

Dossier de Physique  
Niveau 4<sup>ème</sup> secondaire

# Effet Joule

## Livret de l'enseignant

Véronique BOUQUELLE

scienceinfuse  
UCL

Faculté  
des  
Sciences

UCL

Diffusé par Scienceinfuse, Antenne de Formation et de  
Promotion du secteur Sciences et Technologies de l'UCL

## Objectif

Nous allons relever une série de points expérimentaux en vue de trouver quelles grandeurs physiques déterminent l'énergie thermique dissipée par effet Joule dans un conducteur, ainsi que la façon dont ces grandeurs interviennent dans cette énergie thermique dissipée.

Nous analyserons ensuite la relation obtenue pour vérifier qu'elle est en accord avec la loi d'Ohm.

## Introduction

L'effet Joule est la dissipation d'énergie électrique sous forme de chaleur lors du passage d'un courant électrique à travers un conducteur. Il a été étudié par James Prescott JOULE vers 1860.

L'effet Joule est causé par les collisions des électrons, dont le flux forme le courant électrique, avec les atomes composant le matériau conducteur traversé. Lors de ces interactions, une partie de l'énergie cinétique des électrons est convertie en chaleur.

Ce phénomène trouve de nombreuses applications : résistance chauffante des lave-vaisselle, machine-à-laver, sèche-cheveux, grille-pain, bouilloire électrique, boiler, fusible (qui fond lorsque l'intensité dépasse une certaine valeur), radiateur électrique, four électrique, plaques de cuisson.

Mais cette dissipation d'énergie est aussi indésirable dans certaines situations : par effet Joule, les lignes électriques amenant le courant depuis les centrales perdent de la puissance. Pour limiter ces pertes, on utilise des lignes à haute ou très haute tension qui permettent de diminuer l'intensité de courant dans la ligne tout en gardant une certaine puissance (puisque la puissance  $P = UI$ ). C'est en déterminant le lien entre  $P$  et  $I$  que nous comprendrons exactement comment cela fonctionne.

C'est aussi à cause de l'effet Joule que les ampoules à incandescence ont un rendement lumineux faible : elles consomment beaucoup d'électricité par rapport à leur production de lumière. D'où le retrait de ces ampoules de la vente pour les remplacer par des ampoules économiques plus efficaces.

Déterminons maintenant les grandeurs qui peuvent influencer l'effet Joule.

## Paramètres déterminant l'effet Joule

L'effet Joule se manifeste donc par une libération de chaleur : le conducteur alimenté en courant chauffe. Cela est dû aux difficultés que rencontrent les électrons pour circuler dans le conducteur en question. Quels facteurs influencent ce phénomène ?

- ce phénomène rend compte de la *résistance* du conducteur au passage du courant  $\Rightarrow$  résistance  $R$  du conducteur. La loi de Pouillet indique que la résistance d'un conducteur dépend elle-même de la nature, de la section et de la longueur du conducteur.
- plus le courant est intense, plus il y a d'électrons qui passent par seconde en un point du conducteur  $\Rightarrow$  l'*intensité du courant* doit jouer un rôle.
- plus le courant dure, plus il y a d'électrons qui traversent le conducteur  $\Rightarrow$  la *durée de passage du courant* doit également intervenir.

Nous choisissons dans la suite d'examiner uniquement l'influence de l'intensité du courant et de la durée de passage du courant. Nous n'allons donc pas changer la résistance du conducteur, mais cela peut être envisagé en modifiant la longueur, la section, et la nature du conducteur.

## Matériel

- un thermomètre gradué au dixième de degré
- un statif avec pince pour tenir le thermomètre
- un chronomètre
- un fil de constantan<sup>1</sup> de 0,5 mm de diamètre et de 50 cm de longueur enroulé en spirale
- deux pinces crocodiles
- trois fils de connexion
- un berlin contenant 300 mL d'eau
- une plaque isolante (frigolite, plexiglas) pour y déposer le berlin
- un ampèremètre
- un générateur de courant à tension variable capable de délivrer 4 A, ou un générateur 12 V et une résistance variable 0 – 3  $\Omega$
- un agitateur

*Alternativement, un calorimètre peut remplacer le fil de constantan et le berlin.*

