

Lois Physiques

Chapitre 3 Electrocinétique

G. MALEJACQ

I – Le courant électrique

1.1 Définition

On appelle **courant électrique** tout mouvement ordonné de charges électriques (la charge élémentaire est de $1,6 \cdot 10^{-19}$ Coulomb).

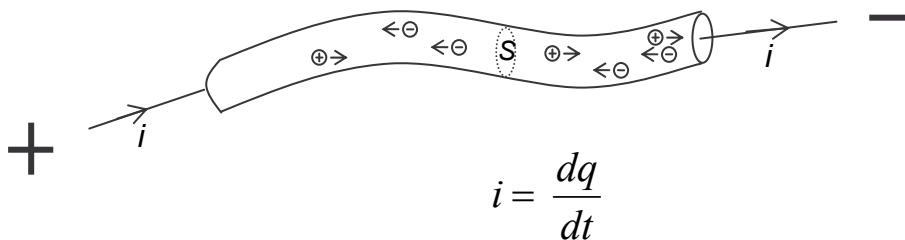
- Dans un métal : Mouvement d'électrons libres ($q_e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ C)
- Dans un électrolyte : Mouvement de cations (ions +) et d'anions (ions -).
- Dans un semi-conducteur : Mouvement d'électrons et de trous (charges + et -).

Dans un conducteur non polarisé les électrons libres circulent en tout sens et de façon désordonnée. Cependant, statistiquement, à un instant déterminé, le vecteur vitesse résultant de tous ces déplacements est nul, le conducteur est donc électriquement neutre. Si nous appliquons une différence de potentiel entre les extrémités du conducteur, l'agitation désordonnée devient un mouvement d'ensemble, et il en résulte un courant électrique.

1.2 Intensité du courant électrique

La grandeur permettant de mesurer l'importance du courant électrique est l'intensité, exprimée en **ampère (A)**.

Soit un conducteur de section S . Si, pendant un temps très court (dt), la quantité d'électricité (ou charge électrique) dq traverse la section S , l'**intensité** du courant électrique dans cette section est



On appelle **courant continu** un courant dont l'intensité garde une valeur constante au cours du temps.

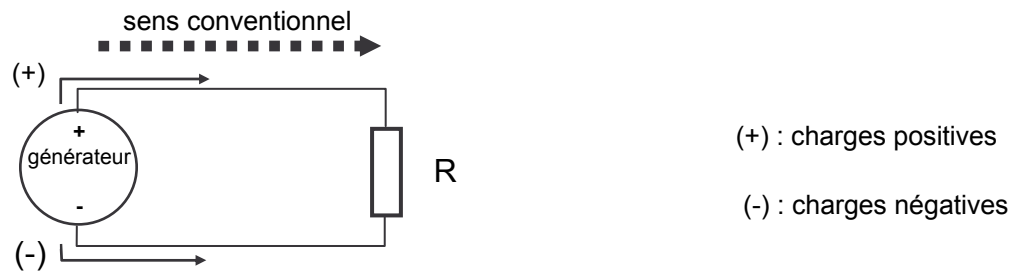
$$I = \frac{Q}{t}$$

I : Ampère, Q : Coulomb, t : seconde

1 Ampère équivaut à un débit de 1 Coulomb par seconde

A l'extérieur d'un générateur, les charges négatives se déplacent du pôle (-) vers le pôle (+), et les charges positives du pôle (+) vers le pôle (-).

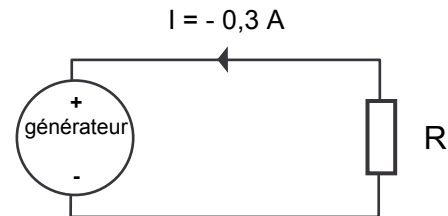
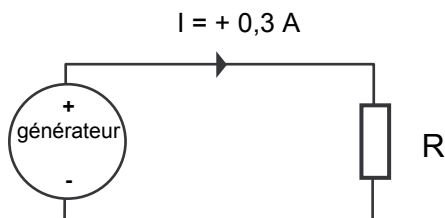
On attribue un **sens conventionnel** au courant : celui des charges positives.



