Fauquembergue Vincent ; Jeannot Lucas ; 1PX1

TP DE CALORIMETRIE

Introduction

L'objectif de ce TP est de comprendre les notions de calorimétrie, de la capacité calorifique ainsi que de la capacité thermique d'un métal. La calorimétrie a pour but la mesure des propriétés thermiques des corps et repose sur le principe de l'égalité des échanges de chaleur entre systèmes. On travail ici toujours dans un système isolé. Lorsque deux systèmes n'échangent que de la chaleur, la quantité de chaleur reçue par l'un correspond à celle cédée par l'autre, on dit que la somme des quantités de chaleur est nulle.

I) Cadre théorique

On appelle température la grandeur physique qui s'appuie sur l'agitation des molécules. Plus les molécules sont agitées, plus la température est élevée. Plus celles-ci sont immobiles, plus la température est faible. S'il n'y a plus aucune agitation, alors la température est de 0 K soit -273.15 °C, c'est le « zéro absolu ». La température se mesure avec un thermomètre et elle peut s'exprimer en Kelvin (K), en Celsius (°C) ou en Fahrenheit (°F).

Le transfert thermique peut s'établir sous trois modes de transfert différent : la conduction, la convection ou le rayonnement thermique.

La conduction se produit lorsque deux solides ayant une température différente rentre en contact.
La convection se produit lorsqu'un solide et un fluide de température différente échange de la chaleur.
Le rayonnement thermique se produit lorsqu'un corps émet et reçois de la lumière.

Lorsqu'un corps chaud rentre en contact avec un corps froid, un transfert thermique se produit et la chaleur se repartit entre les corps (chaud vers le froid).

Ex1 : Si une masse m1 d'eau froide T1 et une masse d'eau m2 d'eau chaude T2 se rencontrent, alors :
On sait que $Q_1 = m_1.c_e.(T - T_1)$ et $Q_2 = m_2.c_e.(T - T_2)$. De plus nous sommes dans un système isolé donc $Q_1 + Q_2 = 0$ donc $m_2.c_e.(T - T_2) + m_1.c_e.(T - T_1) = 0$.
Donc :

$$T = \frac{m_1.T_1 + m_2.T_2}{m_1 + m_2}$$

Ex2 : Si une masse m de glace à température T_{glace} est plongée dans une masse d'eau, la température T_{glace} va d'abord passer à 0°C puis celle-ci va fondre. Enfin, l'eau formée passera de 0°C à T

$Q = m.c_{glace}\,(0 - T_{glace}) + m.L_f + m.c_e.(T - 0)$, avec L_f la chaleur latente de fusion de la glace

Ex 3 : Si un bloc de métal de masse m_1 à température T_1 est plongé dans un bain d'eau de masse m_2 à température $T_2 > T_1$ alors le bloc de métal va se réchauffer et :

$$T = \frac{m_1.c_{métal}.T_1 + m_2.c_e.T_2}{m_1 c_{métal} + m_2 c_e}$$

Si la température finale T est plus grande que la température initiale T_1, alors le corps s'est échauffé, il a reçu de l'énergie donc Q est positif.

Si la température finale T est plus petite que la température initiale T_1, alors le corps s'est refroidi, il a donné de l'énergie donc Q est négatif.

L'unité d'énergie thermique et de chaleur est le joule (J). On peut également utiliser la calorie (cal) où 1 cal = 4.1868 J, ainsi que la thermie où 1 thermie = 10 cal = 41.868 J

Un calorimètre est un appareil destiné à mesurer les échanges de chaleur entre plusieurs corps.
On peut calculer la quantité de chaleur d'un corps à l'aide la formule $Q = m.c.(Tf - Ti)$

La quantité de chaleur dépend donc de la masse du corps, de sa température initiale et finale ainsi que de sa nature qui est déterminé par c, la capacité thermique massique.

