

Deuxième Partie : Electrodynamique

Unité 11
6 H - 10 H

Comportement global d'un circuit électrique

التصرف العام لدارة كهربائية



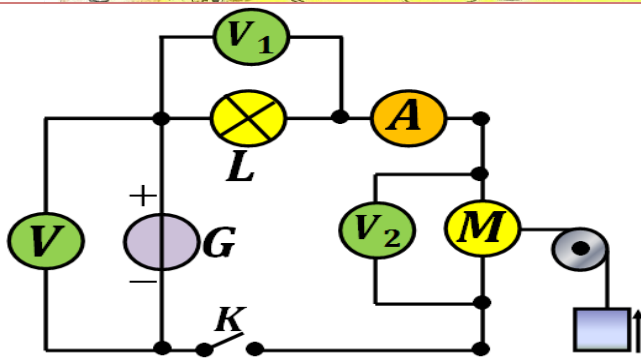
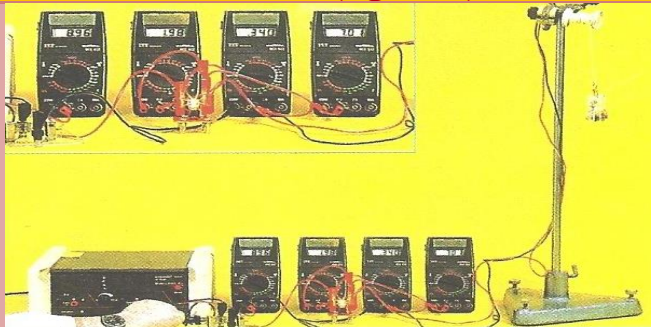
1^{er} Bac Sciences
Physique

I – Principe de conservation de l'énergie électrique :

1 – Activité :

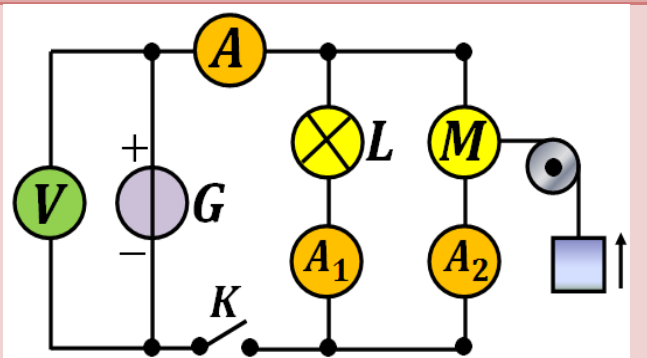
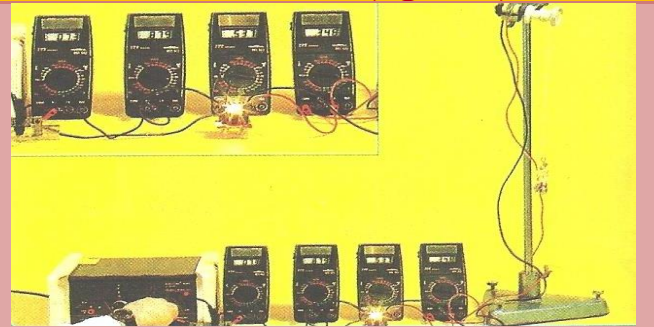
On réalise le montage expérimental représenté ci-dessous, où on branche le générateur G , la lampe L , le moteur électrique M , en série (figure 1) en dérivation (figure 2).

En série (figure 1)



On trouve $I = 0,340 \text{ A}$ et $U_G = 8,96 \text{ V}$
et $U_1 = 1,98 \text{ V}$ et $U_2 = 7,01 \text{ V}$

En dérivation (figure 2)



On trouve : $U_G = 7,3 \text{ V}$ et $I = 0,879 \text{ A}$
et $I_1 = 0,348 \text{ A}$ et $I_2 = 0,537 \text{ A}$

a- Ecrire les expressions de la puissance : fournie par le générateur $\mathcal{P}_G$, reçue par la lampe $\mathcal{P}_1$, reçue par le moteur $\mathcal{P}_2$, et calculer ses valeurs pour chaque montage.

