

ASPECTS ENERGETIQUES LES SYSTEMES ELECTRIQUES

1 - Grandeurs électriques

1.1- La tension électrique

La tension électrique U_{AB} existant entre deux points A et B d'un dipôle correspond à la différence de potentiel entre ces deux points.

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad \left| \begin{array}{l} U_{AB}: \text{Tension électrique entre les points A et B (V)} \\ V_A: \text{Potentiel électrique au point A (V)} \\ V_B: \text{Potentiel électrique au point B (V)} \end{array} \right.$$

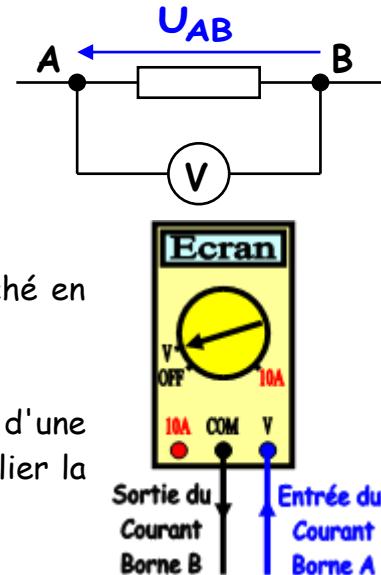
On représente la tension U_{AB} par une "flèche tension".

La tension électrique U_{AB} est une grandeur algébrique:

$$U_{BA} = -U_{AB}$$

La tension électrique U est mesurée à l'aide d'un voltmètre branché en dérivation aux bornes du dipôle dont on veut mesurer la tension.

Il faut faire attention aux branchements à réaliser pour la mesure d'une tension en courant continu. Pour mesurer la tension U_{AB} , on doit relier la borne A à la borne V du voltmètre et la borne B à la borne COM.



1.2- Intensité du courant électrique

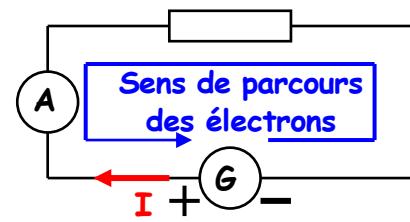
Dans un circuit électrique, le courant électrique est dû au déplacement des électrons de charge $q = -e$.

Ces électrons se déplacent de la borne négative du générateur vers sa borne positive.

L'intensité I du courant continu est égale à la valeur absolue de la charge totale Q traversant une section du conducteur pendant une durée Δt .

$$I = \frac{Q}{\Delta t} \quad \left| \begin{array}{l} I: \text{Intensité du courant électrique (A)} \\ Q: \text{Charge totale (C)} \\ \Delta t: \text{Durée (s)} \end{array} \right.$$

Par convention, le courant électrique sort du générateur par la borne positive et y entre par la borne négative.



Le sens du courant électrique est donc opposé au sens de déplacement des électrons

On représente l'intensité I du courant par une flèche rouge placée sur l'un des fils de connexion.

L'intensité I du courant électrique se mesure à l'aide d'un ampèremètre branché en série. Le courant doit rentrer par la borne A et sortir par la borne COM .

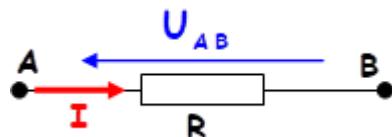


1.3- Loi d'Ohm pour un conducteur ohmique

Un conducteur ohmique est un dipôle qui vérifie la loi d'ohm.

La tension U_{AB} aux bornes d'un conducteur ohmique est proportionnelle à l'intensité I du courant qui le traverse.

$$U_{AB} = U_R = R \cdot I \quad \left| \begin{array}{l} U_{AB}: \text{Tension électrique aux bornes du conducteur ohmique (V)} \\ R: \text{Résistance du conducteur ohmique (\Omega)} \\ I: \text{Intensité du courant traversant le conducteur ohmique (A)} \end{array} \right.$$



Remarque: Par convention, dans le cas d'un récepteur, le courant "descend" les potentiels.

