

Méthodes expérimentales

TP 3: Chaleur spécifique, calorimétrie

MENARD Alexandre
VIEILLEDENT Florent

25 février 2022

Introduction

Dans ce travail pratique, on déterminera les coefficients thermiques, ainsi que les coefficients thermiques massiques et molaires de l'eau, du vase et de plusieurs métaux. On évaluera également les fuites thermiques du calorimètre pour mettre en avant de potentielles erreurs dans nos expériences précédentes.

On s'appuiera sur des modèles théoriques pour comparer nos mesures à la théorie. Pour effectuer nos comparaisons, on utilisera les outils numériques adéquats.

1 Première expérience : Détermination de la capacité thermique de l'eau et du vase calorimétrique

Le but de cette expérience est de déterminer la capacité thermique de l'eau. On utilisera principalement un calorimètre et une résistance chauffante de 5Ω , pour pouvoir établir une relation entre la température de l'eau et le temps passé à chauffer de l'eau. On pourra en même temps estimer la capacité thermique du vase calorimétrique.

1.1 Expérimentation

Nous effectuerons la même expérience pour différentes masses d'eau et pour différents voltages. Pour la première série de mesure, on utilise $450g$ d'eau et une tension de $12V$. On remplit la cuve interne du calorimètre avec la masse d'eau souhaitée, qu'on a pesé avec une balance. On agite l'eau pour que cela soit homogène et on relève la température grâce au thermomètre. On met ensuite en place la résistance chauffante dans l'eau. La résistance est branchée à l'alimentation qui est elle même réglée sur $12V$. On lance le chronomètre et on relève la température toutes les minutes et ceci pendant 15 minutes. On mélange l'eau pendant 15 secondes avant la mesure pour s'assurer que la température soit homogène.

On recommence ensuite l'expérience avec la même masse d'eau mais une tension de $6V$. Pour la dernière série de mesure, on utilise une tension de $12V$ et une masse d'eau de $800g$.

1.2 Données

L'incertitude sur la température nous est donnée par le thermomètre et est de $\delta T = 0.2^\circ C$ (valeur issue du manuel du thermomètre trouvé sur le site du constructeur). L'incertitude sur la masse est de $\delta m = 0.1g$ (donnée fournie par la balance). On estime l'incertitude sur le temps à $\pm 1s$, car c'est le temps que nous mettons pour lire le chronomètre puis le thermomètre. L'incertitude sur la tension nous est donnée par la dernière décimale affichée par le générateur, donc $\delta U = \pm 0.1V$.

Le tableau des données est donné en annexe.

1.3 Exploitation des données

On trace le graphique de la température en fonction de la température :

