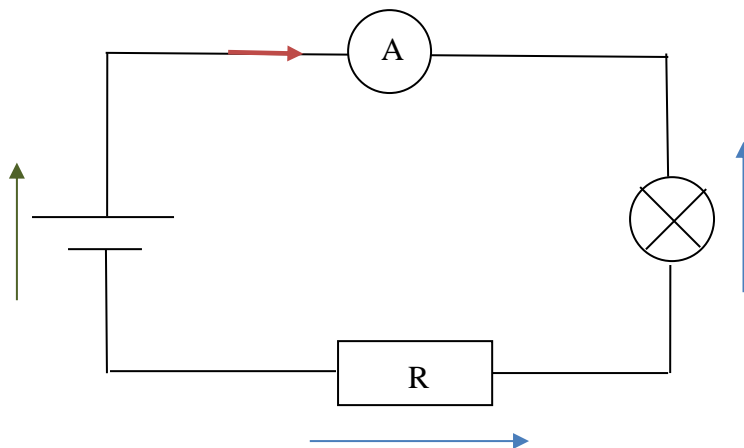


EL4 Energie et puissance dans un circuit électrique

1. Circuit

Circuit électrique = ensemble de **dipôles** (=composant électrique à deux bornes) qui sont reliés par des fils métalliques pour permettre la circulation des porteurs de charge (le plus souvent des électrons). Le **générateur** fournit l'énergie électrique nécessaire pour propulser les électrons tandis que les **récepteurs** consomment l'énergie électrique en freinant les électrons.



Annoter :
Les flèches pour
I = intensité de courant
 U_G = tension générateur
 U_L = tension lampe
 U_R = tension résistance

Rem : Le sens positif des flèches tension correspond à la convention française. En Allemagne c'est l'inverse et anglosaxon double flèche.

L'ampèremètre branché en série mesure la charge électrique qui le traverse par seconde

$$\text{Intensité du courant } I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{\text{quantité de charge qui circule}}{\text{temps correspondant}} \quad \text{en Ampère (A=C/s)}$$

Le sens conventionnel du courant correspond au sens de déplacement de charges positives (=sens opposés du mouvement des électrons)

Le voltmètre branché en parallèle mesure la différence de potentiel électrique entre deux points

$$\text{Tension } U = \frac{\Delta W}{\Delta Q} = \frac{\text{travail électrique}}{\text{quantité de charge}} \quad \text{en Volt (V=J/C)}$$

En divisant le travail et la charge par le temps t où la charge q circule on a

$$\text{Tension } U = \frac{P}{I} = \frac{\text{puissance électrique}}{\text{intensité de courant}} \quad \text{en Volt (V=W/A)}$$

La polarité d'une tension U est indiquée par une flèche de la borne - vers la borne +.

Exercice : Représenter un circuit avec une batterie et deux lampes a) en **série** et b) en **parallèle**. Représenter les appareils de mesures (avec leur polarité) nécessaires pour déterminer les différentes tensions et intensités. Tracer les flèches pour les I et U mesurés.

LOIS DE KIRCHHOFF :

Additivité des tensions:

tension aux bornes d'une portion de circuit = somme algébrique des tensions partielles.

Loi des nœuds:

somme des courants qui arrivent en un nœud = somme des courants qui partent

Film : Lois dans un circuit <https://www.youtube.com/watch?v=m4jzggZu-4s>

Noter que dans cette animation le courant est illustré par des porteurs de charges conventionnels positifs (au lieu des électrons réels qui circulent en sens inverse). Ceci rend la notion de potentiel élevé positif plus intuitive. (cf. inconvénient dans l'animation condensateur p.11).

