Loi d’Ohm

I. Courant électrique

- **Définition:**

Courant électrique I = déplacement de charges, dans un milieu quelconque, sous l'action d'un champ électrique

I=f(t) : le courant est dit temporaire

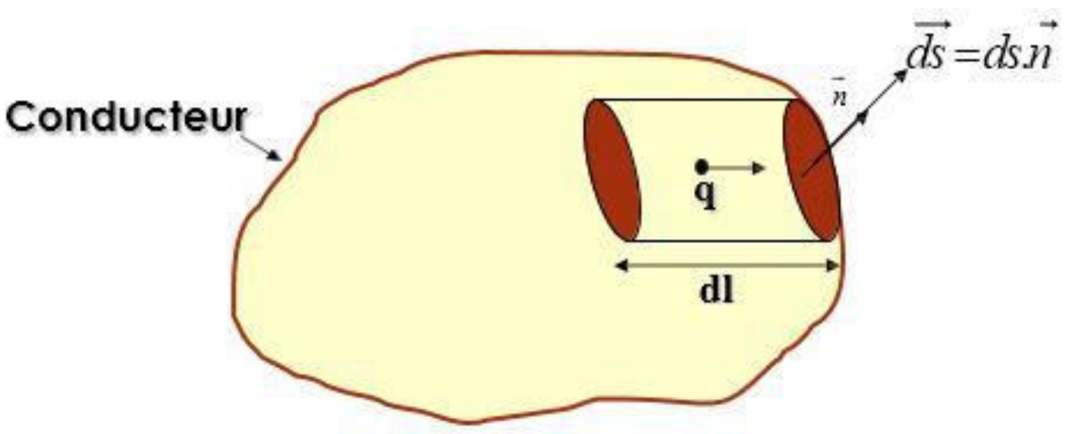
I=cte : le courant est dit permanant

- **Sens du courant:**

Par convention , le sens du courant électrique est celui de déplacement des charges positives.

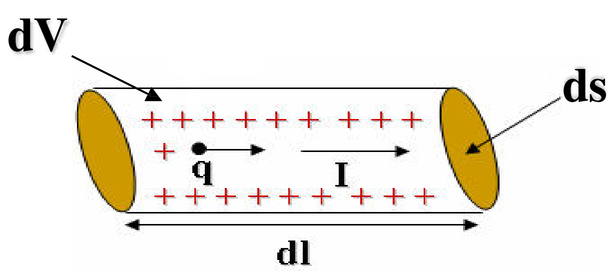
II. Vecteur densité de courant

Soit : un volume (V) d'un conducteur de surface (S) traversé par un courant électrique I



La quantité de charge dQ qui traverse dS , pendant dt, est contenue dans le cylindre de base dS de longueur dl

On a :



Le volume dV du cylindre est :

$$dV = \overrightarrow{dS}.\overrightarrow{dl}$$

II. Vecteur densité de courant

La charge mobile à l'intérieur du volume dV est :

$$dQ = \rho_m.dV = \rho_m.\overrightarrow{dl}.\overrightarrow{ds} = \rho_m.(\vec{v}.dt).\overrightarrow{ds} = (\rho_m.\vec{v}).dt.\overrightarrow{ds}$$

ρ_m : densité volumique des charges mobiles

On pose :

$$\vec{j} = \rho_m.\vec{v}$$

$$\Rightarrow \quad dQ = \vec{j}.\overrightarrow{ds}.\, dt$$

II. Vecteur densité de courant

$$\vec{j} = \rho_m . \vec{v}$$ → Vecteur densité de courant

Soient :

q: charge élémentaire

n: nombre de charge élémentaire par unité de volume

$$\rho_m = n.q$$

$$\vec{j} = n.q.\vec{v}$$

Unité (S.I) : (A/m²)

III. Intensité du courant électrique

On a : $dQ = \vec{j}.\vec{ds}.dt$

$$dI = \frac{dQ}{dt} = \vec{j}.\vec{ds}$$

L'intensité du courant à travers une surface S = flux de j à travers cette surface

