



Leçon 15

ÉNERGIE CONSOMMÉE DANS UNE PORTION DE CIRCUIT

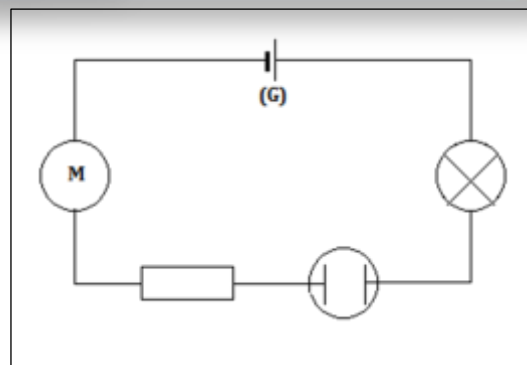


ACTIVITÉS

Activité

Observe attentivement la figure ci-contre.

Après avoir identifié chaque dipôle, caractérise-les et donne la forme d'énergie traduite par chaque dipôle. Fais alors un bilan énergétique du circuit.



Objectifs

- Faire le bilan des différentes formes d'énergies consommées dans une portion de circuit électrique.
- Énoncer et appliquer la loi de Joule

1. Notion d'énergie électrique

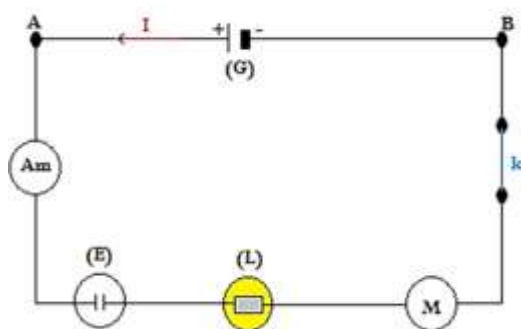


Figure 15.1 : Circuit d'entrée

Légende

- (G) : générateur
- (Am) : Ampèremètre.
- (E) : Électrolyseur.
- (L) : Lampe témoin.
- (M) : Moteur.
- (k) : Interrupteur.

- Lorsque k est ouvert, rien ne se passe dans le circuit
- On ferme k : on observe :
 - L'aiguille de (Am) dévie
 - La lampe (L) brille et s'échauffe : de l'**énergie calorifique** (W_{cal}) est produite suite au passage du courant électrique s'accompagnant aussi par la production de l'**énergie rayonnante** (W_{ray}).
 - Le moteur (M) tourne et chauffe : de l'**énergie mécanique** (W_{mec}) s'est produite.
 - Il y a des dégagements gazeux aux électrodes de (E) qui s'échauffe : de l'**énergie chimique** (W_{chi}) est produite.

Conclusion

Suite au passage du courant électrique, l'énergie électrique ($W_{él}$) fournie par le générateur à la portion AB, se transforme en énergie **mécanique, chimique, rayonnante et calorifique** :

$$W_{él} = W_{ray} + W_{cal} + W_{mec} + W_{chi} \quad (15.1)$$

2. Énergie, puissance et tension électriques

- Relation **énergie-tension** : par définition, $W_{el} = U_{AB} \times I_{AB} \times t$ (15.2)

Unités : U_{AB} : tension (V) ; t : temps (s) ; I_{AB} : intensité (A) et W_{el} : énergie (J) ou en (Wh)

- Expression de la puissance électrique P_{el}

Par définition :
$$P_{el} = \frac{W_{el}}{t} = U_{AB} \times I_{AB} \quad (15.3)$$

où P_{el} : puissance en Watts (W).

Exemple

Une petite lampe à incandescence soumise à une tension de 4,3 V est traversée par un courant d'intensité 93 mA. Calculer l'énergie électrique qu'elle consomme pendant cinq minutes de fonctionnement.

Solution

Données : $I = 93 \text{ mA} = 93 \cdot 10^{-3} \text{ A}$; $U = 4,3 \text{ V}$; $t = 5 \text{ min} = 300 \text{ s}$.

Calculons l'énergie électrique W_{el} consommée.