En série : on a $\mathcal{P}_G = U_G \cdot I = 8,96 \times 0,340 = 3,046 \text{ W}$ et $\mathcal{P}_1 = U_1 \cdot I = 1,98 \times 0,340 = 0,673 \text{ W}$ et $\mathcal{P}_2 = U_2 \cdot I = 7,01 \times 0,340 = 2,383 \text{ W}$.

En dérivation : on a $\mathcal{P}_G = U_G \cdot I = 7,3 \times 0,879 = 6,417 \text{ W}$ et $\mathcal{P}_1 = U_G \cdot I_1 = 7,3 \times 0,348 = 2,540 \text{ W}$ et $\mathcal{P}_2 = U_G \cdot I_2 = 7,3 \times 0,537 = 3,920 \text{ W}$.

b- Est-ce que le principe de conservation de l'énergie est vérifié quelle que soit le montage électrique du circuit ?

En série : on a $\mathcal{P}_1 + \mathcal{P}_2 = 0,673 + 2,383 = 3,056 \text{ W}$ on constate que $\mathcal{P}_G \approx \mathcal{P}_1 + \mathcal{P}_2$.

En dérivation : on a $\mathcal{P}_1 + \mathcal{P}_2 = 2,540 + 3,920 = 6,460 \text{ W}$ on constate que $\mathcal{P}_G \approx \mathcal{P}_1 + \mathcal{P}_2$.

c- Dédurre la loi d'addition des tensions pour le circuit en série et la loi des nœuds pour le circuit en dérivation.

En série : on a $\mathcal{P}_G = \mathcal{P}_1 + \mathcal{P}_2$ d'où $U_G \cdot I = U_1 \cdot I + U_2 \cdot I$ donc $U_G = U_1 + U_2$.

En dérivation : on a $\mathcal{P}_G = \mathcal{P}_1 + \mathcal{P}_2$ d'où $U_G \cdot I = U \cdot I_1 + U \cdot I_2$ donc $I = I_1 + I_2$.

2 – Enoncé de principe de conservation d'énergie :

Dans un **circuit électrique**, l'**énergie électrique fournie** par un **générateur** est égale **la somme des énergies électrique reçues** par les **récepteurs**.

II – Distribution de l'énergie au niveau d'un récepteur électrique :1 – Activité :

On réalise le **montage expérimental** représenté ci-contre.

On varie la **tension U_{AB}** de l'**électrolyseur** (dans lequel il y a la **solution de soude**) par un **générateur de tension continue et réglable**, et on mesure chaque fois l'**intensité du courant électrique I** .

On représente ces **résultats** dans la **courbe** ci-contre qui montre la **caractéristique** de l'**électrolyseur**.

a- Qu'**observez-vous** sur chaque **électrode** de l'**électrolyseur** ?

On observe un **dégagement de gaz** dans **chaque électrode** à la suite **des réactions qui se produisent**.

b- Trouver l'**équation** qui représente la **caractéristique** de l'**électrolyseur**, puis donner une **valeur** à sa **force contre électromotrice E'** et à sa **résistance interne r'** .

La **courbe** est une **fonction affine** écrite sous la forme : $U_{AB} = \alpha \cdot I + \beta = r' \cdot I + E'$

à $I = 0$ on a $U_{AB}(0) = \alpha \times 0 + \beta = \beta = 2 \text{ V}$.

et on a $\alpha = \frac{U_{AB} - \beta}{I} = \frac{6 - 2}{0,05} = 80 \Omega$

donc $E' = 2 \text{ V}$ et $r' = 80 \Omega$.

c- Exprimer $\mathcal{P}_e$ la **puissance électrique reçue** par l'**électrolyseur**, ainsi que la **puissance électrique $\mathcal{P}_J$** dissipée par l'**effet Joule** dans l'**électrolyseur**.

