
B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQU

Loi de Joule

par André THEVENOT et Michel RUSTERHOLTZ
Lycée Aristide Briand - 27000 Évreux

RÉSUMÉ

Dans le cadre du nouveau programme de sciences physiques de la classe de première S qui met l'accent sur la notion d'énergie nous proposons une vérification de la loi de Joule à l'aide d'un convertisseur fonctionnant en régime stationnaire.

1. BUT DU TP

Vérifier la loi de Joule en utilisant la chaleur de vaporisation de l'eau.

2. MATÉRIEL

- Un ballon de 1 L, une bouilloire, béciers de 100 mL.
- Réfrigérant.
- Résistance de quelques ohms pouvant être immergée.
- Alimentation stabilisée pouvant délivrer un courant de 5 A sous une tension de 30 V.
- Balance sensible au cg.
- Thermomètre, chronomètre.
- Laine de verre et papier aluminium pour isoler le ballon.

3. PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

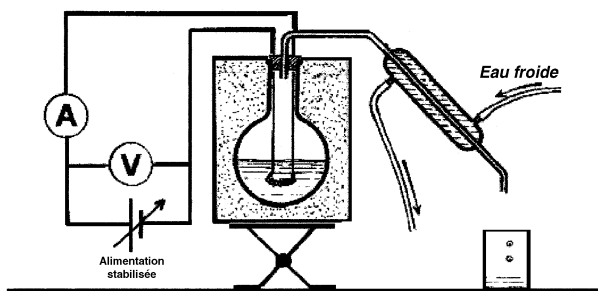


Figure 1

B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQUE

La résistance est réalisée avec un fil de nickel-chrome de 0,5 mm de diamètre qui a été enroulé autour d'un agitateur. Cette résistance est fixée à l'aide de la partie métallique d'un domino à deux gros fils de cuivre.

Bien isoler le ballon dans lequel sera immergée la résistance : pour cela envelopper le ballon d'une feuille d'aluminium et placer ce dernier dans une enceinte remplie de laine de verre.

Chauffer, dans la bouilloire, environ 0,8 L d'eau pour élever sa température au voisinage de 90°C.

Pendant le chauffage réaliser le montage (ne pas fermer le circuit).

Verser l'eau chaude dans le ballon isolé et boucher ce dernier.

Fermer le circuit et régler l'intensité à 4,5 A environ. Suivre l'évolution de la température. Constaté que cette dernière reste constante pendant l'ébullition. Attendre plusieurs minutes afin que le régime stationnaire soit atteint ce qui se traduit par un débit de l'eau de condensation régulier au niveau du bécher.

Déclencher le chronomètre dès que l'on a placé sous le réfrigérant un bécher préalablement pesé sur la balance (utiliser la touche de tare).

Retirer le bécher après un temps déterminé t (4 à 10 min).

Peser le bécher et en déduire la masse d'eau recueillie.

Régler l'alimentation stabilisée pour obtenir une nouvelle intensité de 4,2 A environ.

Replacer le bécher préalablement vidé et essuyé en déclenchant le chronomètre.

Recommencer le même travail avec différentes valeurs de l'intensité.

Remplir le tableau.

B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQU

4. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

U en V	I en A	t en s	m en kg	Débit kg.s^{-1}	$R = U/I$ en Ω	I^2
30,1	4,49	420	$22,31.10^{-3}$	$5,31.10^{-5}$	6,70	20,16
27,5	4,18	242	$10,82.10^{-3}$	$4,47.10^{-5}$	6,58	17,47
25,0	3,78	240	$8,57.10^{-3}$	$3,57.10^{-5}$	6,61	14,29
21,8	3,29	240	$6,16.10^{-3}$	$2,57.10^{-5}$	6,63	10,82
18,6	2,80	240	$4,08.10^{-3}$	$1,70.10^{-5}$	6,64	7,84
14,7	2,20	480	$3,87.10^{-3}$	$0,806.10^{-5}$	6,68	4,84

5. EXPLOITATION DES RÉSULTATS

Soit P_J la puissance électrique fournie, P_{eau} la puissance transférée à l'eau pour maintenir l'ébullition et P_p la puissance correspondant aux pertes donc transférée au milieu ambiant. La conservation de l'énergie permet d'écrire pour le régime permanent :

$$P_J = P_{\text{eau}} + P_p$$

(le dispositif est un convertisseur d'énergie fonctionnant en régime stationnaire).

