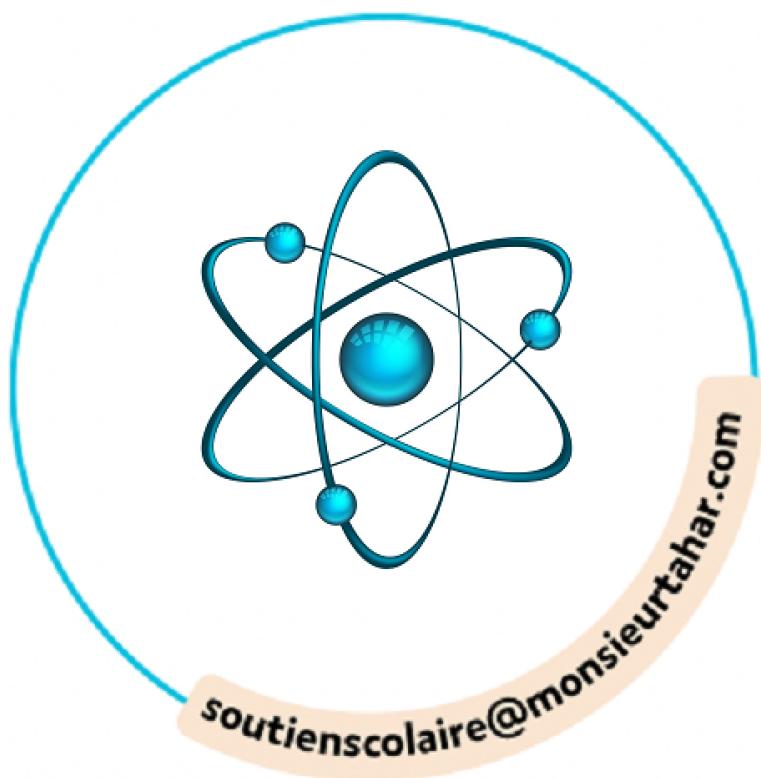


Aspect énergétique des phénomènes électriques



CHAPITRE 8

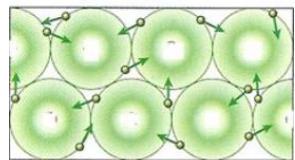
Chapitre 8 Aspects énergétiques des phénomènes électriques

I Le courant électrique

1) Les porteurs de charge

Les milieux conducteurs contiennent des particules chargées libres de se déplacer appelées **porteurs de charge**. Ce sont les **électrons libres** dans les métaux et les **ions** (cations et anions) dans les solutions conductrices.

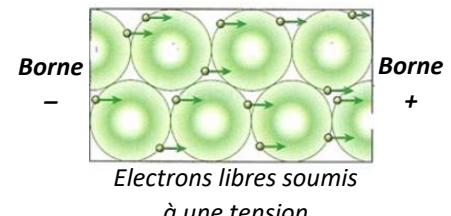
En l'absence de générateur, les porteurs de charge ont un mouvement aléatoire (désordonné)



Electrons libres dans un métal

Quand on soumet un métal ou une solution à une tension électrique, les porteurs de charge adoptent un **mouvement d'ensemble ordonné** et constituent le courant électrique.

Les porteurs de charge se déplacent tous dans la même direction, vers la même borne (en moyenne) dans le milieu conducteur.

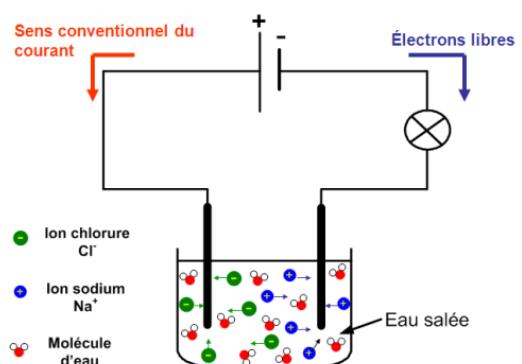


à une tension

Pour connaître le sens de déplacement : « les opposés s'attirent » :

- Les **électrons libres (négatifs)** dans les fils métalliques se dirigent vers la **borne positive** du générateur.
- Les **anions négatifs** dans les solutions se dirigent vers la borne de l'électrolyseur reliée à la **borne positive** du générateur.
- Les **cations positifs** dans les solutions se dirigent vers la borne de l'électrolyseur reliée à la **borne négative** du générateur.

Attention : Les ions restent en solutions, les électrons libres restent dans les fils (chacun chez soi).



Rappel : Chaque porteur de charge a une charge électrique multiple de la charge électrique élémentaire ($e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$).

Remarque : Le **sens conventionnel du courant** est celui du déplacement des porteurs de charges positives : de la borne + vers la borne - à l'extérieur du générateur.