Le langage est parfois un peu imprécis mais on visualise très bien :

- 1) potential energy **per Coulomb (sous-entendu)** = Voltage = **potentiel électrique V**
=> hauteur de la portion de circuit
- 2) Voltage across bulb = **Tension ou différence de potentiel U** sur la lampe
=> différence de hauteur entre entrée et sortie d'un dipôle
- 3) Amount of courant = **intensité de courant I**
=> vitesse des charges resp. nombre de charges qui circulent par unité de temps

2. Travail électrique fourni ou reçu par un dipôle

Dans le circuit série simple de la page précédente :

- le **générateur** utilise de l'énergie chimique et **fournit le travail électrique** nécessaire pour « pomper » les charges vers un potentiel plus élevé par une montée de tension U_G

tandis que les **récepteurs** tels

- **la lampe** utilise la chute de tension U_L sur ses bornes et **reçoit le travail électrique** nécessaire pour émettre de l'énergie lumineuse et thermique
- **le résistor** utilise la chute de tension U_R sur ses bornes et **reçoit le travail électrique** nécessaire pour émettre de l'énergie thermique

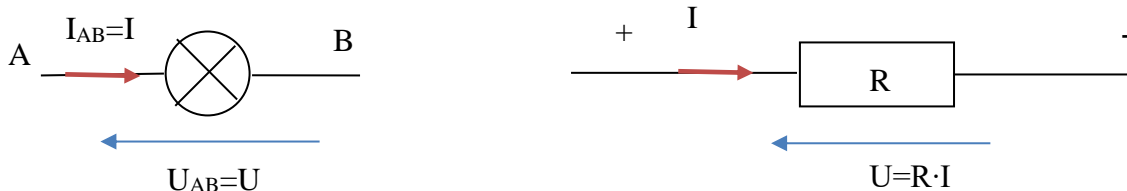
On distingue aussi

Dipôle actif = p.ex. pile qui crée elle-même une tension même si le courant est nul. Branché seul sur un Volt-mètre on mesure la **tension à vide** U_0 également appelé **force électromotrice en Volt** du dipôle actif. (Ne pas se laisser induire par le terme force car unité $V = \frac{N \cdot m}{C}$).

Dipôle passif = p.ex. résistance, lampe à incandescance qui ne produit pas lui-même une tension. Branché seul sur un voltmètre la tension donne zéro. $I=0 \Rightarrow U=0$.

a) Travail et puissance reçus par un récepteur passif

Convention récepteur = sens (polarité) des flèches **U** et **I** positifs ont sens contraire.



Le courant I rentre dans la borne +, l'énergie électrique sera convertie en énergie thermique et de rayonnement.

Travail électrique reçu (= in) :

$$W_{in} = q \cdot U_{AB} = I \cdot t \cdot U > 0 \quad \text{en Joule}$$

$$\text{Puissance reçue} = \frac{\text{travail}}{\text{temps}}$$

$$P_{in} = U_{AB} \cdot I_{AB} = U \cdot I > 0 \quad \text{en Watt}$$

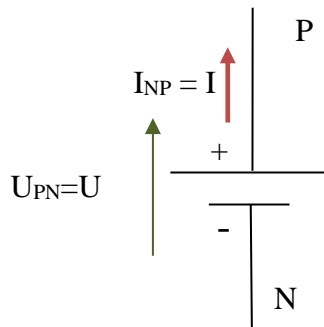
Cas du conducteur ohmique $R = \text{const}$:

$$P = U \cdot I = R \cdot I \cdot I = R \cdot I^2$$

$$= U \cdot \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R}$$

b) Travail et puissance fournis par un générateur

Convention générateur = sens (polarité) des flèches U et I positifs ont même sens.



Travail électrique fourni (ou généré = out):

$$W_{out} = q \cdot U_{PN} = I \cdot t \cdot U > 0 \quad \text{en Joule}$$

Puissance fournie (ou générée) = $\frac{\text{travail}}{\text{temps}}$

$$P_{out} = U_{PN} \cdot I_{NP} = U \cdot I > 0 \quad \text{en Watt}$$

Rem : Si on applique la convention récepteur à une pile on a :

$$P_{in} = U_{NP} \cdot I_{NP} < 0 \quad \text{en Watt car } U_{NP} < 0$$

Film : Energie d'une pile <https://www.youtube.com/watch?v=u4FpbaMW5sk>

Si on met 3 piles identiques en série la tension résultante triple.