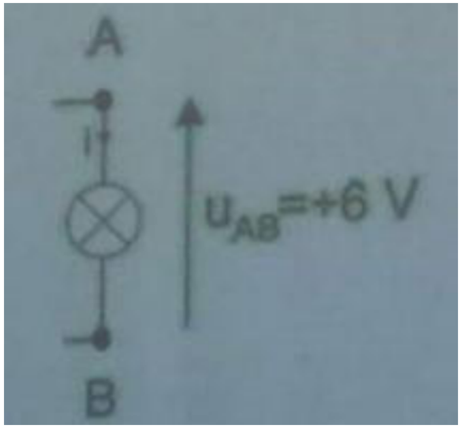
$$I = \iint_S \vec{j}.\vec{ds}$$

L'unité dans le S.I., elle s'exprime en ampère (A) :

1A = 1c /1s.

IV. Différence de potentiel-tension électrique

- le passage du courant électrique, entre deux points d'un circuit électrique n'est possible que si on applique une tension électrique



- on note VA et VB les potentiels des points A et B par rapport à la masse (0V)

- $U_{AB} = V_A - V_B$ correspond à la différence de potentiel ou la tension électrique qui apparait entre les points A et B

V.1. Loi d'Ohm microscopique

Conductivité électrique

variation de E (t) $\longrightarrow$ Faible ou nulle

$$\vec{j} = \gamma \vec{E}$$

coefficient de proportionnalité ~ *conductivité du milieu*

La conductivité est une grandeur locale positive, dépendant uniquement des propriétés du matériau.

V.1. Loi d'Ohm microscopique

- **Conductivité électrique:**

$$\vec{j} = \gamma \vec{E}$$

- Une telle loi implique que les lignes de champ électrostatique sont également des lignes de courant, indiquant donc le chemin pris par les charges électriques.

- comme γ est positif $\longrightarrow$ **le courant s'écoule dans la direction des potentiels décroissants.**

$$\vec{j} = \gamma \vec{E} \ ??$$

V.1. Loi d'Ohm microscopique

Prenons le cas simple d'une charge électrique q soumise à la force de Coulomb mais aussi à des collisions.

Collisions peuvent se décrire $\longrightarrow$ Force de frottement

La loi fondamentale de la dynamique s'écrit:

$$m\frac{d\vec{v}}{dt} = q\,\vec{E} - \frac{m}{\tau}\vec{v}$$

dont la solution en régime permanent :

$$\vec{v} = \frac{q\tau}{m}.\vec{E}$$

V.1. Loi d'Ohm microscopique

$$\vec{v} = \frac{q\tau}{m} . \vec{E}$$

τ : appelé temps de relaxation.

On définit le libre parcours moyen de la charge q comme

étant la distance parcourue entre deux collisions, telle que :

$$l = v\tau = \frac{q\tau^2}{m} . E$$

V.1. Loi d'Ohm microscopique

On en déduit :

$$\vec{j} = \rho \vec{v} = \frac{nq^2\tau}{m}\vec{E}$$

Avec:

$$\vec{v} = \frac{q\tau}{m}.\vec{E}$$

$$\rho = n\,q$$

où *n* est le nombre de charges par unité de volume.

La relation cherchée s'écrit :

$$\vec{j} = \gamma\vec{E}$$

Avec:

$$\gamma = \frac{nq^2\tau}{m}$$

γ: conductivité du conducteur

V.1. Loi d'Ohm microscopique

- **La mobilité des porteurs :**

$$\vec{v} = \frac{q\tau}{m} . \vec{E}$$

La mobilité μ est définie par la relation :

$$\vec{v} = \mu \vec{E}$$

et comme :

$$\gamma = \frac{nq^2\tau}{m}$$

On a :

$$\mu = \frac{q\,\tau}{m} = \frac{\gamma}{nq} \Rightarrow \gamma = nq\mu$$

La mobilité est une grandeur algébrique, qui a le même signe que la charge q. Elle s'exprime en $m^2 \cdot V^{-1} \cdot s^{-1}$.