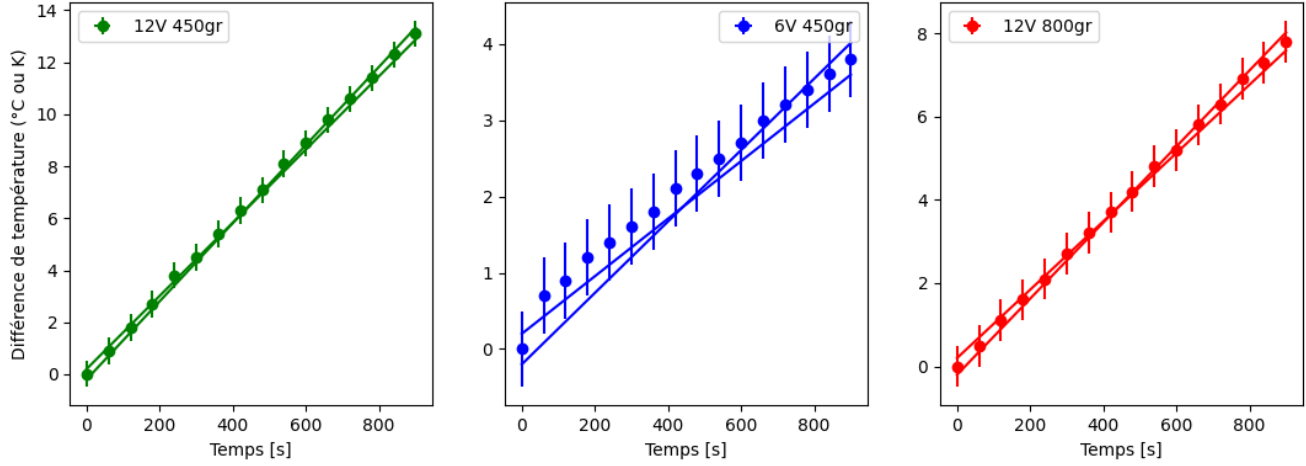


FIGURE 1 – Température (en Kelvin) en fonction du temps pour les 3 expériences

On remarque que la température évolue linéairement, ainsi, la température est fonction du temps, et qu'il existe un coefficient directeur que l'on peut déterminer à l'aide de la méthode des pentes extrêmes. Dans le cas de la deuxième expérience, on remarque que la température augmente moins rapidement que les deux autres expériences.

Soient t_i, t_f, T_i, T_f , respectivement le temps initial, final et la température initiale et finale. On applique la formule suivante afin d'obtenir le coefficient directeur a ainsi que l'incertitude associée δa :

$$a_{max} = \frac{(T_f + \delta T) - (T_i - \delta T)}{(t_f - \delta t) - (t_i + dt)}$$

$$a_{min} = \frac{(T_f - \delta T) - (T_i + \delta T)}{(t_f + \delta t) - (t_i - dt)}$$

$$a = \frac{a_{max} + a_{min}}{2}$$

$$\delta a = \frac{a_{max} - a_{min}}{2}$$

On obtient donc les valeurs suivantes grâce à cette méthode pour les trois expériences :

— Expérience 1 : $a_1 = 0.0146 K.s^{-1}$ et $\delta a_1 = 0.0005 K.s^{-1}$

— Expérience 2 : $a_2 = 0.0042 K.s^{-1}$ et $\delta a_2 = 0.0005 K.s^{-1}$

— Expérience 3 : $a_3 = 0.0087 K.s^{-1}$ et $\delta a_3 = 0.0005 K.s^{-1}$

De façon plus générale, on posera $\delta a = 0.0005 K.s^{-1}$ pour les trois expériences.

1.3.1 Calcul théorique, résultat attendu

Dans notre système, on trouve deux parties, l'eau de masse m_{eau} et le vase de masse m_{vase} en aluminium. Ainsi, la capacité thermique totale (grandeur extensive) de notre système est donc :

$$C_V = m_{eau}c_{eau} + m_{vase}c_{vase} \quad (1)$$

En posant que $c_{eau} = 4185 J.kg^{-1}.K^{-1}$ et $c_{vase} = 921 J.kg^{-1}.K^{-1}$ (car constitué d'aluminium), on peut déterminer la valeur théorique de C_V que l'on doit obtenir par l'expérience :

Expérience n°	m_{eau} (en kg)	m_{vase} (en kg)	C_V (en $J.K^{-1}$)	$C_V(eau)$ (en $J.K^{-1}$)
1	0.450	0.0969	1973	1883
2	0.450	0.0969	1973	1883
3	0.800	0.0969	3437	3348

TABLE 1 – Calcul théorique de la capacité thermique totale

Si le vase est négligeable, on doit trouver une valeur aux alentours de $1883 J.kg^{-1}.K^{-1}$ ou $3348 J.kg^{-1}.K^{-1}$ selon l'expérience. Si l'on trouve un résultat différent, on pourra en déduire que la capacité du vase n'est pas négligeable.

1.3.2 Calcul expérimental, résultat obtenu

Le système {eau+vase calorimétrique} est liquide pour l'eau, et solide pour le vase. Ainsi, le volume est constant et la pression aussi. La relation pour la chaleur est donc :

$$\delta Q = C_V dT \quad (2)$$

avec δQ la chaleur fournie et C_V la capacité thermique.

On suppose que C_V est constant sur la gamme de température utilisée, on a donc :

$$Q = C_V \Delta T = P \Delta t \quad (3)$$

avec P la puissance fournie et Δt la durée pendant laquelle on a injecté du courant dans la résistance.