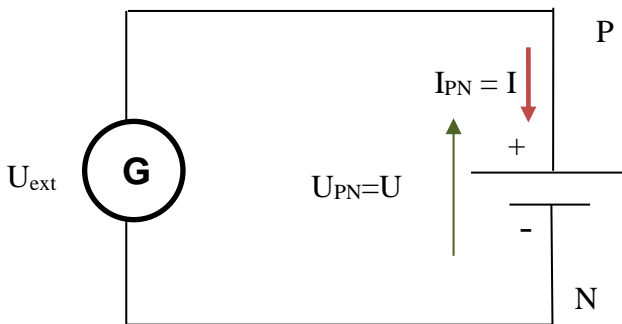
Si on met 3 piles identiques en parallèle elle durent 3 fois plus longtemps car chacune fournit seulement 1/3 du courant.

c) Travail et puissance reçus par un récepteur actif

Convention récepteur = sens (polarité) des flèches U et I positifs ont sens contraire.

Si on applique une tension externe adapté sur un accumulateur (=pile rechargeable) on peut le charger. Dans ce cas il reçoit un travail électrique car le courant rentre dans la borne +.

L'énergie électrique sera convertie et stockée sous forme d'énergie chimique.



Travail électrique reçu (= in) :

$$W_{in} = q \cdot U_{PN} = I \cdot t \cdot U > 0 \quad \text{en Joule}$$

Puissance reçue = $\frac{\text{travail}}{\text{temps}}$

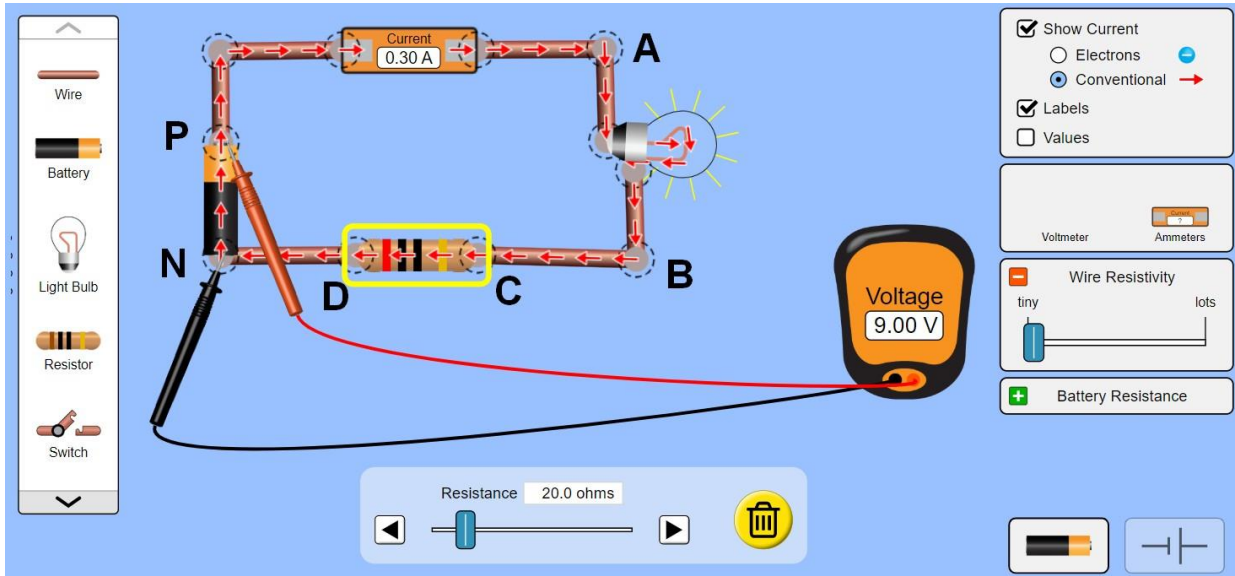
$$P_{in} = U_{PN} \cdot I_{PN} = U \cdot I > 0 \quad \text{en Watt}$$

Indiquer le sens de la flèche tension U_{ext} .