γ

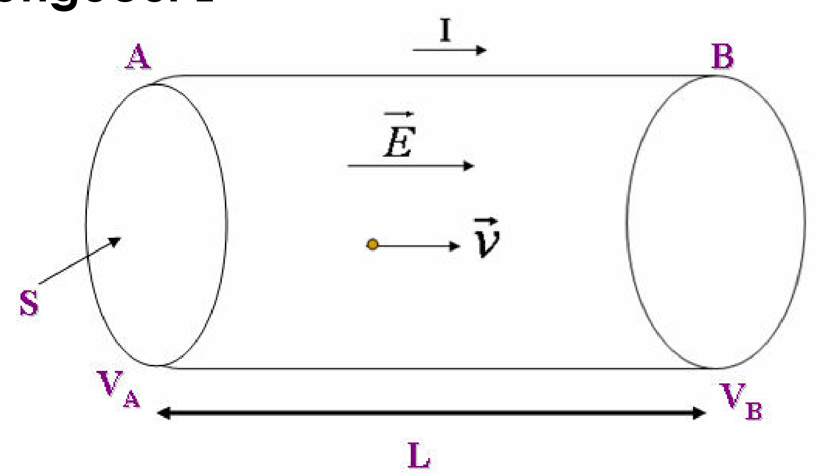
V.1. Loi d'Ohm macroscopique

➢ Résistance électrique:

Soit un conducteur AB, de section S, de longueur L

AB est parcouru par le courant I = cte

Le champ E est constant sur AB



$$C = V_A - V_B = \int_A^B \vec{E}.\vec{dl} = E.L$$

Or : $$I = \iint_S \vec{j}.\vec{ds} = \vec{j}.\vec{S} = j.S \quad \rightarrow \quad j = \frac{I}{S}$$

$$j = \gamma E \quad \rightarrow \quad E = \frac{j}{\gamma} = \frac{I}{\gamma . S}$$

V.1. Loi d'Ohm macroscopique

Ce qui entraîne :

$$V_A - V_B = E.L = \frac{I.L}{\gamma.S}$$

En introduisant la résistance R du conducteur donnée par :

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

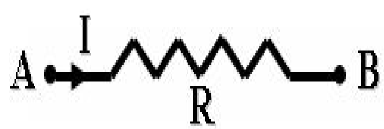
$$V_A - V_B = I.R$$

Résistivité du matériau

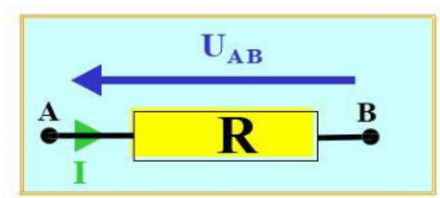
Loi d'ohm

Résistance de l'élément de longueur L et de section S

Représentation dans un circuit



Ou

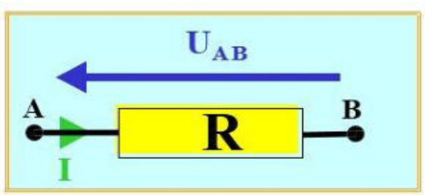


V.2. Loi d'Ohm macroscopique

➢ Conventions de signes:

Si l'on adopte la convention récepteur, les flèches représentant la tension et le courant sont de sens opposés.

La loi d'Ohm s'écrit :



$$U_{AB} = R\,I$$

U_{AB} en V

I en A

R en Ω (ohms)

R est une grandeur positive, caractérisant le résistor linéaire ; c'est la résistance électrique du dipôle,

