

# Transferts d'énergie au niveau d'un générateur et d'un récepteur (courant continu)

URL source du document: [http://perso.orange.fr/physique chimie](http://perso.orange.fr/physique_chimie)

## 1- RAPPEL : RELATION PUISSANCE-ENERGIE

Si, pendant la durée  $\Delta t$ , un système échange, avec le milieu extérieur, une énergie  $\Delta W$ , alors la puissance  $P$  avec laquelle l'énergie est transférée s'écrit :

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} \quad (1)$$

La puissance permet d'évaluer la rapidité avec laquelle cet échange d'énergie a lieu.

**Unités** :  $P$  est en watt (W) -  $\Delta W$  est en joule (J) -  $\Delta t$  est en seconde (s)

## 2- ÉNERGIE ELECTRIQUE RECUE PAR UN RÉCEPTEUR

Un récepteur électrique reçoit de l'énergie électrique qu'il transforme en d'autres formes d'énergie. Une lampe fournit de l'énergie lumineuse et calorifique, un moteur fournit de l'énergie mécanique et calorifique, un électrolyseur fournit de l'énergie chimique et calorifique, etc.

### 2.1 Énergie électrique reçue par un récepteur en courant continu. Puissance du transfert.

- Lorsqu'un récepteur de bornes A et B, soumis à une tension électrique continue  $U_{AB}$ , est parcouru par un courant électrique continu d'intensité  $I_{AB}$ , l'énergie électrique  $W_{AB}$  qu'il reçoit pendant la durée  $\Delta t$  est :

$$W_{AB} = U_{AB} \cdot I_{AB} \cdot \Delta t \quad (2)$$

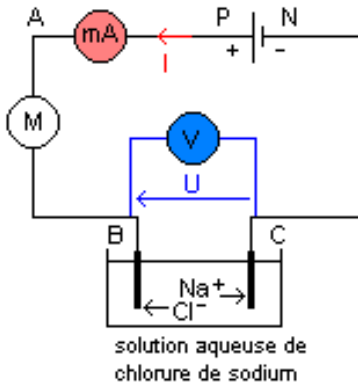
**Unités** :  $W_{AB}$  est en joule (J) -  $U_{AB}$  est en volt (V) -  $I_{AB}$  est en ampère (A) -  $\Delta t$  est en seconde (s)

- La puissance électrique  $P_{AB}$  de ce transfert est :

$$P_{AB} = \frac{W_{AB}}{\Delta t} \quad (3)$$

Remarques :

- Tension et intensité du courant électrique sont des grandeurs algébriques qui restent constantes en courant continu. On peut les représenter par une flèche comme sur le schéma ci-dessous.



Dans le liquide les porteurs de charges sont les ions  $\text{Na}^+$  attirés vers la borne négative du générateur et les ions  $\text{Cl}^-$  attirés par la borne positive. Les ions positifs vont dans le sens conventionnel du courant.

Dans les fils de connexion métalliques les porteurs de charges sont des électrons négatifs  $e^-$ . Ils progressent en sens inverse du sens conventionnel du courant.

L'intensité du courant traversant l'appareil NP se mesure avec un ampèremètre placé en série avec le dipôle NP.

La flèche intensité se trouve sur un fil de connexion.

Si l'ampèremètre indique  $I = 3 \text{ A}$  alors on peut écrire :

$$I = I_{PA} = I_{AB} = I_{CN} = I_{NP} = 3 \text{ A ou}$$

$$I_{AP} = I_{PN} = I_{NC} = I_{BA} = I_{PB} = -3 \text{ A}$$

Entre B et C, une très faible partie du courant passe dans le voltmètre.

La tension  $U_{BC}$  aux bornes du dipôle BC, égale à la différence de potentiel  $V_B - V_C$  entre les points B et C, se mesure avec un voltmètre branché en parallèle sur le dipôle BC.

La flèche tension se place à côté de l'appareil étudié.