4. Potentiel le long d'un circuit

Simulation : <https://phet.colorado.edu/fr/simulation/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab>

Monter le circuit suivant et régler les valeurs affichés. Faible résistivité des fils. Résistance 20 Ohm.



Prendre N comme référence de potentiel 0.

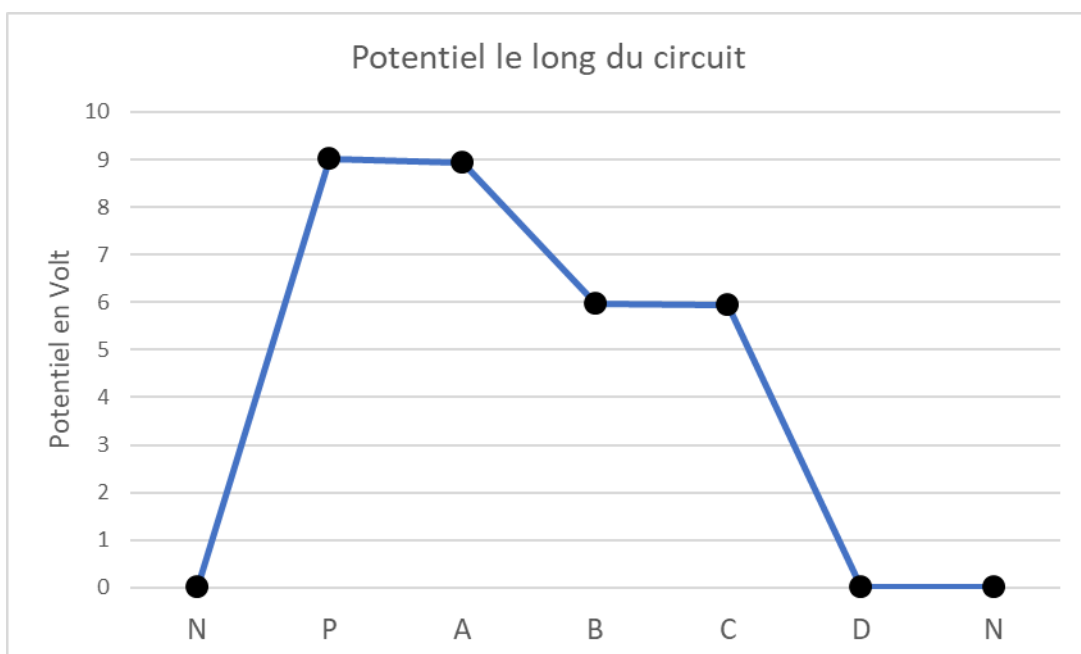
Mesurer le potentiel = mesurer la tension par à la référence fixé 0.

$$V_N=0 \quad V_P=9V \quad V_A= \quad V \quad V_B= \quad V \quad V_C= \quad V \quad V_D= \quad V \quad V_N=0V$$

$$\text{En déduire : } U_{PN}=U_G= \quad U_{AB}=U_L= \quad U_{CD}=U_R=$$

L'intensité de courant est partout la même : $I= \quad A$

Si on représente l'évolution du potentiel on remarque aussi les différences de potentiel