On néglige dans un premier temps la présence du vase calorimétrique, de cette façon, nos mesures devraient fournir directement la valeur de C_{eau}^{exp} , la capacité thermique de l'eau. En déterminant la valeur de C_{eau}^{exp} pour chaque expérience, on pourra les comparer à la valeur théorique C_V déterminer plus tôt et déduire si l'on peut réellement négliger le vase ou non.

$$C_{eau}^{exp} \Delta T = UI \Delta t \Rightarrow C_{eau}^{exp} = \frac{UI \Delta t}{\Delta T} = \frac{U^2 \Delta t}{R \Delta T} \quad (4)$$

Pour calculer notre incertitude, on utilise la méthode des dérivées partielles :

$$\begin{aligned}\delta C_{eau}^{exp} &= \left| \frac{\partial C_{eau}^{exp}}{\partial U} \right| \delta U + \left| \frac{\partial C_{eau}^{exp}}{\partial \Delta T} \right| \delta(\Delta T) + \left| \frac{\partial C_{eau}^{exp}}{\partial \Delta t} \right| \delta(\Delta t) \\ &= \frac{2U\Delta t}{R\Delta T} \delta U + \frac{U^2\Delta t}{R\Delta T^2} \delta(\Delta T) + \frac{U^2}{R\Delta T} \delta(\Delta t)\end{aligned}$$

On obtient les résultats suivants pour les 3 expériences :

Expérience n°	C_{eau}^{exp} (en $J.K^{-1}$)
1	1978 ± 111
2	1705 ± 283
3	3323 ± 272

TABLE 2 – Valeur de C_{eau}^{exp} pour les 3 expériences

Nos incertitudes sont bien trop grandes pour pouvoir conclure sur la négligeabilité du vase dans notre système. Cependant, on peut tout de même utiliser ces valeurs lorsque l'on a besoin de la capacité thermique du système entier.

On doit donc utiliser une approche différente afin de distinguer la capacité thermique du vase et celle de l'eau. On note désormais $C_V = C_{eau}^{exp}$, car dans nos valeurs de C_{eau}^{exp} , on a les deux capacités thermiques. On distingue les capacités thermiques de chaque expérience en notant C_{V1}, C_{V2}, C_{V3} . On a donc le système suivant :

$$\begin{cases} C_{V1} = C_{eau1} + C_{vase} \\ C_{V3} = C_{eau3} + C_{vase} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_{vase} = C_{V1} - m_{eau1} \times \frac{C_{V3} - C_{V1}}{m_{eau3} - m_{eau1}} \\ c_{eau} = \frac{C_{V3} - C_{V1}}{m_{eau3} - m_{eau1}} \end{cases}$$

On peut enfin faire l'application numérique et obtenir C_{vase} et c_{eau} :

$$c_{eau} = 3843 \pm 1127 J.kg^{-1}.K^{-1} \quad C_{vase} = 248 \pm 618 J.K^{-1} \quad (5)$$

1.3.3 Conclusion et interprétation

En théorie, la valeur de c_{eau} est de $4185 J.kg^{-1}.K^{-1}$ et la valeur de c_{vase} est $897 J.kg^{-1}.K^{-1}$ soit dans notre cas $C_{vase}^{th} = m_{vase} * c_{vase} \approx 87 J.K^{-1}$ et $C_{eau}^{th} = m_{eau} * c_{eau} \approx 1883$ ou $3348 J.K^{-1}$ (selon si la masse d'eau fait 450 ou 800gr) Nos mesures permettent de voir que c_{eau} ainsi que C_{vase} avec des incertitudes sont dans les valeurs théoriques, cependant, nos incertitudes représentent environ 25% pour c_{eau} et 300% pour C_{vase} ce qui rend nos résultats inutilisables pour interpréter une quelconque valeur de c_{eau} ou C_{vase} .

Nous avons exploré la possibilité d'erreur dans nos calculs d'incertitudes et d'erreurs de calculs. Il reste la possibilité que nos mesures soient erronées, que nos appareils de mesures soient également pas suffisamment précis pour atteindre une précision satisfaisante pour détecter un écart de la capacité thermique à celle théorique et donc en déduire C_{vase} . En conclusion, il serait nécessaire de reproduire cette expérience afin de voir si l'on retrouve les mêmes résultats afin de déterminer le type d'erreurs que nous avons rencontré.