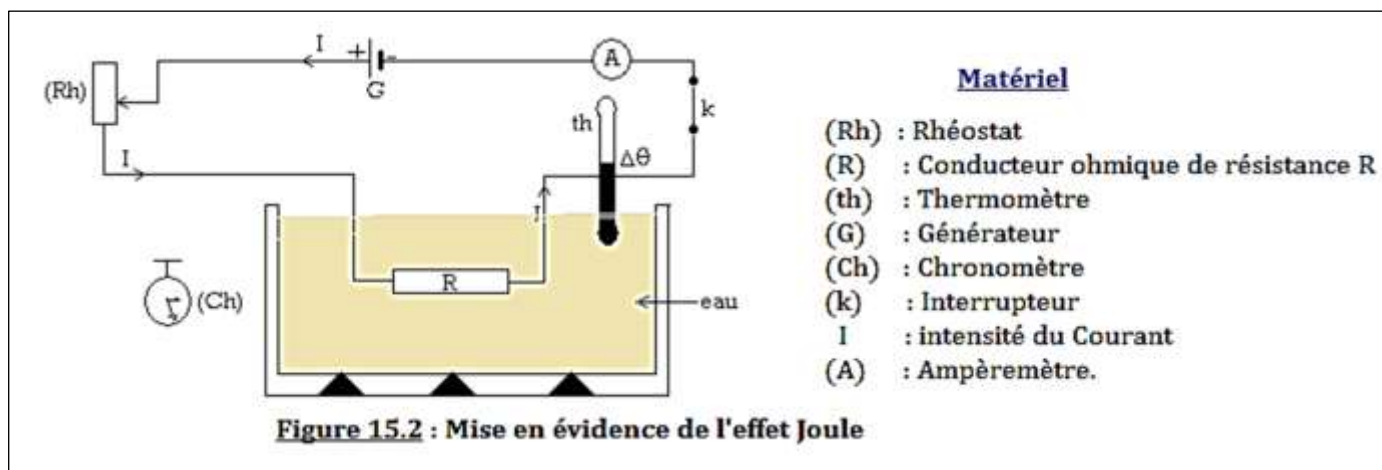
Par définition, $W_{el} = U \times I \times t$ AN : $W_{el} = 120 \text{ J} = 120 \times 3600 = 432 \cdot 10^3 \text{ Wh} = 432 \text{ kWh}$

3. Loi de Joule : l'effet Joule

3.1. Définition de l'effet Joule

L'**effet Joule** est le dégagement de chaleur qui se produit dans un conducteur lors du passage d'un courant électrique.

3.2. Étude expérimentale



- Faits expérimentaux :**

- La quantité de chaleur absorbée par le calorimètre à eau pour une élévation de température $\Delta\theta$, est : $Q = (\mu + m) \times C_e \times \Delta\theta = (\mu + m) \times C_e \times (\theta_f - \theta_i)$ (15.4)

μ = valeur en eau du calorimètre (kg)

C_e = chaleur massique de l'eau (J/kg/°C) ou (J/kg/K)

m = masse d'eau dans le calorimètre (kg)

- Résultats expérimentaux**

L'expérience montre que la quantité de chaleur dégagée par le résistor R suite au passage du courant est :



- Proportionnelle à la durée **t** de passage dudit courant
- Proportionnelle au carré de l'intensité **I** du courant
- Variable avec la nature du résistor.

Énoncé de la loi de Joule

« La quantité de chaleur **Q (W)** dégagée par effet joule dans un conducteur de résistance **R** traversé par un courant **I**, est égale au produit de sa résistance par le carré de l'intensité du courant et par la durée **t** de passage dudit courant : **$W = Q = R \times I^2 \times t$** (15.5)

Remarque

- ♦ L'effet joule se manifeste aussi bien en courant continu qu'en courant alternatif.
- ♦ L'intensité efficace **I** d'un courant alternatif est définie comme étant l'intensité du courant continu qui, passant dans le même conducteur pendant le même temps, produirait la même quantité de **chaleur** que ce courant alternatif :

$$I = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} \Rightarrow \begin{cases} I_{\max} = \text{intensité max. du courant alternatif} \\ I = \text{intensité efficace du courant alternatif} \end{cases} \quad (15.6)$$

- ♦ À l'intensité efficace correspond une tension efficace **U** tel que :

$$U = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} \Rightarrow \begin{cases} U_{\max} = \text{tension max. du courant alternatif} \\ U = \text{tension efficace du courant alternatif} \end{cases} \quad (15.7)$$

3.3. Application de l'effet Joule

- Les applications de l'effet joule sont celles qui mettent à profit la conservation de l'énergie électrique en énergie calorifique.
- On peut alors citer comme domaines d'application de l'effet Joule, les domaines suivants :
 - En **électroménager** : fer-à-repasser ; chauffe-eau ; plaque chauffante ; etc.
 - Dans **l'industrie** : fours électriques
 - Dans **les installations électriques** : fusible ; lampes à incandescence ; etc.
 - Etc.