On a $\mathcal{P}_e = U_{AB} \cdot I = (E' + r' \cdot I) \cdot I$ et $\mathcal{P}_J = r' \cdot I^2$

d- Dédurre l'**expression** de la **différence $\mathcal{P}_e - \mathcal{P}_J$** en fonction de E' et r' , que représente cette **différence** ?

On a $\mathcal{P}_e - \mathcal{P}_J = E' \cdot I + r' \cdot I^2 - r' \cdot I^2 = E' \cdot I$ qui représente la **puissance chimique $\mathcal{P}_{ch} = E' \cdot I$** .

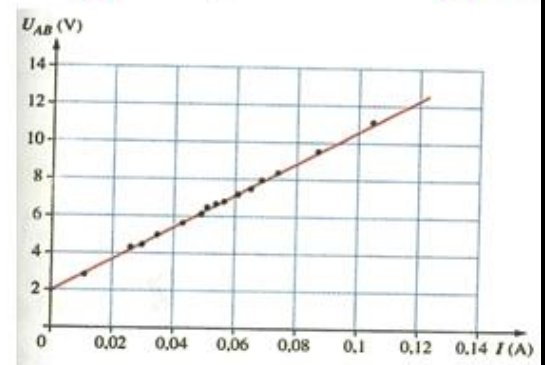
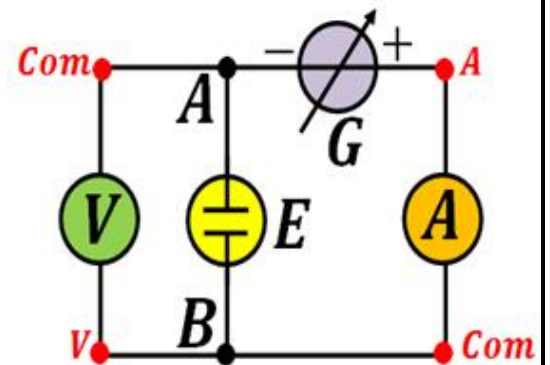
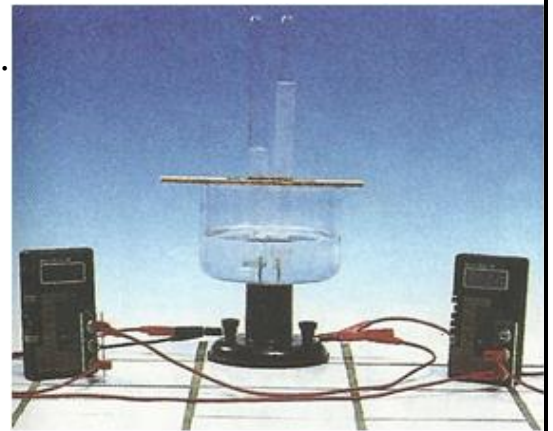
e- L'**électrolyseur électrique** fonctionne pendant **10 minutes**, au cours de laquelle la **tension** est : $U_{AB} = 6,0 \text{ V}$.

■ Calculer l'**énergie électrique reçue** par l'**électrolyseur**.

On a $W_e = U_{AB} \cdot I \cdot \Delta t = 6 \times 0,05 \times 10 \times 60 = 180 \text{ J}$.

■ Calculer l'**énergie électrique dissipée** par l'**effet Joule** dans l'**électrolyseur**.

On a $W_J = r' \cdot I^2 \cdot \Delta t = 80 \times (0,05)^2 \times 10 \times 60 = 120 \text{ J}$.



- Dédurre, de **deux manières différentes**, la valeur de l'énergie utilisée pour effectuer l'électrolyse de l'eau.

