

# Équivalent électrique de la chaleur

Yohann Bertrand

William Trudel

Aubert Lamy

3<sup>ème</sup> année au baccalauréat

Université du Québec à Trois-Rivières

Département de physique

## Résumé

L'objectif de ce laboratoire était de déterminer la quantité d'énergie électrique qui est équivalente à l'énergie thermique et de déterminer le facteur de conversion entre Joule et calories<sup>1</sup>. Pour ce faire, Nous avons utilisé un générateur électrique à manivelle connecté à une résistance dans un bassin d'eau. À l'aide du logiciel PASCO, nous avons enregistré la puissance électrique produite par la génératrice et la température du bassin d'eau. Ainsi, après calculs, on obtient une valeur de chaleur totale de  $(402 \pm 8) \text{ cal}$ , une puissance générée de  $(1736 \pm 3) \text{ J}$  et un facteur de conversion de  $(4,32 \pm 0,09) \text{ J/cal}$ , contre une valeur théorique de  $4,184 \text{ J/cal}$ .<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Source 1 de la médiagraphie

<sup>2</sup> Source 2 de la médiagraphie

## Introduction

Cette expérience portait sur l'équivalent électrique de la chaleur. On utilise le logiciel PASCO afin de recueillir les données de puissance, provenant de l'énergie générée en tournant une manivelle. On se servira de ces données afin de déterminer la quantité d'énergie électrique.

## Théorie

*Tirée de la source 1 de la médiagraphie*

Lorsqu'on ajoute de la chaleur à un solide ou un liquide, l'énergie interne de ces matériaux augmente ce qui ensuite fait augmenter leur température. La relation entre la chaleur et le changement de température est donnée par :

$$Q = mc\Delta T$$

où  $Q$  est la quantité de chaleur,  $m$  est la masse du matériau,  $c$  est la chaleur spécifique du matériau et  $\Delta T$  est la différence de température.

Dans cette expérience, 2 choses changent de température : l'eau et le récipient calorimétrique en aluminium. L'eau et le récipient d'aluminium ont des masses et des chaleurs spécifiques différentes, mais nous supposons qu'ils vont avoir la même variation de température.

La chaleur est ajoutée au calorimètre à l'aide d'une résistance chauffante. L'énergie électrique est fournie par une source de courant électrique. L'énergie électrique ainsi générée est convertie en chaleur par la résistance thermique, augmentant ainsi la température de l'eau et du récipient. Historiquement, cette expérience a été désignée comme l'équivalent électrique de la chaleur.

La puissance électrique est déterminée par la tension produite par la source électrique et le courant résultant qui est produit :

$$P = VI$$

où  $P$  est la puissance (Watts = Joules/sec),  $V$  est la tension à la résistance (Volts) et  $I$  est le courant traversant la résistance (Ampère). La puissance est la quantité d'énergie par unité de temps fournie par un système : Puissance = Énergie/temps. Ainsi, l'énergie peut être calculée par :

$$\text{Énergie} = \text{Puissance} \times \text{Temps},$$

où, dans le cas de ce laboratoire, la puissance n'est pas constante. L'énergie est donc donnée par l'aire sous la courbe du graphique de la puissance en fonction du temps.

## Montage

Matériel :	Récipients
	Couvercle
	Espaceur
	Résistance thermique
	Générateur de puissance
	Sonde de température
	Ordinateur (logiciel PASCO)
	Fils électriques

Schémas<sup>3</sup> :



Figure 1 : Matériel nécessaire à la simulation



Figure 2 : Générateur de puissance à manivelle



Figure 4. Calorimètre avec la résistance thermique



Figure 3 : Sonde de température

**Méthodologie :** Voir source 1 de la médiagraphie

<sup>3</sup> Tirés de la source 1 de la médiagraphie

## Résultats

Tableaux :

Tableau 1 : Constantes du système

Mesure	Valeur	Incertitude
Masse du récipient interne (g)	30,38	0,01
Masse eau (g)	50,83	0,01
Température ambiante (°C)	24,0	0,1

Tableau 2 : Résultats calculés

Mesure	Valeur	Incertitude
Température maximale (°C)	27,4	0,1
Température minimale (°C)	20,4	0,1
Variation de température (°C)	7,0	0,1
Énergie électrique (W s)	1736	3

