

TP 9 – Calorimétrie et loi de refroidissement

Le programme officiel

Notions et contenus	Capacités exigibles Activités expérimentales support de la formation
Capacité thermique d'un système incompressible. Énergie interne d'un système incompressible.	Exploiter l'expression de la variation d'énergie interne d'un système incompressible en fonction de sa capacité thermique et de la variation de sa température pour effectuer un bilan énergétique. <i>Effectuer l'étude énergétique d'un système thermodynamique.</i>
Loi phénoménologique de Newton, modélisation de l'évolution de la température d'un système au contact d'un thermostat.	Effectuer un bilan d'énergie pour un système incompressible échangeant de l'énergie par un transfert thermique modélisé à l'aide de la loi de Newton fournie. Établir l'expression de la température du système en fonction du temps. <i>Suivre et modéliser l'évolution de la température d'un système incompressible.</i> Capacités mathématiques : Résoudre une équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants avec un second membre constant.

Les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

Compétences	Quelques exemples de capacités associées
Réaliser	- Mettre en œuvre les étapes d'une démarche. - Utiliser un modèle. - Effectuer des procédures courantes (calculs, représentations, collectes de données, etc.). - Mettre en oeuvre un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité.
Valider	- Faire preuve d'esprit critique, procéder à des tests de vraisemblance. - Identifier des sources d'erreur, estimer une incertitude, comparer à une valeur de référence. - Confronter un modèle à des résultats expérimentaux. - Proposer d'éventuelles améliorations de la démarche ou du modèle.
Communiquer	À l'écrit comme à l'oral : - présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente ; - utiliser un vocabulaire adapté et choisir des modes de représentation appropriés ; - échanger entre pairs.

Mesure et incertitudes

NOTIONS ET CONTENUS	Capacités exigibles
Écriture du résultat. Valeur de référence.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure. Comparer, le cas échéant, le résultat d'une mesure m_{mes} à une valeur de référence m_{ref} en utilisant le quotient $\frac{ m_{mes} - m_{ref} }{u(m)}$ où $u(m)$ est l'incertitude-type associée au résultat.

Capacités expérimentales

- Mettre en œuvre un protocole permettant d'estimer une énergie transférée électriquement ou mécaniquement.
- Mettre en œuvre un dispositif pour réaliser un bilan énergétique et suivre l'évolution de la température d'un système.

TP 9 – Calorimétrie et loi de refroidissement

Matériels

Matériels bureau :

- 1 bain marie réglé à 80°C contenant un tube à essai rempli de 15 mL d'eau et surmonté d'un capteur de température capstone ;
- 1 porte tube ;
- le pc professeur avec capstone d'ouvert et paramétré pour une acquisition toutes les minutes (courbe + valeur) ;
- du papier absorbant.

Matériels élèves :

- 1 PC avec Regressi ;
- 1 grand calorimètre avec couvercle et agitateur ;
- 1 éprouvette graduée de 500 mL ;
- 1 bécher de 200 mL ;
- 1 pince métallique (pour prendre le cylindre dans l'étuve) ;
- 1 thermomètre numérique ;

Matériels dans la salle :

- 2 balances.

Matériels étuve :

- 1 étuve réglée à 100 °C (voire plus) avec thermomètre numérique présentant la température ;
- 3 cylindres en aluminium ;
- 3 cylindres en fer ;
- 2 cylindres en cuivre ;
- 2 cylindres en laiton ;
- 2 cylindres en plomb.

TP 9 – Calorimétrie et loi de refroidissement

1. Détermination de la capacité thermique massique d'un solide

1.1. Un peu de théorie

La **capacité thermique massique c** d'un corps est l'énergie que doit recevoir **1 kg** ce corps pour élever sa température de **1 Kelvin** (ou de 1 degré Celsius).

On peut donc écrire : $\Delta U = m c \Delta T$

ΔU : énergie reçue ou fournie en J

c en $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

$\Delta T = T_{\text{final}} - T_{\text{initial}}$ en K (ou en $^{\circ}\text{C}$)

T (en K) = θ (en $^{\circ}\text{C}$) + 273,15

Ainsi, dire que l'eau a une capacité thermique de $4,18.10^3 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ signifie qu'il faut fournir une énergie de 4 180 J si on veut que 1 kg d'eau voit sa température augmenter de 1 K (ou de 1 $^{\circ}\text{C}$).

1.2. Manipulation

Un solide de masse m est chauffé dans une étuve à une température $\theta_{i,m}$ proche de 100°C . On le transfère rapidement dans l'eau du calorimètre (*figure 2*). On a relevé juste avant la température de l'eau $\theta_{i,e}$. On agite l'eau et on note la température d'équilibre : θ_f .