Si le voltmètre indique  $U = 12 \text{ V}$  alors on peut écrire :

$$U = V_B - V_C = U_{BC} = 12 \text{ V ou}$$

$$U_{CB} = V_C - V_B = -12 \text{ V}$$

Un oscilloscope permet de montrer la chute du potentiel le long du circuit :  $V_P > V_A > V_B > V_C = V_N$ .

Notons que  $U_{CN} = V_C - V_N = 0 \text{ V}$ , la chute de potentiel est quasi nulle le long d'un fil de connexion.

L'intensité  $I_{AB}$  du courant électrique est positive si le courant, à l'intérieur du récepteur AB, circule de A vers B. Si le courant circule de B vers A, alors  $I_{AB}$  est négatif. Rappelons que l'intensité du courant se mesure avec un ampèremètre placé en série avec le dipôle AB.

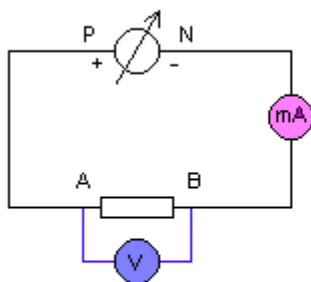
- La tension  $U_{AB}$  entre les bornes A et B d'un récepteur peut s'exprimer sous forme d'une différence de potentiel  $V_A - V_B$  entre les bornes. Cette tension  $U_{AB} = V_A - V_B$  (4) se mesure avec un voltmètre branché en dérivation aux bornes A et B du récepteur.

## 2.2 Un conducteur ohmique est un récepteur particulier. Loi d'Ohm. Loi de Joule.

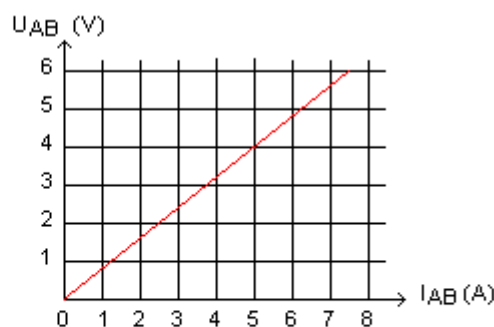
Un conducteur ohmique reçoit de l'énergie électrique. Il transforme cette énergie électrique en énergie calorifique et en rayonnement.

### 2.2.1 Loi d'Ohm pour un conducteur ohmique.

Le graphe représentant la tension  $U_{AB}$  en fonction de l'intensité  $I_{AB}$  du courant électrique est une droite passant par l'origine, tant que la valeur absolue de l'intensité n'est pas trop grande. Ce graphe est parfois appelé caractéristique du conducteur ohmique.



Afin de ne pas perturber le fonctionnement du circuit, l'ampèremètre doit être très peu résistant et le voltmètre très résistant.



La fonction linéaire  $y = a x$  s'écrit ici  $U_{AB} = R I_{AB}$ .

Le coefficient directeur est :

$$R = \frac{U_{AB}}{I_{AB}} = \frac{6,5}{7,5} = 0,80 \Omega.$$

La **loi d'Ohm** s'écrit donc pour un conducteur ohmique :

$$U_{AB} = R I_{AB} \quad (5)$$

$R_{AB}$  est la résistance, toujours positive, du conducteur ohmique AB.

**Unités** :  $U_{AB}$  est en volt (V) –  $I_{AB}$  est en ampère (A) - R est en ohm ( $\Omega$ )

**Remarque** : La résistance d'un conducteur dépend de sa longueur L, de sa section S, de la nature du matériau et de sa température. On pose souvent :

$$R = \frac{\rho L}{S} \quad (6)$$

Dans le système international d'unité la résistivité  $\rho$  du matériau s'exprime en  $\Omega \cdot m$ .

A très basse température, certains matériaux sont **supraconducteurs**, leur résistance devient rigoureusement nulle.