1.4- Loi d'Ohm pour un récepteur

La tension U_{AB} aux bornes d'un récepteur (autre qu'un conducteur ohmique) est une fonction affine de l'intensité I du courant qui le traverse:

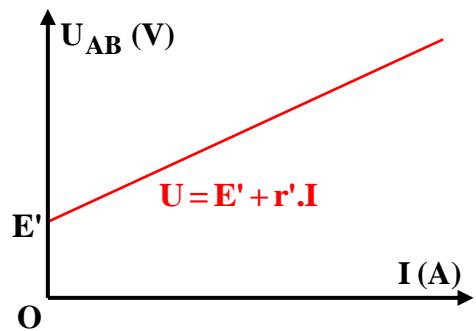
$$U_{AB} = E' + r' \cdot I \quad \left| \begin{array}{l} U_{AB}: \text{Tension électrique aux bornes du récepteur en Volt (V)} \\ E': \text{Force contre électromotrice en Volt (V)} \\ r': \text{Résistance interne du récepteur en Ohm (\Omega)} \\ I: \text{Intensité du courant traversant le récepteur en Ampère (A)} \end{array} \right.$$

La force contre électromotrice (f.c.e.m.) correspond à la tension minimale qu'il faut appliquer aux bornes du récepteur pour qu'il produise de l'énergie.

La caractéristique $U_{AB} = f(I)$ d'un récepteur actif est une droite qui ne passe pas par l'origine.

L'ordonnée à l'origine correspond à la force contre électromotrice E' du récepteur.

Le coefficient directeur de la droite correspond à la résistance interne r' du récepteur.



1.5- Loi d'Ohm pour un générateur

La tension U_{PN} aux bornes d'un générateur est une fonction affine de l'intensité I du courant qui le traverse:

$$U_{PN} = E - r \cdot I$$

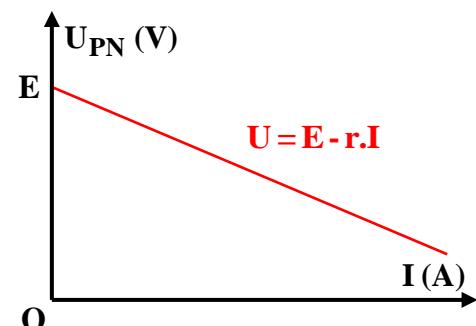
U_{AB} : Tension électrique aux bornes du récepteur en Volt (V)	E : Force électromotrice en Volt (V)
r : Résistance interne du générateur en Ohm (Ω)	I : Intensité du courant traversant le générateur en Ampère (A)

La force électromotrice (f.e.m.) correspond à la tension aux bornes du générateur lorsqu'il ne débite aucun courant ($I=0$). On l'appelle aussi la tension à vide du générateur.

La caractéristique $U_{PN} = f(I)$ d'un générateur actif est une droite qui ne passe pas par l'origine.

L'ordonnée à l'origine correspond à la force électromotrice E du générateur.

Le coefficient directeur de la droite correspond à la résistance interne r du générateur.



2- Effet Joule

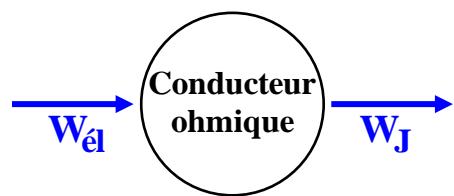
2.1- Loi de Joule pour un conducteur ohmique

On appelle effet Joule l'effet thermique associé au passage du courant électrique dans un conducteur.

Un conducteur ohmique est un dipôle passif. Toute l'énergie électrique W_{elec} qu'il reçoit est transformée en énergie thermique W_J par effet Joule.

Le bilan énergétique du conducteur ohmique s'écrit:

$$W_{\text{élec}} = W_J$$



Le Bilan d'énergie est schématisé ci contre.