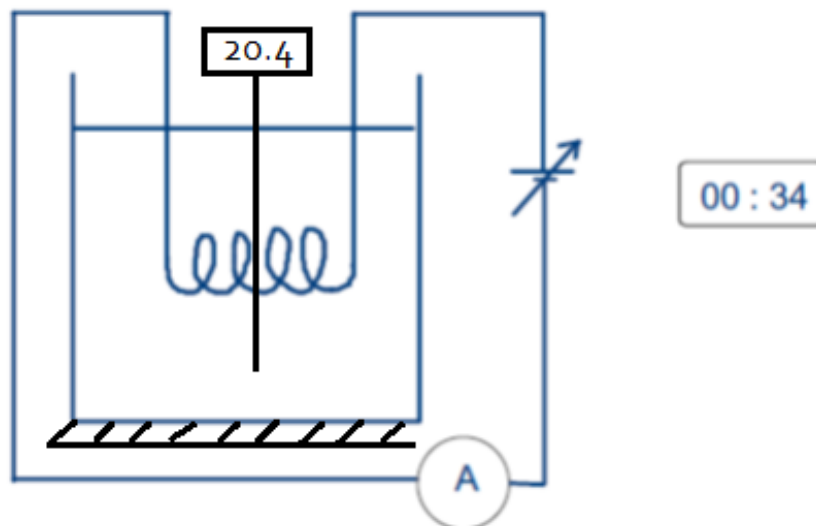
<sup>1</sup> Alliage de 55% de cuivre et 45% de nickel. Sa résistivité est indépendante de la température, ce qui est très important ici.

## Mode opératoire

Le fil de constantan enroulé en spirale est plongé dans le berlin contenant 300 mL d'eau. Il est relié, à l'aide des pinces crocodiles, à l'ampèremètre (bornes COM et 10 A et commutateur sur 10 A), et au générateur dont l'interrupteur va servir à ouvrir et fermer le circuit. Le berlin est posé sur la plaque isolante.

Le thermomètre est plongé dans le berlin et maintenu à mi-hauteur avec le statif et la pince. L'agitateur sert à uniformiser la température de l'eau (à faire régulièrement).

Le chronomètre mesure la durée de passage du courant.



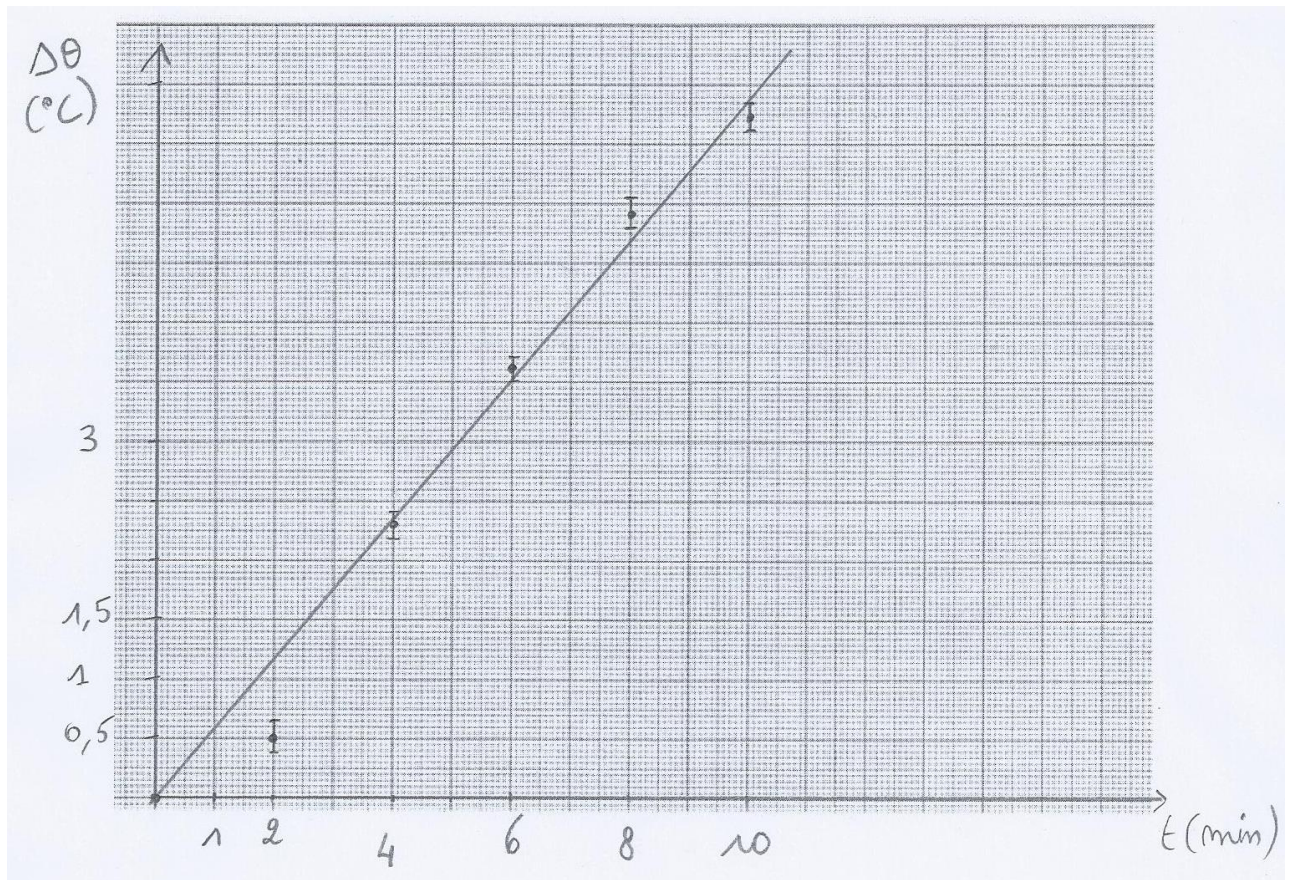
A. Influence de la durée de passage du courant