Selon le **principe de conservation de l'énergie** on a

$$W_u = W_{ch} = W_e - W_J = 180 - 120 = 60 \text{ J} .$$

et on sait que : $W_u = W_{ch} = E' . I . \Delta t = 2 \times 0,05 \times 10 \times 60 = 60 \text{ J} .$

f- Le **rendement** d'un **récepteur** ρ est le **quotient** de la **division** de la **puissance utile** $\mathcal{P}_u$ sur la **puissance reçue** $\mathcal{P}_e$.

- Quelle est la **puissance utile** de l'électrolyseur ? écrire son expression.

La **puissance utile** est la **puissance chimique**, son expression est $\mathcal{P}_u = \mathcal{P}_{ch} = E' . I$

- Trouver l'expression de ρ en fonction de E' et r' et I . Calculer la valeur de ρ dans le cas de la question -e-.

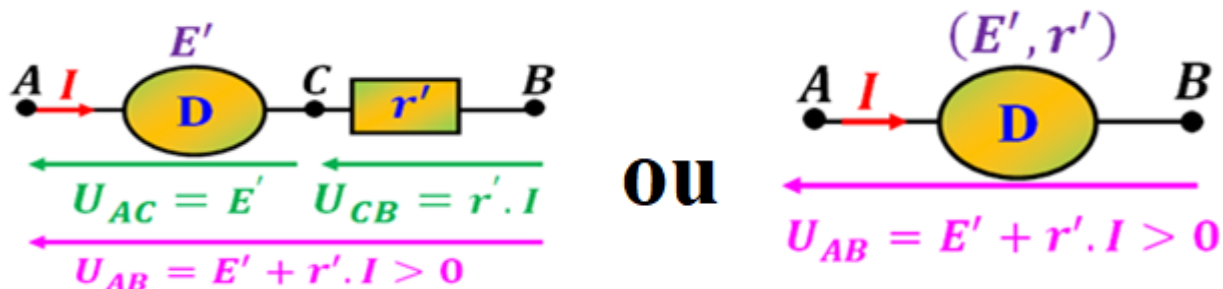
On a $\rho = \frac{\mathcal{P}_u}{\mathcal{P}_e} = \frac{E' . I}{(E' + r' . I) . I} = \frac{E'}{E' + r' . I}$ donc $\rho = \frac{E'}{U_{AB}} = \frac{2}{6} = 0,333 = 33,3 \%$.

2 – Loi d'Ohm pour un récepteur :

La **tension** U_{AB} aux bornes d'un **récepteur** (moteur électrique ou électrolyseur électrique...), parcouru par un **courant électrique d'intensité** I , est définie par :

$U_{AB} = E' + r' . I$ Où E' la **force contre électromotrice** du récepteur et r' la **résistance interne** du récepteur.

Convention récepteur :



3 – Bilan énergétique :

Lorsqu'un **courant électrique d'intensité** I traverse un **récepteur** pendant la **durée** Δt , la **tension** entre ses bornes est : $U_{AB} = E' + r' . I$.

On multiplie les **deux parties** de l'équation par $I . \Delta t$, et on obtient :

$$U_{AB} . I . \Delta t = E' . I . \Delta t + r' . I^2 . \Delta t$$

avec $W_e = U_{AB} . I . \Delta t$ l'énergie électrique reçue par le récepteur.

$W_u = E' . I . \Delta t$ l'énergie utile fournie par le récepteur.

$W_J = r' . I^2 . \Delta t$ l'énergie thermique dissipée par l'effet Joule dans le récepteur.

alors $W_e = W_u + W_J$

4 – Rendement d'un récepteur :

Le **rendement d'un récepteur** est le **quotient** de la **division** de l'énergie (ou la puissance) utile sur l'énergie (ou la puissance) reçue par le récepteur :

$$\rho = \frac{W_u}{W_e} = \frac{\mathcal{P}_u}{\mathcal{P}_e} = \frac{E' . I}{U_{AB} . I} = \frac{E'}{U_{AB}} = \frac{E'}{E' + r' . I} < 1 .$$

On peut l'exprimer en **pourcentage**.