On a:

$$W_{\text{élec}} = U \cdot I \cdot \Delta t \quad \text{et} \quad U_{AB} = R \cdot I$$

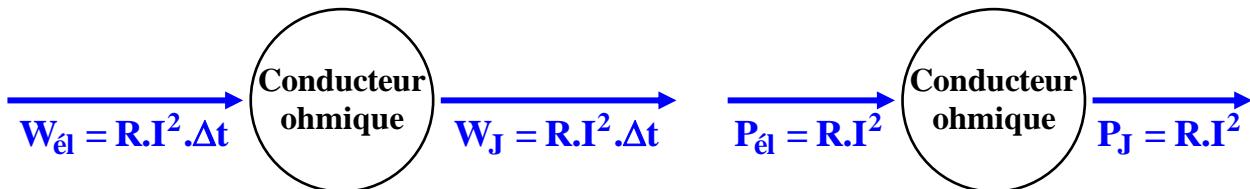
D'où la relation:

$$W_{\text{élec}} = W_J = R \cdot I^2 \cdot \Delta t$$

Il est évident que si on note P_J la puissance consommée par effet Joule, alors on aura:

$$P_{\text{élec}} = P_J = R \cdot I^2$$

Le Bilan d'énergie et de puissance sont schématisés ci-dessous.



2.2- Applications de l'effet joule

Les applications de l'effet Joules sont multiples. Certaines sont utiles tandis que d'autres nuisent au fonctionnement des circuits.

Parmi les effets utiles on peut citer:

- Le chauffage électrique.
- L'éclairage par incandescence.
- Le disjoncteur thermique.
- Le fusible.

Parmi les effets nuisibles on peut citer:

- L'échauffement des circuits électriques.
- Les pertes en lignes.
- La détérioration de certains circuits sous l'effet d'une augmentation de température.

3- Transferts d'énergie au niveau d'un récepteur électrique

3.1- Définition

Un récepteur électrique est un appareil qui consomme et qui convertit l'énergie électrique qu'il reçoit en une autre forme d'énergie.

Un récepteur est dit passif si toute l'énergie qu'il reçoit est convertie en énergie thermique (conducteur ohmique par exemple).

Un récepteur est dit actif s'il convertit une partie de l'énergie électrique qu'il reçoit en une autre forme d'énergie que l'énergie thermique (moteur électrique par exemple).

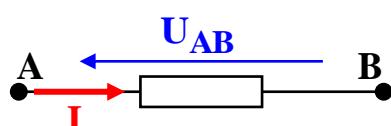
3.2- Energie reçue par un conducteur ohmique

L'énergie électrique $W_{\text{élec}}$ reçue par un récepteur dépend de:

- La tension U_{AB} existant entre ses bornes.
- L'intensité I du courant qui le traverse.
- La durée Δt de son utilisation.

$$W_{\text{élec}} = U_{AB} \cdot I \cdot \Delta t$$

$W_{\text{élec}}$: Energie électrique reçue par le récepteur en Joules (J) U_{AB} : Tension électrique aux bornes du récepteur en Volts (V) I : Intensité du courant électrique en Ampère (A) Δt : Durée d'utilisation du récepteur en seconde (s)

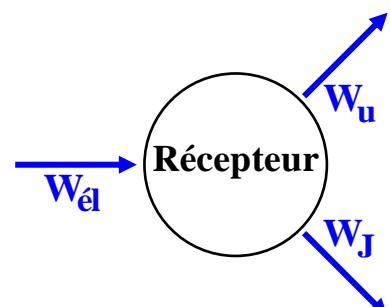


Remarque: Par convention, dans le cas d'un récepteur, le courant "descend" les potentiels.

3.3- Energie reçue par un récepteur électrique actif

En fonctionnement, un récepteur actif transforme une partie de l'énergie électrique $W_{\text{élec}}$ qu'il reçoit en énergie thermique W_J et en une autre autre forme d'énergie utile W_u (chimique W_{ch} , mécanique W_m , etc.).

