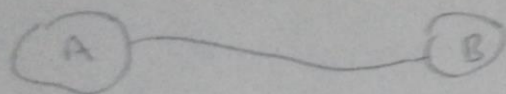


Conduction Electrique

1. Rupture d'un équilibre - courant électrique

Sont deux conducteurs à équilibre A et B
soient V_A et V_B leurs potentiels, Q_A et Q_B leurs charges.
On réunit A et B par un fil conducteur, A, B et le
fil forment un conducteur unique - le potentiel est le même.

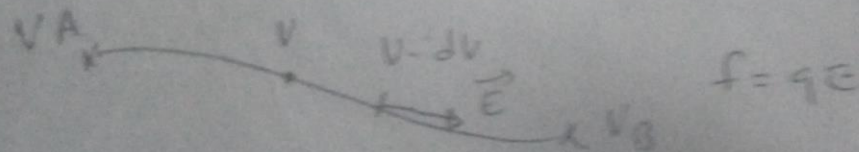


Le u^e , rupture d'équilibre. Au bout d'un certain temps
on atteint un nouveau état d'équilibre. A et B ont
un pot V et des charges Q'_A et Q'_B
- Conservation de la charge

$$Q_A + Q_B = Q'_A + Q'_B$$

$$q = Q - Q'_A = Q'_B - Q_B$$

Tout se passe finalement comme s'il y avait déplacement
d'une charge positive $q = Q_A - Q'_A$ du potentiel le plus haut
 V_A vers le pot le plus bas V_B .

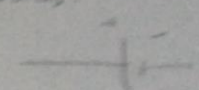


Un courant électrique temporaire a parcouru le fil

2. Courant permanent

Un générateur de tension et un appareil qui maintient entre
deux une différence de potentiel constante.
Maintient ou perpétue un état de déséquilibre.
Les charges qui arrivent au B par le voyage du
fil.

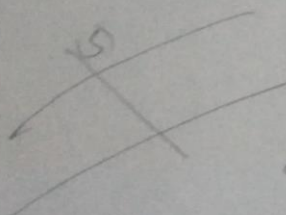
à un potentiel supérieur. Il fournit de l'énergie à la charge
 porteur d'énergie mécanique. On suppose que $q(V_A - V_B)$ passe une
 charge q qui le traverse.
 Le générateur ne crée pas de charge, il la fait circuler
 en maintenant une d.d.p. entre ses bornes.

On le représente schématiquement par 

3 - Sens conventionnel du courant

Le passage du courant s'interprète comme la résultante d'une
 circulation de charges libres positives du pôle + au pôle -
 à l'intérieur du générateur et du + au - à l'extérieur.
 (Sens conventionnel du courant)

4. Intensité du courant électrique

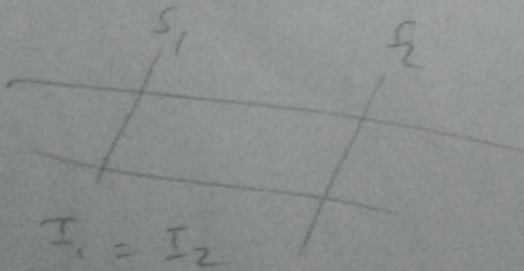


Si à travers une section (S) donnée
 du conducteur, il passe une charge q
 pendant un temps dt , l'intensité
 du courant est :

$$I = \frac{dq}{dt}$$

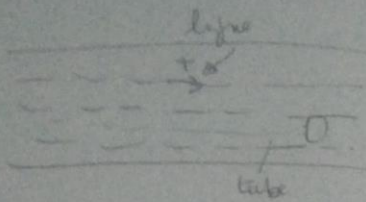
L'unité de l'intensité dans le système MKSA est
 l'ampère, c'est l'intensité d'un courant qui transporte
 un coulomb par seconde.

5. Régime stationnaire



L'intensité est la même à travers toute section
 du circuit.

— < —



On appelle ligne de courant la trajectoire orientée des charges positives en mouvement.