Sur le schéma d'un circuit électrique, nous indiquons le courant électrique en lui attribuant :

- une orientation (ou un sens)
- une **valeur algébrique**, c'est-à-dire qu'elle est :
 - positive si le sens attribué suit le sens conventionnel
 - négative si le sens attribué est opposé au sens conventionnel

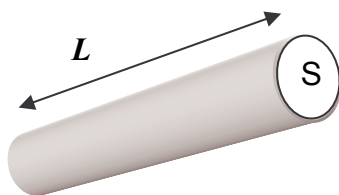
Exemple: considérons le circuit suivant où circule un courant d'intensité 0,3 A.



1.3 Résistivité d'un conducteur

La résistance d'un conducteur dépend de ses dimensions et de sa nature. Plus sa longueur est grande, plus les électrons ont de chemin à parcourir et à vaincre les obstacles. Plus sa section est faible et plus la densité des électrons est élevée, augmentant les difficultés.

La résistance d'un élément ayant une structure cylindrique (c'est le cas des câbles électriques) est donnée par la formule suivante :



$$R = \rho \frac{L}{S}$$

R en Ohms (Ω)

L : longueur en mètres (m)

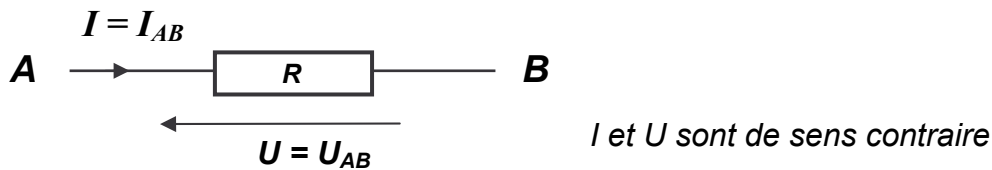
S : Surface en mètres-carrés (m^2)

ρ : Résistivité en ohm-mètres ($\Omega.m$)

Matériaux	Résistivité ρ en $\Omega.m$
Aluminium	$30 \cdot 10^{-9}$
Cuivre	$17 \cdot 10^{-9}$
Argent	$16 \cdot 10^{-9}$
Plomb	$200 \cdot 10^{-9}$

II – La loi d'ohm

2.1 Convention récepteur



I : courant allant de A vers B exprimée en **Ampère (A)**

U : Différence de potentiel (ddp) entre A et B exprimée en **Volt (V)**

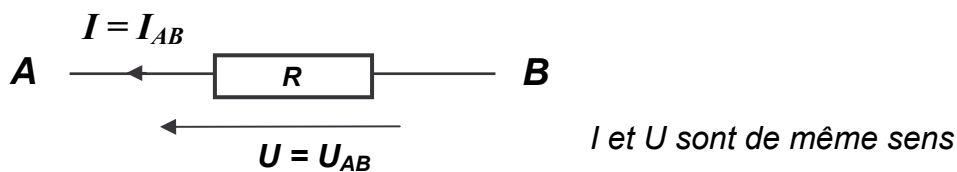
R est la résistance du dipôle, elle est exprimée en **Ohm (Ω)**