L'énergie électrique $W_{\text{élec}}$ absorbé par le récepteur pendant la durée Δt a pour expression:



$$W_{\text{élec}} = U_{AB} \cdot I \cdot \Delta t = E' \cdot I \cdot \Delta t + r' \cdot I \cdot \Delta t$$

L'énergie électrique $W_{\text{élec}}$ absorbée par le récepteur durant la durée Δt s'écrit:

$$W_{\text{élec}} = W_u + W_J$$

W_u est l'énergie électrique utile convertie par le récepteur en une autre énergie durant la durée Δt :

$$W_u = E' \cdot I \cdot \Delta t$$

W_J est l'énergie électrique dissipée par effet Joule au niveau du récepteur durant la durée Δt :

$$W_J = r' \cdot I \cdot \Delta t$$

3.4- Puissance reçue par un récepteur électrique

On appelle puissance électrique reçue par un récepteur la quantité d'énergie reçue par le récepteur par unité de temps.

$$P_{\text{élec}} = \frac{W_{\text{élec}}}{\Delta t}$$

P _{élec} : Puissance électrique reçue par le récepteur en Watt (W)
W _{élec} : Energie électrique reçue par le récepteur en Joules (J)
Δt: Durée d'utilisation du récepteur en seconde (s)

On peut aussi écrire:

$$P_{\text{élec}} = \frac{W_{\text{élec}}}{\Delta t} = \frac{U_{AB} \cdot I \cdot \Delta t}{\Delta t} = U_{AB} \cdot I$$

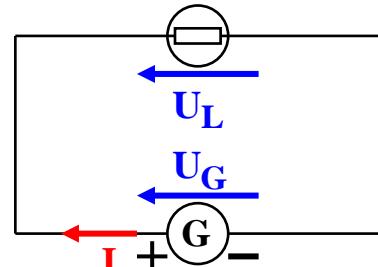
Remarque: La puissance électrique permet d'avoir une idée de la rapidité du transfert d'énergie électrique.

3.5- Exemple de la lampe électrique

On considère le circuit ci-contre constitué d'un générateur et d'une lampe.

La lampe reçoit de l'énergie électrique $W_{\text{élec}}$ de la part du générateur.

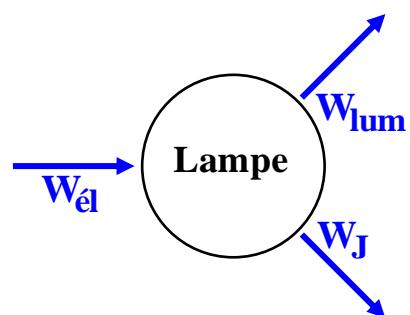
La lampe brille et émet une énergie lumineuse W_{lum} .



La lampe s'échauffe et fournit de l'énergie thermique W_J à l'environnement par chaleur et par rayonnement.

Le bilan énergétique de la lampe s'écrit donc:

$$W_{\text{élec}} = W_{\text{lum}} + W_J$$

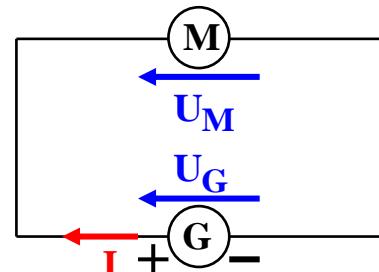


Ce bilan d'énergie est schématisé ci contre.

3.6- Exemple du moteur électrique

On considère le circuit ci-contre constitué d'un générateur et d'un moteur.

Le moteur reçoit de l'énergie électrique $W_{\text{élec}}$ de la part du générateur.



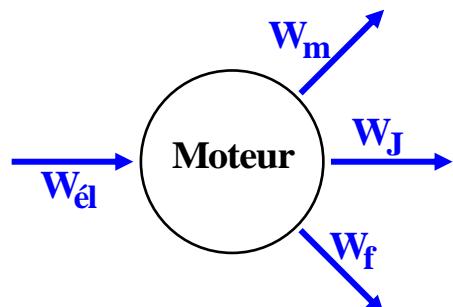
Le moteur fournit de l'énergie à la charge par travail mécanique. Celle-ci la stocke sous forme d'énergie mécanique W_m .

Le moteur chauffe et fournit de l'énergie thermique W_J à l'environnement.

De plus, des pertes d'énergie par frottements W_f existent.

Le bilan énergétique du moteur s'écrit donc:

$$W_{\text{élec}} = W_m + W_J + W_f$$



Ce bilan d'énergie est schématisé ci contre.

3.7- rendement d'un récepteur électrique

Toute l'énergie absorbée par le récepteur électrique n'est pas convertie en une forme d'énergie utile.