2 Deuxième expérience : Capacités thermiques massiques de quelques solides

Le but de cette expérience est de déterminer la capacité massique du duralumin, du laiton, du téflon et du plexiglas. On utilisera pour cela la relation suivante :

$$T_f = \frac{C_0 T_0 + C_1 T_1}{C_0 + C_1} \quad (6)$$

avec C_0 la capacité thermique du système {eau+vase}, C_1 la capacité thermique du métal, T_0 la température initiale de l'eau, T_1 la température initiale du métal et T_f la température finale de l'eau.

2.1 Expérimentation

On place 450g d'eau dans le calorimètre et on mesure sa température après avoir agité. On place un morceau du solide qu'on souhaite étudier dans de l'eau bouillante, dont on mesure aussi la température. Après quelques minutes, on retire le solide de l'eau bouillante et on le met dans le calorimètre. On agite en continu l'eau tout en surveillant la température. On note cette dernière lorsqu'elle atteint un maximum. On retire ensuite le solide et on le pèse après l'avoir séché.

2.2 Données

On reprend les notations de l'équation (6). Les incertitudes sont données par la balance et le thermomètre. Pour tous les solides, on a $T_1 = 94.6 \pm 0.2^\circ C$ (issu du manuel du thermomètre) :

Solide	$m_{eau} \pm 0.1g$	$m_{solide} \pm 0.1g$	$T_0 \pm 0.2^\circ C$	$T_f \pm 0.2^\circ C$
Laiton	451.1	82.7	21.1	22.4
Téflon	451.1	32.5	22.3	23.4
Plexiglas	450.0	47.8	22.3	23.4
Duralumin	452.5	77.2	21.1	24.0

TABLE 3 – Mesures pour les différents solides de l'expérience 2

2.3 Exploitation des données

On détermine la capacité thermique C_0 du système en utilisant les valeurs théoriques des capacités thermiques $c_{eau} = 4185 J.kg^{-1}.K^{-1}$ et $c_{aluminium} = 897 J.kg^{-1}.K^{-1}$. On a mesuré $m_{vase} = 96.9 \pm 0.1g$

$$C_0 = c_{eau}m_{eau} + c_{aluminium}m_{vase} \quad (7)$$

Calcul des incertitudes :

$$\begin{aligned} \delta C_0 &= \left| \frac{\partial C_0}{\partial m_{eau}} \right| \delta m_{eau} + \left| \frac{\partial C_0}{\partial m_{vase}} \right| \delta m_{vase} \\ &= c_{eau} \delta m_{eau} + c_{aluminium} \delta m_{vase} \end{aligned}$$

On cherche la capacité thermique molaire des matériaux. On va déterminer la capacité thermique du solide grâce à l'équation (6) :

$$\begin{aligned} T_f &= \frac{C_0 T_0 + C_1 T_1}{C_0 + C_1} \Rightarrow T_F C_0 + T_F C_1 = C_0 T_0 + C_1 T_1 \\ &\Rightarrow C_1 (T_F - T_1) = C_0 (T_0 - T_F) \\ &\Rightarrow C_1 = \frac{C_0 (T_0 - T_F)}{T_F - T_1} \end{aligned}$$

On calcule l'incertitude associée :

$$\begin{aligned} \Delta C_1 &= \left| \frac{\partial C_1}{\partial C_0} \right| \Delta C_0 + \left| \frac{\partial C_1}{\partial T_0} \right| \Delta T_0 + \left| \frac{\partial C_1}{\partial T_1} \right| \Delta T_1 + \left| \frac{\partial C_1}{\partial T_F} \right| \Delta T_F \\ &= \frac{T_0 - T_F}{T_F - T_1} \Delta C_0 + \frac{C_0}{T_1 - T_F} \Delta T_0 + \frac{C_0 (T_F - T_0)}{(T_F - T_1)^2} \Delta T_1 + \frac{C_0 (T_F - T_0)}{(T_F - T_1)^2} \Delta T_F \end{aligned}$$

On peut calculer la capacité thermique massique pour chaque solide :

$$c_{solide} = \frac{C_1}{m_{solide}} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \delta c_{solide} &= \left| \frac{\partial c_{solide}}{\partial C_1} \right| \delta C_1 + \left| \frac{\partial c_{solide}}{\partial m_{solide}} \right| \delta m_{solide} \\ &= \frac{\delta C_1}{m_{solide}} + \frac{C_1}{(m_{solide})^2} \delta m_{solide} \end{aligned}$$