2) Intensité du courant électrique

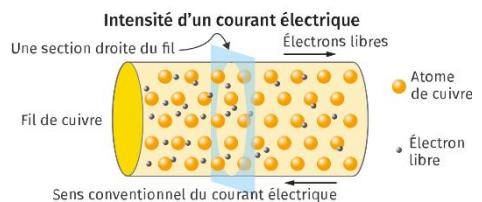
Le courant électrique est d'autant plus intense que les porteurs de charge sont nombreux ou rapides. L'intensité du courant est donc liée au nombre de charges traversant un conducteur.

Pour faire une comparaison, le débit d'eau correspond à la quantité d'eau passant dans une canalisation par unité de temps. Par exemple, le débit d'un tuyau d'arrosage est de l'ordre de 20 L par minute, son débit vaut donc $\frac{20}{60} = 0,33$ L par seconde ($0,33 \text{ L.s}^{-1}$).

De la même manière, l'intensité est un **débit de charges électriques**.

Elle correspond à la quantité de charges électriques qui passent dans un conducteur par unité de temps.

Par exemple, si une charge de 48 C passe dans un fil pendant 15 s , le débit de charges électriques est de $\frac{48}{15} = 3,2$ coulombs par seconde, c'est-à-dire $3,2$ ampères. Un ampère correspond donc à **1 coulomb par seconde**.



Si une charge électrique Q traverse un conducteur durant une durée Δt , alors l'intensité du courant électrique est défini par la relation :

$$I = \frac{Q}{\Delta t}$$

I : intensité du courant électrique en ampère (A)
 Q : charge électrique en coulomb (C)
 Δt : durée en seconde (s)

Remarque : Les charges électriques peuvent être positives ou négatives. L'intensité du courant sera donc également positive ou négative, en fonction du signe de la charge électrique. On dit que le courant est une **grandeur algébrique**.

Exercice : Un courant électrique circule dans un câble. Pendant une durée de $3,0$ minutes, on dénombre $1,12 \times 10^{19}$ électrons libres qui ont traversé une section du câble. $q_{\text{électron}} = -e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

1) A quelle charge (en coulomb) cela correspond-il ?

Charge électrique des électrons : $Q = N \times (-e) = 1,12 \times 10^{19} \times (-1,6 \times 10^{-19}) = \underline{\underline{-1,8 \text{ C}}}$.

2) En déduire la valeur de l'intensité du courant électrique circulant dans ce câble.

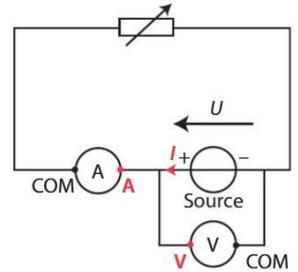
$$I = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{-1,8}{3,0 \times 60} = \underline{\underline{-0,010 \text{ A}}}$$

II Source réelle de tension

La **caractéristique** d'un dipôle est la représentation graphique de la tension U à ses bornes en fonction de l'intensité I du courant qui le traverse.

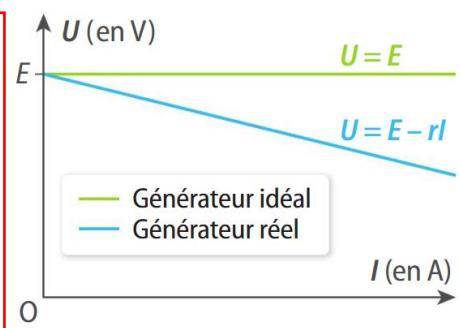
Schéma du montage permettant de tracer la caractéristique d'une source de tension :

Le courant électrique est engendré par la présence d'un générateur, appelé également **source de tension**. On distingue deux types de sources de tension :



La **source idéale de tension** est un générateur théorique, dont la tension E reste constante, quel que soit le courant débité par la source.

La **source réelle de tension** est un modèle plus réaliste de certains générateurs. Il peut être modélisé par une source idéale de tension E en série avec une résistance r appelée **résistance interne de la source**.



La tension E est également appelée **tension à vide** du générateur. C'est la tension aux bornes du générateur quand celui-ci ne débite aucun courant ($I = 0$), en ne branchant aucun dipôle à ses bornes.

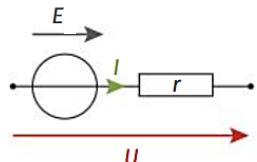
L'existence d'une **résistance interne** a des conséquences sur le fonctionnement de la source réelle. Quand l'intensité du courant débité par la source augmente, la valeur de la tension électrique aux bornes du dipôle diminue.