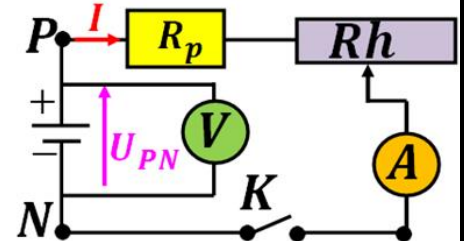
III – Distribution de l'énergie au niveau d'un générateur électrique :

1 – Activité :

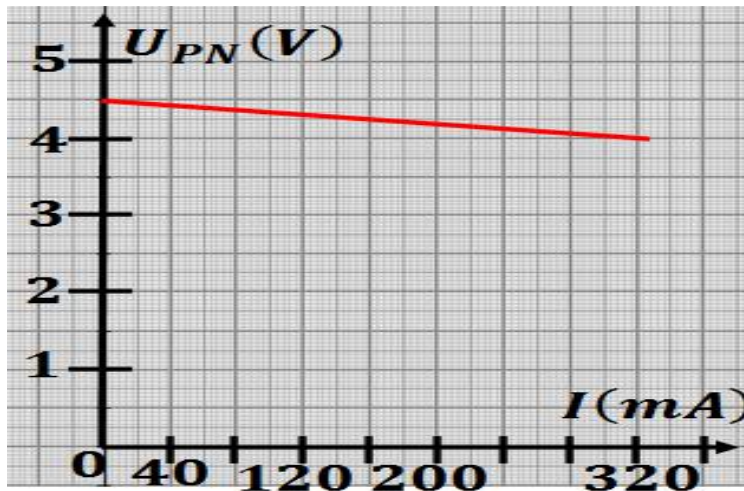
On réalise le montage expérimental représenté ci-contre.

On varie, par un rhéostat R_h , la tension U_{PN} entre les bornes de la pile, et on mesure chaque fois l'intensité du courant électrique I qui la traverse. On écrit les résultats dans le tableau suivant :

$U_{PN}(V)$	4,50	4,45	4,40	4,30	4,20	4,10	4,00
$I(mA)$	0	40	61	103	191	243	330



a- Tracer la caractéristique de la pile $U_{PN} = f(I)$.



b- Montrer que la tension entre les bornes de la pile est : $U_{PN} = E - r \cdot I$ puis mentionner ce que signifient les deux lettres E et r , calculer la valeur de E et r .

La courbe est une fonction affine écrite sous la forme : $U_{PN} = \alpha \cdot I + \beta$

La fonction est décroissante donc $\alpha < 0$ alors $\alpha = -r$ et $\beta = E$

donc $U_{PN} = E - r \cdot I$ où E la force électromotrice de la pile
et r la résistance interne de la pile.

à $I = 0$ on a $U_{PN}(0) = \alpha \times 0 + \beta = \beta = 4,5 V$ donc $E = \beta = 4,5 V$

et on a $\alpha = \frac{U_{PN} - \beta}{I} = \frac{4 - 4,5}{0,33} = -1,5 \Omega$ donc $r = -\alpha = 1,5 \Omega$.

c- Exprimer $\mathcal{P}_e$ la puissance électrique fournie par la pile au reste de circuit, ainsi que la puissance électrique $\mathcal{P}_j$ dissipée par l'effet Joule dans la pile.

On a $\mathcal{P}_e = U_{PN} \cdot I = (E - r \cdot I) \cdot I = E \cdot I - r \cdot I^2$ et $\mathcal{P}_j = r \cdot I^2$

d- Déduire l'expression de la somme $\mathcal{P}_e + \mathcal{P}_j$ en fonction de E et r , que représente cette somme ?