On admet que $U_{AB} = R \cdot I_{AB}$ ou plus simplement $U = R \cdot I$

On peut écrire également : $I = \frac{U}{R}$

ou $I = G \cdot U$ avec $G = \frac{1}{R}$ appelée la **conductance S (Siemens)**

2.2 Convention générateur



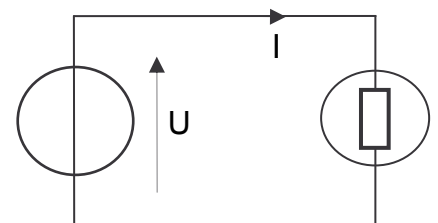
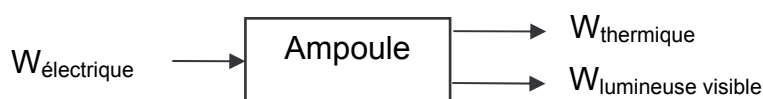
Dans ce cas on écrit $U = - R \cdot I$

III – Energie et puissance électrique

3.1 Transfert d'énergie dans un récepteur

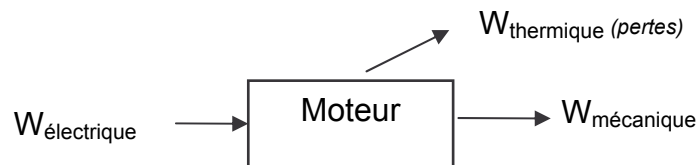
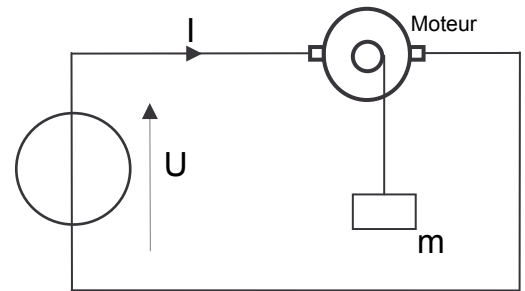
Quelle que soit sa nature, l'énergie est une grandeur dont l'unité s'exprime en **Joule (J)**

Considérons le circuit ci-contre où une ampoule est polarisée. Elle reçoit ainsi de l'énergie de la part du générateur. Nous devons considérer que l'ampoule fournit de l'énergie à l'environnement par chaleur et par rayonnement.



Dans cet autre exemple, le moteur électrique soulève une charge m .

- Le moteur reçoit de l'énergie de la part du générateur.
- Le moteur convertit l'énergie électrique en une énergie mécanique qui est fournie à la charge. Celle-ci la stocke sous forme d'énergie cinétique* et d'énergie potentielle**.
- Le moteur s'échauffe et fournit de l'énergie à l'environnement par chaleur et par rayonnement.



* L'énergie cinétique de translation d'un corps de masse m se déplaçant sur une droite avec une vitesse uniforme v est : $W_c = \frac{1}{2}mv^2$

* L'énergie potentielle d'un corps de masse m situé à une altitude h est : $W_p = mgh$
 $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$ est l'accélération de la pesanteur.

3.2 Energie électrique reçue

Il est évident que l'énergie électrique reçue par un récepteur électrique dépend de :

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

On pose : $W_{el} = U \cdot I \cdot \Delta t$

W_{el} : Energie électrique reçue par le récepteur en **joules (J)**.
 U : Tension électrique aux bornes du récepteur en **volts (V)**.
 I : Intensité du courant traversant le récepteur en **ampères (A)**.
 Δt : durée d'utilisation du récepteur en **secondes (s)**.

3.3 Puissance électrique reçue

On appelle puissance électrique reçue par un récepteur la quantité:

$$P_{el} = \frac{W_{el}}{\Delta t} \quad \text{avec}$$

P_{el} : Puissance reçue par le récepteur en **watts (W)**.
 W_{el} : Energie reçue par le récepteur en **joules (J)**.
 Δt : durée d'utilisation du récepteur en **secondes (s)**.

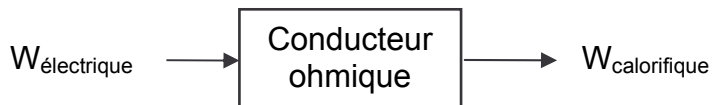
Remarques : Il vient aisément $P_{el} = UI$ Si le dipôle est un élément résistif : $P = RI^2 = \frac{U^2}{R} = GU^2$

3.4 Puissance électrique fournie (par un générateur)

Pour le cas d'une source d'énergie on envisage la même expression de la puissance. Cependant, le calcul dévoilera une valeur négative de P si la convention récepteur est conservée dans l'orientation des grandeurs électriques (I rentrant).

