

Évaluation de la capacité calorifique à volume constant

## Projet Prometheus : Mesure de la capacité calorifique de l'eau

Introduction : .....	3
Matériels : .....	3
Protocole expérimental : .....	3
explication théorique : .....	4
théorie thermodynamique .....	4
théorie de la dissipation de chaleur .....	4
application du protocole expérimental : .....	5
Source d'incertitude et calcul d'erreur .....	5
Présentation des résultats : .....	5
Discussion et conclusion : .....	6

## Introduction :

Dans le cadre du Printemps des Sciences et sous l'encadrement de nos professeurs, nous, étudiants de deuxième année de physique à l'Université Libre de Bruxelles, inspirés par l'expérimentation pionnière de Joule en thermodynamique, avons dédié notre projet à élucider les mécanismes de transfert d'énergie électrique en chaleur dans un système isolé en évaluant la mesure de la capacité calorifique massique isochore de l'eau. Cependant le protocole expérimental suivant peut être utilisé pour tous les liquides.

## Matériels :

Bouteille isotherme (vase Dewar), pour limiter les échanges avec l'environnement.

Eau distillée (conseillée pour sa pureté mais qui peut être remplacée par l'eau distillée si nécessaire)

Thermoplongeur

Thermomètre

Balance pour mesurer la masse de l'eau

Chronomètre

## Protocole expérimental :

- Introduction du thermoplongeur dans la bouteille
- Introduction de thermomètre dans la bouteille
- Mesure de la masse du système bouteille + thermoplongeur + thermomètre avec la balance (1)
- Remplissage de la bouteille d'eau
- Mesure de la masse du système bouteille + thermoplongeur + thermomètres + eau (2)
- Calcul de la masse d'eau (2)-(1)
- Relevé de la température initiale de l'eau
- Mise sous tension du thermoplongeur
- Initialisation du thermomètre
- Attente (une dizaine de seconde)
- Arrêt du thermomètre
- Attente (pour que la chaleur se répartisse uniformément) jusqu'à ce que la température affichée par le thermomètre soit stable
- Relevé de la température finale de l'eau et application de la formule  $P \cdot t = m \cdot c_V \cdot \Delta T$

## Explication théorique :

### Théorie thermodynamique

La capacité calorifique massique est par définition donné par :  $Q = P \cdot \Delta t = m \cdot c_V \cdot \Delta T$

où Q est la chaleur. P la puissance du dispositif chauffant.  $\Delta t$  l'intervalle de temps de la mesure. m la masse de liquide.  $c_V$ , la capacité calorifique massique isochore.  $\Delta T$  la variation de température entre le début et la fin de l'expérience.

### Théorie de la dissipation de chaleur

Pour un dispositif électrique soumis à une différence de potentielle V

Soit  $\Delta E$  l'énergie consommée par unité de temps  $\Delta t$ :

$$\Delta E = Q \cdot V = I \cdot \Delta t \cdot V \quad (1)$$

Par ailleurs, la puissance

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

Il en suit que la puissance dissipée par effet Joule qu'on note P est donnée par:

$$P = I \cdot V \quad (2)$$

Pour les matériaux ohmiques, on peut écrire :

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (3)$$

De plus, posons L et S la longueur et la surface du matériau traversé par le courant I. Et  $\rho$  la résistivité du matériau. Notons que  $\rho \in \mathbb{R}$  dans le cas où le matériau n'a pas de préférence de conduction comme le cuivre (sinon,  $\rho$  est une matrice) . Ainsi on a :

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} \quad (4)$$

En posons T le temps nécessaire que l'énergie E soit dissipée dans le circuit, on a alors que:

$$E = T \cdot P = T \cdot \frac{V^2}{R} = T \cdot V \cdot \left(\rho \cdot \frac{L}{S}\right)^{(-1)} \quad (5)$$

Ainsi, en connaissant la longueur et surface du fil utilisé, on peut évaluer l'énergie dissipée dans le liquide

## Application du protocole expérimental :

Nous appliquons le protocole expérimental présenter ci-dessus ([Protocole expérimental :](#))

### Source d'incertitude et calcul d'erreur

Nous détaillerons ici le calcul de l'incertitude :

En posant :  $f = f(t, p, m, c, \Delta T)$ , l'incertitude sur notre résultat est donnée par :

$$\sum_{i=1}^n \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i\right)^2} \text{ (source phys-F110), ainsi on trouve : } \sigma(\Delta T) = \sqrt{\left(\frac{t}{mc} \sigma(p)\right)^2 + \left(\frac{p}{mc} \sigma(t)\right)^2 + \left(\frac{pt}{cm^2} \sigma(m)\right)^2 + \left(\frac{pt}{mc^2} \sigma(c)\right)^2}$$

Où:

