

Chapitre 3: Récepteurs et générateurs

1. Energie électrique reçue ou cédée par un dipôle

a) Energie électrique

Certains dipôles reçoivent de l'énergie potentielle électrique de la part des charges qui le traversent : ce sont **les récepteurs** !

Exemples :

- résistors : ce sont les fils électriques de tout genre, les lampes à incandescence, les fils chauffants des appareils ménagers ; ils transforment de l'énergie électrique en énergie thermique ;
- moteurs électriques : ils sont mis en mouvement (de rotation) par des forces motrices ; ils transforment de l'énergie électrique en énergie mécanique et en énergie thermique ;
- électrolyseurs et accumulateurs en train d'être rechargées : ils transforment de l'énergie électrique en énergie chimique et en énergie thermique.

D'autres dipôles fournissent de l'énergie potentielle électrique aux charges qui le traversent : ce sont **les générateurs** !

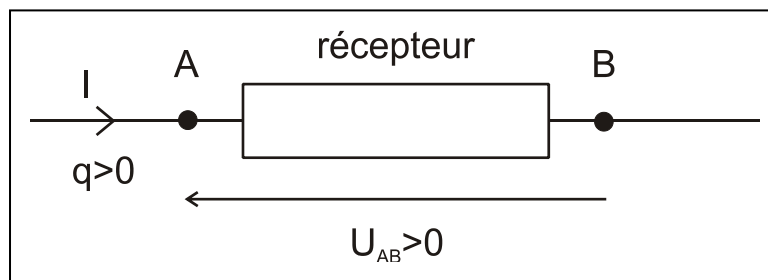
Exemples :

- piles et accumulateurs en train d'être déchargées : ils transforment de l'énergie chimique d'un corps chimique qu'ils contiennent, en énergie électrique et en énergie thermique ;
- dynamos et alternateurs : ils transforment de l'énergie mécanique en énergie électrique et en énergie thermique ;
- cellule photoélectriques, photovoltaïques : ils transforment de l'énergie rayonnante en énergie électrique et en énergie thermique ;
- boîtes d'alimentations et transformateurs : ils transforment de l'énergie électrique sous une tension u_1 en énergie électrique sous une tension différente u_2 et en énergie thermique.

Conclusions :

- On appelle énergie électrique l'énergie potentielle électrique échangée entre les charges et les générateurs/récepteurs qu'elles traversent.
- Pour tous les récepteurs et tous les générateurs, il y a conservation de l'énergie !
- Pour les dipôles autres que ceux destinés spécialement à produire de l'énergie thermique, l'apparition d'énergie thermique par effet Joule constitue normalement une « perte d'énergie » !

b) Energie électrique reçue par un récepteur



Considérons une charge $q > 0$ traversant le récepteur de A vers B.

En A, elle possède l'énergie potentielle électrique $E_{p \text{ élect A}} = qV_A$.

En B, elle possède l'énergie potentielle électrique $E_{p \text{ élect B}} = qV_B$.

L'énergie électrique reçue par le récepteur vaut:

$$E_{\text{élect}} = E_{p \text{ élect A}} - E_{p \text{ élect B}} = q(V_A - V_B) = qU_{AB}$$

Comme l'énergie reçue est positive, $V_A > V_B$, et $U_{AB} > 0$. La charge $q > 0$ se déplace du potentiel plus élevé vers le potentiel moins élevé.

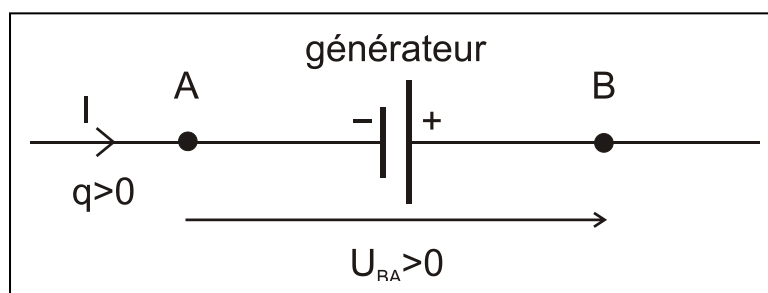
Compte tenu du sens conventionnel du courant électrique:

Le courant circule à travers le récepteur du potentiel plus élevé vers le potentiel moins élevé.

D'après la définition de l'intensité de courant, $q = I \cdot \Delta t$, où q est la charge totale ayant traversé le récepteur pendant la durée Δt .