Il faut maintenant calculer la masse molaire de chaque matériau. On a déjà la formule brute du plexiglas ($C_5H_8O_2$) et du téflon (C_2F_4). On a les masses molaires suivantes :

$$\begin{aligned} M_{plexiglas} &= 5M_C + 8M_H + 2M_O & M_{teflon} &= 2M_C + 4M_F \\ &= 5 \times 12 + 8 + 2 \times 16 & &= 2 \times 12 + 4 \times 19 \\ &= 100 \text{ g.mol}^{-1} & &= 100 \text{ g.mol}^{-1} \end{aligned}$$

Pour le laiton et le duralumin, il faut calculer la masse molaire du matériau à partir des proportions massique qu'on note w_i . On a :

$$M_{solide} = \frac{m_{totale}}{n_{totale}} \quad w_i = \frac{m_i}{m_{totale}}$$

Pour un alliage de métaux, on a :

$$n_{totale} = \sum_i n_i = \sum_i \frac{m_i}{M_i} = \sum_i \frac{m_{totale} w_i}{M_i}$$

On injecte dans la précédente équation et on obtient :

$$M_{solide} = \frac{1}{\sum_i \frac{w_i}{M_i}} \quad (9)$$

On fait l'application numérique pour le laiton et le duralumin avec :

- les fraction massiques pour le laiton : $w_{zinc} = 0.4$, $w_{plomb} = 0.02$, $w_{cuivre} = 0.58$
- les fractions massiques pour le duralumin : $w_{silicium} = 0.005$, $w_{fer} = 0.0035$, $w_{cuivre} = 0.04$, $w_{manganese} = 0.007$, $w_{magnesium} = 0.007$, $w_{zinc} = 0.0025$, $w_{aluminium} = 0.935$

On obtient :

$$M_{laiton} = 65.2 \text{ g.mol}^{-1}$$

$$M_{duralumin} = 27.8 \text{ g.mol}^{-1}$$

On utilise maintenant les relations $c_{molaire} = c_{solide} M_{solide}$ et $\delta c_{molaire} = c_{solide} \delta M_{solide} + M_{solide} \delta c_{solide}$ puis on regroupe nos résultats dans un tableau.

Solide	$C_0 \pm 0.5(J.K^{-1})$	$C_{solide}(J.K^{-1})$	$c_{solide}(J.kg^{-1}.K^{-1})$	$c_{molaire}(J.mol^{-1}.K^{-1})$
Laiton	1977.1	36 ± 11	430 ± 135	28 ± 9
Téflon	1977.1	31 ± 11	939 ± 350	94 ± 35
Plexiglas	1972.5	30 ± 11	637 ± 237	64 ± 24
Duralumin	1983.0	67 ± 12	872 ± 152	24 ± 4

2.4 Conclusion

Dans cette expérience, on a réussi à obtenir des résultats satisfaisant avec des capacités thermiques massiques proches des valeurs théoriques. Cependant, on notera un seul solide qui n'a pas une capacité thermique massique correspondante à celle théorique. Selon nos mesures, on déduit que $c_{plexiglas} \in [400, 874]$, ce qui est environ la moitié de la valeur théorique avec $c_{plexiglas}^{th} \approx 1400 J.kg^{-1}.K^{-1}$.

L'erreur viendrait de la manière dont nous avons réalisé l'expérience. De part la grande valeur de la capacité thermique massique du plexiglas, il faut presque 2 fois plus d'énergie pour élever d'un degré le plexiglas par rapport aux autres solides à masse égale. Or, nous avons laissé pendant le même laps de temps les solides dans l'eau bouillante. Le plexiglas n'a donc peut-être pas eu le temps suffisant pour s'élever à la température de l'eau bouillante. Bien que l'extérieur était bien à $94^\circ C$ en ayant mesuré avec le thermomètre, il nous était impossible de s'assurer que le centre ait atteint une telle température. Ainsi, reproduire l'expérience serait important pour effectuer de nouveau la mesure en laissant plus longtemps le plexiglas afin de s'assurer que le centre soit à température.