4. Bilan énergétique et rendement d'une portion de circuit

- Pour faire un bilan énergétique dans une portion de circuit, il faut tout d'abord identifier les formes d'énergie mise en jeu, puis discerner l'**énergie utile** de l'**énergie perdue**.
- Le rendement **η (êta)** d'une portion de circuit est le rapport de l'énergie utile par l'énergie reçue et s'exprime en pourcentage (%) :

$$\eta = \frac{W_{\text{utile}}}{W_{\text{reçue}}} = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{reçue}}} \quad (15.8)$$

4.1. Bilan énergétique dans un résistor

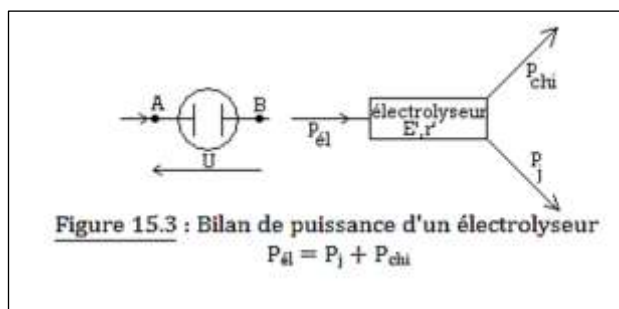
- Le rendement d'un conducteur ohmique est : $\eta = \frac{P_{\text{cal}}}{P_{\text{el}}} = \frac{Q_J}{W_{\text{el}}} \quad (15.9)$

il est pratiquement égal à 1.

- Pour une lampe, la puissance utile est la puissance rayonnante **P_{ray}** émise dans le visible. Dans ce cas le rendement sera :

$$\eta = \frac{P_{\text{ray}}}{P_{\text{el}}} \quad (15.10)$$

4.2. Bilan énergétique dans un électrolyseur



On sait que la tension U aux bornes d'un électrolyseur est donnée par : $U = E' + r' \cdot I$ (*)

En multipliant (*) par I ,

$$\Rightarrow U \cdot I = E' \times I + r' \times I^2 \quad (2^*)$$

Posons :

- $P_{el} = U \times I$ = puissance consommée par l'électrolyseur ; (15.11)

- $P_J = r' \times I^2$ = puissance dissipée par effet Joule ; (15.12)

- $P_{chi} = E' \times I$ = puissance électrique transformée aux électrodes en puissance chimique : c'est la **puissance utile** : $P_u = P_{chi}$ (15.13)

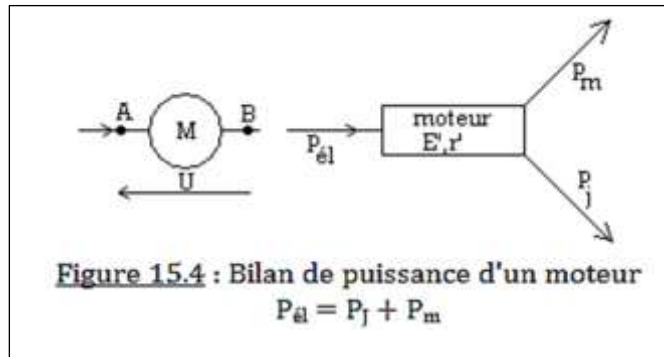
Le rendement est :

$$\eta = \frac{P_{chi}}{P_{el}} = \frac{W_u}{W_{el}} = \frac{E' \cdot I}{U \cdot I} = \frac{E'}{U} = \frac{E'}{E' + r' \cdot I} \quad (15.14)$$

Remarque

L'électrolyseur à anode soluble se comporte comme un conducteur ohmique car $E' = 0 \text{ V}$.

4.3. Bilan énergétique d'un moteur à courant continu



De même que l'électrolyseur, on a : $U = E' + r' \cdot I$ (3*)

en multipliant (3*) par I , on a : $\Rightarrow U \times I = E' \times I + r' \times I^2$. (4*)

Posons :

- $P_{el} = U \times I$ = puissance consommée par le moteur ; (15.15)

- $P_J = r' \times I^2$ = puissance dissipée transformée par effet Joule. (15.16)

- $P_m = E' \times I$ = puissance électrique transformée en puissance mécanique : c'est la puissance utile du moteur $P_u = P_m$ (15.17)

Le rendement est :

$$\eta = \frac{P_m}{P_{el}} = \frac{W_u}{W_{el}} = \frac{E' \cdot I}{U \cdot I} = \frac{E'}{U} = \frac{E'}{E' + r' \cdot I} \quad (15.18)$$

Remarque

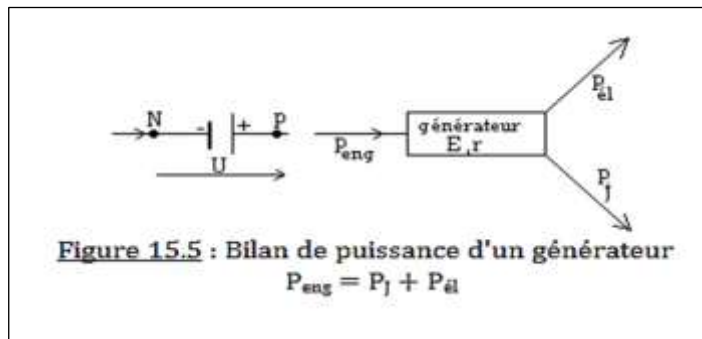
Si le moteur est bloqué, $E' = 0 \text{ V}$, le moteur se comporte comme un résistor de résistance r' .