Tableau 3 : Chaleur (calories) pour l'eau, l'aluminium et totale

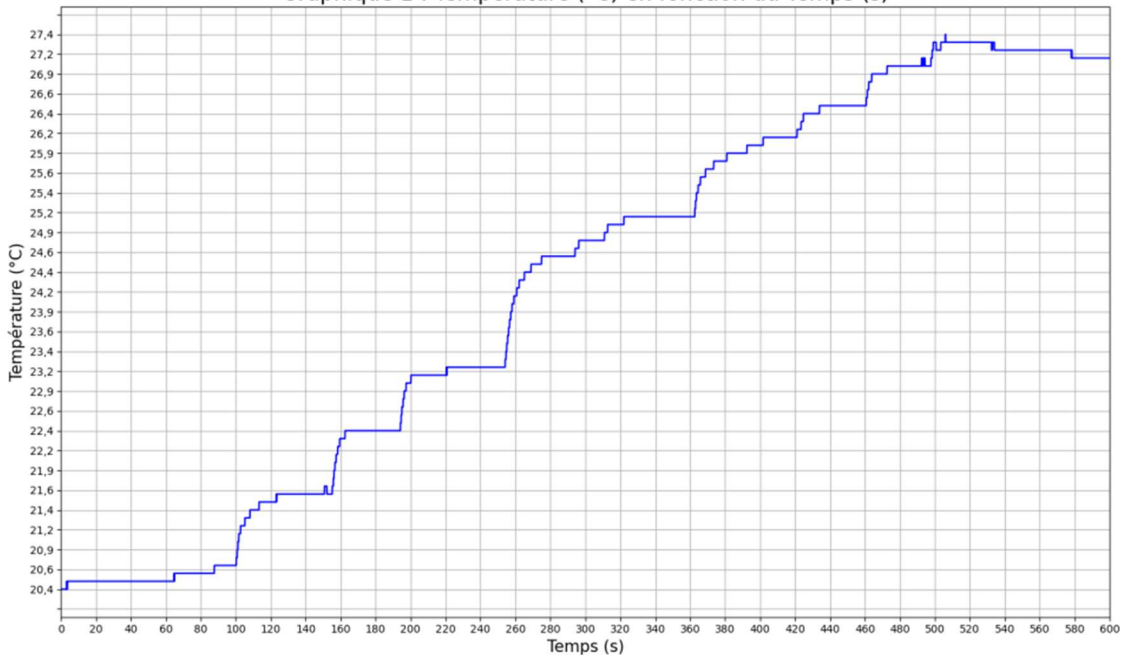
Mesure	Valeur	Incertitude
Q eau (cal)	356	5
Q alu (cal)	45,7	0,7
Q tot (cal)	402	8

Tableau 4 : Facteur de conversion entre Joules et calories

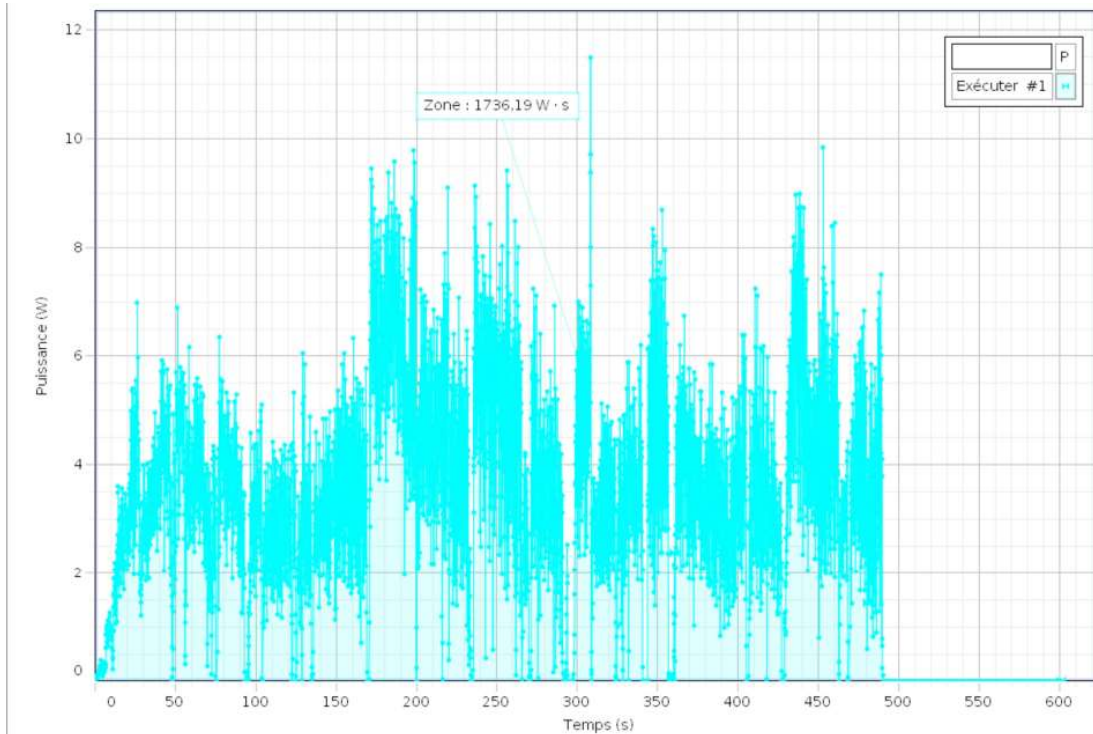
Mesure	Valeur	Incertitude
Valeur théorique (J/cal)	4,184	
Valeur expérimentale (J/cal)	4,32	0,09
Pourcentage d'écart (%)	3,25	

