

TP : Caractérisation d'un calorimètre.

Le calorimètre est un objet qui permet de faire des mesures énergétiques sur des processus physico-chimiques. Par la mesure de la température, la plupart du temps entre un état d'équilibre initial et un état d'équilibre final, on peut accéder à de nombreuses caractéristiques des systèmes placés dans le calorimètre et en particulier à leur capacité thermique. Le calorimètre constitue un milieu soumis à une pression extérieure constante, la transformation qui s'y produit est donc monobare. Afin de limiter l'influence de l'extérieur sur le plan énergétique, le calorimètre est conçu avec des parois les plus calorifugées possibles. On considère, en général, que les transformations qui s'y déroulent sont adiabatiques ($Q = 0$). En réalité, il y a toujours plus ou moins de transferts thermiques à travers les parois et le couvercle. De la même façon, un calorimètre va s'approprier une certaine part des énergies mises en jeu dans les processus étudiés. Il possède une capacité thermique que l'on essaie de faire assez faible, celle-ci dépend de la conception de l'objet mais aussi des matériaux utilisés.

Ce TP sera conduit sur le plan informatique en utilisant des programmes *Python* pour toutes les opérations à commencer par l'acquisition des données par la carte *Sysam SP5* et ensuite pour les opérations de traitement des données enregistrées.

1 Objectifs

La caractérisation du calorimètre consistera à déterminer sa capacité thermique Γ en $\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$. Ensuite, on étudiera les pertes que l'on observera dans le cadre de l'expérience réalisée uniquement avec le gobelet du calorimètre. Les valeurs des capacités thermiques obtenus par l'ensemble des binômes de TP fera l'objet d'un traitement statistique.

2 Matériel

Sur la photographie de la figure 1, on peut voir les différentes pièces constituant le calorimètre : son vase intérieur, l'isolant en polystyrène qui sépare le vase intérieur de la paroi extérieure, le couvercle percé pour faire passer le thermomètre ainsi que les fils d'alimentation de la résistance électrique chauffante que nous utiliserons.

La résistance électrique responsable d'un effet JOULE devra être alimentée par une tension et un courant tels que la puissance électrique soit de 15 W au plus. On peut la voir sur la photographie de la figure 2, elle est reliée à un générateur de tension et courant particulier. C'est une alimentation continue régulable aussi bien en tension U qu'en intensité I . Quoi qu'il en soit, on respectera bien la condition $10 \text{ W} < UI < 15 \text{ W}$ sous peine de détruire la résistance électrique avec une puissance trop élevée ou bien de ne pas avoir d'effet significatif si la puissance est trop faible. L'anneau que l'on peut voir sur la photographie permet d'homogénéiser le milieu étudié - en l'occurrence de l'eau - manuellement. Toutefois, nous ne l'utiliserons pas au profit d'un petit barreau magnétique mis en rotation lente grâce à un agitateur magnétique fréquemment rencontré en TP de chimie.

La mesure de la température sera réalisée par un capteur qui sera relié à la carte d'acquisition *Sysam SP5*, on travaillera avec le programme *Acquisitions.SP5-Calor*. Son principe repose sur la tension fournie par une thermocouple, tension amplifiée et fournie sur la sortie analogique de l'appareil, voir la figure 3.

Vous disposerez en plus du matériel qui vient d'être décrit, d'un certain nombre de choses assez classiques. N'oubliez pas que vous pourrez demander du matériel en fonction des initiatives que vous prendrez à condition que la demande soit raisonnable.

3 Aspects théoriques

3.1 Bilan énergétique

Le système étudié est le calorimètre de capacité thermique Γ et une certaine masse d'eau m_e placée à l'intérieur. On note $c_e = 4,18 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ la capacité thermique massique de l'eau. On note θ la température du système. L'équation exprimant le bilan énergétique de ce système est :

$$(\Gamma + m_e c_e) \frac{d\theta}{dt} = P_{\text{entre}} - P_{\text{sort}} + P_{\text{créée}}$$