On appelle capacité thermique d'un corps la capacité d'un matériau à accumuler de l'énergie sous forme thermique pour une masse donnée quand sa température augmente. Plus C est grande, plus la quantité d'énergie stocké est importante.

$$C = mc$$

II) Capacité calorifique du calorimètre

On sait que la quantité de chaleur délivrée par la résistance est $Q_1(t) = U.I.(t - t_0)$.
La quantité de chaleur liée à la variation de température de l'ensemble {eau + calorimètre} est :

$$Q_2(\theta) = Q_{cal} + Q_{eau} = C_{cal}(\theta_f - \theta_i) + m_{eau}c_{eau}(\theta_f - \theta_i) = (C_{cal} + m_{eau}c_{eau})(\theta_f - \theta_i)$$

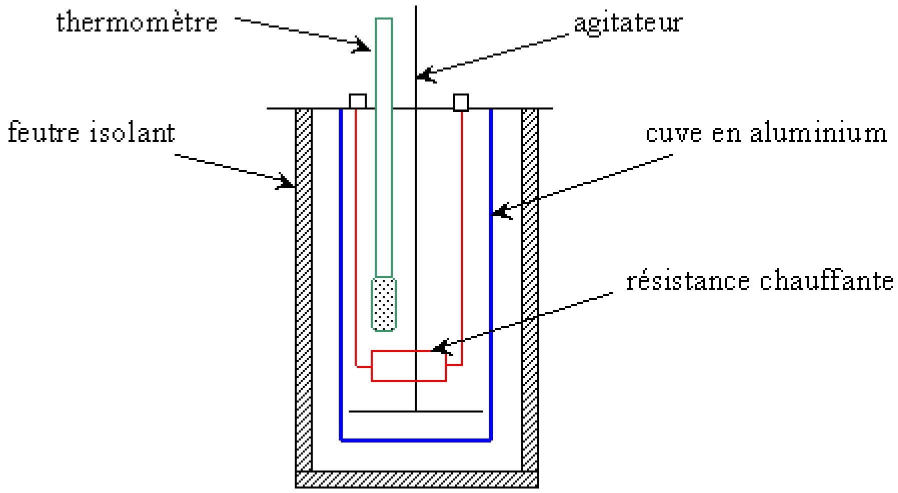
L'enceinte étant adiabatique, on a :

$Q_1 = Q_2$ soit $U.I.(t - t_0) = (C_{cal} + m_{eau}c_{eau})(\theta_f - \theta_i)$ c'est-à-dire
$\theta_f - \theta_i = \frac{U.I}{C_{cal} + m_{eau}c_{eau}}(t - t_0)$, ce qui équivaut à $\theta_f = \theta_i + \frac{U.I}{C_{cal} + m_{eau}c_{eau}}(t - t_0)$

On peut ainsi s'attendre à obtenir une courbe de la forme $aX + b$ où $a = \frac{U.I}{C_{cal} + m_{eau}c_{eau}}$ et $b = \theta_i$
C'est la mesure de la température finale en fonction du temps qui permet d'obtenir la capacité calorifique du calorimètre et de l'eau.