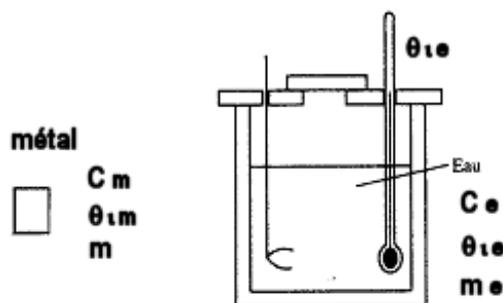


Figure 1
État initial

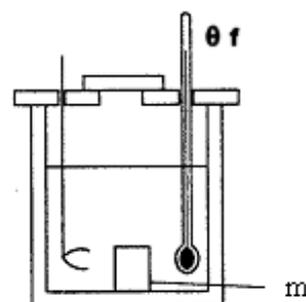


Figure 2
État final

- Mesurer un volume $V = 300 \text{ mL}$ d'eau « froide » à l'éprouvette.
- Verser cette eau dans le calorimètre.
- Mesurer la température $\theta_{i,e}$ de l'eau dans le calorimètre après 1 –2 minutes (le temps de l'équilibre thermique avec le calorimètre).
- Aller chercher un cylindre métallique dans l'étuve. Noter $\theta_{i,m}$ la température de l'étuve (et donc du métal).
- Plonger rapidement le cylindre métallique dans le calorimètre.
- Agiter l'eau avec l'agitateur jusqu'à la température d'équilibre : θ_f (soyez très précis !).
- Retirer le cylindre, essuyez le et pesez le sur la balance. Noter sa masse m .

1.3. Calculs

La capacité thermique globale du calorimètre est $C_{cal} = 120 \text{ J.K}^{-1}$, le calorimètre aura donc une variation de son énergie interne $\Delta U_{calorimètre} = C_{cal} (\theta_f - \theta_{ie})$.

Par ailleurs le système calorimètre + ce qu'il contient est isolé c'est-à-dire qu'il n'a pas d'échanges d'énergie avec l'extérieur donc $\Sigma \Delta U_{constituants \text{ du système}} = 0$

- 1- Calculer $\Delta U_{calorimètre}$.
- 2- Calculer ΔU_{eau} .
- 3- Exprimer $\Delta U_{métal}$ en fonction de $c_{métal}$.
- 4- Utiliser la relation de conservation de l'énergie pour en déduire $c_{métal}$.

1.4. Validation

Voici les valeurs théoriques des capacités thermiques massiques de différents métaux :

Métal	Aluminium	Fer	Cuivre	Laiton	Plomb
c en $\text{J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$	897	444	385	377	126

- 5- En fonction de l'apparence du cylindre, déterminer de quel métal il est constitué.
- 6- Comparer alors la valeur expérimentale de la capacité thermique massique du cylindre à la valeur théorique et calculer l'écart relatif.
- 7- Conclure en proposant une amélioration du protocole.

2. Loi de refroidissement

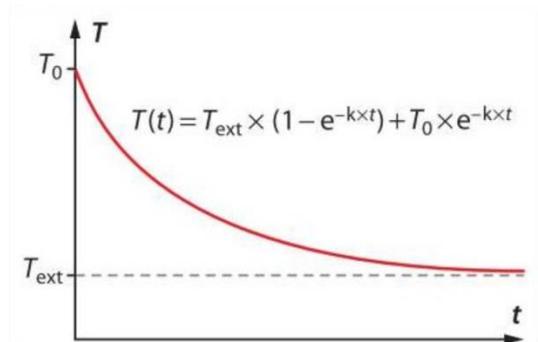
2.1. Un peu de théorie

La loi de refroidissement de Newton dit que le taux de perte de chaleur d'un corps est proportionnel à la différence de température entre le corps et le milieu environnant.

En mathématiques cela se traduit par l'équation :

$$T(t) = (T_0 - T_{ext}) \times e^{-k \times t} + T_{ext}$$

- Avec :
- $T(t)$: température du système en fonction du temps t
 - T_0 : température initiale du système
 - T_{ext} : température extérieure au système (supposée constante)
 - k : constante



2.2. Manipulation

Au bureau du professeur, un tube à essai contenant 15 mL d'eau initialement à une température d'environ 80 °C est placé à l'air libre à une température d'environ 20 °C. Un capteur relève la température toutes les minutes pour une acquisition automatique. Les données sont enregistrées dans un fichier .csv (tableur).

2.3. Modélisation

A l'aide de Regressi, ouvrir le fichier .csv puis modéliser la courbe $T(t)$ par une loi de refroidissement de Newton.

- 8- La modélisation concorde-t-elle en tous les points ?
- 9- Déterminer les constantes : T_0 , T_{ext} et k.
- 10- Conclure.