

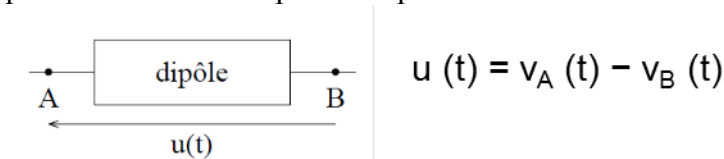
## Énergie électrique et puissance

### Objectifs

- Connaître l'expression de la puissance et de l'énergie.
- Effectuer un bilan de puissance dans un circuit.
- Exploiter l'effet Joule dans le cas de résistances.

#### I. Définition

Considérons un dipôle AB d'un circuit parcouru par un courant d'intensité  $I$  :



On appelle :

- l'énergie électrocinétique du dipôle AB la quantité :  $W = q(V_A - V_B) = q u(t)$ 
  - Si  $V_A > V_B$ , l'énergie de AB augmente le dipôle joue le rôle de **récepteur**,
  - Si  $V_A < V_B$ , l'énergie de AB diminue le dipôle joue le rôle de **générateur**.
- La puissance du dipôle AB est l'énergie par unité de temps :  
 $P = q(V_A - V_B)/t = q u(t)/t = u(t) I$ , car  $I = q/t$

## II. Puissance et énergie en régime continu

### II-1 Énergie et puissance d'un générateur

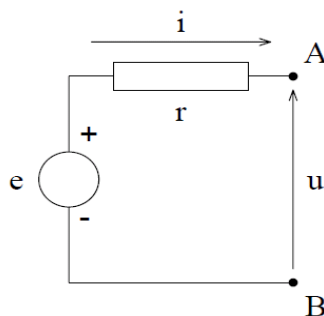
Un générateur est un dipôle qui transforme une forme d'énergie (chimique, mécanique, lumineuse) en énergie électrique. Il est caractérisé par sa force électromotrice  $e$  et sa résistance interne  $r$ .

Loi d'Ohm pour un générateur :

$$V_A - V_B = u = e - ri$$

avec :

- $e$  : force électromotrice
- $ri$  : chute ohmique de tension à l'intérieur du générateur



### Interprétation énergétique

- ❑ Energie cédée par le générateur au circuit extérieur :  
 $W_c = q \cdot u = q (e - r i) = i \cdot t (e - r i) = e \cdot i \cdot t - r i^2 \cdot t$
- ❑ Energie totale cédée par le générateur :  $W_t = e \cdot i \cdot t$
- ❑  $r i^2 \cdot t$  chaleur perdue par effet joule dans le générateur.
- ❑ Puissance cédée par le générateur au circuit extérieur :

$$P = \frac{W_c}{t} = e \cdot i - r \cdot i^2$$

- ❑ Rendement du générateur :

$$\rho = \frac{W_c}{W_t} = \frac{e \cdot i \cdot t - r \cdot i^2 \cdot t}{e \cdot i \cdot t} = 1 - \frac{r \cdot i}{e}$$

## Exemples

Générateurs de tension :

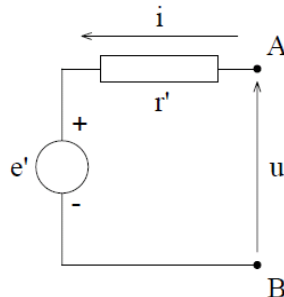
- Dynamo : Une dynamo est constituée par un stator et un rotor. Le rotor porte un bobinage de fil et tourne dans le champ magnétique crée par le stator. Les spires du rotor sont donc traversées par un flux magnétique variable d'où l'apparition d'une force électromotrice d'induction : il y'a eu une transformation de l'énergie mécanique, qui fait tourner le rotor, en énergie électrique.
- Piles électrochimiques par exemple la pile Daniell : réaction d'oxydo réduction entre les couples  $\text{Cu}/\text{Cu}^{++}$  et  $\text{Zn}/\text{Zn}^{++}$

Générateurs de courant : cellule solaire ou photopile : c'est une jonction p-n de semi-conducteurs. Éclairée par la lumière solaire, chaque photon d'énergie  $h\nu$  (supérieur au gap  $E_g$  du semi-conducteur) crée une paire électron trou. Le champ électrostatique de la jonction sépare les charges et l'on obtient une ddp aux bornes de la cellule.

## II-2 Energie et puissance d'un récepteur

Loi d'ohm pour un récepteur : Le courant doit entrer par sa borne positive.

$u' = e' + r' i$  avec  $e'$  force contre électromotrice du récepteur.



### Interprétation énergétique

- ❑ Energie électrique reçue par le récepteur :  
 $W_r = q \cdot u = q (e' + r' i) = i \cdot t (e' + r' i) = e' \cdot i \cdot t + r' i^2 \cdot t$
- ❑ Energie utile du récepteur : C'est l'énergie stockée par le récepteur et qui peut être converti en énergie mécanique ou chimique :  $W_u = e' \cdot i \cdot t$
- ❑ Puissance reçue par le récepteur :

$$P = \frac{W_r}{t} = e' \cdot i + r' \cdot i^2$$

- ❑ Rendement du récepteur :

$$\rho = \frac{W_u}{W_r} = \frac{e'.i.t}{e'.i.t + r'.i^2.t} = \frac{e'}{e' + r'.i}$$

### Exemples de récepteurs

- Moteurs : même principe que la dynamo mais utilisée en sens inverse : les spires du rotor, branchées sur un générateur extérieur, sont parcouru par I et se trouvent dans le champ magnétique créée par le stator, elles seront soumises à des forces (de Laplace) qui font tourner le rotor.
- Electrolyseurs : Le passage de courant électrique dans des électrolytes crée une réaction chimique. Le champ crée à l'intérieur de l'électrolyte permet la décomposition des composés ioniques.