Rappelons que nous faisons apparaître un terme de création dans ce bilan énergétique. Notons bien que cela est une façon de présenter les choses mais que cette écriture ne remet aucunement en question le premier principe de la Thermodynamique. En effet, on peut très bien présenter les conséquences de l'effet JOULE comme provoqué par un terme de création d'énergie dans le système car il est difficile de ressortir la résistance chauffante du système. Un autre point de vue serait de considérer une version plus orthodoxe du premier principe sans



FIGURE 1 – Pièces constituant le calorimètre et résistance électrique chauffante

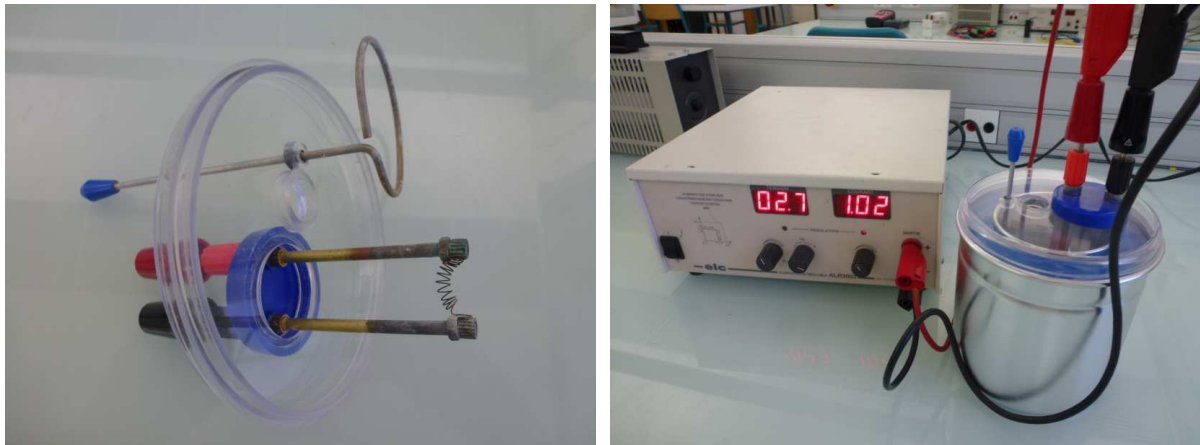


FIGURE 2 – Résistance électrique chauffante et son alimentation

terme de création. À ce moment-là, on considérerait que l'effet JOULE serait à prendre en compte dans le terme de la puissance qui entre dans le système puisque c'est le générateur électrique qui fournit cette puissance. Les deux points de vue sont tout à fait respectables, il suffit de ne pas compter deux fois la puissance JOULE ou de l'oublier. Cette puissance sera considérée comme constante.

3.2 Effet Joule et pertes

Dans cette étude, on utilise un générateur de tension continue - c'est-à-dire indépendante du temps - réglable à la fois en régulation d'intensité ou en régulation de tension. On note U la tension délivrée et affichée et I l'intensité qu'il fournit et qui va circuler dans la résistance électrique utilisée. Puisque le régime est indépendant du temps, la puissance dissipée par effet JOULE est $P_{\text{JOULE}} = UI$. U et I sont affichées sur le générateur utilisé.