On a $\mathcal{P}_e + \mathcal{P}_j = E \cdot I - r \cdot I^2 - r \cdot I^2 = E \cdot I$ qui représente la puissance totale reçue par la pile $\mathcal{P}_T = E \cdot I$.

e- La pile fonctionne pendant 10 minutes, sous une tension $U_{PN} = 4 V$.

■ Calculer l'énergie électrique fournie par la pile au reste de circuit.

On a $W_e = U_{PN} \cdot I \cdot \Delta t = 4 \times 0,33 \times 10 \times 60 = 792 J$.

- Calculer l'énergie électrique dissipée par l'effet Joule dans la pile.

On a $W_J = r \cdot I^2 \cdot \Delta t = 1,5 \times (0,33)^2 \times 10 \times 60 = 98 \text{ J}$.

- Dédurre, de deux manières différentes, la valeur de l'énergie chimique utilisée dans la pile.

Selon le principe de conservation de l'énergie, on a :

$$W_u = W_{ch} = W_e + W_J = 792 - 98 = 890 \text{ J}.$$

et on sait que : $W_u = W_{ch} = E \cdot I \cdot \Delta t = 4,5 \times 0,33 \times 10 \times 60 = 891 \text{ J}$.

f- Le rendement de la pile ρ est le quotient de la division de la puissance utile $\mathcal{P}_u$ sur la puissance totale reçue $\mathcal{P}_T$.

- Quelle est la puissance utile pour la pile ? écrire son expression.

La puissance utile pour la pile est la puissance électrique fournie au reste de circuit, son expression est : $\mathcal{P}_u = \mathcal{P}_e = (E - r \cdot I) \cdot I$

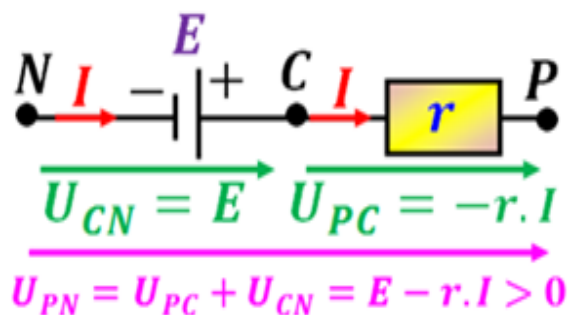
- Trouver l'expression de ρ en fonction de E et r et I . Calculer la valeur de ρ dans le cas de la question -e-.

$$\text{On a } \rho = \frac{\mathcal{P}_u}{\mathcal{P}_T} = \frac{(E - r \cdot I) \cdot I}{E \cdot I} = \frac{E - r \cdot I}{E} \quad \text{donc } \rho = \frac{U_{PN}}{E} = \frac{4}{4,5} = 0,889 = 88,9 \%$$

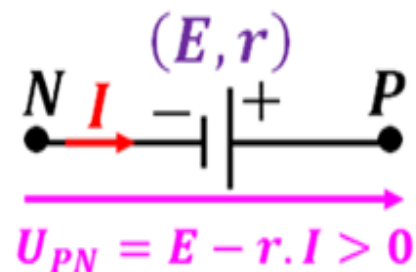
2 – Loi d'Ohm pour un générateur :

La tension U_{PN} aux bornes d'un générateur, parcouru par un courant d'intensité I , est définie par : $U_{PN} = E - r \cdot I$ Où E la force électromotrice du générateur et r la résistance interne du générateur.

Convention générateur :



ou



3 – Bilan énergétique :

Lorsqu'un courant électrique d'intensité I traverse un générateur pendant la durée Δt , la tension entre ses bornes est : $U_{PN} = E - r \cdot I$.