Faire circuler un courant de 2 A en ajustant la tension au générateur, et relever la température toutes les deux minutes pendant dix minutes.

Exemple de résultats :

Durée (min)	$\theta$ (°C)	$\Delta\theta = \theta - \theta_i$ (°C)
0	20,8	0,0
2	21,3	0,5
4	23,1	2,3
6	24,4	3,6
8	25,7	4,9
10	26,5	5,7

Tracer le graphe de l'élévation de température en fonction de la durée de passage du courant.



Si l'erreur de mesure sur la température est de  $0,05^{\circ}\text{C}$ , l'erreur sur l'élévation de température  $\Delta\theta$ , qui est une différence entre deux mesures de température, est au plus de  $2 \times 0,05 = 0,1^{\circ}\text{C}$ . Représenter les barres d'erreur sur le graphe (*il faut tracer une barre s'étendant verticalement sur  $0,1^{\circ}\text{C}$  au-dessus et  $0,1^{\circ}\text{C}$  en-dessous de chaque valeur mesurée*).

Tracer la courbe représentant au mieux les points expérimentaux. Cette courbe ne passe pas nécessairement par les points expérimentaux, mais traverse toutes les barres d'erreur. Si des points semblent aberrants (ne s'accordent pas du tout avec la tendance générale), ne pas les prendre en compte.

De quel type de courbe s'agit-il ? *C'est une droite.*

Qu'en déduit-on ? *L'élévation de température est directement proportionnelle à la durée de passage du courant.*

## B. Influence de l'intensité du courant

Relever la température initiale  $\theta_i$  de l'eau. Laisser circuler un courant de 1,5 A pendant trois minutes. Relever la température finale  $\theta_f$ .

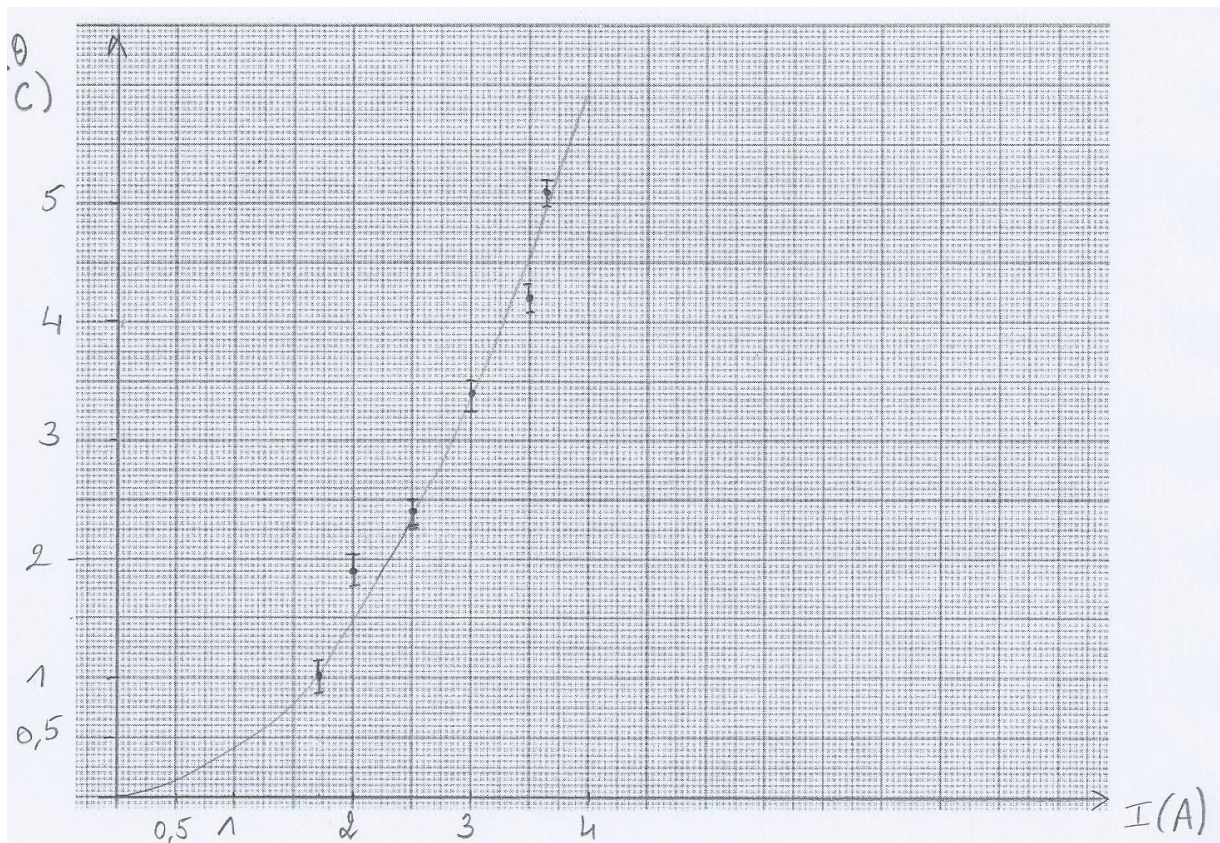
Continuer avec un courant de 2 A pendant trois minutes, puis 2,5 A, puis 3 A, puis 3,5 A, puis 4 A sans changer la durée de passage du courant.