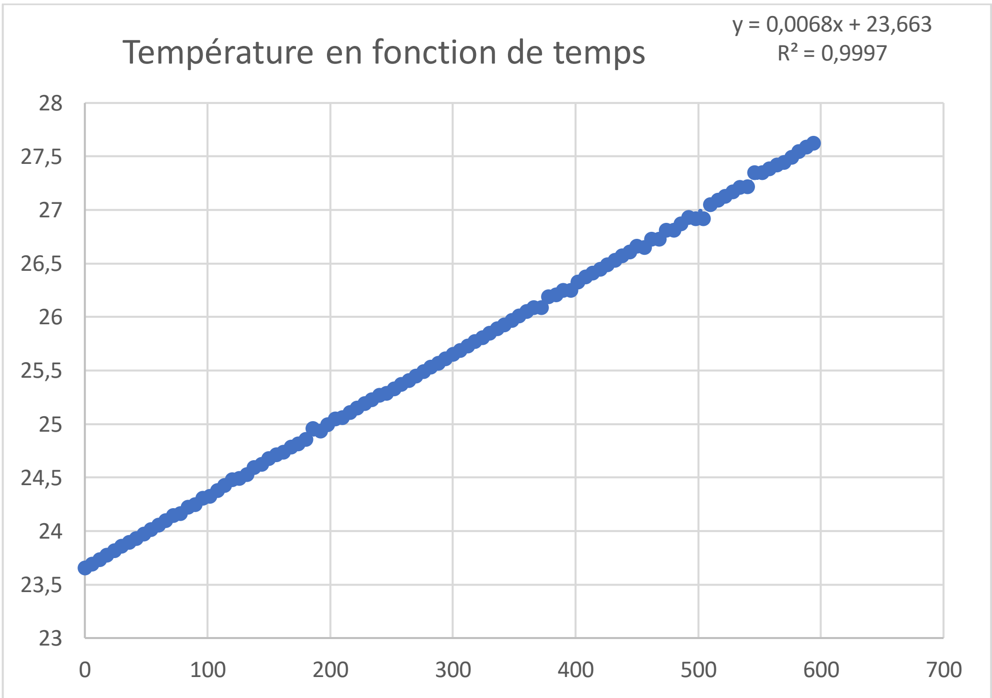
Le calorimètre se compose d'un vase en aluminium. Son couvercle est composé d'un thermoplongeur qui se comporte comme un conducteur ohmique de résistance R et celui-ci est immergé dans un liquide de masse m et de capacité thermique massique c. Lorsque le conducteur ohmique est mis sous une tension continue de 8V ainsi que d'un courant d'intensité 2.17A, l'énergie électrique est transformée en chaleur.

Fauquembergue Vincent ; Jeannot Lucas ; 1PX1



Première mesure ($\boldsymbol{m_{eau} = 0,6\ kg}$)

On obtient le graphique suivant :



On sait que $\theta_f = \theta_i + \frac{U.I}{C_{cal} + m_{eau}c_{eau}}(t - t_0)$ or ici $t_0 = 0$ donc on a $\theta_f = \theta_i + \frac{U.I}{C_{cal} + m_{eau}c_{eau}}t$

On obtient ainsi : $\theta_i + \frac{U.I}{C_{cal} + m_{eau}c_{eau}}t = 0.0068t + 23.663$

Soit, par identification :

$$\begin{cases} \dfrac{U.I}{C_{cal} + m_{eau}c_{eau}} = 0,0068 \\ \theta_i = 23.663 \end{cases}$$

On cherche C_{cal}.

$\frac{U.I}{C_{cal}+m_{eau}c_{eau}} = 0{,}0054$ soit $\frac{U.I}{0{,}0068} = C_{cal} + m_{eau}c_{eau}$ c'est-à-dire $C_{cal} = \frac{U.I}{0{,}0068} - m_{eau}c_{eau}$

On a $m_{eau} = 0{,}6\ kg$, $c_{eau} = 4180\ J.kg^{-1}.K^{-1}$, $U = 8\ V$ et $I = 2{,}17\ A$ donc

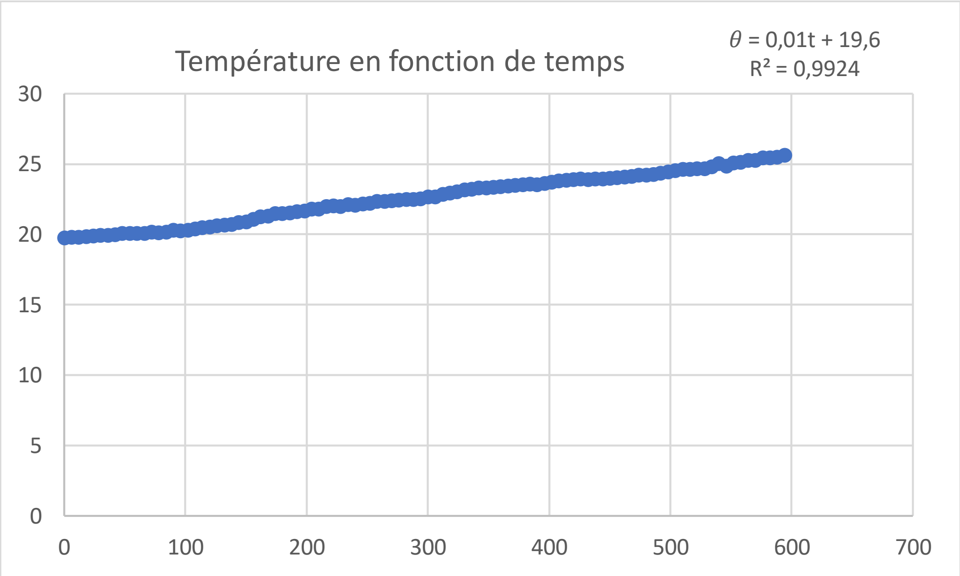
$$C_{cal} = \frac{8 \times 2{,}17}{0{,}0068} - 0{,}6 \times 4180 = 44.9\ J.K^{-1}$$

