

Mesures de capacités thermiques

✂ Capacités exigibles

- ◇ Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure d'une grandeur thermodynamique énergétique.

⊕ Objectifs

- ◇ Déterminer la capacité thermique d'un calorimètre.
- ◇ Utiliser la méthode des mélanges pour déterminer la capacité thermique massique de différents matériaux.
- ◇ Sa familiariser avec une méthode de corrections de fuites thermiques.

I S'approprier

I/A Calorie et calorimètre

La calorie (symbole cal) est une ancienne unité de mesure exprimant une quantité d'énergie thermique (anciennement appelée « chaleur », mot qui vient lui-même de *calor* en latin). Elle est définie comme étant la quantité d'énergie que l'on doit fournir à un gramme d'eau pour que sa température passe de 15 °C à 16 °C, à pression atmosphérique (1013 hPa) :

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$$

- ◇ Un calorimètre est un récipient à doubles parois de verre, entre lesquelles on a fait un vide poussé.
- ◇ La surface de la paroi intérieure est argentée pour limiter les pertes par rayonnement thermique.
- ◇ Le calorimètre est fermé par un couvercle permettant d'introduire un agitateur, un thermomètre, une résistance chauffante.
- ◇ Pour réaliser les expériences, on introduit dans le calorimètre soit un vase en aluminium, soit un vase en verre.
- ◇ Le système est relativement bien isolé, et les échanges thermiques avec l'extérieur sont très réduits.
- ◇ Le calorimètre est caractérisé par sa capacité thermique C_{calo} (parois intérieures + instruments), ou par sa valeur en eau m_0 correspondant à la masse d'eau qui aurait la même capacité thermique que le calorimètre : on a donc $C_{\text{calo}} = m_0 c_{\text{eau}}$, avec $c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.



TABLEAU TP26.1 – Valeurs de références de capacités thermiques massiques

Matériau	Eau liquide	Plomb	Cuivre	Fer	Aluminium
$c \text{ (J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1})$	4185	129	385	444	897

I/B Méthode des mélanges

Pour mesurer une capacité thermique massique¹ inconnue d'un matériau solide, on réalise la **méthode des mélanges** :

- ◇ on mesure les températures de tous les éléments du calorimètre, qui sont normalement à la température de la pièce θ_i ;
- ◇ on insère une masse connue d'eau m_1 à température ambiante θ_i ;
- ◇ on insère une masse connue m_2 de l'élément de chaleur massique c inconnue, à la température θ_2 connue
- ◇ à l'état d'équilibre final, le calorimètre, les masses m_1 et m_2 sont à la même température θ_f .

1. Aussi dite « chaleur massique » par abus.

I/C Prise en compte des fuites : méthode de REGNAULT

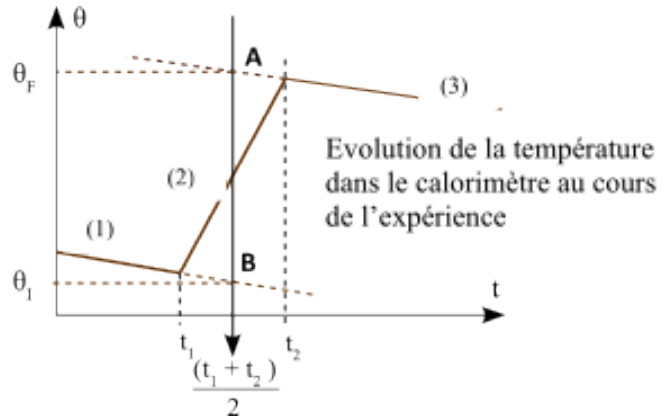
Aucune transformation n'est rigoureusement adiabatique. Des échanges de chaleur parasites entre le calorimètre et le milieu extérieur ont lieu. Ils suivent en première approximation la loi de NEWTON :

$$\delta Q = kS(\theta_{\text{calo}} - \theta_{\text{ext}}) dt$$

avec δQ la variation infinitésimale de transfert thermique, k un coefficient, S la surface de contact, θ les températures en °C et t le temps.

Il existe plusieurs méthodes pour tenter de corriger l'erreur systématique due à ces échanges de chaleur. La correction la plus courante est celle de REGNAULT.

- ◇ On met un capteur de température dans le calorimètre, afin de mesurer la température à intervalles de temps réguliers.
- ◇ L'évolution de la température est modélisée par des droites, représentées ci-contre.
- ◇ On modélise les mesures par 3 portions de droites (1), (2) et (3). On trouve alors les instants t_1 et t_2 .



