

Loi de Joule

1- Influence de l'intensité du courant

a) Introduction

Cette expérience n'est pas facile à réaliser avec des élèves, car elle nécessite des réglages vraiment rapides.

De plus, les élévations de température sont assez faibles pour des intensités inférieures à 1A. Plus le volume d'eau est important, plus il est nécessaire d'attendre longtemps pour avoir des résultats probants.

b) Protocole

On réalise un circuit série comprenant :

- un générateur de tension continue 6/12 V
- un rhéostat 33 Ω , 2,2 A
- un ampèremètre
- le conducteur ohmique à plonger dans le calorimètre (plus de détails sur les compléments voir partie accessoires)

Dans le calorimètre, verser un volume V_1 d'eau à température ambiante. Noter la masse d'eau froide (m_1) et la température de cette eau (T_1).

Dans le calorimètre, plonger le conducteur ohmique ($R = 6 \Omega$).

Déclencher le chronomètre en allumant le générateur et régler rapidement l'intensité à la valeur souhaitée.

Agiter.

Au bout de 4 minutes, relever la nouvelle température (T_2) et ajuster rapidement l'intensité pour la mesure suivante.

c) Exploitation

La loi de conservation de l'énergie indique que toute l'énergie dégagée par effet Joule par le conducteur ohmique est reçue par l'eau froide et le calorimètre. Soit la relation :

$$Q_1 + Q_{cal} = Q_J \text{ soit } (C + m_1 \cdot c_{eau}) \cdot \Delta T = Q_J$$

$$c_{eau} = 4180 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$$

d) Exemple de résultats :

Calorimètre simplifié 251014 :

Avec $C = 130 \text{ J.K}^{-1}$

Eau froide $m_1 = 148,4 \text{ g}$ $R = 6 \Omega$ $\Delta t = 4 \text{ min}$

I(A)	0	0,281	0,502	0,705	0,987	1,222	1,355
I ² (A ²)	0	0,08	0,25	0,50	0,97	1,49	1,84
$\Delta T = T_2 - T_1$ (°C)	0	0,3	0,6	1,1	2,1	2,5	3,1
Q _J (J)	0	225	450	825	1560	1876	2326

Quand on trace le graphe $Q = f(I^2)$, on obtient 4 premiers points assez bien alignés et les 2 suivants bien décalés ; la droite doit passer par l'origine. On peut ainsi en déduire que l'énergie dégagée par effet Joule est bien proportionnelle à l'intensité du courant au carré.

A partir des 4 premiers points, le calcul du coefficient directeur donne $a = 1\,600 \text{ J}\cdot\text{A}^{-2}$.

Comme $Q_J = R \cdot I^2 \cdot \Delta t$, $a = R \cdot \Delta t$ d'où $R = 6,7 \, \Omega$

La mesure à l'ohmmètre donne $6 \, \Omega$, ce qui reste cohérent.

Calorimètre petit modèle 251080 :

Avec $C = 70 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$;

Eau froide $m_1 = 106,2 \text{ g}$ $T_1 = 21,1 \, ^\circ\text{C}$

I(A)	0	0,264	0,510	0,750	0,995	1,22	1,43	1,67
I ² (A ²)	0	0,07	0,26	0,56	0,99	1,49	2,04	2,80
T ₂ (°C)	0	21,3	21,9	23,4	25,6	28,9	33,3	39,3
ΔT (°C)	0	0,2	0,6	1,5	2,2	3,3	4,4	6,0
Q _J (J)	0	128	308	790	1130	1680	2261	3083

On trace le graphe $Q_J = f(I^2)$: on obtient une droite passant par l'origine, ce qui nous permet de conclure que l'énergie thermique dégagée est bien proportionnelle à l'intensité du courant au carré.

Cette droite a un coefficient directeur : $a = 1\,100 \text{ J}\cdot\text{A}^{-2}$.

Comme $Q_J = R \cdot I^2 \cdot \Delta t$, $a = R \cdot \Delta t$ d'où $R = 6 \, \Omega$

La mesure à l'ohmmètre donne $7 \, \Omega$, ce qui reste cohérent.

2- Influence du temps de passage du courant

a) Introduction

Dans cette expérience, il est assez facile d'obtenir des points relativement bien alignés pour la droite. La précision des relevés de température est le point clé pour obtenir les valeurs de résistance les plus justes possibles.

b) Protocole

On garde le même circuit.

Dans le calorimètre, verser un volume V_1 d'eau à température ambiante. Noter la masse d'eau froide (m_1) et la température de cette eau (T_1).

Dans le calorimètre, plonger le conducteur ohmique de valeur connue. Déclencher le chronomètre en allumant le générateur et régler rapidement l'intensité à la valeur souhaitée (de l'ordre de 1 A). Agiter. Relever la température (T_2) aux dates souhaitées.

c) Exploitation

La loi de conservation de l'énergie indique que toute l'énergie dégagée par effet Joule par le conducteur ohmique est reçue par l'eau froide et le calorimètre. Soit la relation :

$$Q_1 + Q_{cal} = Q_J \text{ soit } (C + m_1 \cdot c_{eau}) \cdot \Delta T = Q_J$$

$$c_{eau} = 4180 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$$

d) Exemple de résultats :

Calorimètre simplifié 251014 :

Avec $C = 130 \text{ J.K}^{-1}$

Eau froide $m_1 = 308,1 \text{ g}$ $R = 6 \Omega$ $I = 0,987 \text{ A}$

t(s)	0	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600
T (°C)	21,1	21,5	21,7	22,0	22,2	22,5	22,7	23,0	23,2	23,5	23,7
$\Delta T = T_2 - T_1$ (°C)	0	0,4	0,6	0,9	1,1	1,4	1,6	1,9	2,1	2,4	2,6
Q_J (J)	0	567	851	1276	1560	1985	2269	2694	2978	3403	3686

Le tracé du graphe $Q = f(\Delta t)$ donne une droite passant par l'origine : l'énergie dégagée par effet Joule est proportionnelle à la durée de passage du courant.