### II-3 L'effet Joule

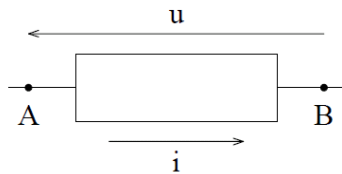
Un conducteur ohmique est un récepteur dans lequel l'énergie électrique qu'il reçoit est transformée totalement en chaleur. Ce phénomène s'appelle effet Joule.

Energie calorifique cédée par effet Joule :  $W = u.i.t = R.i^2.t$

## III. Puissance en régime sinusoïdal

### III-1 Puissance moyenne

Nous avons vu qu'en convention récepteur la puissance reçue par un dipôle s'écrit :



$$p(t) = u(t) i(t)$$

En régime sinusoïdal, la tension et l'intensité sont des fonctions sinusoïdales de même pulsation. Notons  $\phi$  le déphasage de la tension par rapport à l'intensité. Un choix de l'origine des temps nous permet donc d'écrire :

$$\begin{cases} i(t) = I \sin \omega t \\ u(t) = U \sin (\omega t + \phi) \end{cases}$$

Calculons la puissance instantanée :

$$p(t) = UI \sin \omega t \sin (\omega t + \phi) = \frac{1}{2} UI [\cos \phi - \cos (2\omega t + \phi)]$$

La puissance instantanée apparaît donc comme la somme d'un terme constant et d'une fonction sinusoïdale de fréquence double. Le terme constant est la puissance moyenne reçue par le dipôle sur une période :

$$P = \langle p \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{2} U I \cos \phi$$

Cette quantité est également appelée **puissance active**.

Dans le chapitre 3 nous avons calculé la valeur efficace d'une fonction sinusoïdale. En utilisant ce résultat nous avons pour la tension et l'intensité :

$$U_{eff} = \frac{U}{\sqrt{2}}, I_{eff} = \frac{I}{\sqrt{2}}$$

Nous pouvons donc réécrire la puissance active sous la forme :  $P = U_{eff} I_{eff} \cos \varphi$   
 Ce qu'on écrit encore sous la forme du produit de la puissance apparente  $S$  et du facteur de puissance  $\lambda$  :

$$P = S \lambda$$

avec :

$$\begin{cases} S = \frac{1}{2} U I = U_{eff} I_{eff} \\ \lambda = \cos \varphi \end{cases}$$

### III-2 Puissance complexe

La puissance instantanée n'étant pas une fonction sinusoïdale sa représentation complexe n'est pas autorisée. Nous introduisons toutefois une puissance complexe définie par :

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \bar{u} \bar{i}^* = \frac{1}{2} U I e^{j\varphi} = \frac{1}{2} U I (\cos \varphi + j \sin \varphi)$$

Cet abus nous permet de retrouver la puissance active et la puissance apparente. On note généralement  $P$  et  $Q$  les parties réelle et imaginaire de la puissance complexe :

$$\bar{P} = P + j Q = S e^{j\varphi}$$

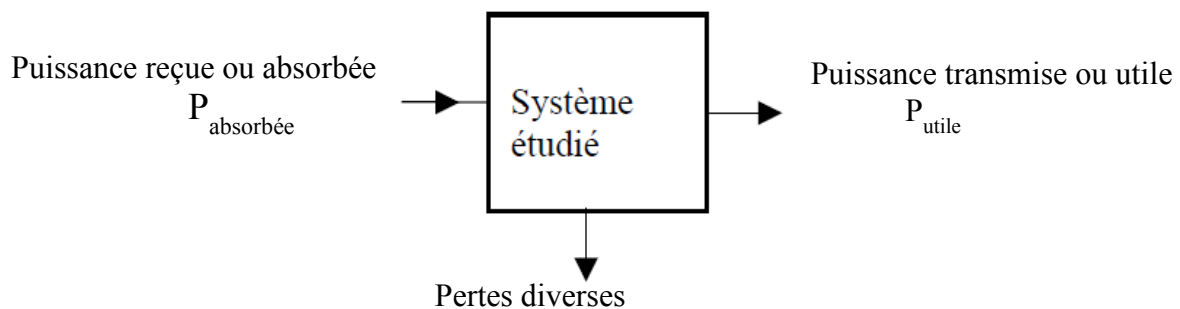
Puissance active :  $P = \text{Re } \bar{P} = \frac{1}{2} UI \cos \varphi$

Puissance réactive :  $Q = \text{Im } \bar{P} = \frac{1}{2} UI \sin \varphi$

Puissance apparente :  $S = |\bar{P}| = \frac{1}{2} UI$

### III-3 Conservation de l'énergie, bilan de puissance

Il y a conservation de l'énergie (rien ne se perd, tout se transforme)



Le bilan de puissance correspond à :  $P_{absorbée} = P_{utile} + \text{Pertes}$

Rendement :

$$\eta = \frac{P_{utile}}{P_{absorbée}} \text{ avec } 0 \leq \eta < 1$$