On multiplie les deux parties de l'équation par $I \cdot \Delta t$, et on obtient :

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

donc $E \cdot I \cdot \Delta t = U_{PN} \cdot I \cdot \Delta t + r \cdot I^2 \cdot \Delta t$

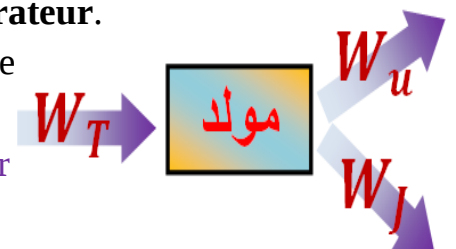
Avec $W_T = E \cdot I \cdot \Delta t$ l'énergie totale reçue par le générateur.

$W_e = U_{PN} \cdot I \cdot \Delta t$ l'énergie électrique fournie par le générateur au reste de circuit.

$W_J = r \cdot I^2 \cdot \Delta t$ l'énergie thermique dissipée par

l'effet Joule dans le générateur.

alors $W_T = W_u + W_J$.



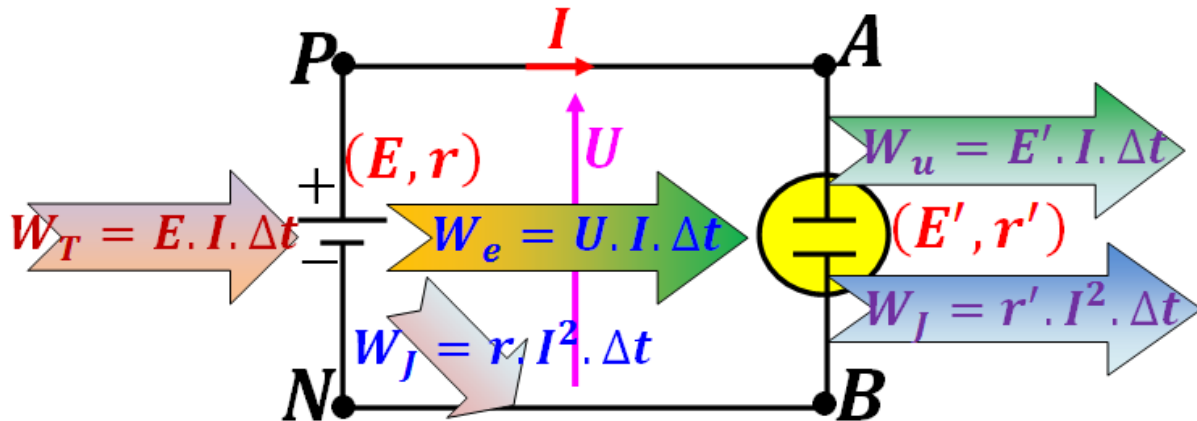
4 – Rendement d'un générateur :

Le **rendement de générateur** est le **quotient** de la **division** de l'**énergie** (ou la **puissance**) **utile** sur l'**énergie** (ou la **puissance**) **totale reçue** par le **générateur** :

$$\rho = \frac{W_u}{W_T} = \frac{P_u}{P_T} = \frac{U_{PN} \cdot I}{E \cdot I} = \frac{E - r \cdot I}{E} = 1 - \frac{r \cdot I}{E} < 1 . \text{ On peut l'exprimer en pourcentage.}$$

5 – Le Rendement total d'un circuit simple :

On considère un **circuit électrique** composé d'un **générateur** branché **en série** avec un **récepteur** (électrolyseur électrique).



