

⚡ 🧑 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.

### PRÉPARATION

Le TP commencera par une interrogation de 15 minutes environ basée sur les exercices de calorimétrie. Pour vous entraîner, vous pouvez reprendre l'exercice 13 vu en TD et l'exercice C6 dont la correction est disponible sur Moodle.

Vous devez également préparer le IV.1. Le protocole de la deuxième manipulation est à rendre à la fin de la séance et participera à la note du compte-rendu (CR).

### I ÉTUDE THÉORIQUE

#### 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  $U(U)$  et  $U(I)$ .

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 et avec  $\theta' < \theta'' < \theta'''$ .

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 :

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

## 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

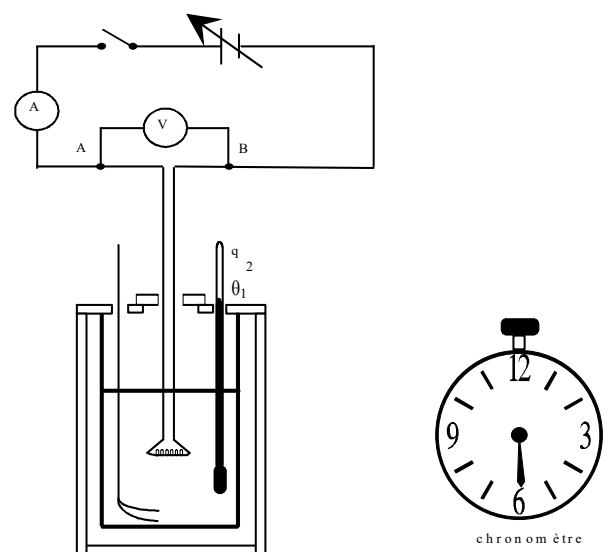
#### *Dispositif expérimental*

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  $\theta$  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.

## **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 dont l'adresse est disponible sur Moodle ou dans le dossier LabPhys/Calorimétrie dans le fichier P1-1\_Lien\_Fichier\_Partagé\_2026.txt (**attention, un onglet par groupe de TD !**)

**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)
- sonde de température connectée à la platine reliée à Latis Pro
- bain thermostaté à la température  $\theta_2$  (environ  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ )
- bloc métallique en cuivre de masse  $m_2$  et sa ficelle
- balance de précision
- eau (robinet)

### 1) Méthode (À PRÉPARER POUR LE TP ET À RENDRE AVEC LE CR)

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.

### 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  $0^\circ\text{C}$  et 1013 hPa.

Conclure sur la validité de votre mesure.

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