Finalement : $E_{\text{élect}} = U_{AB} \cdot I \cdot \Delta t$

c) Energie électrique fournie par un générateur



Considérons une charge $q > 0$ traversant le générateur de A vers B.

En A, elle possède l'énergie potentielle électrique $E_{p \text{ élect A}} = qV_A$.

En B, elle possède l'énergie potentielle électrique $E_{p \text{ élect B}} = qV_B$.

L'énergie électrique fournie par le générateur vaut :

$$E_{\text{élect}} = E_{p \text{ élect B}} - E_{p \text{ élect A}} = q(V_B - V_A) = qU_{BA}$$

Comme l'énergie fournie est positive, $V_B > V_A$, et $U_{BA} > 0$. La charge $q > 0$ se déplace du potentiel moins élevé vers le potentiel plus élevé.

Compte tenu du sens conventionnel du courant électrique:

Le courant circule à travers le générateur du potentiel moins élevé vers le potentiel plus élevé.

D'après la définition de l'intensité de courant, $q = I \cdot \Delta t$, où q est la charge totale ayant traversé le générateur pendant la durée Δt .

Finalement :
$$E_{\text{élect}} = U_{BA} \cdot I \cdot \Delta t$$

d) Conclusion

L'énergie électrique reçue (de la part d'un courant électrique) par un récepteur, et l'énergie électrique fournie par un générateur (à un courant électrique) s'écrivent :

$$E_{\text{élect}} = U \cdot I \cdot \Delta t$$

où U est la tension positive aux bornes du récepteur/générateur, I l'intensité du courant circulant à travers le récepteur/générateur, et Δt la durée pendant laquelle le courant a circulé.

e) Puissance électrique

La puissance reçue (fournie) par un système est numériquement égale à l'énergie reçue (fournie) par unité de temps.

$$P = \frac{W}{\Delta t}$$

La puissance électrique reçue (de la part d'un courant électrique) par un récepteur, et la puissance électrique fournie par un générateur (à un courant électrique) s'écrivent :

$$P_{\text{élect}} = U \cdot I$$

où U est la tension positive aux bornes du récepteur/générateur, I l'intensité du courant circulant à travers le récepteur/générateur, et Δt la durée pendant laquelle le courant a circulé.

f) Interprétation de la tension U aux bornes d'un dipôle

La tension U aux bornes d'un dipôle peut être interprétée comme la puissance électrique transformée par le dipôle lorsque celui-ci est parcouru par un courant d'intensité 1 A.

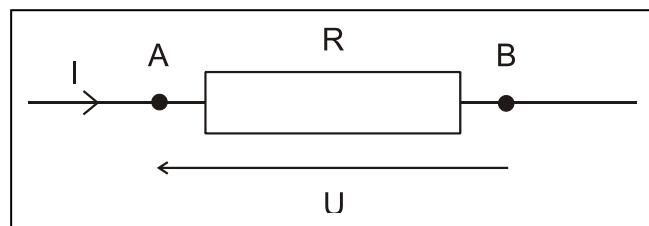
De tout ce qui précède, il découle

qu'il existe une tension aux bornes d'un dipôle dès qu'il y a transformation d'énergie électrique en une autre forme ou transformation d'une autre forme d'énergie en énergie électrique.

2. Loi d'Ohm pour un résistor

a) Relation entre tension U aux bornes et intensité I du courant

Rappel de la classe de 3^e :



A température constante, la tension U aux bornes d'un résistor est proportionnelle à l'intensité I du courant parcourant le résistor

$$U = R \cdot I$$

Le facteur de proportionnalité est appelée « **résistance R** » du résistor. La résistance dépend des caractéristiques du résistor et (sauf exceptions) de sa température.

Les conducteurs ont des résistances relativement faibles, alors que les isolants ont des résistances extrêmement élevées.

b) Bilan énergétique

Le résistor transforme **toute** l'énergie électrique reçue en énergie thermique. Cet effet est appelé **effet Joule** !

La puissance électrique transformée en puissance thermique s'écrit :

$$\mathcal{P} = U \cdot I = R \cdot I^2$$

c) Remarque : puissance électrique des fils de connexion

Normalement on néglige la résistance des fils de connexion et des ampèremètres. Ceci revient à négliger leur différence de potentiel ($U = RI$) et donc la puissance électrique (ou l'énergie électrique) qu'ils transforment.

3. Loi d'ohm pour un générateur

a) Expérience

Mesurons pour différentes intensités de courant I à travers un accumulateur la tension U aux bornes de l'accumulateur.