4.4. Bilan énergétique d'un générateur

(a) Définition

Un **générateur** est un convertisseur d'énergie qui transforme un type d'énergie (chimique, mécanique) en énergie électrique cédée aux différents récepteurs du circuit.

(b) Bilan énergétique



En générateur :

$$U = E - r \times I. \quad (5^*)$$

Si on multiplie par I, on obtient :

$$\Rightarrow U \times I = E \times I - r \times I^2 \quad (6^*)$$

Posons :

- $P_{el} = U \times I$ = puissance électrique **cédée** ou **perdue** par le générateur et utilisée à l'extérieur de celui-ci. Elle porte le nom de puissance **disponible** et est notée : $P_{dispo} = P_{el}$. (15.19)
- $P_j = r \times I^2$ = puissance dissipée par effet joule dans le générateur
- $P_{eng} = E \times I$: puissance chimique ou mécanique transformée en puissance **engendrée**. (15.20)

Le rendement est donné par :

$$\eta = \frac{W_{el}}{W_{eng}} = \frac{P_{el}}{P_{eng}} = \frac{E - r \times I}{E} \quad (15.21)$$

5. Puissance en courant alternatif

Elle est donnée par la relation suivante : $P = U \times I \times \cos \alpha = U \times I \times k$ (15.22)

Unité : U (en V) ; I (en A) ; $\cos \alpha = k$ = **facteur de puissance** du circuit (**généralement $k \leq 1$**) et P (en W).

6. Notion de pertes d'énergie

- Les pertes d'énergie dans un circuit ou dans un réseau électrique sont dues à l'effet joule.
- Pour une puissance **P** à transporter en ligne :

$$- P_{cal} = R \times \left(\frac{P}{U} \right)^2 \quad \text{en courant continu.} \quad (15.23)$$

$$- P_{cal} = R \times \left(\frac{P}{k \times U} \right)^2 \quad \text{en courant alternatif.} \quad (15.24)$$

- Pour minimiser les pertes il faut :
 - Utiliser des fils conducteurs de faible résistance. Cas des câbles en cuivre.
 - Utiliser de câbles de section élevée
 - Transporter l'énergie électrique sous **haute-tension** (**de 15000 à 200000 V**)



- Augmenter le facteur de puissance de l'installation (utilisation des batteries de recharge dans les stations de pompage).

Remarque

✍ La puissance absorbée P_{ab} est donnée par la relation :

$$P_{ab} = \frac{P_u}{r} \quad \text{où } r \text{ est une constante (rapport de pourcentage)} \quad (15.25)$$

✍ La puissance apparente P_a vaut : $P_a = \frac{P_{ab}}{k}$ où k facteur de puissance. (15.26)

✍ La puissance apparente en courant alternatif est :

$$P_a = U \times I \text{ et s'exprime en Voltampère (VA).} \quad (15.27)$$

✍ La résistance R d'un conducteur cylindrique et homogène est donnée par la relation :

$$R = \rho \frac{\ell}{S} \begin{cases} \rho : \text{résistivité d'un conducteur.} (\Omega m) \\ S : \text{surface de section.} (m^2) \\ \ell : \text{longueur du conducteur cylindrique.} (m) \end{cases} \quad (15.28)$$

Exemple

On monte en série, un générateur (G), un électrolyseur (E) et une lampe (L).

Les caractéristiques sont : (G) : $\{r = 3\Omega ; E = 15V\}$; (E) : $\{r_1' = 2\Omega ; E' = 3,5V\}$; (L) : $\{r_2' = 10m\Omega\}$.

- (1) En circuit fermé, calculer l'intensité du courant qui circule dans le circuit.
- (2) Évaluer le rendement en tension de l'électrolyseur.
- (3) Pour une raison inconnue, le générateur (G) est court-circuité. Déterminer le courant de court-circuit I_{CC} du générateur.

Solution

(1) Calculons I

D'après la loi de Pouillet,

$$I = \frac{E - E'}{r + r_1' + r_2'} \quad \underline{\text{AN}} : I = 2,295 \approx 2,3 \text{ A.}$$

(2) Calculons η_u

On sait que,

$$\eta_u = \frac{E'}{E' + r_1' I} \quad \underline{\text{AN}} : \eta_u = 0,43 = 43\%$$

(3) Déterminons I_{CC} .

On sait que,

$$I_{CC} = \frac{E}{r} \quad \underline{\text{AN}} : I_{CC} = 5 \text{ A.}$$

7. Jeu bilingue

Expression française	English expression
Énergie	Energy
Effet Joule	Joule effect
Perte d'énergie	Loss of energy

Sentence

The Joule effect is characterized by the warming of an electrical component when it is run by the current.