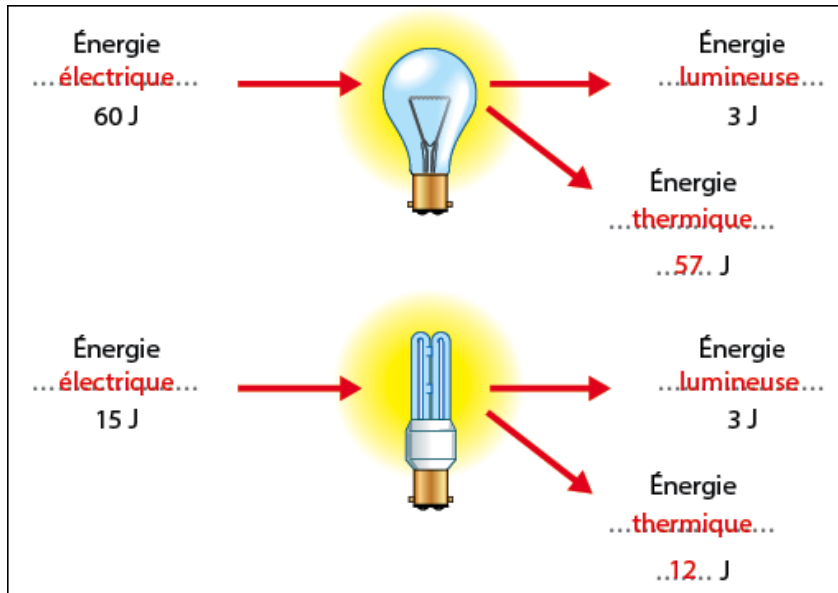


Indiquer les tensions U_{PN} , U_{AB} et U_{CD} par des flèches. A quoi correspondent les paliers ?

5. Transformation d'énergie dans différents dipôles. Rendement.

Chaque dipôle récepteur transforme l'énergie électrique en énergie thermique (souvent perte) et en une autre forme d'énergie (utile).

Calculer le rendement des deux types d'ampoules. Pour les ampoules LED on indique un rendement énergétique de 35%. (Rem : Souvent on indique l'efficacité en lumen/W.)



$$\eta = \frac{E_{lum}}{E_{electr}} = \frac{3J}{60J} = 0,05 = 5\%$$

Lampe à incandescence

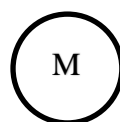
$\eta =$

Lampe fluorescente
(la lumière UV de la décharge dans le gaz est transformé par la couche fluorescente du verre en lumière rouge vert bleu)

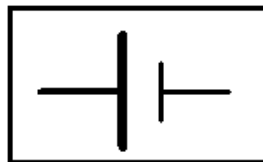
Rendement $\eta = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie absorbée}} = \frac{E_{utile}}{E_{in}} = \frac{P_{utile}}{P_{in}}$ sans unité exprimé souvent en %.

Dessiner un tel schéma (en classe)

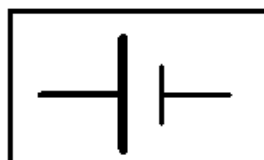
- pour un moteur (récepteur) p.ex. à l'aide des puissances mesuré dans le chapitre puissance pour le moteur électrique Crompton ¼ Horse Power.



- pour une pile (décharge)



- pour un accumulateur (charge)



EL5 Dipôles passifs

Un dipôle passif est toujours un récepteur. S'il est branché seul sur un voltmètre on n'observe pas de tension. Pour étudier la relation entre U et I , on branche le dipôle sur un générateur variable.

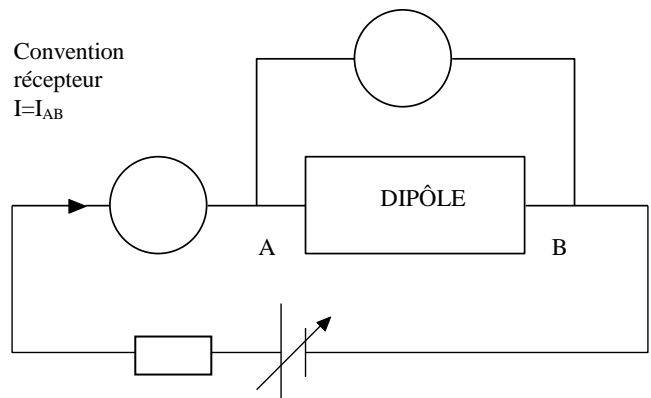
On appelle loi d'Ohm d'un récepteur, l'expression qui donne la tension aux bornes U en fonction du courant I qui rentre dans la borne positive (Convention récepteur).

La courbe représentative de $U=f(I)$ resp. de $I=f(U)$ s'appelle caractéristique du dipôle.

