

Définition : l'électrocinétique correspond à l'étude du mouvement des charges, en régime permanent, dans les conducteurs et les semi-conducteurs.

1) LE COURANT ELECTRIQUE DANS LE CONDUCTEUR

Les fils électriques (cuivre, aluminium) sont, à température ambiante, des réservoirs d'électrons libres qui peuvent prendre un mouvement d'ensemble du pôle négatif vers le pôle positif suite à la différence de potentiel V_1-V_2 (ddp) appliquée par le générateur de force électromotrice (fem) $\mathcal{E} = V_1-V_2$.

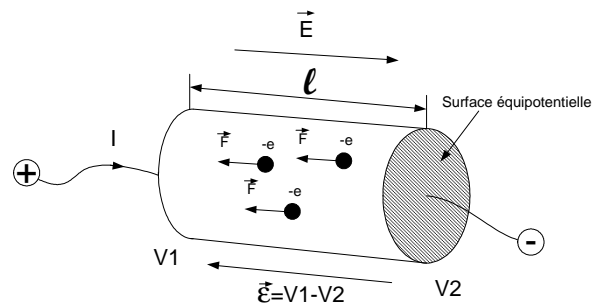
Des raisons historiques font que le sens du courant électrique correspond au sens inverse du déplacement d'électrons.

Dans un fil, chaque électron se trouve soumis à un champ électrique \vec{E} (V/m) et subit une force de Coulomb $\vec{F} = -e\vec{E}$

La circulation du vecteur champ électrique \vec{E} suivant un déplacement $d\vec{\ell}$ est donné par le produit scalaire $\vec{E} \cdot d\vec{\ell}$

Par définition, la variation du potentiel dV au cours de ce déplacement est $\vec{E} \cdot d\vec{\ell}$ d'où : $\int_{V_1}^{V_2} dv = -\int_0^{\ell} \vec{E} \cdot d\vec{\ell}$

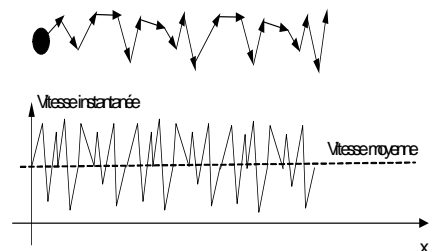
soit : $V_2 - V_1 = -E \cdot \ell$



2) VITESSE D'ENTRAINEMENT DES CHARGES, DENSITÉ DE COURANT

a) Vitesse d'entraînement : \vec{v}

Dans un conducteur, il existe un champ \vec{E} constant. La "durée de vie" d'un électron entre 2 chocs est d'environ : $10^{-13} \text{ s} < \tau < 10^{-14} \text{ s}$
 La vitesse instantanée entre 2 chocs est de plusieurs milliers de fois supérieure à la vitesse moyenne d'entraînement \vec{v} qui est constante.
 Dans le cuivre : $v_{\text{inst}} \approx 10^6 \text{ m/s}$. Pour une densité de courant de 10 A/mm^2 , la vitesse d'entraînement n'est que de 1 mm/s



b) Densité de charges mobiles

La densité volumique de charge ρ (C/m³) est négative puisqu'il s'agit d'électrons :

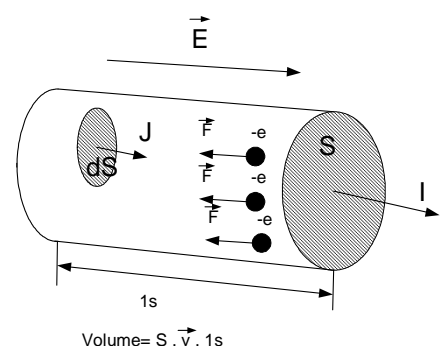
$\rho = -ne$ avec n : nb d'électrons/unité de vol.
 $-e$: charge de l'électrons ($1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)

c) Vecteur densité de courant

Evaluons le nombre d'électrons par seconde traversant une surface plane S .