C'est la raison pour laquelle on définit le rendement d'un récepteur.

Le rendement η d'un récepteur électrique est le quotient de l'énergie utile convertie par le récepteur et de l'énergie électrique absorbée. C'est un nombre sans dimension.

$$\eta = \frac{W_u}{W_{\text{élec}}} = \frac{P_u}{P_{\text{élec}}} = \frac{E'}{U_{AB}}$$

Le rendement est un nombre sans unité toujours inférieur à 1 (ou à 100%) car la valeur de la f.c.e.m. E' est toujours inférieure à celle de la tension U_{AB} .

Remarque: Lorsque l'intensité I est nulle, il n'y a aucun transfert d'énergie et la notion de rendement n'a plus de sens.

4- Transfert d'énergie au niveau d'un générateur électrique

5.1- Définition

Un générateur électrique est un appareil qui fournit et qui convertit l'énergie qu'il reçoit en une énergie électrique.

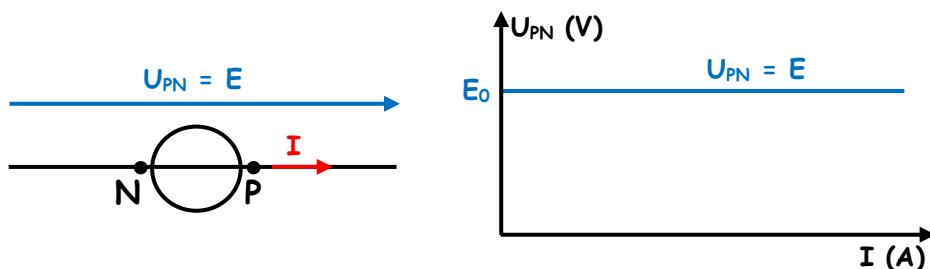
Quelques exemples:

- Une pile convertit de l'énergie chimique en énergie électrique.
- Une photopile convertit de l'énergie lumineuse en énergie électrique.
- Une centrale nucléaire convertit de l'énergie nucléaire en énergie électrique.
- Une centrale thermique convertit de l'énergie thermique en énergie électrique.
- Une centrale hydraulique convertit de l'énergie mécanique en énergie électrique.

5.2- Générateur idéal

Le générateur idéal de tension est un modèle purement théorique qui est caractérisé par sa tension à vide E qui reste constante:

$$U_{PN} = E = \text{Cte}$$

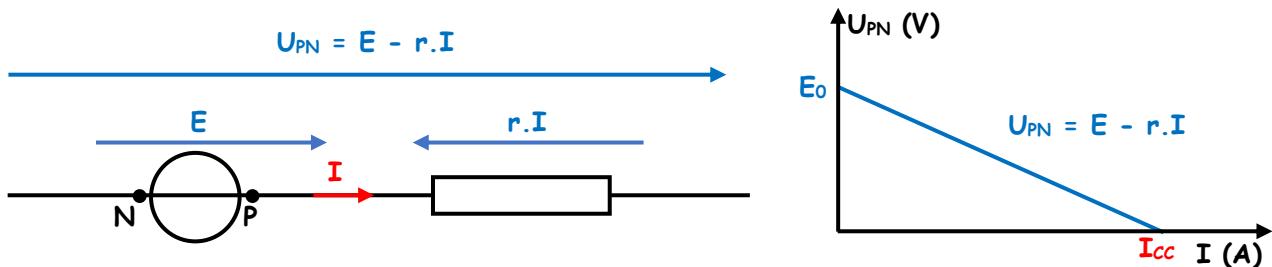


Remarque: Par convention, dans le cas d'un générateur, le courant "remonte" les potentiels.

5.3- Générateur réel

Un générateur réel de tension est constitué d'un générateur idéal de tension E (V) (force électro motrice) associé à une résistance r (Ω) en série. La tension U_{PN} aux bornes de ce générateur de tension est:

$$U_{PN} = E - r \cdot I$$



La tension U_{PN} aux bornes de ce générateur diminue lorsque l'intensité I de courant augmente.

