) = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 [U(x)]^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 [U(y)]^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 [U(z)]^2}$$

EXEMPLE 1 :

Soit $P = UI$ la puissance électrique absorbée par un dipôle parcouru par un courant continu I et soumis à une tension U (en convention récepteur). Les mesures de U et I sont entachées d'une incertitude $U(I)$ et $U(U)$.

Calculons $U(P)$:

Méthode générale :

1. On détermine les dérivées partielles de la fonction P par rapport à chacune des variables I et U et on en prend les valeurs absolues (si besoin) :

$$\frac{\partial P}{\partial U} = I \quad \text{et} \quad \frac{\partial P}{\partial I} = U$$

2. On substitue les expressions des dérivées partielles dans la formule encadrée précédente :

$U(P) = \sqrt{I^2 \cdot U(U)^2 + U^2 \cdot U(I)^2}$ ce qui donne pour l'incertitude relative

$$\frac{U(P)}{P} = \sqrt{\left(\frac{U(U)}{U}\right)^2 + \left(\frac{U(I)}{I}\right)^2}$$

Ce résultat peut également se retrouver grâce à la méthode de la différentielle logarithmique.

EXEMPLE 2 :

Soit $C'' = \frac{C + m'c'}{m''} \frac{\theta''' - \theta'}{\theta'' - \theta''''}$ où $m', m'', \theta', \theta'', \theta'''$ sont entachées d'une incertitude. De plus $\theta' < \theta'' < \theta'''$

Calculons $U(C'')$:

Méthode générale :

1. On détermine les dérivées partielles de la fonction C'' par rapport à chacune des variables : $m', m'', \theta', \theta'', \theta'''$:

$$\frac{\partial c''}{\partial \theta'} = \frac{C+m'c'}{m''} \frac{-1}{\theta''-\theta'''} \quad \frac{\partial c''}{\partial \theta''} = -\frac{C+m'c'}{m''} \frac{\theta'''-\theta'}{(\theta''-\theta''')^2} \quad \frac{\partial c''}{\partial m'} = \frac{c'}{m''} \frac{\theta'''-\theta'}{\theta''-\theta'''}$$

$$\frac{\partial c''}{\partial m''} = -\frac{C+m'c'}{m''^2} \frac{\theta'''-\theta'}{\theta''-\theta'''} \quad \text{et enfin}$$

$$\frac{\partial c''}{\partial \theta'''} = \frac{C+m'c'}{m''} \left(\frac{1}{\theta''-\theta'''} + \frac{\theta'''-\theta'}{(\theta''-\theta''')^2} \right) = \frac{C+m'c'}{m''} \frac{\theta''-\theta'}{(\theta''-\theta''')^2}$$

2. On substitue les expressions des valeurs absolues des dérivées partielles dans la formule encadrée précédente :

$$U(c'') = \frac{C+m'c'}{m''} \frac{1}{\theta''-\theta'''} \sqrt{U(\theta')^2 + \frac{(\theta'''-\theta')^2}{(\theta''-\theta''')^2} U(\theta'')^2 + \frac{(\theta''-\theta')^2}{(\theta''-\theta''')^2} U(\theta''')^2 + \frac{c'^2 (\theta'''-\theta')^2}{(C+m'c')^2} U(m')^2 + \frac{(\theta'''-\theta')^2}{m''^2} U(m'')^2}$$

2) Préparation: Répondre aux questions III.1) et IV.1).

II DÉTERMINATION PRÉALABLE DE LA CAPACITÉ THERMIQUE DU CALORIMÈTRE

On peut déterminer par pesée la capacité thermique C du calorimètre. Le contenu de celui-ci n'échange des transferts thermiques qu'avec le vase intérieur et l'agitateur, éléments qui sont tous deux en aluminium (capacité thermique massique : $895 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1} \pm 0,5 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$). Après avoir mesuré leur masse, calculer C .

Incertitudes : Evaluer l'incertitude sur la masse des éléments. En déduire celle sur C . Conclure.

III DÉTERMINATION DE LA CAPACITÉ THERMIQUE MASSIQUE D'UN LIQUIDE

1) Méthode (préparation)

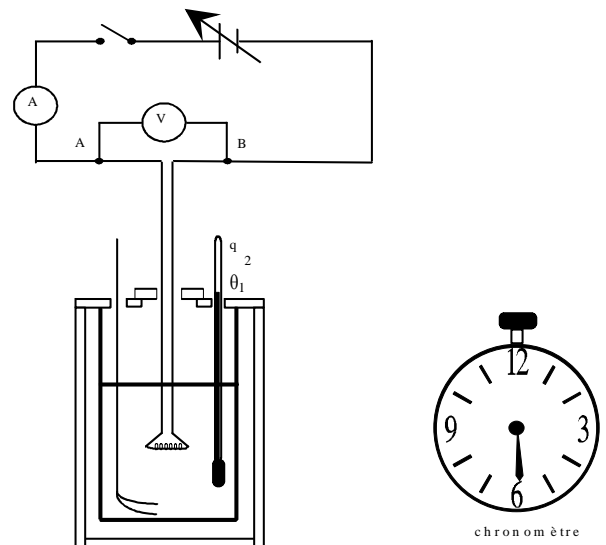
Dispositif expérimental

On se propose de mesurer la capacité thermique massique c_1 de l'eau.

On dispose d'un calorimètre de capacité thermique C connue et contenant une masse m_1 d'eau que l'on a mesurée.

Une résistance (fil métallique spiralé) est immergée dans l'eau du calorimètre. La capacité thermique de ce conducteur est négligeable.