V.2- Loi d'Ohm macroscopique

Rq : La loi d'Ohm peut s'écrire aussi :

$$\boxed{I = G\,U_{AB}}$$

En posant

$$\boxed{G = \frac{1}{R}}$$

G est la **conductance** du résistor

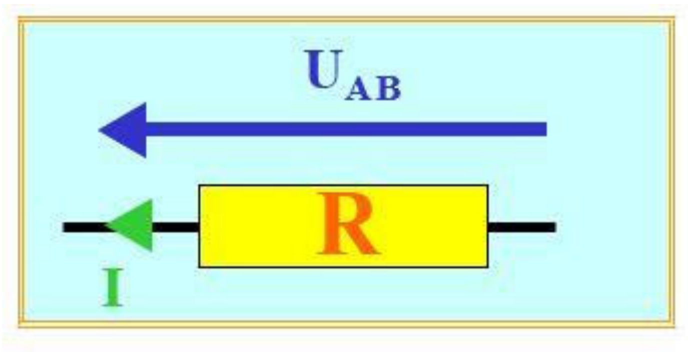
G s'exprime en siemens (S)

R s'exprime en ohms (Ω)

V.2-Loi d'Ohm macroscopique

Attention !

Si les flèches représentant le courant et la tension électrique sont dans le même sens (convention générateur), on a :

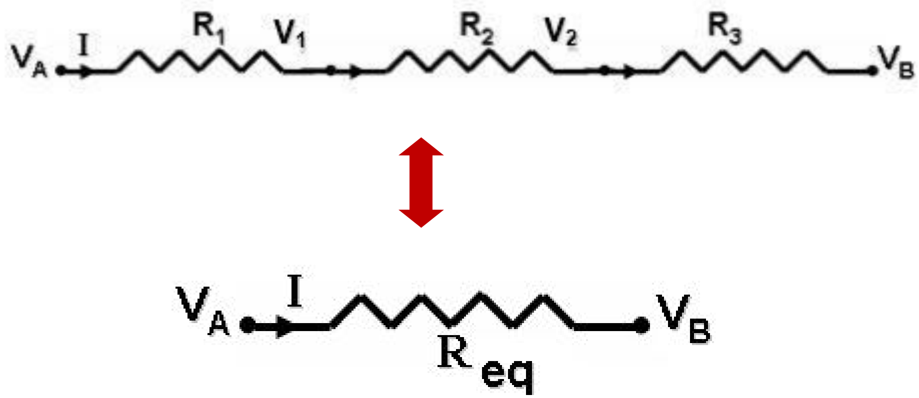


$$U_{AB} = -R\,I \quad \Rightarrow \quad I = -G\,U_{AB}$$

V.2-Loi d'Ohm macroscopique

➢ Association de résistances:

➢ Resistances en série:



$$V = V_A - V_B = (V_A - V_1) + (V_1 - V_2) + (V_2 - V_B)$$

$$V = R_1 I + R_2 I + R_3 I = (R_1 + R_2 + R_3) I = R_{eq} . I$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

V.2- Loi d'Ohm macroscopique

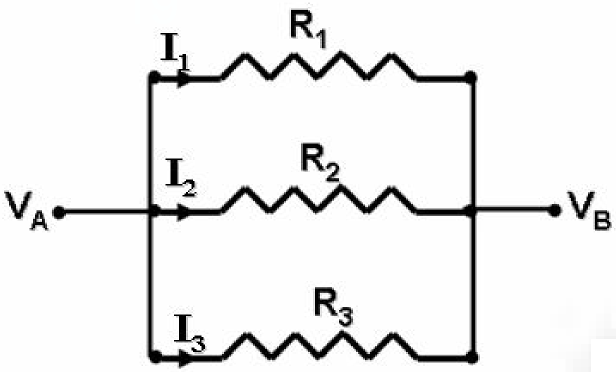
En général:

$$\begin{cases} V = \sum\limits_{i=1}^{i=n} V_i \\ R_{eq} = \sum\limits_{i=1}^{i=n} R_i \end{cases}$$

I est le même pour toutes les résistances

V.2-Loi d'Ohm macroscopique

➢ Résistance en parallèle:



⟺

$$\begin{cases} V = V_A - V_B \\ I = I_1 + I_2 + I_3 \end{cases}$$

⇒

$$I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} = V.(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}) = V.\frac{1}{R_{eq}}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

En général: ⇒

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{k=1}^{N} \frac{1}{R_k}$$