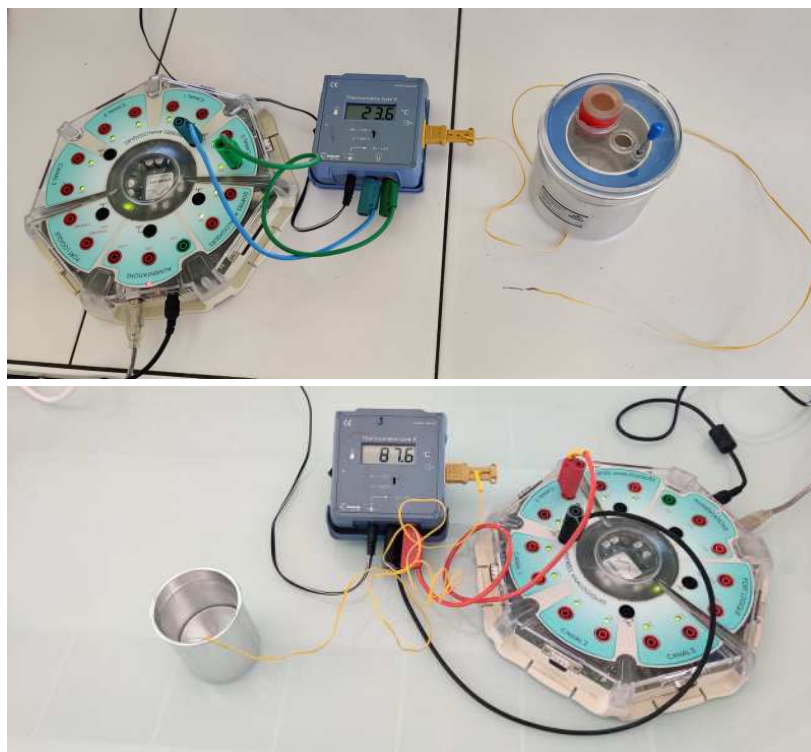


FIGURE 3 – Thermomètre à thermocouple - Baisse de la température d'une eau chaude dans le gobelet du calorimètre

Un modèle fréquent pour les pertes énergétiques d'un système est celui de NEWTON qui indique que les pertes sont proportionnelles à l'écart de température entre le système et le milieu extérieur. Ici, on suppose a priori que la température $\theta(t)$ du système est supérieure à celle de son milieu ambiant θ_a . La loi donnant la puissance perdue est :

$$P_1 = hS(\theta - \theta_a)$$

Dans la formule précédente, h représente le coefficient de convection en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ et S la surface sur laquelle s'effectue le transfert énergétique. Ces deux grandeurs sont très difficilement quantifiables et ne peuvent pas être fournies comme données utilisables.

1. Écrire l'équation différentielle à laquelle obéit la température $\theta(t)$ en faisant apparaître U et I .
2. Établir la loi d'évolution de $\theta(t)$ en fonction du temps dans le cas où le générateur est branché, en négligeant les pertes thermiques. On considérera que l'on part de la température ambiante θ_a à $t = 0$.
3. Établir une autre loi d'évolution de $\theta(t)$ dans le cas où le générateur ne serait plus branché et en considérant des pertes thermiques. Identifier un temps caractéristique que l'on notera τ .

4 Expériences

4.1 Consignes

Lors de vos activités expérimentales en TP, vous devrez systématiquement :

- * Élaborer un protocole et m'appeler pour que je le valide.
- * Mettre en œuvre ce protocole et m'appeler pour que j'évalue vos activités.
- * Communiquer les résultats dans le compte rendu sous forme de descriptions, de tableaux de mesures, de graphiques...
- * Valider les résultats en comparant les développements théoriques et les résultats expérimentaux en ayant le souci permanent de présenter de façon rigoureuse les résultats avec leur incertitude.
- * Remettre en fin de séance votre compte-rendu.

Vous serez évalué sur l'ensemble de ces exigences.

4.2 Initiative personnelle

4. Que ce soit à l'occasion de la première expérience ou de la seconde, il faudra, à un moment donné, mettre en œuvre un protocole pour déterminer le lien existant entre la température θ affichée par le thermomètre et la tension électrique mesurée sur sa sortie analogique.

5. Enregistrer la montée de température au cours du temps dans le cas du chauffage avec la résistance thermique. On part d'eau au voisinage de la température ambiante. On utilisera le fichier *Acquisitions_SP5_Calor* pour piloter l'acquisition. Grâce à une méthode utilisant un fichier *Python*, tracer le graphique d'évolution de la température et déterminer la capacité thermique Γ du calorimètre par une méthode utilisant une régression linéaire.

6. On met de l'eau très chaude dans le gobelet du calorimètre et on enregistre la baisse de la température au cours du temps. L'acquisition sera toujours pilotée par le fichier *Python* utilisé dans le cas précédent. Ensuite, en vous aidant du fichier *CalorExploit01Elev*, effectuer une régression linéaire pour déterminer la qualité du modèle proposé. On mettra en place la régression linéaire ainsi que le calcul des résidus et des écarts normalisés pour apprécier le modèle des pertes qui a été retenu. Discuter.