La résistance est branchée à une alimentation stabilisée réglable. On peut mesurer la tension U entre ses bornes, l'intensité I du courant qui la traverse, la température θ à l'intérieur du calorimètre et la durée T de passage du courant (voir ci-contre).



Note : la température sera relevée en fonction du temps grâce à la sonde de température connectée à la platine d'acquisition reliée au logiciel Latis-pro. On ne dispose pas d'interrupteur en salle de TP, on désactivera simplement le générateur de tension.

On pourra utiliser le chronomètre d'un téléphone portable ou un chronomètre en ligne.

Détermination de la capacité thermique massique de l'eau

A l'équilibre initial, le calorimètre contenant l'eau et la résistance sont à la température θ_1 . A la date $t = 0$ on ferme le circuit et la résistance est parcourue par un courant continu I . La tension à ses bornes est U . Montrer que la courbe représentant les variations de la température θ du liquide en fonction du temps est une portion de droite, dont on déterminera le coefficient directeur a_1 en fonction de m_1 , c_1 , C et \mathcal{P} (puissance électrique). En déduire en fonction de m_1 , a_1 , C , U et I , l'expression de c_1 , ainsi que son incertitude (on négligera $U(C)$ et $U(m_1)$).

2) Manipulation

Dans *Latis-Pro*, ouvrir le fichier *Calorimétrie liquides TP* et enregistrez-le aussitôt sous votre nom.

1. Le circuit étant ouvert, régler l'alimentation stabilisée **entre 6 V et 6,5 V**.
2. Introduire à température ambiante dans le calorimètre, une quantité d'eau suffisante (pas plus !) pour submerger la résistance. Peser précisément la masse m_1 d'eau à température ambiante.
3. Fermer le circuit. Réaliser une acquisition de température sur 5 minutes. On pourra laisser le champ « Points » vide, et paramétrer le temps total d'acquisition. Le logiciel *Latis-Pro* effectuera une acquisition automatique et adaptera l'échantillonnage en fonction des variations de température détectées. Relever une dizaine de valeurs de U et I afin d'obtenir la puissance P . Vous calculerez la valeur moyenne de la puissance grâce à Latis Pro.

Remarque opératoire : On prendra soin d'agiter continuellement tout au long des cinq minutes d'expériences.

3) Exploitation des résultats

- a. Remplir le tableur et compléter la feuille de calcul avec vos mesures. En déduire c_1 . *Bien vérifier les formules de la feuille de calcul.*
- b. *Détermination de l'incertitude sur a_1* : tracer les droites encadrant l'ensemble des mesures (temps, température), et mesurer leurs coefficients directeurs a_{min} et a_{max} . On prendra pour incertitude $U(a_1) = \frac{a_{max} - a_{min}}{2}$.
- c. Evaluer les incertitudes sur U et I . En déduire l'incertitude sur c_1 en précisant le niveau de confiance.
- d. La valeur de la capacité thermique de l'eau trouvée dans les tables est $c_1 = 4,18 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ à 25°C et 1013 hPa. Conclure sur la validité de votre mesure.
- e. Inscrire la valeur de c_1 mesurée dans le tableau en ligne disponible à l'adresse suivante (**attention, un onglet par groupe de TD !**)

<https://nuage.insa-rouen.fr/index.php/s/nCiLTNXnSDDJRJQ>

Chaque binôme inscrit sa valeur mesurée dans la case correspondant à son poste pendant la séance de TP (attention à travailler dans l'onglet de votre groupe de TD). Faire un traitement statistique de la série de mesures du groupe auquel vous appartenez afin de déterminer la valeur de c_1 et son incertitude. Conclure.

IV DÉTERMINATION DE LA CAPACITÉ THERMIQUE MASSIQUE D'UN SOLIDE

On se propose de déterminer la capacité thermique massique c_2 du cuivre connaissant celle de l'eau :
 $c_1 = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Matériel à disposition :

- calorimètre et son agitateur de capacité thermique C (voir paragraphe II)
- chronomètre (PC chrono ou téléphone portable ou chronomètre en ligne)
- sonde de température connectée à la platine reliée à Latis Pro
- bain thermostaté à la température θ_2 (environ $80 \text{ }^\circ\text{C}$)
- bloc métallique en cuivre de masse m_2 et sa ficelle
- balance de précision
- eau (robinet)

1) Méthode (préparation)

1a) Proposer un protocole expérimental permettant, à l'aide du matériel ci-dessus, de **mesurer le plus précisément possible la capacité thermique massique c_2 du cuivre**. Faire un schéma légendé et détaillé du protocole et expliquer en quelques lignes vos choix.

1b) Exprimer la capacité thermique massique c_2 en fonction des masses, des capacités thermiques connues (C et c_1) et de différentes températures à expliciter.

2) Manipulation

Après concertation des élèves du binôme (ou trinôme), proposer un protocole expérimental au professeur permettant de **mesurer le plus précisément possible la capacité thermique massique c_2 du cuivre**. Faire valider par le professeur.

Réaliser ce protocole. Néanmoins, dans les conditions expérimentales du laboratoire (pertes thermiques dans le calorimètre), on pourra mesurer l'évolution temporelle de la température du système pour une meilleure estimation de la valeur de la température nécessaire pour le calcul de c_2 .

Proposer une valeur mesurée pour la capacité thermique massique c_2 du cuivre et estimer l'incertitude de mesure associée. Expliquer vos mesures et vos choix, en particulier, termes prépondérants dans le calcul de $U(c_2)$. Comparer à la valeur des tables : cuivre: $c_2 = 388 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$, à 0°C et 1013 hPa.

Conclure sur la validité de votre mesure.

En fonction du temps disponible, réaliser à nouveau la manipulation.