- ◇ On trace ensuite la droite verticale d'équation $t = (t_1 + t_2)/2$, dont l'intersection avec les droites (1) et (3) donne les points A et B, d'ordonnées θ_i et θ_f .
- ◇ $\theta_f - \theta_i$ représente la véritable variation de température du calorimètre à utiliser dans le bilan enthalpique adiabatique.

Attention

Pour réaliser de telles courbes, il faut **commencer les mesures environ 5 minutes avant l'introduction du corps chaud et continuer environ 10 minutes à partir de la décroissance de la température.**

II Analyser : méthode des mélanges

- ① On considère le système {calorimètre, m_1 , m_2 }. Montrer que $\Delta \mathcal{H}_{\text{sys}} = 0$.
- ② En déduire une expression de c en fonction de m_1 , m_2 , m_0 , c_{eau} , θ_i , θ_2 et θ_f .

III Réaliser

III/A Mesures directes

- ③ Proposer un protocole expérimental utilisant la méthode des mélanges pour mesurer les capacités thermiques massiques c du plomb, du cuivre, du fer et de l'aluminium.

Mesures directes

- ◇ Réaliser l'expérience correspondant au protocole proposé. Attention à se placer dans des conditions expérimentales pour lesquelles l'écart de température $\theta_f - \theta_i$ est suffisamment important.
- ◇ Il faut agiter régulièrement durant la mesure pour s'assurer de conserver une température homogène.

- ① Recopier et compléter le tableau suivant sur vos comptes-rendus. Calculer les valeurs de $c_{\text{matériau}}$, $u(c_{\text{matériau}})$ et E_N sur Capytale à l'adresse <https://capytale2.ac-paris.fr/web/c/00a2-3541233>, grâce à une propagation des incertitudes par méthode MONTE-CARLO. Vous utiliserez un DataFrame du module pandas pour visualiser votre tableau Python avant de recopier les valeurs. **Pas de calculatrice en vue!**

Matériau	$\theta_i \pm u(\theta_i)$	$\theta_2 \pm u(\theta_2)$	$\theta_f \pm u(\theta_f)$	$m_1 \pm u(m_1)$	$m_2 \pm u(m_2)$	$c_{\text{matériau}} \pm u(c_{\text{matériau}})$	E_N
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

2 Commenter vos résultats de mesures en comparaison aux valeurs de référence du Tableau TP26.1.

Conseils

- ◇ Créez des tableaux! Un tableau `matériaux`, un tableau `theta_i_tab`, un tableau `utheta_i_tab`, etc.
- ◇ N’oubliez pas de mettre les unités en bout de ligne avec des commentaires.
- ◇ Vous pouvez vous inspirer du corrigé du TP24 pour un MONTE-CARLO sur un scalaire.
- ◇ **Faites une fonction Monte-Carlo** qui prend les valeurs et leurs incertitudes en entrée, qui fait la simulation et qui renvoie la valeur moyenne et son incertitude; il vous suffira d’appliquer la fonction sur les tableaux pour avoir le tableau des résultats.

III/B Mesures avec LatisPro

Le tracé de la courbe d’évolution de la température dans le calorimètre $\theta = f(t)$ se fait automatiquement par l’intermédiaire d’une sonde de température reliée à l’interface `Sysam` de l’ordinateur et au logiciel `LatisPro`.

Mesures avec fuites

- ◇ Ôter le thermomètre du calorimètre et le remplacer par la sonde thermique reliée à la carte d’acquisition `Sysam`.
- ◇ Renseigner les réglages suivants
 - ▷ Mode : température
 - ▷ Durée d’acquisition : 900 s
 - ▷ Nombre de points : 100
- ◇ Prendre soin de respecter le temps de mesure avant et après l’insertion comme indiqué dans la partie « S’approprier ».

4 Adapter le protocole expérimental précédent utilisant la méthode des mélanges pour mesurer les capacités thermiques massiques en utilisant la méthode de REGNAULT.

3 Reprendre les mesures dans un **nouveau tableau**, toujours à l’aide de `Capytale`.

Matériau	$\theta_i \pm u(\theta_i)$	$\theta_2 \pm u(\theta_2)$	$\theta_f \pm u(\theta_f)$	$m_1 \pm u(m_1)$	$m_2 \pm u(m_2)$	$c_{\text{matériau}} \pm u(c_{\text{matériau}})$	E_N
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

4 Commenter vos résultats de mesures en comparaison aux valeurs de référence du Tableau TP26.1.