3.5 Effet Joule

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 qu'il reçoit est transformée en énergie thermique par effet Joule.



Remarque: Il est évident que $P_{el} = P_J = R.I^2$ (P_J : puissance consommée par effet Joule).

3.6 Energie utile et rendement

On appelle énergie utile la fraction de l'énergie reçue par un récepteur actif qui est convertie en une autre forme d'énergie que l'énergie thermique.

On appelle rendement d'un récepteur actif le rapport

$\eta = \frac{W_u}{W_{el}} = \frac{P_u}{P_{el}} = \frac{\text{énergie ou puissance utile}}{\text{énergie ou puissance fournie}}$
--

3.7 Autres unités de l'énergie

Il est toléré une dimension venant de la formule $W = P.t$ où t est exprimée en heure. C'est le Watt.heure (Wh).

$$1 \text{ Wh} = 3\,600 \text{ J} \quad \text{et} \quad 1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ J} \quad \text{ou} \quad 3,6 \text{ MJ}.$$

D'autres unités "non légales" sont parfois utilisées. Par exemple la calorie (cal) qui permet d'élever 1 g (1 cm³) d'eau de 1°C et ses multiples la kilocalorie (kcal) et la thermie (th). Aussi, de nombreux fabricants calculent l'énergie à partir du pouvoir thermique de carburants, par exemple : 1 kg G.P.L. correspond à 46 mégajoules ou le T.E.P. qui correspond à 42 GJ

VI – Lois de Kirchhoff, lois élémentaires

*Terminologie : Un **nœud** est un point de jonction entre au moins 3 conducteurs.*

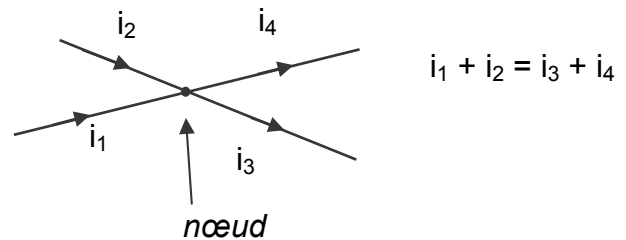
*Une **branche** est une portion de circuit comprise entre 2 nœuds successifs.*

*Une **maille** est un ensemble de branches formant un circuit fermé.*

4.1 Loi des nœuds

La somme algébrique des courants qui arrivent à un nœud est égale à la somme algébrique des courants qui en partent.

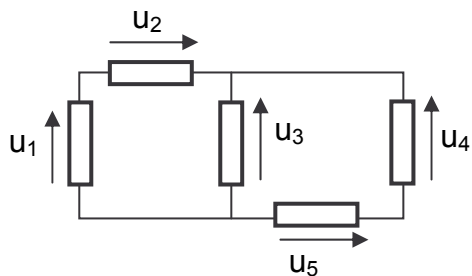
$$\sum i_{\text{rentrant}} = \sum i_{\text{sortant}}$$



4.2 Loi des mailles

Dans une maille (une boucle), la somme algébrique des tensions rencontrées est nulle