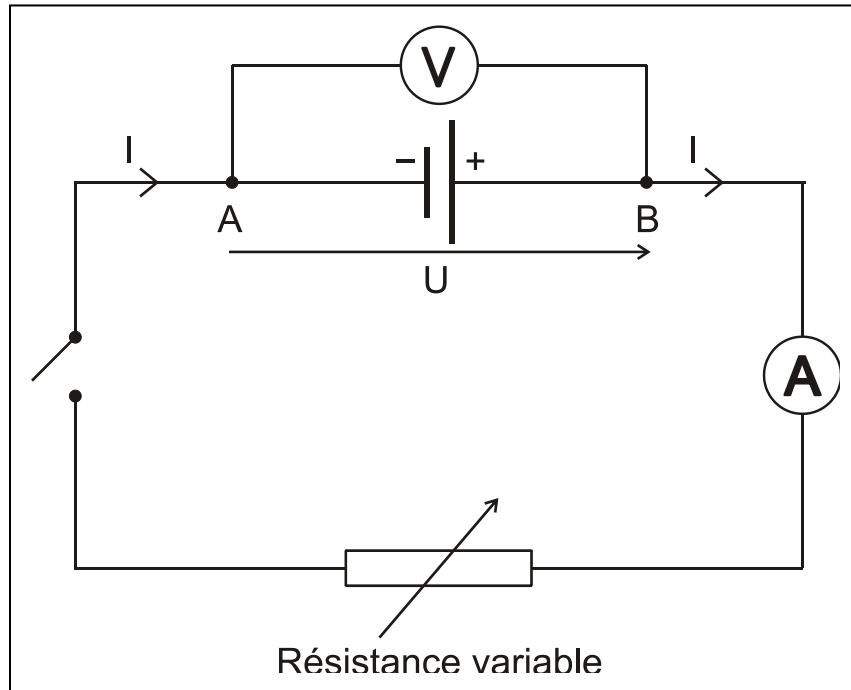
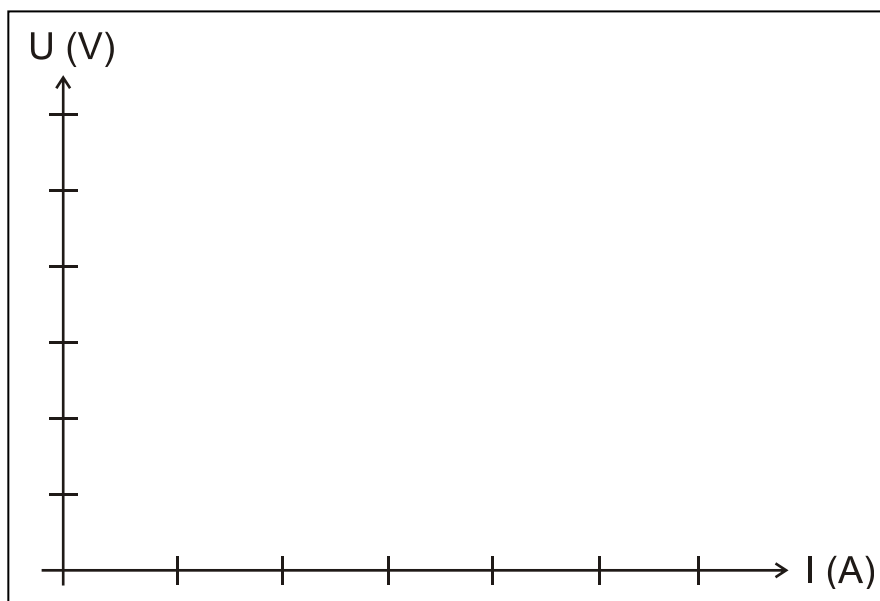


Tableau des mesures :

I (A)						
U (V)						

Graphique : Caractéristique (U, I)



b) Interprétation

La représentation de $U = f(I)$ est une droite décroissante : $U = aI + b$

où a et b sont la pente et l'ordonnée à l'origine de la droite

- * Le coefficient b a la dimension d'une tension: c'est la tension si $I = 0$.
Cette tension est appelée **force électromotrice (f.é.m.)** et elle est notée E .
- * Le coefficient a a la dimension d'une résistance: c'est *l'opposé* de la résistance intérieure r de l'accumulateur.

Finalement :

$$\boxed{U = E - rI}$$

(Formule à retenir)

c) Définition de la f.é.m.

La f.é.m. E est la tension entre les pôles d'un générateur si celui-ci n'est pas parcouru par un courant électrique.

d) Bilan énergétique

Un accumulateur transforme de l'énergie chimique en énergie électrique et énergie thermique.