Nb électrons $\Rightarrow \iint_S n v ds$

La quantité de charge traversant /s la surface $S \Rightarrow \vec{J} = \iint_S (-e)n\vec{v} ds$



D'où, le **vecteur densité de courant** $\vec{J}_{(A/m^2)} = (-e)n\vec{v}$

Pour connaître le courant total, il suffit de considérer la section totale du conducteur : $I_{(A)} = \vec{J}_{(A/m^2)} \cdot \vec{S}_{(m^2)}$

L'intensité du courant électrique est bien un débit de charge électrique à travers une surface donnée et peut

s'écrire aussi sous la forme : $i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$ que l'on peut extrapoler sous la forme : $I_{(A)} = \frac{Q_{(C)}}{t_{(s)}}$

3) MOBILITE DES ELECTRONS

a) **Si les électrons étaient libres** : ils auraient une accélération constante, ainsi : $\vec{F} = -e\vec{E} = m_e \gamma$

avec $m_e =$ masse de l'électron ($9,1 \cdot 10^{-28}$ gr)

Loi de Coulomb

Principe fond. de la dynamique

$$-e\vec{E} = m_e \frac{d\vec{v}}{dt} \quad \text{donc :} \quad \vec{v} = -\frac{e\vec{E}}{m_e}t + Ct. \quad \text{qui indique une vitesse proportionnelle au temps}$$

b) **mais les électrons subissent des chocs** : qui limitent cette vitesse à la vitesse d'entraînement

$\vec{v} = -\frac{e\vec{E}}{m_e}\tau = \mu\vec{E}$ où τ est la **durée de vie** entre 2 chocs et $\mu = -\frac{e\tau}{m_e}$ en ($m^2 V^{-1} s^{-1}$) qui est la **mobilité** de la charge.

$$\text{Cas de l'électron : } \mu = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} C \cdot 10^{-14} s}{9,1 \cdot 10^{-31} kg} = 0,1758 \cdot 10^8 m^2 V^{-1} s^{-1} = 1758 cm^2 V^{-1} s^{-1}$$

La mobilité c'est l'aptitude des porteurs de charge à se déplacer sous l'action du champ électrique \vec{E}

4) LOI D'OHM

À partir des 2 relations précédentes : $\vec{J} = (-e)n\vec{v}$ et $\vec{v} = \mu\vec{E}$

il vient : $\vec{J} = (-e)n\mu\vec{E} = \sigma_c\vec{E}$ où : $\sigma_c = (-e)n\mu$ est la **conductivité** du matériau ($A V^{-1} m^{-1}$)

et : $\rho_c = \frac{1}{\sigma_c}$ est la **résistivité** en ($V A^{-1} m$) ou (Ωm)

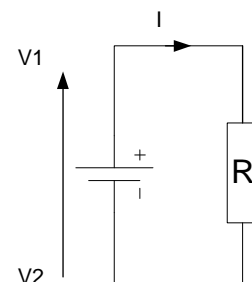
La loi d'Ohm indique que la densité de courant dépend essentiellement du champ électrique \vec{E} et lui est proportionnel.

D'autre part : $I_{(A)} = \vec{J}_{(A/m^2)} \cdot \vec{S}_{(m^2)}$ et $V_2 - V_1 = -E \cdot \ell$

Or $\vec{J} = \sigma_c\vec{E}$ donc $\vec{E} = \frac{\vec{J}}{\sigma_c} = \vec{J}\rho_c = \frac{I}{S}\rho_c$ Ainsi : $V_1 - V_2 = \frac{\rho_c \cdot \ell}{S} I$

en posant $R_{(\Omega)} = \frac{\rho_c \cdot \ell}{S}$

Il vient : $V_1 - V_2 = R I$

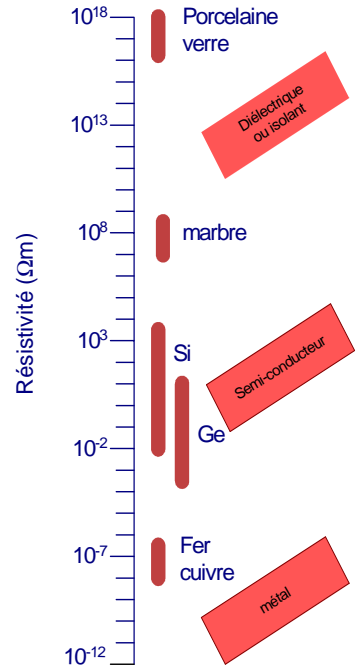


5) ISOLANT – CONDUCTEUR - SEMICONDUCTEUR

La résistivité s'exprime en ohm.mètre ($\Omega.m$).