- La relation (5) peut également s'écrire :

$$I_{AB} = G_{AB} \cdot U_{AB} \quad (7)$$

$G_{AB} = 1 / R$  (8) est la **conductance** du conducteur ohmique AB. Elle s'exprime en **siemens** (S).

**Remarque** : La conductance d'un conducteur dépend de sa longueur L, de sa section S, de la nature du matériau. Les relations (6) et (8) permettent d'écrire :

$$G = \frac{\sigma S}{L} \quad (9)$$

Dans le système international d'unité la conductivité  $\sigma = 1 / \rho$  du matériau s'exprime siemens par mètre (S/m).

Ces grandeurs sont également introduites en chimie

## 2.2.2 Énergie électrique reçue par un conducteur ohmique. Puissance de ce transfert d'énergie. Loi de joule.

- Lorsqu'un conducteur ohmique de bornes A et B, soumis à une tension électrique continue  $U_{AB}$ , est parcouru par un courant électrique continu d'intensité  $I_{AB}$ , l'énergie électrique  $W_{AB}$  qu'il reçoit pendant la durée  $\Delta t$  est :

$$W_{AB} = U_{AB} \cdot I_{AB} \cdot \Delta t$$

Mais, on sait que :

$$U_{AB} = R_{AB} \cdot I_{AB} \quad (5)$$

Par conséquent :

$$W_{AB} = R_{AB} \cdot I_{AB}^2 \cdot \Delta t \quad (10)$$

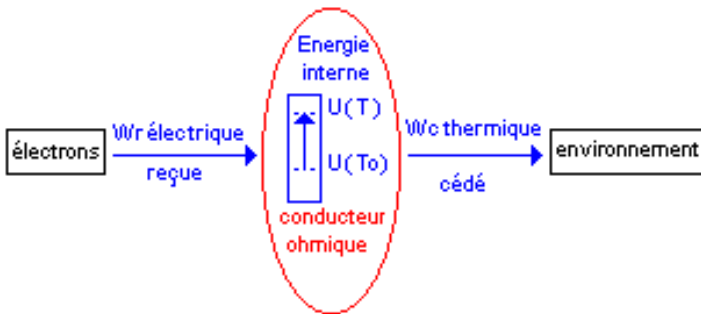
Cette énergie électrique reçue est intégralement transformée en chaleur et en rayonnement.

En régime permanent, elle est transférée vers le milieu extérieur.

La relation (10) traduit la **loi de Joule**.

### Régime transitoire

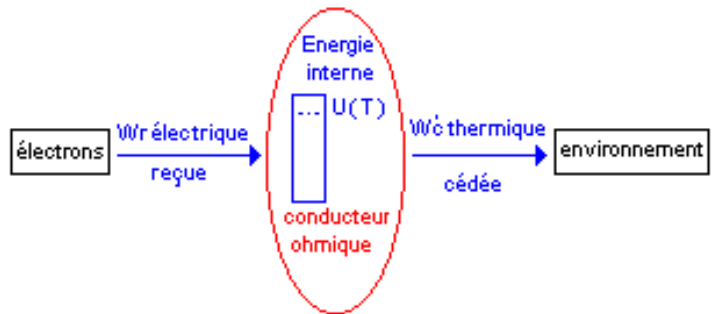
La température du conducteur ohmique, après la fermeture du circuit, passe de  $T_0$  à  $T$ .



La conservation de l'énergie s'écrit :  
 $W_r = U(T) - U(T_0) + W_c$   
 Ces 4 termes sont, ici, comptés positivement.

### Régime permanent

La température du conducteur ohmique reste égale à  $T$ .



La conservation de l'énergie s'écrit :  
 $W_r = W_c$   
 Ces deux termes sont comptés positivement.