Multiplions l'expression de la loi d'Ohm à droite et à gauche par I :

$$UI = EI - rI^2 \Leftrightarrow \boxed{EI = UI + rI^2}$$

Cette équation traduit la conservation de l'énergie (énergie reçue = énergie fournie):

- EI = puissance chimique reçue et transformée par l'accumulateur
- UI = puissance électrique fournie par l'accumulateur (aux charges, c. à d. au courant, et finalement au reste du circuit)
- rI^2 = puissance thermique fournie par l'accumulateur (effet Joule dans la résistance r)

e) Généralisation

Les équations $\boxed{U = E - rI}$ et $\boxed{EI = UI + rI^2}$ sont valables pour de nombreux générateurs :

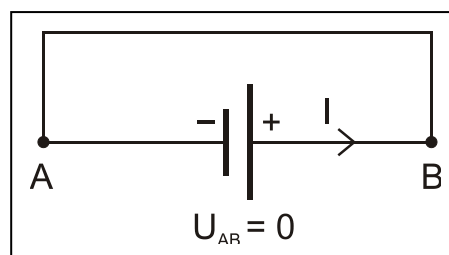
- * alternateurs, dynamos, génératrices : EI = puissance mécanique
- * piles, accumulateurs : EI = puissance chimique
- * cellule photoélectrique : EI = puissance lumineuse

f) Générateur court-circuité

La tension aux bornes d'un générateur en court-circuit est nulle, si on admet que le fil qui relie directement le pôle + au pôle - n'a pas de résistance.

$$U = E - rI = 0 \Leftrightarrow E = rI \Leftrightarrow I = E/r = I_{CC}$$

(intensité de court-circuit)



Comme r est petit, I_{CC} est grand. C'est en effet l'intensité maximale (point d'intersection entre la droite décroissante du graphique avec l'axe horizontal des intensités).

4. Loi d'Ohm pour un récepteur (différent du résistor)

(Il transforme l'énergie électrique en partie en une autre forme que thermique !)

a) Expérience

Mesurons pour différentes intensités de courant I à travers un électrolyseur (appareil de Hoffmann), la tension U aux bornes de l'électrolyseur. (Le moteur est freiné pour tourner avec la même vitesse de rotation!)

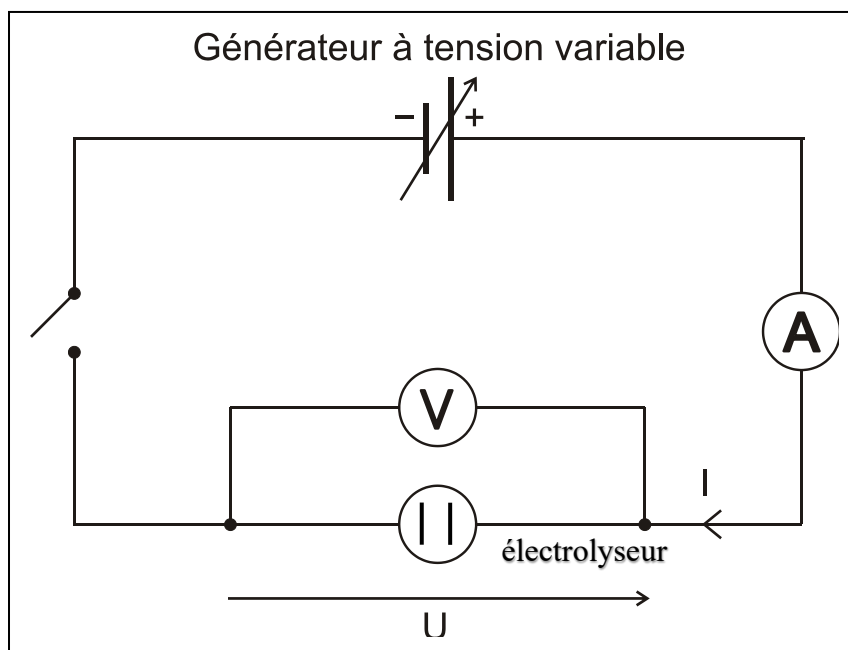
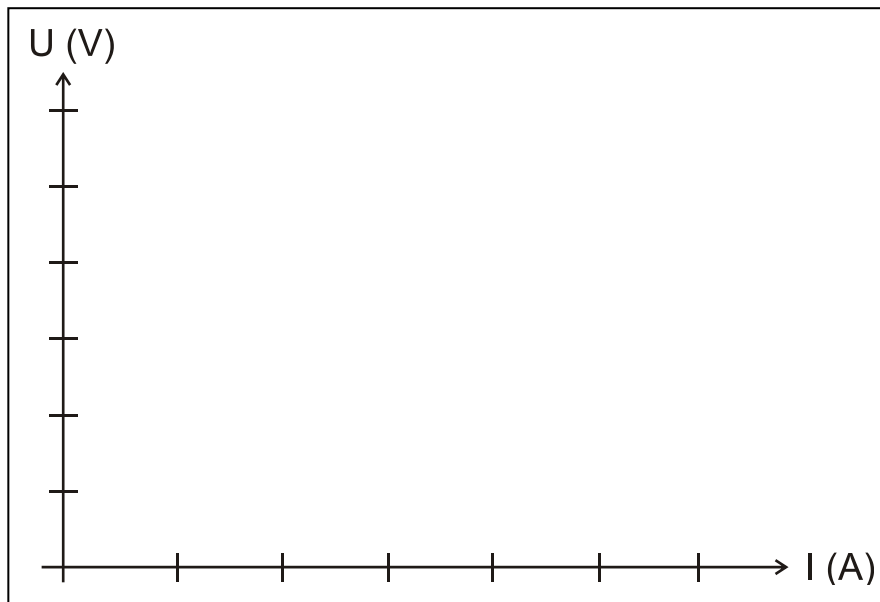