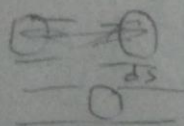
On appelle tube de courant l'ensemble de ces lignes s'appuyant sur un contour fermé quelconque.

En chaque point M d'un milieu où se déplacent des charges électriques, on peut définir un vecteur $\vec{I}$ ayant pour origine le point, pour direction et sens celui du mouvement des charges positives et dont le module est $i = \frac{dI}{ds}$.

dI est l'intensité transportée par ces charges à travers une surface infinitésimale ds normale à leur vitesse.

Le vecteur est appelé densité de courant en M . (A/m^2). Il est tangent aux lignes de courant.

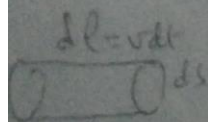
Expression du vecteur densité de courant



Considérons un tube de courant de section ds , l'intensité de courant est dI .

Soit $\vec{v}$ la vitesse de charges libres et la densité volumique de charges (c/m^3).

$dI = \frac{dq}{dt}$; dq q'te de charge qui traverse ds pendant dt .



La charge dq qui traverse ds pendant dt , occupe un instant que le volume cylindrique dV de section ds et longueur $dl = v dt$.

-3-

$$dq = w dt = w ds v dt$$

$$dI = \frac{dq}{dt} = w v ds$$

si n est le nombre de charges libres par unité de volume et q la valeur algébrique d'une charge libre

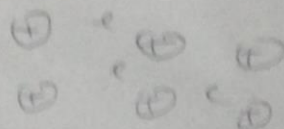
$$\vec{J} = nq\vec{v}$$

I est proportionnelle à la densité de charges libres et à la vitesse de déplacement de ces charges.

7. Mécanismes microscopiques du passage du courant

a) Métaux et alliages

En général un atome possède 1 ou 2 électrons de conduction



Si on applique un champ électrique, les e^- libres se déplacent en sens inverse du champ, les ions restant fixes. Le sens du courant est donc opposé à celui du déplacement des charges réelles. Le passage du courant ne correspond à aucun déplacement de matière.

b) Semiconducteurs

Le nombre d' e^- libres est beaucoup plus faible que pour les métaux. Ils ont des propriétés qui diffèrent de celles des métaux.

c) Electrolytes

Un composé ionique en solution. Contient des ions positifs et des ions négatifs, sous un champ électrique.

8.2. Déplacement de charges dans un milieu conducteur Loi d'Ohm

En l'absence de champ électrique, les électrons se déplacent dans toutes les directions et leur vitesse moyenne est nulle. Le nombre d'électrons se déplaçant dans une direction est égal au nombre d'électrons se déplaçant dans la direction opposée et ainsi il n'y a pas de courant électrique.

Lorsqu'un champ extérieur est appliqué, tous les électrons se déplacent dans la même direction, il en résulte un courant électrique.

— Lorsqu'un fil est parcouru par un courant, il y a un dégagement de chaleur dans le fil appelé effet Joule. Ce dégagement de chaleur implique l'existence d'une force qui s'oppose au mouvement des charges et dont le travail mesure la qte de chaleur apparue.

— Le courant électrique résultant de l'application d'un champ électrique est fonction de l'intensité de ce champ.

— La loi d'Ohm stipule que pour un conducteur métallique à température constante, le rapport de la d.d.p. V entre au courant électrique I est constant.

$$\frac{V}{I} = \text{cte}$$

Cette constante est appelée résistance électrique du conducteur $\frac{V}{I} = R$ ou $V = RI$

Cette loi est valable pour de nombreux conducteurs (conducteurs ohmiques), les S/C n'obéissent pas à la loi d'Ohm. (non ohmiques).
L'unité de la résistance est l'ohm (Ω).

les ions positifs (cations) se déplacent dans le sens conventionnel du courant par contre les ions négatifs se déplacent en sens inverse.

L'intensité totale est la somme des 2 termes

$$I = \frac{dq^+ + dq^-}{dt}$$

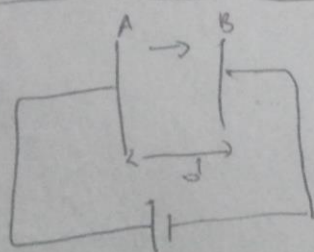
Le passage du courant s'accompagne par un transport de matière.