La gamme de résistivité des matériaux est très grande :

Métaux	Semi-conducteurs (300K)	Isolants
Argent : $1,47.10^{-8} \Omega.m$	Silicium : $2400 \Omega.m$	Verre : 10^{10} à $10^{14} \Omega.m$
Cuivre : $1,72.10^{-8} \Omega.m$	Germanium : $0,5 \Omega.m$	Mica : 10^{11} à $10^{15} \Omega.m$
Aluminium : $2,63.10^{-8} \Omega.m$		Eau : $0,1$ à $10^5 \Omega.m$



6) LOI DE JOULE

Un électron subit une force $\vec{F} = -e\vec{E}$ au bout d'un temps dt , à la vitesse \vec{v} , il a parcouru $d\vec{\ell} = \vec{v}dt$

D'où un travail : $dW_{el} = \vec{F}d\vec{\ell} = -e\vec{E}d\vec{\ell}$

Pour un conducteur cylindrique, de section s , de longueur l et contenant n électrons/ m^3 :

$$dW_{el} = n S \ell e E v dt \quad (E \text{ et } v \text{ sont de sens inverse})$$

Nous savons que $V_1 - V_2 = E.l$ et $J = nev$

D'où : $dW_{el} = (V_1 - V_2) S J dt = RI^2 dt$ **travail ou énergie dissipée par effet Joule** dans le conducteur

$$\begin{matrix} \swarrow & \searrow \\ RI & I=SJ \end{matrix}$$

Donc la **puissance dissipée** dans le conducteur est : $P_{(w)} = \frac{dW}{dt} = RI^2 = \frac{U^2}{R} = UI$

Exemple de transport d'énergie :

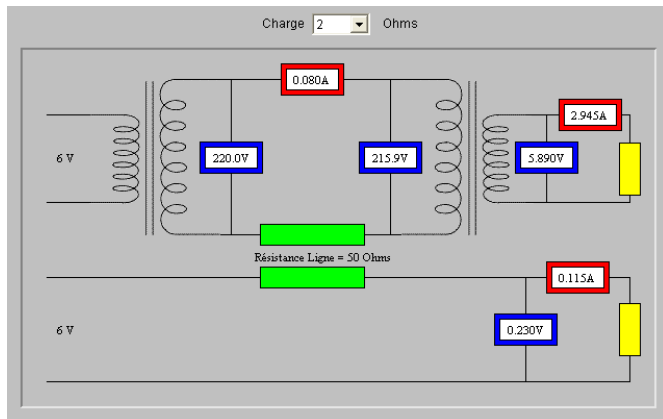


Schéma inférieur.

Un générateur sinusoïdal de fem efficace 6 V alimente une charge éloignée R_c (en jaune) par une ligne dont la résistance est 50 ohms.

Schéma supérieur.

En tête de ligne, on branche un transformateur élévateur de rapport 220/6. Juste avant la charge, on branche un transformateur abaisseur de rapport 6/220.

En supposant que les transformateurs sont sans pertes, contrôlez les indications des différents appareils de mesure pour les différentes valeurs de la charge. (<http://labo.ntic.org/electri/transfo1.html>).

Les pertes sont égales à RI^2 . En augmentant la tension de transport, on diminue (à puissance égale) le courant et donc les pertes.

Exercices

- Associez chaque unité de mesure donnée à un des items énumérés ici :
 - C : Énergie
 - A : Charge électrique
 - J : Intensité du courant.
 - V : Énergie
 - W : Tension
 - A.h : Énergie
 - W.s : Énergie
 - kW.h: Charge électrique
 - Cal : Intensité du courant.
 - C/s : Puissance
- Quelle charge en coulombs peut débiter une batterie de 100 Ah ?
- Une source fait circuler une charge de 24 coulombs dans un circuit en 6 secondes. Calculez quelle est l'intensité du courant électrique.
- Transformez 750 kWh en joules.
- Associez chaque symbole de la première colonne à l'unité de mesure appropriée de la deuxième colonne.

a) U	1) A
b) R	2) W.s
c) W	3) KW
d) P	4) Ω
e) I	5) V/m
f) ρ	6) $\Omega.m$
g) E	7) V
- Combien de temps durera une batterie de 90 Ah qui débite un courant de 4,5 A ?
- Si pour faire démarrer une voiture l'hiver, on a besoin de 250 ampères pendant 5 secondes. Une batterie de 40 Ah sera-t-elle efficace ?
- Une batterie de 12 V et 120 Ah alimente une lampe qui demande 0,5 ampère. Combien de temps la batterie peut-elle fonctionner ?
- Calculez la résistance d'un fil conducteur dont la résistivité est $1,7 \times 10^{-8} \Omega.m$, la longueur de 8 m et le diamètre de 1,5 mm.
- Une ligne de 250 KV transporte une puissance de 30 MW sur une distance de 400 Km. Calculez le rendement de cette ligne si celle-ci offre une résistance de $0,9 \Omega / km$.
Aurait-on un meilleur rendement si on utilisait une ligne de 735 KV ? Justifiez votre réponse.