La puissance électrique  $P_{AB}$  de ce transfert est :

$$P_{AB} = \frac{W_{AB}}{\Delta t} = U_{AB} \cdot I_{AB}$$

$$P_{AB} = R_{AB} \cdot I_{AB}^2 \quad (11) \quad \text{ou encore} \quad P_{AB} = \frac{U_{AB}^2}{R_{AB}} \quad (11\text{bis})$$

Cette relation est une autre expression de la **loi de Joule**.

Remarque : L'**effet Joule** existe dans tous les appareils électriques (tous possèdent une résistance plus ou moins grande). Ce dégagement d'énergie thermique est recherché et utile dans le cas d'un radiateur électrique. Il est à inscrire au rang des **pertes** dans de nombreux autres cas : fonctionnement d'un moteur ou d'un générateur, lignes de transport de l'énergie électrique, etc.

## 2.3 Récepteur linéaire possédant une force électromotrice.

De nombreux récepteurs ne sont pas de simples conducteurs ohmiques. Ils transforment une partie de l'énergie électrique reçue en énergie utile sous forme chimique (électrolyseur) ou sous forme mécanique (moteur). L'autre partie est transformée en énergie thermique (effet Joule) mais ce n'est pas l'effet recherché.

### 2.3.1 Loi d'Ohm pour un récepteur linéaire.

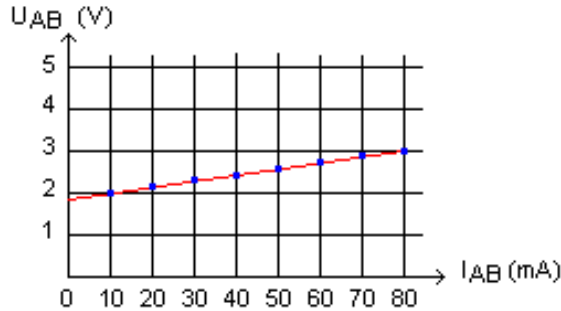
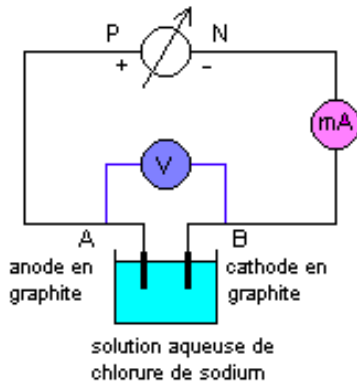
Certains récepteurs ont un graphe (appelé caractéristique du récepteur) représentant la tension  $U_{AB}$  en fonction de l'intensité  $I_{AB}$  du courant électrique assimilable à une droite ne passant pas par l'origine (dans un certain domaine d'intensité du courant).

La loi d'Ohm, pour ce type de récepteur dit linéaire, s'écrit :  $U_{AB} = r \cdot I_{AB} + E$  (12)

$E$  et  $U_{AB}$  sont de même signe que  $I_{AB}$ .

$E$  est la force électromotrice du récepteur (exprimée en volt),  $r$  est sa résistance interne.

### Etude expérimentale d'un électrolyseur



La fonction affine  $y = a x + b$  s'écrit, ici,  $U_{AB} = r I_{AB} + E$   
 coefficient directeur  $r = \frac{1,2}{0,080} = 15 \Omega$  (résistance interne du récepteur)  
 ordonnée à l'origine  $E = 1,8 \text{ V}$  (f.e.m. du récepteur)

### 2.3.2 Energie électrique reçue par un récepteur à caractéristique affine. Puissance de ce transfert d'énergie.

- Lorsqu'un récepteur de bornes A et B, soumis à une tension électrique continue  $U_{AB}$ , est parcouru par un courant électrique continu d'intensité  $I_{AB}$ , l'énergie électrique  $W_{AB}$  qu'il reçoit pendant la durée  $\Delta t$  est :

$$W_{AB} = U_{AB} \cdot I_{AB} \cdot \Delta t$$

Mais, on sait que :

$$U_{AB} = r \cdot I_{AB} + E \quad (12)$$

Par conséquent :

$$W_{AB} = U_{AB} \cdot I_{AB} \cdot \Delta t = r \cdot I_{AB}^2 \cdot \Delta t + E \cdot I_{AB} \cdot \Delta t \quad (13)$$

Cette énergie électrique reçue  $W_{AB} = U_{AB} \cdot I_{AB} \cdot \Delta t$  est transformée, partie en énergie thermique inutile ( $r \cdot I_{AB}^2 \cdot \Delta t$ ), partie en énergie mécanique ou chimique utile ( $E \cdot I_{AB} \cdot \Delta t$ ).