8) Lois d'Ohm et de Joule

Si on a un champ électrique dans une région où existent des charges libres, elles seront mises en mouvement et il en résulte un courant électrique.

Cependant les charges sont présentes dans un métal, leur mouvement est gêné par l'interaction avec les ions du réseau cristallin du métal. Le mouvement des électrons dans un métal est différent de celui des électrons dans le vide.

8.1. Déplacement des électrons dans le vide



2 plaques // A et B reliées aux bornes d'un générateur. ($V_A > V_B$)

Entre A et B apparaît un champ $\vec{E}$ tel que

$$E = \frac{V_A - V_B}{d} \quad \left(\int_A^B dV = -E \int_A^B dx \right)$$

$$V_A - V_B = Ed$$

Supposons qu'on peut émettre des électrons en B (chauffage d'un filament métallique), il y a alors émission thermoelectronique.

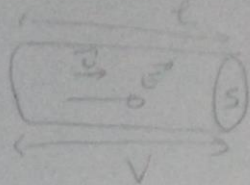
$$\vec{F} = -e\vec{E} = m\vec{a}$$

$$e\vec{E} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \frac{e\vec{E}}{m} \quad (\text{si } E = \text{cte})$$

Le mouvement est uniformément accéléré.

- 6 -

Soit un conducteur cylindrique de longueur l et de section S .



$$I = iS$$

$$E = \frac{V}{l} \quad \text{nous pouvons écrire la loi d'Ohm}$$

$$V = RI$$

$$El = RiS \quad \text{soit } i = \left(\frac{l}{RS}\right)E$$

$$i = \sigma E \quad \sigma = \frac{l}{RS}$$

σ : conductivité électrique de la substance - ($\Omega^{-1} m^{-1}$)
(relation qui lie $\vec{i}$ à $\vec{E}$)

$$\vec{i} = \sigma \vec{E} \rightarrow \text{loi d'Ohm (autre façon)}$$

$$\vec{i} = -en\vec{v}$$

$$-en\vec{v} = \sigma \vec{E}$$

$$\vec{v} = -\frac{\sigma}{en} \vec{E}$$

Si $\vec{n}$ est la direction de déplacement avec une vitesse constante
sous l'effet d'un champ électrique $\vec{E}$.

- Vide: mouvement uniforme accéléré $a \propto E$

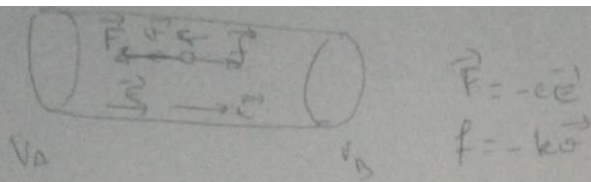
- Conducteur: mouvement uniforme $v \propto E$

Analogie mécanique

- Un corps qui tombe dans le vide: mouvement accéléré
($\vec{a} = \vec{g}$)

- Dans un milieu visqueux: mouvement uniforme.

Dans le cas la force électrique est alors annulée par une
force de frottement $\vec{F} = -k\vec{v}$ (analogue à une force visqueuse)
 k : coefficient de frottement



lorsque le régime stationnaire est atteint,

$$\vec{F} + \vec{f} = \vec{0}$$

$$\text{ou } kv = eE$$

$$v = \frac{e}{k} E = \mu E$$

$$|v| = \mu E$$

μ = mobilité de e .

cette relation exprime la proportionnalité de la vitesse au champ électrique.