La tension aux bornes de la source réelle a pour équation :

$$\mathbf{U = E - r I}$$

U et E : tension en volt (V)
 r : résistance interne en ohm (Ω)
 I : intensité en ampère (A)

Modélisation :



Exercice :

Une batterie d'accumulateurs de voiture a une tension à vide $E = 12,0$ V et une résistance interne $r = 10,0$ m Ω .

1) Ecrire l'équation de la caractéristique de cette source réelle de tension.

Résistance : $r = 10,0$ m $\Omega = 10,0 \times 10^{-3}$ Ω Equation : $\mathbf{U = 12,0 - 10,0 \times 10^{-3} \times I}$

2) Calculer la tension aux bornes de cette batterie lorsqu'elle est traversée par un courant d'intensité 25,0 A.

Tension : $U = 12,0 - 10,0 \times 10^{-3} \times 25,0 = \underline{11,75}$ V.

III Puissance et énergie

1) Puissance d'un dipôle

La puissance est une grandeur indiquant l'aptitude d'un système à convertir rapidement de l'énergie.

La puissance électrique P reçue ou fournie par un dipôle est définie par la relation :

$$\mathbf{P = U I}$$

P : puissance reçue ou fournie en watt (W)
U : tension aux bornes du dipôle en volt (V)
I : intensité du courant électrique qui traverse le dipôle en ampère (A)

Quelques ordres de grandeur de puissances fournies ou reçues :

Puissance électrique en entrée (W)					Puissance électrique en sortie (W)	
Calculatrice	Smartphone	Lampe à LED	Ordinateur	Radiateur	Éolienne	Centrale nucléaire
10^{-3}	10^0	10^1	10^2	10^3	$10^5 - 10^6$	10^9

Exercice : Le microprocesseur d'un smartphone est traversé par un courant d'intensité 150 mA. La tension électrique à ses bornes vaut 5,0 V. Calculer la puissance du microprocesseur.

$$P = U I = 5,0 \times (150 \times 10^{-3}) = \underline{0,75}$$
 W

2) Cas des conducteurs ohmiques

Si on associe la définition de la puissance ($P = U I$) et la loi d'Ohm aux bornes d'un conducteur ohmique ($U = R I$). On obtient la relation : $P = U I = (R I) \times I = R I^2$.



La puissance reçue par un conducteur ohmique est donnée par la relation :

$$\mathbf{P = R I^2}$$

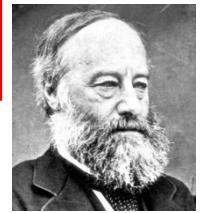
P : puissance reçue par le conducteur ohmique en watt (W)
R : résistance du conducteur ohmique en ohm (Ω)
I : intensité du courant qui traverse le conducteur ohmique en ampère (A)

Au niveau microscopique, les interactions entre les électrons libres d'un fil et les noyaux immobiles peuvent être modélisées par une force de frottement. Le matériau s'échauffe, d'autant plus que le courant électrique est important.

Cette puissance reçue est dissipée sous forme de chaleur (énergie thermique). C'est l'effet Joule.

Même les fils de connexion ont une résistance bien qu'elle soit très faible. Ainsi, tout circuit électrique produit de la chaleur lors de son fonctionnement par effet Joule.

Le nom de ce phénomène provient du physicien anglais **James Prescott Joule**.



Remarque : Certains multiples sont parfois utilisés : le mégawatt (1 MW = 10^6 W), le gigawatt (1 GW = 10^9 W) et le térawatt (1 TW = 10^{12} W).



Lorsque l'on veut réduire au minimum l'effet Joule pour éviter de perdre de l'énergie, le fil électrique doit être d'autant plus épais que l'intensité du courant qui le traverse est importante. Il existe donc des fils électriques de différentes épaisseurs.

À cause de l'effet Joule, lorsque l'on fait passer un courant de grande intensité dans un minuscule filament, ce dernier devient très chaud. Il peut devenir incandescent, comme les fils d'un grille-pain. Cette propriété est utilisée pour fabriquer les ampoules à incandescence.



3) Energie électrique

L'énergie reçue ou fournie par un appareil électrique est liée à la durée Δt de fonctionnement et à la puissance P de l'appareil :

$$E = P \Delta t$$

E : énergie reçue ou fournie en joule (J)

P : puissance en watt (W)

Δt : durée en seconde (s)

Remarque : On utilise souvent une unité (qui n'est pas une unité légale) : le **wattheure** (Wh) ou le **kilowattheure** (1 kWh = 1000 Wh). On obtient cette unité avec la puissance en W ou kW et la durée en heure.