- La puissance électrique  $P_{AB}$  de ce transfert d'énergie est :

$$P_{AB} = \frac{W_{AB}}{\Delta t}$$

$$P_{AB} = U_{AB} \cdot I_{AB} = r I_{AB}^2 + E \cdot I_{AB} \quad (14)$$

Remarque : Le rendement du récepteur est défini comme étant le rapport entre l'énergie utilisable ( $E \cdot I_{AB} \cdot \Delta t$ ) et l'énergie électrique totale ( $U_{AB} \cdot I_{AB} \cdot \Delta t$ ) reçue par l'appareil :

$$\text{Rendement} = \frac{E}{U_{AB}} \quad (15)$$

Ce rendement peut parfois atteindre une valeur élevée (95% par exemple).

### 3- ÉNERGIE ELECTRIQUE FOURNIE PAR UN GÉNÉRATEUR

Un générateur électrique fournit de l'énergie électrique. Cette énergie électrique fournie provient de la transformation d'un autre type d'énergie : énergie chimique pour une pile ou une batterie, énergie mécanique pour une dynamo, énergie rayonnante pour une pile photoélectrique.

#### 3.1 Loi d'Ohm pour un générateur linéaire.

Un générateur PN peut avoir un graphe (appelé caractéristique du générateur) représentant la tension  $U_{PN}$  en fonction de l'intensité  $I_{NP}$  du courant électrique assimilable à une droite ne passant pas par l'origine (dans un certain domaine de fonctionnement).

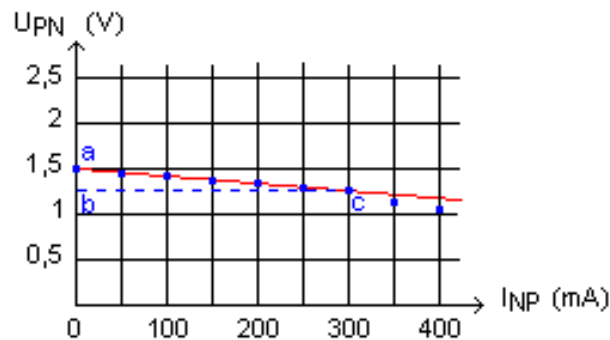
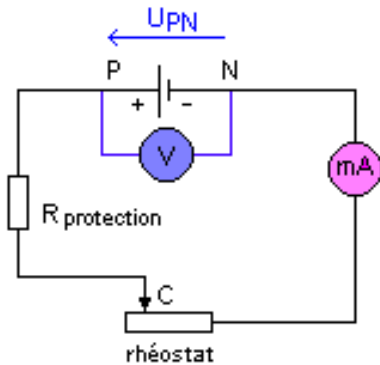
La loi d'Ohm, pour ce type de générateur dit linéaire, s'écrit :

$$U_{PN} = r \cdot I_{NP} + E \quad (16)$$

$E$  et  $U_{PN}$  sont de même signe que  $I_{NP}$

$E$  est la force électromotrice du générateur (exprimée en volt),  $r$  est sa résistance interne

#### Etude expérimentale d'une pile



La fonction affine  $y = a x + b$  s'écrit, ici,  $U_{PN} = - r I_{NP} + E$

$$\left| \begin{array}{l} \text{coefficient directeur } -r = \frac{ab}{bc} = \frac{-0,25}{0,300} = -0,83 \Omega \\ r = 0,83 \Omega \quad (\text{résistance interne du générateur}) \end{array} \right.$$

ordonnée à l'origine  $E = 1,5 \text{ V}$  (f.e.m. du générateur)

Remarque : On pourrait écrire :

$$U_{PN} = r \cdot I_{PN} + E \quad (17)$$

$E$  et  $U_{PN}$  sont alors de signe opposé à  $I_{PN}$ .