## Graphique

Graphique 1 : Température (°C) en fonction du Temps (s)



Graphique 2 : Puissance en fonction du temps (données expérimentales)



#### Calcul de la chaleur totale

##### Exemples de calculs :

##### Calcul de la chaleur de l'eau

$$Q_{eau} = mc_{eau}\Delta T$$

$$Q = (50,83g)(1cal\ g^{-1}\ ^\circ C^{-1})(7,0\ ^\circ C)$$

$$Q = 356\ cal$$

##### Incertitude sur la chaleur

$$\delta Q = Q \sqrt{\left(\frac{\delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\delta(\Delta T)}{\Delta T}\right)^2}$$

$$\delta Q = 356\ cal \sqrt{\left(\frac{0,01}{50,83}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{7,0}\right)^2}$$

$$\delta Q = \pm 5\ cal$$

$$Q_{tot} = Q_{eau} + Q_{alu}$$

$$Q_{tot} = 356\ cal + 45,7\ cal$$

$$Q_{tot} = 402\ cal$$

##### Incertitude sur la chaleur totale

$$\delta Q_{tot} = Q_{tot} \sqrt{\left(\frac{\delta Q_{eau}}{Q_{eau}}\right)^2 + \left(\frac{\delta Q_{alu}}{Q_{alu}}\right)^2}$$

$$\delta Q_{tot} = 402\ cal \sqrt{\left(\frac{5}{356}\right)^2 + \left(\frac{0,7}{45,7}\right)^2}$$

$$\delta Q_{tot} = \pm 8\ Cal$$

##### Calcul numérique de l'énergie électrique

$$E_{él} = \int_0^{t'} P(t) dt$$

$$E_{él} = 1736,19\ W \cdot s$$

$$E_{él} = 1736\ J$$

### Incertitude sur l'énergie électrique

$$\delta E_{\text{él}} = E_{\text{él}} \sqrt{\left(\frac{\delta P}{P_{\text{moy}}}\right)^2 + \left(\frac{\delta t}{t_{\text{tot}}}\right)^2}$$
$$\delta E_{\text{él}} = 1736 \text{ J} \sqrt{\left(\frac{0,01}{6,00}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{500}\right)^2}$$
$$\delta E_{\text{él}} = \pm 3 \text{ J}$$

### Calcul de la conversion de calorie en joule

$$Q_{\text{tot}} \cdot \left(\frac{x \text{ J}}{1 \text{ cal}}\right) = E_{\text{él}}$$
$$x = \frac{E_{\text{él}}}{Q_{\text{tot}}}$$
$$x = \frac{1736 \text{ J}}{402 \text{ Cal}}$$
$$x = 4,32 \frac{\text{J}}{\text{cal}}$$

### Incertitude sur la conversion

$$\delta x = x \sqrt{\left(\frac{\delta Q_{\text{tot}}}{Q_{\text{tot}}}\right)^2 + \left(\frac{\delta E_{\text{él}}}{E_{\text{él}}}\right)^2}$$
$$\delta x = 4,32 \frac{\text{J}}{\text{cal}} \sqrt{\left(\frac{8}{402}\right)^2 + \left(\frac{3}{1736}\right)^2}$$
$$\delta x = \pm 0,09 \frac{\text{J}}{\text{cal}}$$