L'énergie reçue sous forme de chaleur par les m grammes d'eau vaporisée pendant la durée t de l'expérience est :

$$Q = m.L_v$$

où L_v est la chaleur latente de vaporisation de l'eau à 100°C .

$$\text{La puissance transférée à cette masse d'eau est donc : } P_{\text{eau}} = \frac{Q}{t} = \frac{m.L_v}{t} = D \times L_v.$$

D : débit massique de formation de la vapeur = débit massique de l'eau condensée en régime stationnaire (on néglige évidemment la variation de volume occupé par la vapeur au cours de l'ébullition).

B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQU

La puissance P_p est donnée par la formule de Newton :

$$P_p = K (\theta_{eb} - \theta_a)$$

θ_{eb} : température de la paroi interne (température d'ébullition).

θ_a : température ambiante.

K : coefficient qui dépend du système (surface de la paroi, nature des matériaux, températures des différents points).

Quand le régime stationnaire est atteint, c'est-à-dire que les températures de chaque point de l'enceinte sont constantes, le coefficient K est constant. Il en résulte que P_p reste le même pour toutes les mesures.

Si la loi de Joule est de la forme : $P_J = R.I^2$

alors

$$RI^2 = D.L_v + P_p$$

Soit :

$$D = \frac{R}{L_v} I^2 - \frac{P_p}{L_v}$$

On doit vérifier que le débit est une fonction affine de la forme : $D = a.I^2 + b$.

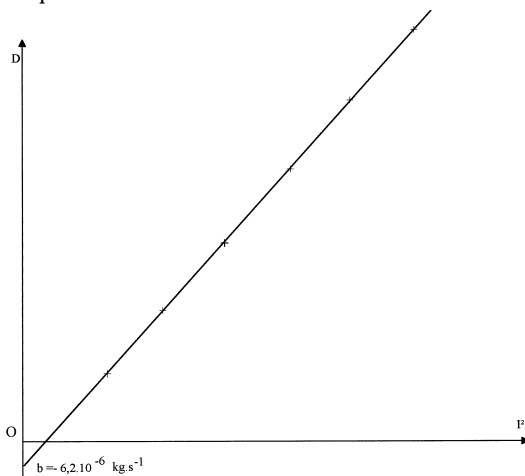


Figure 2

B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQUE – B.U.P. PRATIQUE

6. REPRÉSENTATION GRAPHIQUE ET EXPLOITATION DU GRAPHE

On représente D en fonction de I^2 et on calcule le coefficient directeur de la droite obtenue.

On trouve $a = 2,94.10^{-6}$ u SI.

Comme la chaleur de vaporisation de l'eau L_v est $2,26.10^6 \text{ J.kg}^{-1}$, on en déduit la résistance du fil à 100°C soit $R = a.L_v = 6,64 \Omega$ valeur en parfait accord avec celle obtenue à partir de la loi d'Ohm (on observe une légère augmentation de la résistance R au cours de l'expérience qui est due à une détérioration superficielle du fil et qui accroît sa résistance sachant que la première mesure du tableau est en fait la dernière réalisée dans le temps).

La représentation graphique permet de calculer la puissance correspondant aux pertes. On détermine $b = -6,2.10^{-6} \text{ kg.s}^{-1}$:

$$P_p = -b.L_v = 6,210^{-6} . 2.26.10^6 = 14,0 \text{ W}$$

On en déduit l'intensité minimale qui permet de maintenir la température de l'eau à 100°C sans ébullition c'est-à-dire que toute la puissance électrique est transférée au milieu ambiant.

$$P_p = RI_{\text{mini}}^2 = 14,0 \text{ W}$$

$$I_{\text{min i}} = \sqrt{\frac{14}{6,64}} = 1,47 \text{ A}$$