#### 3.1 Energie électrique fournie par un générateur. Puissance de ce transfert d'énergie.

- En classe de première on compte positivement (!) l'énergie électrique donnée par le générateur au reste du circuit. On écrit donc :

$$W \text{ donnée par générateur au reste du circuit} = U_{PN} \cdot I_{NP} \cdot \Delta t$$

Mais, on sait que :

$$U_{PN} = -r \cdot I_{NP} + E \quad (16)$$

Par conséquent :

$$W \text{ donnée par le générateur au reste du circuit} = U_{PN} \cdot I_{NP} \cdot \Delta t = -r \cdot I_{NP}^2 \cdot \Delta t + E \cdot I_{NP}$$

Cette relation peut s'écrire :

$$E \cdot I_{NP} \cdot \Delta t = r \cdot I_{NP}^2 \cdot \Delta t + U_{PN} \cdot I_{NP} \cdot \Delta t \quad (19)$$

Le premier terme ( $E \cdot I_{NP} \cdot \Delta t$ ) représente l'énergie électrique engendrée dans le générateur à partir d'un autre type d'énergie.

Une partie de cette énergie ( $r \cdot I_{NP}^2 \cdot \Delta t$ ) est dissipée sous forme thermique dans la résistance interne du générateur.

Seule reste disponible pour alimenter le reste du circuit l'énergie  $U_{PN} \cdot I_{NP} \cdot \Delta t$ .

- La puissance électrique  $P$  de ce transfert d'énergie du générateur vers le reste du circuit est :

$$P \text{ donnée par le générateur au reste du circuit} = U_{PN} \cdot I_{NP} = -r \cdot I_{NP} + E \quad (20)$$

$P$  donnée par générateur au reste du circuit =  $W$  donnée par générateur au reste du circuit /  $\Delta t$

Remarque : Le rendement du générateur est défini comme étant le rapport entre l'énergie utilisable  $U_{PN} \cdot I_{NP} \cdot \Delta t$  à l'extérieur du générateur et l'énergie électrique totale ( $E \cdot I_{NP} \cdot \Delta t$ ) engendrée, dans le générateur, à partir d'un autre type d'énergie :

$$\text{Rendement} = \frac{U_{PN} \cdot I_{NP} \cdot \Delta t}{E \cdot I_{NP} \cdot \Delta t} \quad \text{par simplification :} \quad \text{Rendement} = \frac{U_{PN}}{E} \quad (21)$$

## 4- ALGEBRISATION DE LA PUISSANCE ELECTRIQUE DONNEE OU RECUE PAR UN APPAREIL

Dans les classes ultérieures on comptera positivement une puissance électrique reçue et négativement une puissance électrique donnée.

La puissance électrique échangée par un appareil AB (générateur ou récepteur) s'écrira :

$$P_{AB} = U_{AB} \cdot I_{AB} \quad (22)$$

- Si  $P_{AB}$  est positif alors l'appareil reçoit de la puissance électrique, le dipôle AB est un **récepteur**.
- Si  $P_{AB}$  est négatif alors l'appareil donne de la puissance électrique, le dipôle AB est un **générateur**.

Remarque :

On sait que  $U_{AB} = -U_{BA}$  et que  $I_{AB} = -I_{BA}$ .

Par contre, on voit que  $P_{AB} = U_{AB} \cdot I_{AB}$  est de même signe que  $P_{BA} = U_{BA} \cdot I_{BA}$ . Les deux expressions sont équivalentes.