### Écart avec la valeur attendue de conversion

$$\text{Écart} = \left| \frac{\text{Valeur}_{\text{théo}} - \text{Valeur}_{\text{exp}}}{\text{Valeur}_{\text{théo}}} \right| * 100\%$$
$$\text{Écart} = \left| \frac{4,184 - 4,32}{4,184} \right| \frac{\text{J}}{\text{cal}} * 100\%$$
$$\text{Écart} = 3,25\%$$

### Analyse

L'objectif de ce laboratoire était de déterminer la quantité d'énergie électrique qui est équivalente à l'énergie thermique et de déterminer le facteur de conversion entre Joule et calories. Pour ce faire, Nous avons utilisé un générateur électrique à manivelle connecté à une résistance dans un bassin d'eau. À l'aide du logiciel PASCO, nous avons enregistré la puissance électrique produite par la génératrice et la température du bassin d'eau. Nous avons commencé avec une température de  $(20,4 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$  et nous avons fini avec une température de  $(27,4 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$  pour un écart de température de  $(7,0 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$ . En nous servant de la masse d'eau, de la masse d'aluminium et de leur chaleur propre nous avons calculer une quantité totale de chaleur de  $(402 \pm 8) \text{ cal}$ . En nous servant du logiciel Pasco et de capteur de tension et de courant, nous avons enregistré la puissance à chaque instant, en faisant l'aire sous la courbe de cette courbe nous avons obtenus une valeur de puissance de  $(1736 \pm 3) \text{ J}$ . Nous avons donc comparé ces valeurs et trouvé que le facteur de conversion de pour passer de calorie en joule était de  $(4,32 \pm 0,09) \text{ J/cal}$ . La valeur théorique accepté est de  $4,184 \text{ J/cal}$  et nous avons un pourcentage d'écart de 3,25 % ce qui est très bon, malgré tout notre valeur ne recoupe pas la valeur théorique dans son incertitude. Nous en concluons donc que dans cette expérience une partie de l'énergie à été perdu car il nous a fallu plus d'énergie pour augmenter la température de  $7 ^\circ\text{C}$  que prévu en théorie. Le fait que notre valeur soit plus grande pourrait être du au fait qu'une partie de l'énergie se dissipait en chaleur à cause de la résistance des fils et peut-être avec l'échange de chaleur du bain avec son

entourage. Même si la température ambiante était de  $(24,0 \pm 0,1) ^\circ C$  et nous avons été  $3,6 ^\circ C$  en dessous de la température ambiante et  $3,4 ^\circ C$  au-dessus ce qui semble très près. Il était important que les deux écarts de température soient très proches l'un de l'autre car quand la température du bassin est en-dessous de la température ambiante le bassin gagne de la chaleur et quand il est au-dessus il en perd, et donc, pour que ces échanges n'influencent pas sur les résultats de notre expérience, il faut tenter de contrebalancer ces effets.

## Conclusion

L'objectif de ce laboratoire était de déterminer la quantité d'énergie électrique qui est équivalente à l'énergie thermique et de déterminer le facteur de conversion entre Joule et calories. Pour ce faire, Nous avons utilisé un générateur électrique à manivelle

connecté à une résistance dans un bassin d'eau. À l'aide du logiciel PASCO, nous avons enregistré la puissance électrique produite par la génératrice et la température du bassin d'eau. Ainsi, après calculs, on obtient une valeur de chaleur totale de  $402 \text{ cal}$ , une puissance générée de  $1736 \text{ J}$  et un facteur de conversion de  $4,32 \text{ J/cal}$ , contre une valeur théorique de  $4,184 \text{ J/cal}$ . Une cause d'erreur possible pour ce laboratoire est le fait que la puissance électrique produite par la génératrice à manivelle pouvait se convertir en chaleur à cause de la résistance des fils et se dissiper dans l'air. Ainsi pour une valeur plus précise nous pourrions utiliser des fils avec une meilleure conductivité.

## **Médiagraphie**

- [1] Département de physique de l'Université du Québec à Trois-Rivières. « Labo 8 : Équivalent électrique de la chaleur », Automne 2022
  
- [2] Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), « The adoption of joules as units of energy » <https://www.fao.org/3/ae906e/ae906e17.htm>