Enfin, la loi de Dulong-Petit prévoit que la capacité calorifique molaire vaut $3R \approx 25 J.mol^{-1}.K^{-1}$. On remarque que pour le laiton et le duralumin, la valeur expérimentale de c_{laiton} et $c_{duralumin}$ sont proches de $3R$ avec $c_{laiton} = 28 \pm 9 J.mol^{-1}.K^{-1}$ et $c_{duralumin} = 24 \pm 4 J.mol^{-1}.K^{-1}$. A l'inverse, le téflon et le plexiglas ont des valeurs très différentes de $3R$ avec $c_{teflon} = 94 \pm 35 J.mol^{-1}.K^{-1}$ et $c_{plexiglas} = 140 J.mol^{-1}.K^{-1}$ (on utilise la valeur théorique mais le résultat reste le même avec notre valeur inexacte que l'on a déterminé expérimentalement). On a environ un facteur 4 pour le téflon et 6 pour le plexiglas. La loi de Dulong-Petit ne se vérifie donc pas pour le téflon et le plexiglas, mais est valide pour le laiton et le duralumin. Cette loi approxime les vibrations moléculaires par un oscillateur harmonique, ce qui reste satisfaisant pour des molécules diatomiques. Or, le plexiglas et le téflon ne sont pas des molécules diatomiques. Le laiton est quant à lui formé pour 98% de cuivre et de zinc, et 2% de plomb, on peut donc négliger les vibrations du plomb et considérer le laiton comme un alliage diatomique. On peut effectuer le même raisonnement pour le duralumin avec 97.5% de ses atomes étant du cuivre ou de l'aluminium. On comprend donc mieux pourquoi certains métaux respectent cette loi et d'autres non.

3 Troisième expérience : Évaluation des fuites thermiques du calorimètre

Le but de cette expérience est d'évaluer les fuites thermiques du calorimètre. On va pour cela reproduire les paramètres d'expérimentations de la première expérience mais sans faire chauffer l'eau (sans brancher la résistance).

3.1 Expérimentation

Pour réaliser notre série de mesure, on conserve la même configuration que les expériences précédentes, c'est-à-dire que l'on conserve la résistance, l'agitateur et le thermomètre pour ne pas fausser nos valeurs.

On place dans le vase du calorimètre 400gr d'eau à 40°C . On mesure ensuite la température de l'eau à 40°C et on mesure la température du calorimètre toutes les 2 minutes pendant 20 minutes. Afin de simplifier la lecture et la visualisation de la température, on préfère remplacer le tableau par le graphique suivant :

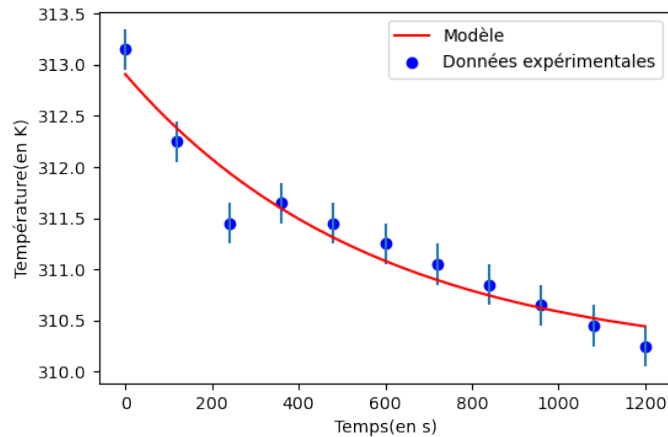


FIGURE 2 – Température (en Kelvin) en fonction du temps modélisant la perte de chaleur du calorimètre.

3.2 Comparaison de nos résultats avec le modèle théorique

Le modèle théorique prévoit une décroissance exponentielle de la température du calorimètre avec :

$$T_{int} = T_{ext} + (T_{int,0} - T_{ext})e^{-\frac{t}{R_{th}C}} \quad (10)$$

avec les grandeurs suivantes :

- T_{int} : température interne du calorimètre
- T_{ext} : température extérieur
- $T_{int,0}$: température interne du calorimètre à l'instant initial
- C : capacité thermique du calorimètre

Ainsi, on peut exprimer le logarithme de cette courbe pour obtenir une droite :

$$T_{int} - T_{ext} = (T_{int,0} - T_{ext})e^{-\frac{t}{R_{th}C}} \Rightarrow \ln(T_{int} - T_{ext}) = \ln(T_{int,0} - T_{ext}) - \frac{t}{R_{th}C}$$