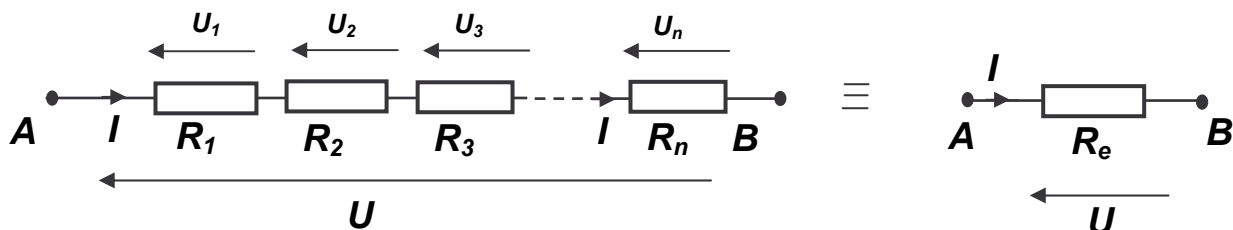
Exemple : Dans ce montage on peut écrire :



$$\begin{aligned} u_1 + u_2 - u_3 &= 0 \\ u_1 + u_2 - u_4 - u_5 &= 0 \\ u_3 - u_4 - u_5 &= 0 \end{aligned}$$

4.3 Association série de résistances

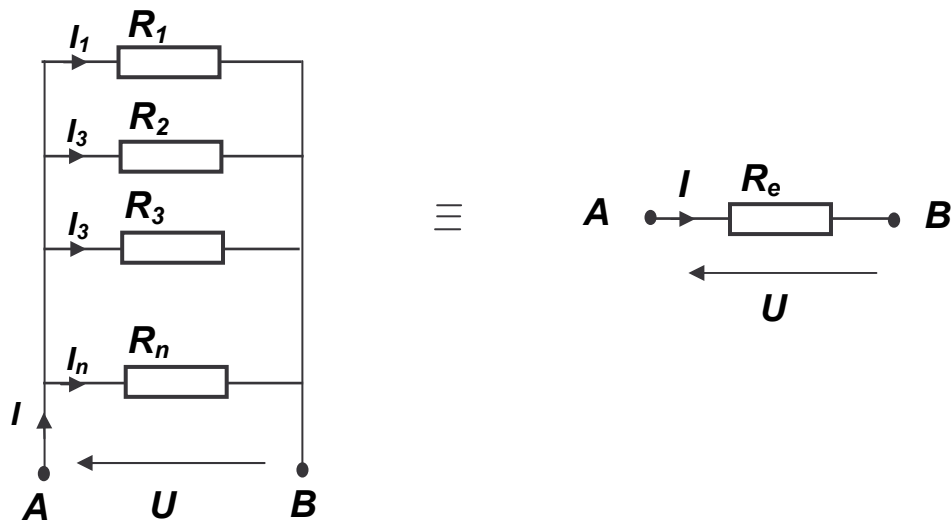
Des résistances en série sont traversées par le même courant.



Sachant que $U = \sum U_n$, on démontre avec la loi d'ohm que $Re = \sum R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$

4.4 Association parallèle de résistances

Des résistances en parallèle sont soumises à la même tension.



Sachant que $I = \sum I_n$, on démontre avec la loi d'Ohm que

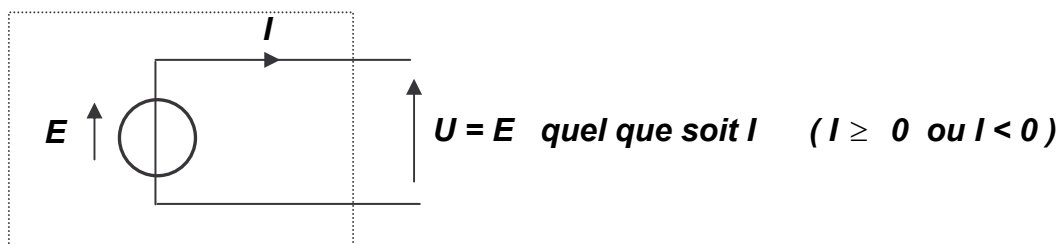
$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Exemple : Si deux résistances sont en parallèle alors $R_e = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