Compléter le tableau.

Exemple de résultats :

I (A)	$\theta_i$ (°C)	$\theta_f$ (°C)	$\Delta\theta = \theta_f - \theta_i$ (°C)
1,74	19,4	20,4	1,0
2,00	20,4	22,3	1,9
2,52	22,3	24,7	2,4
3,00	24,7	28,1	3,4
3,50	28,1	32,3	4,2
3,63	32,3	37,4	5,1

Tracer le graphe de l'élévation de la température en fonction de l'intensité du courant électrique.



Y représenter les barres d'erreur comme précédemment. Laisser de côté les points aberrants.

Tracer la courbe représentant au mieux les points expérimentaux. Cette courbe ne passe pas nécessairement par les points expérimentaux, mais traverse toutes les barres d'erreur. Elle doit avoir une forme régulière.

A partir de la courbe tracée et de vos connaissances en mathématiques, déterminer s'il s'agit d'une relation de type  $\Delta\theta = \text{constante} \cdot I$ ,  $\Delta\theta = \text{constante} \cdot I^2$ , ou  $\Delta\theta = \frac{\text{constante}}{I}$ .

Il s'agit d'une relation de type  $\Delta\theta = \text{constante} \cdot I^2$

Synthèse des résultats
------------------------

Ecrire une relation entre la variation de température d'une part et l'intensité du courant  $I$  et sa durée de passage  $t$  d'autre part :

$$\Delta\theta = \text{constante} \cdot I^2 \cdot t$$

Le lien entre l'énergie thermique dégagée  $Q$  et la variation de température  $\Delta\theta$  est donné par la formule de la calorimétrie  $Q = c \cdot m \cdot \Delta\theta$  où  $c$  est la chaleur massique de l'eau est vaut 4180 J/kg/°C et  $m$  est la masse d'eau chauffée en kg.

En déduire une relation entre l'énergie thermique dégagée  $Q$ , et l'intensité du courant et sa durée de passage :

$$Q = \text{constante} \cdot c \cdot m \cdot I^2 \cdot t$$

Ecrire alors la formule donnant la puissance thermique  $P$  dégagée par effet Joule :

$$P = \frac{Q}{t} = \text{constante} \cdot c \cdot m \cdot I^2$$



Accord avec la loi d'Ohm

Vérifier que la relation trouvée pour l'énergie thermique dégagée  $Q$  s'accorde avec la loi d'Ohm qui relie la tension  $U$  aux bornes d'un conducteur à sa résistance  $R$  et à l'intensité  $I$  du courant qui le traverse :  $U = R \cdot I$

$$Q = \text{constante} \cdot c \cdot m \cdot I^2 \cdot t$$

$$Q = \text{constante} \cdot c \cdot m \cdot I \cdot I \cdot t$$

$$Q = \text{constante} \cdot c \cdot m \cdot I \cdot \frac{q}{t} \cdot t \quad \text{où } q \text{ est la charge électrique}$$

$$Q = \text{constante} \cdot c \cdot m \cdot I \cdot q$$

$$\frac{Q}{q} = \text{constante} \cdot c \cdot m \cdot I$$

$$U = \text{constante} \cdot c \cdot m \cdot I$$

car une tension est une quantité d'énergie consommée par unité de charge déplacée

Ce qui est très proche de  $U = R \cdot I$  puisque ce sont toutes des constantes avant  $I$ . Il est d'ailleurs possible de calculer la constante  $\frac{c \cdot m \cdot \Delta\theta}{I^2 t}$  pour l'un des résultats de l'expérience B, et de montrer qu'elle correspond à la résistance du fil (mesurée au multimètre).