Tableau des mesures :

I (A)						
U (V)						

Graphique : Caractéristique (U, I)



b) Interprétation

La représentation de $U = f(I)$ est une droite croissante : $U = aI + b$
où a et b sont la pente et l'ordonnée à l'origine de la droite

- * Le coefficient b a la dimension d'une tension, appelée **f**orce **c**ontre-**é**lectro**m**otrice (**f.c.é.m.**) et elle est notée E' .
- * Le coefficient a a la dimension d'une résistance : c'est la résistance intérieure r' de l'électrolyseur.

Finalement :

$$\boxed{U = E' + r'I}$$

(Formule à retenir)

c) Définition de la f.c.é.m.

La f.c.é.m. E' est la tension minimale à appliquer à un dipôle actif afin qu'il fournisse de l'énergie autre que thermique (c.-à-d., que le moteur tourne, que l'électrolyseur produise la réaction chimique, ...).

d) Bilan énergétique

Un électrolyseur/moteur transforme de l'énergie électrique en énergie chimique/mécanique et énergie calorifique.

Multiplions l'expression de la loi d'Ohm à droite et à gauche par I :

$$\boxed{UI = E' I + r'I^2}$$

Cette équation traduit la conservation de l'énergie (énergie reçue = énergie fournie) :

UI = puissance électrique reçue par l'électrolyseur/le moteur (de la part des charges, c-à-d du courant électrique)

$E' I$ = puissance chimique/mécanique fournie par l'électrolyseur/le moteur

$r'I^2$ = puissance calorifique fournie par l'électrolyseur/le moteur (effet Joule dans la résistance r)

e) Généralisation

Les équations $U = E' + r'I$ et $UI = E' I + r'I^2$ sont valables pour de nombreux récepteurs :

- * moteurs électriques : $E' I$ = puissance mécanique fournie
- * électrolyseurs ; accumulateurs (en train d'être chargés) : $E' I$ = puissance chimique fournie
- * tubes luminescents ; diode LED : $E' I$ = puissance lumineuse fournie

f) Remarque : tension U inférieure à la f.c.é.m. E'

Si $U < E'$ alors le moteur ne fournit pas de puissance mécanique (il ne tourne pas !) :

$$E' I = 0 \text{ et } E' = 0.$$

Le moteur se comporte alors comme un résistor de résistance $r' \Rightarrow U = r'I$

L'intensité du courant électrique I devient alors très élevée, et le moteur risque d'être détérioré.

5. Rendement d'un générateur, d'un récepteur

Le rendement d'un dipôle électrique est défini par la relation :

$$\eta = \frac{E_{\text{utile fournie}}}{E_{\text{totale reçue}}}$$

Pour un générateur, le rendement se calcule par : $\eta = \frac{U}{E}$

Pour un récepteur, le rendement se calcule par : $\eta = \frac{E'}{U}$

Exemple : rendement d'un accumulateur

Si la tension aux bornes d'un accumulateur de f.é.m. 12 V est de 10,8 V, son rendement est de 90 %. Ceci veut dire que 90 % de l'énergie chimique sont transformés en énergie électrique (fournie aux charges constituant le courant) et 10 % sont transformés en énergie thermique (dissipée par l'accumulateur qui s'échauffe).