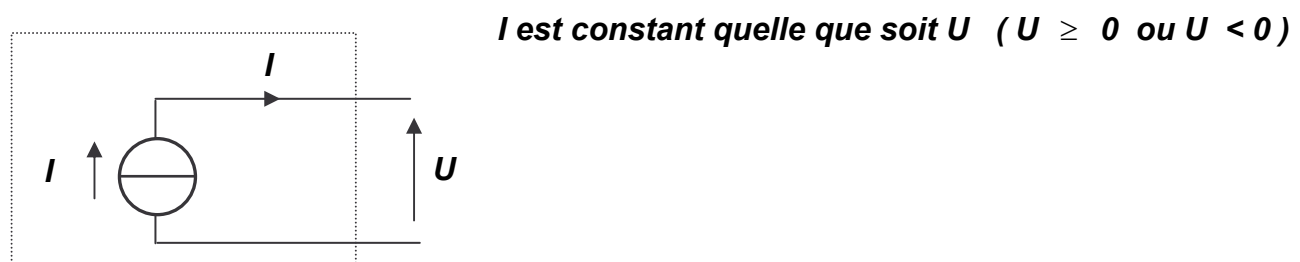
V – Sources de tension et sources de courant

5.1 Sources idéales ou générateurs parfaits

Source idéale de tension :

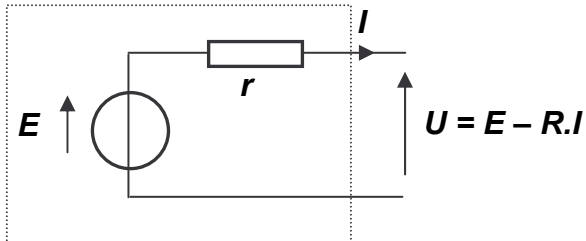


Source idéale de courant :



5.2 Sources réelles

Source de tension. Composée d'une source idéale placée en série avec une résistance interne r .

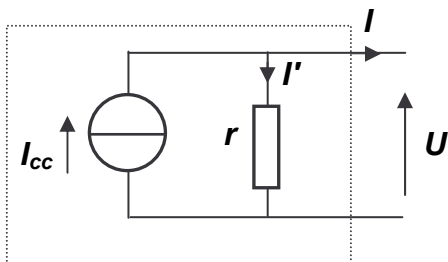


E est la tension vue à vide ($I=0$)

U a pour valeur maximale $U_{\max} = E$

I a une limite : $I_{\max} = \frac{E}{r}$

Source de courant. Composée d'une source de courant idéale placée en parallèle avec une résistance interne r .

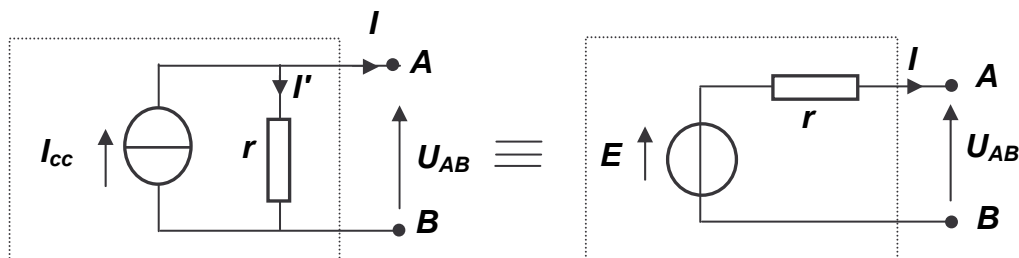


I_{cc} est appelé le courant de court-circuit ($U=0$)

$$I = I_{cc} - I'$$

$$I = I_{cc} - \frac{U}{r}$$

Equivalence entre les deux sources :



On identifie quand $I = 0 \rightarrow U_{AB (I=0)} = E = r.I_{cc}$ d'où $E = r.I_{cc}$

Pour le cas particulier où les sources sont passives $\rightarrow R_{AB (I_{cc}=0)} = R_{AB (E=0)} = r$