On trouve donc une expression de droite de la forme :

$$y = at + b, \text{ avec } a = -\frac{1}{R_{th}C}, b = \ln(T_{int,0} - T_{ext}) \quad (11)$$

Pour vérifier que nos mesures correspondent donc à une décroissance exponentielle, on trace cette même courbe en prenant le logarithme. On obtient donc :

3.3 Conclusion et interprétation

On a montré que le flux de chaleur n'était pas négligeable. Cette perte d'énergie se traduit donc par des erreurs dans les mesures réalisées, car une partie de la chaleur s'échappe et fait donc baisser la température qu'on lit avec le thermomètre. Dans la première expérience, nous avons considéré l'enceinte comme adiabatique, ainsi, il n'y a aucune perte de chaleur, on avait donc :

$$Q = C_V \Delta T \quad (12)$$

Or, on perd de la chaleur car l'enceinte n'est pas parfaitement adiabatique. En posant $Q_{fuite} < 0$, la quantité de chaleur perdue, il vient que :

$$Q = C_V \Delta T + Q_{fuite} \quad (13)$$

On a ensuite que le flux de chaleur (en Watts soit J/s) s'exprime comme :

$$\Phi = -\frac{\Delta T}{R_{th}} \quad (14)$$

On peut donc en déduire la quantité de chaleur perdue sur une durée avec :

$$Q_{fuite} = \Phi \times \Delta t = -\frac{\Delta T}{R_{th}} \times \Delta t \quad (15)$$

Finalement, il vient que :

$$Q = C_V \Delta T - \frac{\Delta T}{R_{th}} \times \Delta t = \Delta T \left(C_V - \frac{\Delta t}{R_{th}} \right) \quad (16)$$

4 Conclusion

Dans ce travail pratique, nous avons d'abord estimé les valeurs des capacités thermiques de l'eau et du vase calorimétrique. Les grandes valeurs d'incertitudes ne nous ont pas permis de conclure sur des valeurs précises, il faudrait donc refaire le protocole expérimental avec des appareils de mesure plus précis, notamment un thermomètre. Nous avons ensuite mesuré les capacités thermiques de différents matériaux. Nous avons obtenu des résultats cohérents pour trois des matériaux mais pas pour le plexiglas. Refaire le protocole expérimental en laissant les matériaux chauffer plus longtemps pourrait nous permettre d'améliorer nos résultats. Enfin, nous avons évalué les fuites thermiques de notre calorimètre. Nous avons mal mis les thermomètres pour certaines mesures, refaire notre expérience nous permettrait donc d'améliorer grandement nos calculs.

$t \pm 1s$	$T_1 \pm 0.2^\circ C$	$T_2 \pm 0.2^\circ C$	$T_3 \pm 0.2^\circ C$
0	20.9	21.4	21.0
60	21.8	21.8	21.5
120	22.7	22.0	22.1
180	23.6	22.3	22.6
240	24.7	22.5	23.1
300	25.4	22.7	23.7
360	26.3	22.9	24.2
420	27.2	23.2	24.7
480	28.0	23.4	25.2
540	29.0	23.6	25.8
600	29.8	23.8	26.2
660	30.7	24.1	26.8
720	31.5	24.3	27.3
780	32.3	24.5	27.9
840	33.2	24.7	28.3
900	34.0	24.9	28.8

TABLE 4 – Température lors des 3 expériences du la première partie

Annexes

On a pour la première expérience $m_{eau1} = 450.0 \pm 0.1g$ et $U_1 = 12.0 \pm 0.1V$, pour la deuxième expérience $m_{eau2} = 450.0 \pm 0.1g$ et $U_2 = 6.0 \pm 0.1V$ et pour la troisième expérience $m_{eau3} = 800.0 \pm 0.1g$ et $U_3 = 12.0 \pm 0.1V$:

$t \pm 1s$	$T \pm 0.5^\circ C$
0	40.0
120	39.1
240	38.3
360	38.5
480	38.1
600	38.1
720	37.9
840	37.7
960	37.5
1080	37.3
1200	37.1

TABLE 5 – Température lors de l'expérience 3 modélisant la fuite de chaleur