On cherche maintenant la masse d'eau qui aurait la même capacité thermique que le calorimètre. Donc, on a $C_{cal} = \mu c_{eau}$ soit $\mu = \frac{C_{cal}}{c_{eau}} = \frac{44.9}{4180} = 0{,}011\ kg$

Ainsi, la valeur en eau du calorimètre est de $0{,}011\ kg$

Deuxième mesure ($\boldsymbol{m_{eau} = 0,4\ kg}$)

On obtient le graphique suivant :



On sait que $\theta_f = \theta_i + \frac{U.I}{C_{cal}+m_{eau}c_{eau}}(t - t_0)$ or ici $t_0 = 0$ donc on a $\theta_f = \theta_i + \frac{U.I}{C_{cal}+m_{eau}c_{eau}}t$

On obtient ainsi : $\theta_i + \frac{U.I}{C_{cal}+m_{eau}c_{eau}}t = 0{,}01t + 19{,}6$

Soit, par identification :

$$\begin{cases} \frac{U.I}{C_{cal} + m_{eau}c_{eau}} = 0{,}01 \\ \theta_i = 19{,}6 \end{cases}$$

On cherche C_{cal}.

$\frac{U.I}{C_{cal}+m_{eau}c_{eau}} = 0{,}01$ soit $\frac{U.I}{0{,}01} = C_{cal} + m_{eau}c_{eau}$ c'est-à-dire $C_{cal} = \frac{U.I}{0{,}01} - m_{eau}c_{eau}$

On a $m_{eau} = 0{,}4\ kg$, $c_{eau} = 4180\ J.kg^{-1}.K^{-1}$, $U = 8\ V$ et $I = 2{,}17\ A$ donc

$$C_{cal} = \frac{8 \times 2{,}17}{0{,}01} - 0{,}4 \times 4180 = 64\ J.K^{-1}$$

On cherche maintenant la masse d'eau qui aurait la même capacité thermique que le calorimètre.
Donc, on a $C_{cal} = \mu c_{eau}$ soit $\mu = \frac{C_{cal}}{c_{eau}} = \frac{64}{4180} = 0.015\ kg$

Ainsi, la valeur en eau du calorimètre est de $0.015\ kg$

III) Capacité thermique massique du métal

Nous allons à présent expérimenter la capacité thermique du métal. Pour cela on dispose d'un thermoplongeur que l'on insère dans un bloc de métal et on le met sous une tension continue de 7.2V et d'un courant d'intensité de 3.19A. L'énergie électrique est transformée ainsi en chaleur par effet joule.