$\sigma(x)$ -incertitude absolue ;  $x = \{t, p, m, c, \Delta T\}$

$\Delta T$  -La variation de température en °C

$m$  -La masse de l'eau en kg

$P$  -Puissance en W

$t$  -Temps de chauffage en s

### Présentation des résultats :

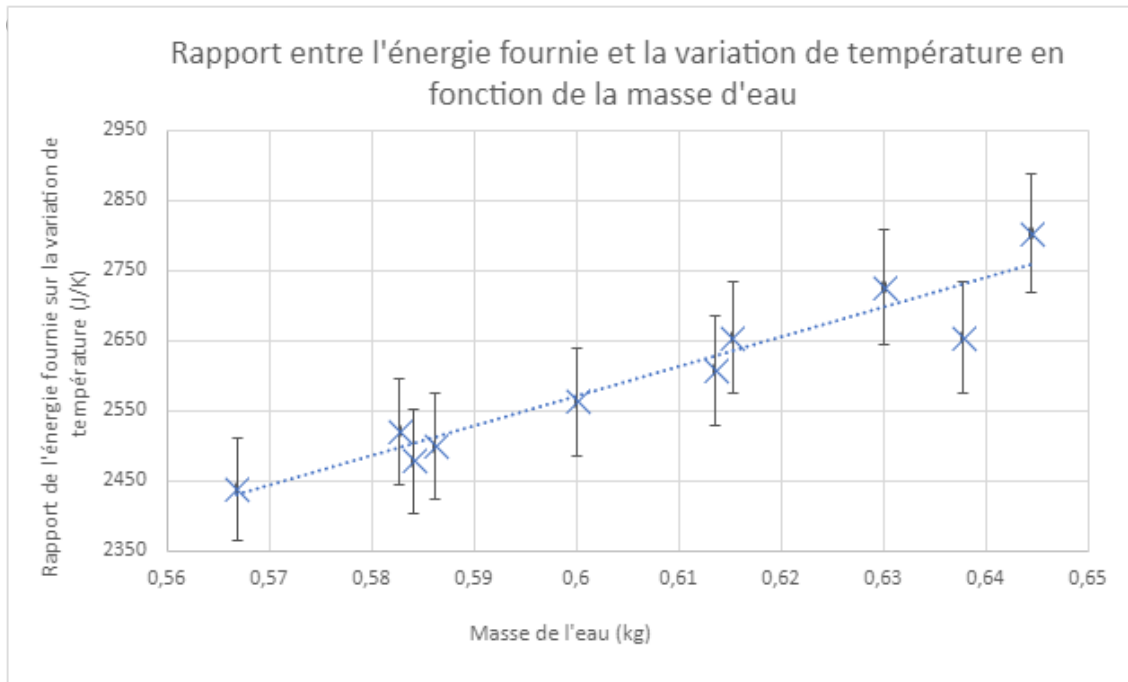
Pour rendre les mesures plus précises, plusieurs précautions ont été mises en place :

- Qualité de l'isolation thermique.
- Utilisation de l'eau distillée exempte d'impuretés, de minéraux et de gaz dissous.
- Calibration des instruments de mesure (thermomètres, balances, instruments de mesure de courant et de tension) avant l'expérience.

Les mesures récoltées lors de l'expérience sont présentées dans le tableau ci-dessous :

énergie en J	masse en Kg	$\Delta T$ en °C	Cv en J/(Kg.K)
29999,97	0,63	11	4329
30000,4931	0,6444	10,7	4351
32009,0964	0,6377	11,3	4442
30003,48	0,6	11,7	4274
29998,9669	0,5668	12,3	4303
29997,0464	0,5827	11,9	4326
29998,923	0,6135	11,5	4252
29996,868	0,584	12,1	4245
29996,598	0,5861	12	4265
29996,8444	0,6152	11,3	4315

On présente également le graphe du rapport de l'énergie fournie et la variation de température en fonction de la masse:



En analysant les augmentations de température en fonction de l'énergie appliquée, nous avons observé une relation linéaire, conformément à la théorie de la capacité calorifique. La valeur de la capacité calorifique déterminée à partir du graphique était de  $4230 \text{ J K}^{-1} \text{ Kg}^{-1}$ , proche de la valeur standard de l'eau de  $4142,8 \text{ J K}^{-1} \text{ Kg}^{-1}$  (d'après the national institute of standards and technology), indiquant une précision expérimentale élevée. Des variations mineures observées sont discutées en termes de précision des instruments de mesure et de pertes thermiques potentielles.

On obtient la valeur numérique suivante :

$$C_V = (4230 \pm 100) \text{ J K}^{-1} \text{ Kg}^{-1}, \text{ soit une précision relative de } 97,3\%$$

### Discussion et conclusion :

Cette expérience visait à mesurer la capacité calorifique de l'eau en analysant le transfert d'énergie sous forme de chaleur résultante de l'application d'énergie électrique. Les résultats obtenus discutés là-dessus s'aligne étroitement avec la valeur standard ( $4142,8 \text{ J K}^{-1} \text{ Kg}^{-1}$ ), indiquant la précision de notre méthode expérimentale, la fiabilité de notre dispositif expérimental et l'efficacité des précautions tenues en compte. Toutefois, les légères divergences peuvent être attribués à des limitations expérimentale, difficiles à surpasser.

Pour approfondir cette étude, il serait pertinent d'explorer l'effet de différentes méthodes d'isolation sur la précision des mesures de capacité calorifique. Des expériences ultérieures

pourraient également bénéficier de l'utilisation de plusieurs instruments de mesure pour augmenter la fiabilité des données.

En conclusion, cette expérience a permis de confirmer la valeur de la capacité calorifique de l'eau avec une précision satisfaisante, démontrant l'efficacité de notre méthode et de nos précautions expérimentales.

Le projet Prometheus est né des idées originales de Nour Mouhssine, Kuba Raszkievicz, Claudia Maggioni et Oscar Houzé.

si vous désirez plus de précision ou prendre contact pour tout autre raison, n'hésitez pas à écrire à [oscar.houze@ulb.be](mailto:oscar.houze@ulb.be)