Le **rendement total** de ce circuit est : $\rho = \frac{W_e}{W_T} = \frac{P_e}{P_T} = \frac{E' \cdot I}{E \cdot I} = \frac{E'}{E} < 1 .$

Le **rendement** du **générateur** est : $\rho_1 = \frac{W_e}{W_T} = \frac{P_e}{P_T} = \frac{U_{PN} \cdot I}{E \cdot I} = \frac{U_{PN}}{E} .$

Le **rendement** du **récepteur** est : $\rho_2 = \frac{W_u}{W_e} = \frac{P_u}{P_e} = \frac{E' \cdot I}{U_{AB} \cdot I} = \frac{E'}{U_{AB}} .$

On a $U_{PN} = U_{AB} = U$ alors $\rho = \rho_1 \times \rho_2 = \frac{E'}{E} .$

IV – Les facteurs influençant sur l'énergie fournie par un générateur à un circuit résistif :

1 – L'influence de la force électromotrice E et la résistance équivalente R_{eq} :

On considère un **générateur**, sa **force électromotrice** E et sa **résistance interne** r , branché **en série** ou en **dérivation** avec **plusieurs conducteurs ohmiques**, sa **résistance équivalente** R_{eq} .

Selon la **loi d'ohm** pour un **générateur** on a : $U_{PN} = E - r \cdot I$.

Selon la **loi d'ohm** pour un **conducteur ohmique** on a :

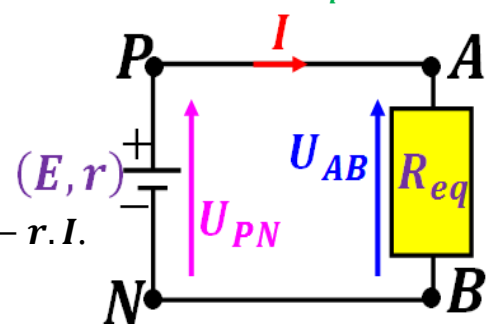
$$U_{AB} = R_{eq} \cdot I .$$

Selon la **loi d'addition des tensions** on a $U_{PN} = U_{AB}$ d'où $E - r \cdot I = R_{eq} \cdot I$

$$\text{donc } I = \frac{E}{R_{eq} + r} .$$

L'**expression** de l'**énergie électrique fournie** par un **générateur** au **reste du circuit** pendant la **durée** Δt est : $W_e = U_{PN} \cdot I \cdot \Delta t = U_{AB} \cdot I \cdot \Delta t = R_{eq} \cdot I^2 \cdot \Delta t$

$$\text{donc } W_e = \frac{R_{eq}}{(R_{eq} + r)^2} \cdot E^2 \cdot \Delta t .$$



L'énergie électrique fournie par un générateur est proportionnelle au carré de sa force électromotrice E .

Pour un générateur idéal ($r = 0$), on a $W_e = \frac{R_{eq}}{R_{eq}^2} \cdot E^2 \cdot \Delta t = \frac{E^2}{R_{eq}} \cdot \Delta t$.

L'énergie électrique fournie par un générateur idéal est proportionnelle au carré de sa force électromotrice E et inversement proportionnelle à la résistance équivalente R_{eq} .

Remarque :

On a $\mathcal{P}_e = \frac{R_{eq}}{(R_{eq}+r)^2} \cdot E^2$, le générateur donne une puissance électrique maximale

$\mathcal{P}_{e \max} = \frac{E^2}{4r}$ lorsque ($r = R_{eq}$).

2 – Limites de fonctionnement du conducteur ohmique :

Le fabricant donne généralement la valeur de la résistance R ainsi que la puissance maximale $\mathcal{P}_{\max}$ que le conducteur ohmique peut la supporter, pour que le conducteur ohmique fonctionne correctement, c'est pourquoi il doit être branché dans un circuit électrique qui ne laisse pas passer un courant électrique d'intensité supérieur ou égal à $I_{\max}$ et ne se produit pas entre ses bornes une tension qui dépasse $U_{AB \max}$.

On sait que $\mathcal{P}_{\max} = U_{AB \max} \cdot I_{\max}$ alors $\mathcal{P}_{\max} = R \cdot I_{\max}^2 = \frac{U_{AB \max}^2}{R}$

Donc $I_{\max} = \sqrt{\frac{\mathcal{P}_{\max}}{R}}$ et $U_{AB \max} = \sqrt{R \cdot \mathcal{P}_{\max}}$.