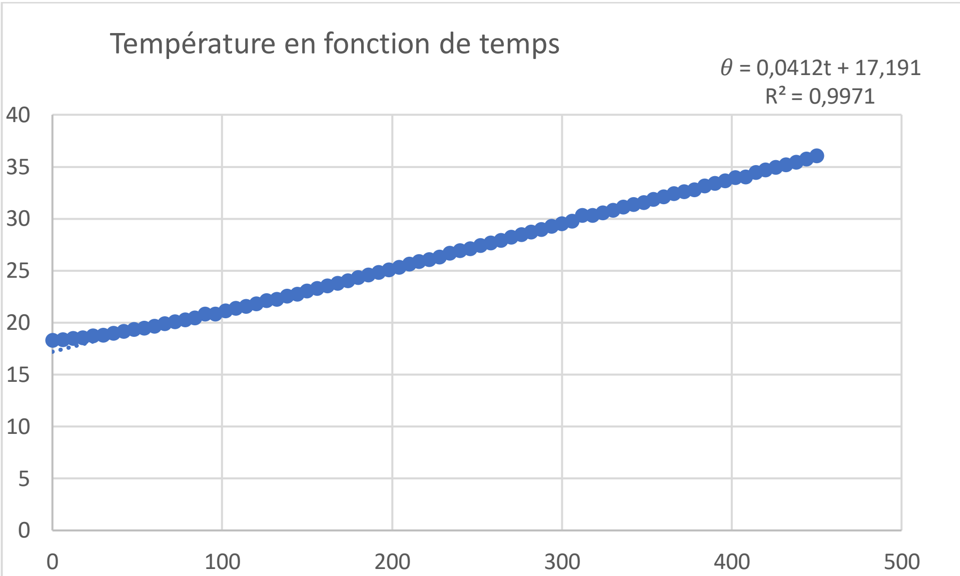
On sait que la quantité de chaleur délivrée par le thermoplongeur est $Q_1(t) = U.I.(t - t_0)$.
La quantité de chaleur liée à la variation de température du bloc de métal est :

$$Q_2(\theta) = m_{bloc}c_{metal}(\theta_f - \theta_i)$$

L'ensemble {bloc + thermoplongeur} étant adiabatique, on a :
$Q_1 = Q_2$ soit $m_{bloc}c_{metal}(\theta_f - \theta_i) = U.I.(t - t_0)$ c'est-à-dire $\theta_f = \theta_i + \frac{U.I}{m_{bloc}c_{metal}}(t - t_0)$

Premier bloc ($\boldsymbol{m_{bloc} = 0,995\ kg}$)

On obtient le graphique suivant :



On sait que $\theta_f = \theta_i + \frac{U.I}{m_{bloc}c_{metal}}(t - t_0)$ or ici $t_0 = 0$ donc on a $\theta_f = \theta_i + \frac{U.I}{m_{bloc}c_{metal}}t$

On obtient ainsi : $\theta_i + \frac{U.I}{m_{bloc}c_{metal}}t = 0{,}0412t + 17{,}191$

Soit, par identification :

$$\begin{cases} \dfrac{U.I}{m_{bloc}c_{metal}} = 0{,}0412 \\ \theta_i = 17{,}191 \end{cases}$$

On cherche c_{metal}.

$\frac{U.I}{m_{bloc}c_{metal}} = 0{,}0412$ soit $\frac{U.I}{0{,}0412} = m_{bloc}c_{metal}$ c'est-à-dire $c_{metal} = \frac{U.I}{0{,}0412 m_{bloc}}$

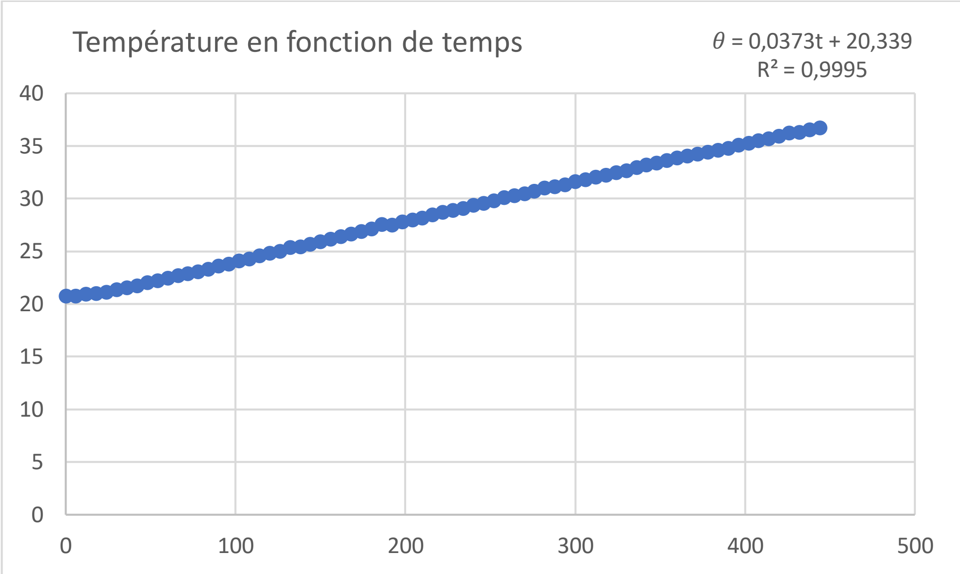
On a $m_{bloc} = 0{,}995\ kg$, $U = 7.2\ V$ et $I = 3.19\ A$ donc