1 Caractéristique de différents dipôles

Expérience : Mesurer (Rappel TP3e) et représenter la caractéristique $U=f(I)$ pour les dipôles suivants:

- a) fil métallique dans un bain d'eau à température constante
- b) même fil dans l'air (effet température)
- c) fil métallique (résistivité)
- d) résistance à couche de carbone
- e) Diode Si (U_{seuil})
- f) Diode LED (U_{seuil})
- g) Diode Zener (U_{seuil} et U_{zener})



Exploitation : Déduire les paramètres typiques pour chaque courbe

2 Conducteur ohmique

La caractéristique du fil métallique refroidi et de la résistance à couche de carbone est une droite passant par l'origine. U et I sont proportionnels. Le rapport U/I est constant. U/I est grand si le courant passe mal.

Définition: La propriété d'un conducteur de "résister" au passage des porteurs de charges est exprimé par la résistance $R = \frac{U}{I}$ en $\frac{V}{A} = \Omega$

Loi d'Ohm pour résistance: Pour certains dipôles, appelés conducteurs ohmiques, la résistance $R=U/I$ est constante. La caractéristique $U=f(I)$ est une fonction linéaire et s'écrit:

$$\mathbf{U = R \cdot I}$$

Ex.: fil métallique refroidi, fil de constantan, résistances à couche de carbone

Un montage en série, en parallèle ou mixte de résistances ohmiques R_1, R_2, \dots correspond à une seule résistance équivalente R .

Ex. Etablir les lois d'association de résistances. (Rappel III^e)

Montage en série $R_s = \sum_i R_i$ Montage en parallèle $\frac{1}{R_p} = \sum_i \frac{1}{R_i}$

3 Effet Joule

Dans une résistance électrique les porteurs de charges frappent contre les ions fixes du réseau cristallin. L'énergie électrique est transformée en chaleur.

La puissance dissipée par effet Joule dans une résistance R traversé par un courant I vaut:

$$P = U \cdot I = R \cdot I^2$$

La température du conducteur augmente jusqu'à ce que la chaleur dégagée dans l'environnement compense la chaleur reçue par effet Joule

4 Résistance d'un fil conducteur. Résistivité (Rappel)



Résistance d'un fil électrique: $R = \rho \cdot \frac{L}{S}$ où ρ désigne la résistivité du matériel

$$\rho = \frac{R \cdot S}{L} \text{ en } \Omega \cdot \text{m} \quad (1 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} = 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}).$$

Applet : Influence des paramètres.

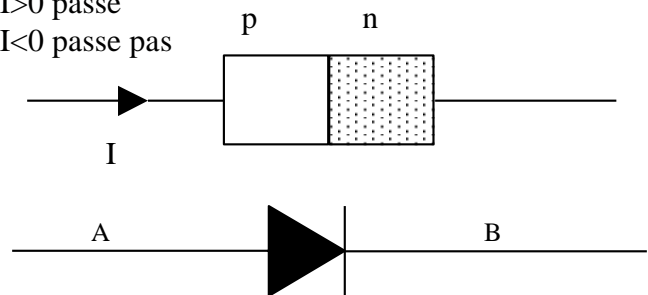
Contrôler un calcul. Attention aux unités indiqués: cm, cm², Ωcm !

6 Diode à jonction (cf. TP ou TD)

Une diode est un cristal semi-conducteur (Si) dont une moitié (p) est dopé par des atomes qui acceptent des électrons, tandis que l'autre moitié (n) est dopée par des atomes donneurs. La caractéristique de la diode est asymétrique parce que le courant peut traverser la diode à jonction dans le sens pn, mais pas en sens inverse.