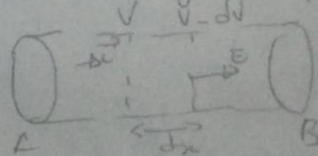
$$j = nev$$

$$j = ne \cdot \frac{e}{k} E = \frac{ne^2}{k} E = \sigma E$$

$$\left[\sigma = \frac{ne^2}{k} \right] \text{ proportionnalité entre } \vec{j} \text{ et } \vec{E}.$$

- Pour caractériser le milieu, on introduit souvent la résistivité. $\rho = \frac{1}{\sigma}$ ($\Omega \cdot m$)

- Résistance d'un conducteur cylindrique homogène



$$V_A = V_B \text{ i.d.d.p.}$$

du conducteur de longueur l et de section S .

$$j = \sigma E = -\sigma \frac{dV}{dx}$$

$$\frac{I}{S} = -\sigma \frac{dV}{dx} \Rightarrow dV = -\frac{I}{S\sigma} dx$$

$$V_A - V_B = \int_0^l \frac{I}{S\sigma} dx = R I$$

$$R = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{l}{S}$$

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

Etude du mouvement d'un électron de valence dans un métal

$$\vec{F} + \vec{f} = m \vec{a}$$

$$-eE - k\vec{v} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$$

$$\frac{dv}{dt} + \frac{k}{m} v = -\frac{eE}{m}$$

$$\frac{k}{m} v = -\frac{eE}{m} \Rightarrow v = -\frac{eE}{k}$$

$$v = C e^{-\frac{k}{m}t} - \frac{eE}{k}$$

$$t=0 \quad v=0 \Rightarrow 0 = C - \frac{eE}{\frac{m}{k}} \Rightarrow C = \frac{eE}{\frac{m}{k}}$$

$$v = -\frac{eE}{\frac{m}{k}} \left(1 - e^{-\frac{k}{m}t} \right) = v_d \left(1 - e^{-\frac{k}{m}t} \right)$$

$$v = v_d \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

$\tau = \frac{m}{k}$ est le temps au bout duquel v a pratiquement atteint la vitesse limite.

ex: Calculer τ pour le cuivre

$$\gamma = 5,81 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}$$

$$i = \gamma E = \frac{ne^2}{k} E$$

$$\text{masse volumique } \rho = 8,9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$M = 63 \text{ u.e./atome}$$

$$\gamma = \frac{ne^2}{k}$$

$$k = \frac{ne^2}{\gamma}$$

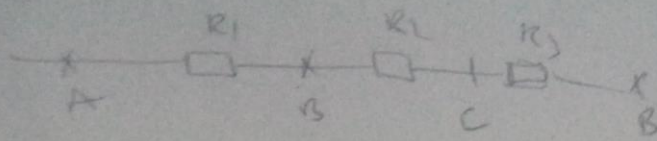
$$\tau = \frac{m}{k} = \frac{m\gamma}{ne^2}$$

$$n = \frac{N_A \cdot \rho}{M} = \frac{6 \cdot 10^{23} \cdot 8,9 \cdot 10^3}{63} = 8,4 \cdot 10^{28} \text{ électrons/m}^3$$

$$\tau = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 5,81 \cdot 10^7 \cdot 63}{8,4 \cdot 10^{28} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2} = 2,5 \cdot 10^{-14} \text{ s}$$

(le régime stationnaire est atteint instantanément)

Association de résistances

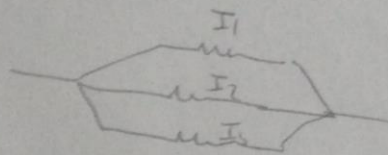


$$V_A - V_D = V_A - V_B + V_B - V_C + V_C - V_D$$

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

$$R_{eq} = \sum R_i$$

- Association en parallèle



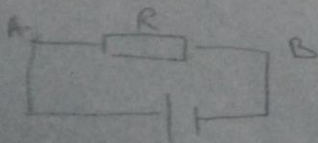
$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R} = \sum \frac{1}{R_i}$$

9) Loi de Joule



$$W = q(V_A - V_B)$$

$$q = It$$

$$\frac{W}{t} = W = It(V_A - V_B)$$

$$W = RI \cdot It = R I^2 t \Rightarrow P = R I^2$$

L'expérience montre que toute cette énergie se retrouve sous forme de chaleur, c'est-à-dire la matière conductrice et à l'extérieur :
Effet Joule.