$$c_{métal} = \frac{7.2 \times 3.19}{0{,}0412 \times 0{,}995} = 560.28\ J.kg^{-1}.K^{-1}$$

Lorsque nous avons pris ce bloc, nous avons constaté que celui-ci correspondait à un bloc de cuivre. Néanmoins, nous observons un écart de 45.5% ce qui nous montre que l'erreur de mesure est très importante. Nous supposons que cet écart est dû au manque d'hermétisme entre le thermoplongeur et le bloc de cuivre.

Deuxième bloc ($\boldsymbol{m_{bloc} = 1\ kg}$)

On réeffectue la même expérimentation avec un autre bloc d'une masse de 1kg
On obtient le graphique suivant :



On sait que $\theta_f = \theta_i + \frac{U.I}{m_{bloc}c_{metal}}(t - t_0)$ or ici $t_0 = 0$ donc on a $\theta_f = \theta_i + \frac{U.I}{m_{bloc}c_{metal}}t$
On obtient ainsi : $\theta_i + \frac{U.I}{m_{bloc}c_{metal}}t = 0{,}0373t + 20{,}339$

Soit, par identification :

$$\begin{cases} \dfrac{U.I}{m_{bloc}c_{metal}} = 0{,}0373 \\ \theta_i = 20{,}339 \end{cases}$$

On cherche c_{metal}.

$\frac{U.I}{m_{bloc}c_{metal}} = 0{,}0373$ soit $\frac{U.I}{0{,}0373} = m_{bloc}c_{metal}$ c'est-à-dire $c_{metal} = \frac{U.I}{0{,}0373 m_{bloc}}$
On a $m_{bloc} = 1\ kg$, $U = 7.2\ V$ et $I = 3.19\ A$ donc

$$c_{métal} = \frac{7.2 \times 3.19}{0{,}0373} = 615.76\ J.kg^{-1}.K^{-1}$$

Lorsque nous avons pris ce bloc, nous avons constaté que celui-ci correspondait à un bloc d'acier. Néanmoins, nous observons un écart de 31% ce qui nous montre que l'erreur de mesure est très importante. Nous supposons que cet écart est dû au manque d'hermétisme entre le thermoplongeur et le bloc d'acier.

Conclusion

Au travers de ce TP, nous avons pu approcher la notion de calorimétrie ainsi que de comprendre comment les différents solides et fluides interagissent entre eux dans les transferts thermiques. Néanmoins, nous avons également pu constater que les résultats expérimentaux sont bien loin de ceux théoriques. Dans notre cas, nous supposons que ces grands écarts sont dus à l'environnement. En effet, le thermoplongeur n'était pas très hermétique avec le bloc de métal ce qui nous permet de supposer que l'air, ayant un capacité thermique massique plus importante que le métal, a réussi à fausser nos résultats. Ainsi la situation n'était pas vraiment adiabatique et normalement, nous aurions dû trouver un coefficient plus important que 0.0373 ce qui aurait permis d'obtenir une capacité thermique massique plus faible, se rapprochant donc davantage de celle de l'acier par exemple. Nous avons fait les mêmes constatations avec le cas du bloc du cuivre. Ainsi, ce TP nous montre bien que dans la réalité, la notion d'adiabatie ne s'applique pas toujours.