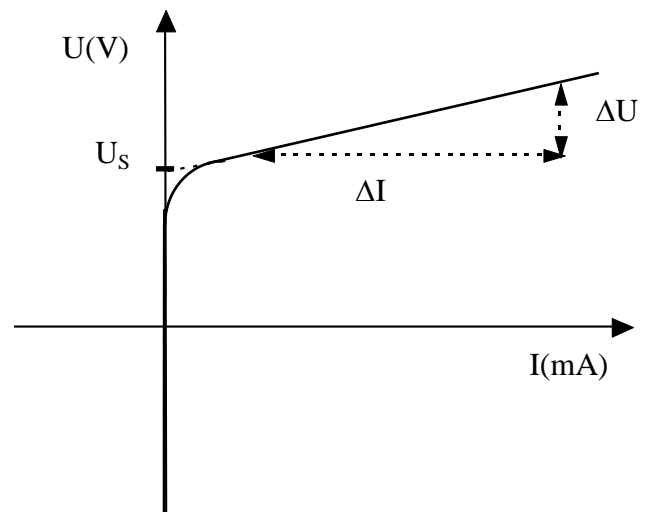
$I > 0$ passe

$I < 0$ passe pas



On peut idéaliser la caractéristique $U=f(I)$ de la diode par deux segments de droite:

- droite verticale $I=0$ pour $U < U_s$ tension seuil
- fonction affine: $U=U_s + r \cdot I$ pour $I > 0$
où $r = \frac{\Delta U}{\Delta I}$ est la résistance dynamique



Rem : Si une diode normale ne conduit pas en sens inverse, la diode Zener commence à laisser passer un courant négatif à partir d'une tension Zener.

EL6 Dipôles actifs

1 Caractéristique d'un générateur

On appelle loi d'Ohm d'un générateur, l'expression qui donne la tension aux bornes U en fonction du courant I qui est **débité par** la borne positive (Convention générateur).

On peut idéaliser la courbe $U=f(I)$ par une fonction affine décroissante: $U=a \cdot I+b$ ($a<0$).

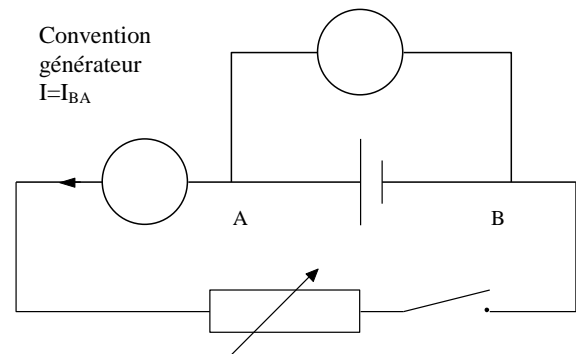
Une batterie réelle est formée par:

- un générateur qui produit une tension constante E , appelée force électromotrice
- une résistance interne r correspondant à la conduction dans la batterie (électrolyte, contacts, ...)

Si on relie une batterie à une résistance extérieure R , la résistance équivalente du montage en série est $r+R$. Ce qui permet de calculer l'intensité I du courant débité:

$$I = \frac{E}{r + R}$$

Schéma :

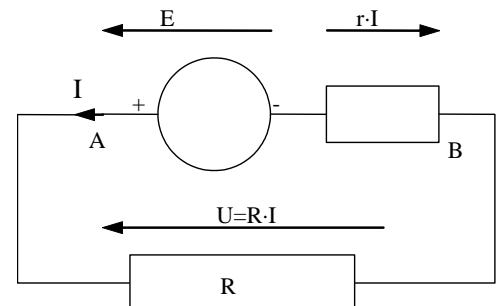


La tension disponible U aux bornes de la batterie (all. *Klemmenspannung*) s'écrit:

$$U = E - r \cdot I \quad (\text{loi d'Ohm généralisée pour générateur, convention générateur})$$

où E est la force électromotrice du générateur en Volt!! ($E \neq$ champ électrique)

r désigne la résistance interne



Pratiquement on mesure:

- fém E = tension à vide U_0 lorsque la batterie ne débite aucun courant (all. *Quellenspannung*)
- résistance interne $r = \frac{\text{chute de tension } \Delta U}{\text{augmentation de courant } \Delta I}$

Bilan énergétique:

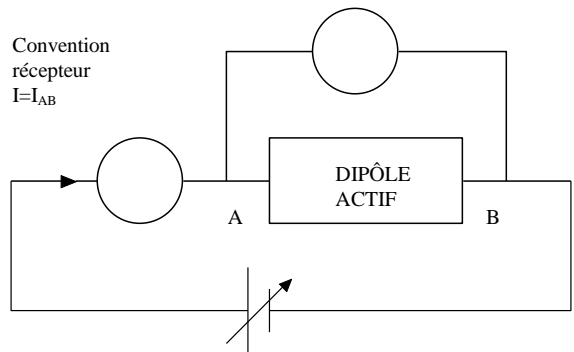
$P = U \cdot I$	=	$E \cdot I$	-	$r \cdot I^2$
puissance fournie au circuit extérieur		puissance produite par la batterie		puissance dissipée dans la résistance interne

Rendement du générateur : $\eta = \frac{P \text{ utile fournie au circuit}}{P \text{ générée}} = \frac{U \cdot I}{E \cdot I} = \frac{U}{E}$ diminue avec I

2 Caractéristique d'un récepteur électromoteur (=qui libère de l'énergie chimique, mécanique (et non seulement thermique))

Expérience : Relever (TP 2^e) la caractéristique $U=f(I)$ d'un accumulateur qu'on charge et d'un moteur électrique (qui tourne à vitesse constante) et evtl. électrolyseur. On utilise le même montage que pour les dipôles passifs.

On peut idéaliser la courbe par une fonction affine croissante.



Un récepteur électromoteur/électrolyseur/accumulateur réel est constitué :

- un convertisseur d'énergie qui consomme une tension constante E' , appelée force contre-électromotrice
- une résistance interne r correspondant à la conduction interne

<p>La tension aux bornes du dipôle actif récepteur s'écrit:</p> $U = E' + r \cdot I$ <p>(loi d'Ohm généralisé pour récepteur, convention récepteur) où E' est la force contre-électromotrice (fcém) du dipôle en Volt!! r désigne sa résistance interne.</p>	<p>Schéma :</p>
--	-----------------

Rem: Pour le moteur électrique, la force contre-électromotrice est proportionnelle à la vitesse de rotation. Pour avoir E' constant, il faut garder la fréquence de rotation constante.

Bilan énergétique:

$$P = U \cdot I = E' \cdot I + r \cdot I^2$$

puissance électrique reçue	puissance transformée en une forme d'énergie utile (méc., chim...)	puissance dissipée sous forme thermique dans la résistance interne
----------------------------	--	--

Rendement du récepteur : $\eta = \frac{P_{\text{utile transformée}}}{P_{\text{électr. recue}}} = \frac{E' \cdot I}{U \cdot I} = \frac{E'}{U}$ diminue avec I

3 Association en série de dipôles linéaires (loi de Pouillet)

$$I = \frac{\sum E_{\text{gén.}} - \sum E'_{\text{récept.}}}{\sum R_{\text{int \& ext}}}$$

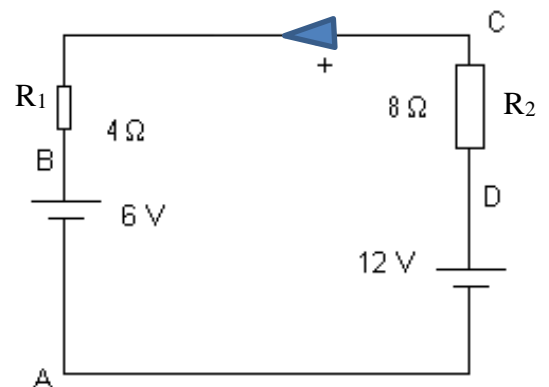
Démonstration à faire sur un exemple.

La pile de $E_g = 12V$ est plus forte que $E'_r = 6V$ et fait circuler I dans le sens + indiqué.

Loi des mailles :

$$E_{\text{gén.}} = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I + E_{\text{réc}}$$

d'où : $I =$



Dessiner les flèches pour U sur les piles pour voir qui fonctionne en récepteur.