Le coefficient directeur de la droite vaut : $a = 6,3 \text{ J.s}^{-1}$.

Comme $Q_J = R.I^2 \cdot \Delta t$, $a = R.I^2$ d'où $R = 6,5 \Omega$

La mesure à l'ohmmètre donne 6Ω , ce qui est cohérent.

Calorimètre à Vase Dewar 253081:

Avec $C = 30 \text{ J.K}^{-1}$

Eau froide $m_1 = 623 \text{ g}$ $R = 6 \Omega$ $I = 0,982 \text{ A}$

t(s)	0	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600
T (°C)	20,7	20,9	21,0	21,1	21,2	21,3	21,4	21,6	21,7	21,8	22,0
$\Delta T = T_2 - T_1$ (°C)	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,1	1,3
Q_J (J)	0	527	790	1054	1317	1580	1844	2371	2634	2898	3424

Le tracé du graphe $Q = f(\Delta t)$ donne une droite passant par l'origine : l'énergie dégagée par effet Joule est proportionnelle à la durée de passage du courant.

Le coefficient directeur vaut : $a = 5,5 \text{ J.s}^{-1}$.

Comme $Q_J = R.I^2 . \Delta t$, $a = R.I^2$ d'où $R = 5,7 \Omega$

La mesure à l'ohmmètre donne 6Ω , ce qui est cohérent.

Calorimètre petit modèle 251080 :

Avec $C = 70 \text{ J.K}^{-1}$

Eau froide $m_1 = 109,3 \text{ g}$ $T_1 = 21,1 \text{ °C}$

t(s)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
T_2 (°C)	21,1	21,4	21,6	21,8	22,1	22,4	22,6	22,9	23,2	23,5	23,8
ΔT (°C)	0	0,3	0,5	0,7	1,0	1,3	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7
Q_J (J)	0	158	263	369	527	685	790	948	1106	1264	1422

On trace le graphe $Q_J = f(\Delta t)$: on obtient une droite passant par l'origine, ce qui nous permet de conclure que l'énergie thermique dégagée est bien proportionnelle à la durée de passage du courant.

Cette droite a un coefficient directeur : $a = 4,5 \text{ J.s}^{-1}$.

Comme $Q_J = R.I^2 . \Delta t$, $a = R.I^2$ d'où $R = 8 \Omega$

La mesure à l'ohmmètre donne 7Ω , ce qui reste cohérent.

3- Influence de la résistance

a) Introduction

Cette expérience n'est pas très facile à réaliser du fait de la reproductibilité délicate des conditions opératoires pour les différentes mesures.

De plus comme pour la partie 1, plus le volume d'eau est important, plus il est nécessaire d'attendre longtemps pour avoir des résultats probants.

b) Protocole

On garde le même circuit.

Dans le calorimètre, verser un volume V_1 d'eau à température ambiante.

Noter la masse d'eau froide (m_1) et la température de cette eau (T_1).

Dans le calorimètre, plonger le conducteur ohmique de résistance souhaitée.

Déclencher le chronomètre en allumant le générateur et régler rapidement l'intensité à la valeur souhaitée (environ 1 A).

Agiter. Relever la température (T_2) au bout de 5 minutes.

c) Exemples de résultats

Calorimètre simplifié 251014 :

Avec $C = 130 \text{ J.K}^{-1}$

$c_{\text{eau}} = 4180 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$

Eau froide : $m_1 \text{ (g)} = 300 \text{ g}$

$I = 1,0 \text{ A}$

$\Delta t = 300 \text{ s}$

R (Ω)	0	2	4	6
$\Delta T = T_2 - T_1$ ($^{\circ}\text{C}$)	0	0,4	0,8	1,4
$Q_J = (C + m_1.c_{\text{eau}}).\Delta T$ (J)	0	554	1107	1938

Le tracé du graphe $Q = f(R)$ donne une droite passant par l'origine : l'énergie dégagée par effet Joule est proportionnelle à la résistance du conducteur ohmique.

Le coefficient directeur vaut : $a = 317 \text{ J.}\Omega^{-1}$.

Comme $Q_J = R.I^2.\Delta t$, $a = I^2.\Delta t = 1^2 \times 300 = 300 \text{ J.}\Omega^{-1}$

Ce qui est cohérent.

Calorimètre petit modèle 251080 :

Avec $C = 70 \text{ J.K}^{-1}$

$c_{\text{eau}} = 4180 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$

Comme il est difficile de se placer exactement dans les mêmes conditions (masse d'eau, intensité, ...) pour les 3 expériences, on peut calculer Q_J par les 2 façons et montrer que l'on trouve à peu près les mêmes résultats.

Exemple de résultats :

	R = 3 Ω	R = 7 Ω	R = 15 Ω
m_1 (g)	97,2	109,3	96,9
I (A)	1,04	0,75	0,80
Δt (s)	300	300	240
ΔT (°C)	2,1	2,7	5,5
$Q_J = (C + m_1 \cdot c_{eau}) \cdot \Delta T$ (J)	1000	1422	2613
$Q_J = R \cdot I^2 \cdot \Delta t$ (J)	936	1181	2420
Erreur relative	7 %	20 %	8 %