Lorsque l'intensité de courant I atteint une certaine valeur, la tension U_{PN} aux bornes de ce générateur s'annule. Cette valeur particulière est l'intensité de cours circuit que l'on notera I_{cc} (A).

Remarque: Lorsque rien n'est branché à la sortie de ce générateur, on dit qu'il est à vide. Le générateur est donc dans un circuit ouvert. Le courant I circulant dans le circuit est nul. On a alors $U_{PN} = E$. Pour cette raison, la tension E est appelée tension à vide.

5.4- Energie fournie par un générateur électrique

L'énergie électrique W_{elec} transférée par un générateur à un circuit électrique dépend de:

- La tension U_{PN} existant entre ses bornes.
- L'intensité I du courant qui le traverse.
- La durée Δt de son utilisation.

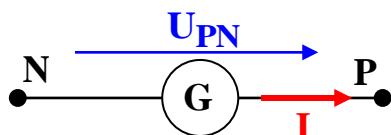
$$W_{elec} = U_{PN} \cdot I \cdot \Delta t$$

W_{elec}: Energie électrique fournie par le générateur en Joules (J)

U_{PN}: Tension électrique aux bornes du générateur en Volts (V)

I: Intensité du courant électrique en Ampère (A)

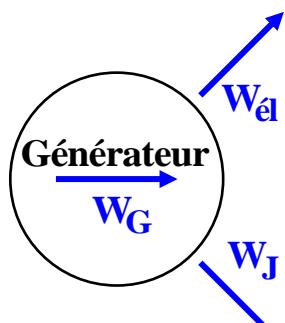
Δt: Durée d'utilisation du générateur en seconde (s)



En fonctionnement, un générateur actif convertit un certain type d'énergie W_G (chimique W_{ch} , lumineuse W_{lu} , etc.) pour la transférer au reste du circuit en énergie électrique W_{elec} et en énergie thermique W_J .

L'énergie électrique W_{elec} transmise au circuit par le générateur pendant la durée Δt a pour expression:

$$W_{elec} = U_{PN} \cdot I \cdot \Delta t = E \cdot I \cdot \Delta t - r \cdot I^2 \cdot \Delta t$$



L'énergie électrique $W_{\text{élec}}$ transmise au circuit par le générateur durant la durée Δt s'écrit:

$$W_{\text{élec}} = W_G - W_J$$

W_u est l'énergie totale convertie par le générateur durant la durée Δt :

$$W_G = E \cdot I \cdot \Delta t$$

W_J est l'énergie électrique dissipée par effet Joule au niveau du générateur durant la durée Δt :

$$W_J = r \cdot I^2 \cdot \Delta t$$

5.5- Puissance fournie par un générateur électrique

On appelle puissance électrique fournie par un générateur la quantité d'énergie fournie par le générateur par unité de temps.

$$P_{\text{élec}} = \frac{W_{\text{élec}}}{\Delta t}$$

P_{élec}: Puissance électrique fournie par le générateur en Watt (W)
W_{élec}: Energie électrique fournie par le générateur en Joules (J)
Δt: Durée d'utilisation du générateur en seconde (s)

On peut aussi écrire:

$$P_{\text{élec}} = \frac{W_{\text{élec}}}{\Delta t} = \frac{U_{PN} \cdot I \cdot \Delta t}{\Delta t} = U_{PN} \cdot I.$$

5.6-Rendement d'un générateur électrique

Un générateur transforme partiellement une forme d'énergie W_G en énergie électrique $W_{\text{élec}}$ disponible. C'est la raison pour laquelle on définit le rendement d'un générateur.

Le rendement η d'un générateur électrique est le quotient de l'énergie électrique $W_{\text{élec}}$ transmise par le générateur au reste du circuit et de l'énergie totale W_G convertie par le générateur.

C'est un nombre sans dimension.

$$\eta = \frac{W_{\text{élec}}}{W_G} = \frac{P_{\text{élec}}}{P_G} = \frac{U_{AB}}{E'}$$

Le rendement est un nombre sans unité toujours inférieur à 1 (ou à 100%) car la valeur de la f.e.m. E est toujours supérieure à celle de la tension U_{PN} .