Un wattheure (Wh) est l'énergie consommée par un appareil de puissance $P = 1$ W pendant 1 heure (= 3 600 s)

Donc : $E = P \Delta t = 1 \times 3\,600 = 3\,600$ J

$$1 \text{ kWh} = 1\,000 \text{ Wh} = 3\,600\,000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$$

$$1 \text{ Wh} = 3\,600 \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$$

Exercices :

1) *Calculer l'énergie consommée, en joule, lorsque l'on passe l'aspirateur de puissance 1200 W pendant 30 minutes.*

$$\Delta t = 30 \text{ min} = 30 \times 60 = 1,8 \times 10^3 \text{ s}$$

$$E = P \Delta t = 1\,200 \times 1,8 \times 10^3 = \underline{\underline{2,2 \times 10^6 \text{ J}}} = 2,2 \text{ MJ.}$$

2) *Calculer l'énergie dissipée par effet Joule en 10 s par un conducteur ohmique de 100 Ω alimenté par un courant de 60 mA.*

$$\text{Puissance : } P = R I^2 = 100 \times (60 \times 10^{-3})^2 = 0,36 \text{ W.}$$

$$\text{Energie dissipée : } E = P \Delta t = 0,36 \times 10 = \underline{\underline{3,6 \text{ J}}}.$$

4) Bilan de puissance dans un circuit

Soit un circuit composé d'un générateur et de plusieurs dipôles D_1 , D_2 , D_3 et D_4 . Comme l'énergie totale du circuit se conserve, on peut établir une relation entre l'énergie délivrée par le générateur et les énergies converties par les différents dipôles passifs (résistance, lampe, etc.) contenus dans le circuit.

$$E_{\text{générateur}} = E_1 + E_2 + E_3 + E_4$$

En divisant cette relation par la durée Δt , on obtient une relation entre les différentes puissances, appelée **bilan de puissance** :

$$P_{\text{générateur}} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

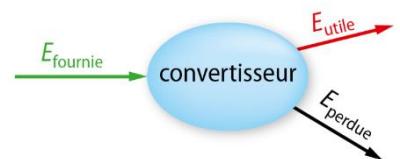
IV Rendement d'un convertisseur

Contrairement à ce qui est dit dans le langage courant, l'énergie ne peut pas être produite. Un dipôle reçoit une forme d'énergie et la convertit en une autre forme. Il est appelé **convertisseur**.

Il existe différentes formes d'énergie : mécanique (liée au mouvement), nucléaire, chimique, électrique ou thermique.

L'énergie que l'on souhaite obtenir (pour s'éclairer, se chauffer, se déplacer, ...) est **l'énergie utile**.

Une conversion peut s'accompagner de pertes, c'est-à-dire d'une conversion en une forme d'énergie non voulue, appelée **énergie perdue**.



Exemple : un moteur électrique est alimenté par un générateur, il reçoit donc de l'énergie électrique qu'il utilise pour tourner. Il convertit l'énergie électrique en énergie mécanique. Pendant qu'il fonctionne, une petite partie de l'énergie électrique est perdue par effet Joule et est convertie en énergie thermique.

Lors d'une conversion, on peut raisonner sur l'énergie ou la puissance, liées par la durée du phénomène.

Le rendement de la conversion, noté η (lettre grecque éta), d'un convertisseur est défini par :

$$\eta = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{fournie}}} = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{fournie}}}$$

Convertisseur	Rendement
Panneau photovoltaïque	15 %
Centrale nucléaire	33 %
DEL	80 %
Lampe à incandescence	5 %
Radiateur	100 %
Voiture électrique	De 50 à 65 %

Doc. 11. Exemples de rendements.

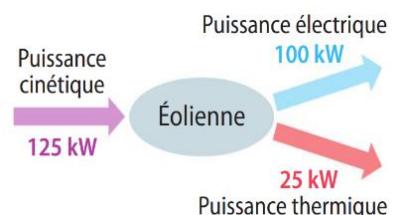
Remarques :

- Les deux énergies ou les deux puissances doivent être dans la même unité.
- Le rendement a toujours une valeur comprise entre 0 et 1. Il s'exprime généralement en %.
- L'énergie perdue est très souvent de l'énergie thermique dissipée par effet Joule.

Exercices :

1) Une éolienne convertit l'énergie cinétique du vent en énergie électrique (utile) et en énergie thermique (non voulue). Calculer son rendement.

$$\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{totale}}} = \frac{100}{125} = 0,800 = \underline{\underline{80,0 \%}}$$



2) Un moteur électrique est soumis à une tension de 4,5 V. Il est traversé par un courant d'intensité $I = 0,050 \text{ A}$. Il fournit une puissance mécanique $P = 0,20 \text{ W}$.

a) Calculer la puissance électrique fournie au moteur.

$$P_{\text{fournie}} = U I = 4,5 \times 0,050 = \underline{\underline{0,23 \text{ W}}}$$

b) Calculer le rendement du moteur électrique.

$$\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{totale}}} = \frac{0,20}{0,23} = 0,89 = \underline{\underline{89 \%}}$$

