

Chapitre EM 2 : conduction électrique

Les différents phénomènes de conduction (ou de diffusion) connus sont:

Inhomogénéités	Quantité transportée	Loi de diffusion	Unités	Flux
Température				
Concentration				
Potentiel				

I. Le courant électrique

Le courant électrique est

1. Les grandeurs physiques

Dans un conducteur, il y a des porteurs de charge mobiles caractérisés par:

q :

\vec{v} :

n^* :

ρ_m :

Le mouvement d'ensemble des porteurs de charges crée un courant électrique caractérisé par:

\vec{j} :

I :

Relations entre ces grandeurs:

L'intensité est le flux du vecteur densité de courant électrique à travers une surface orientée soit:

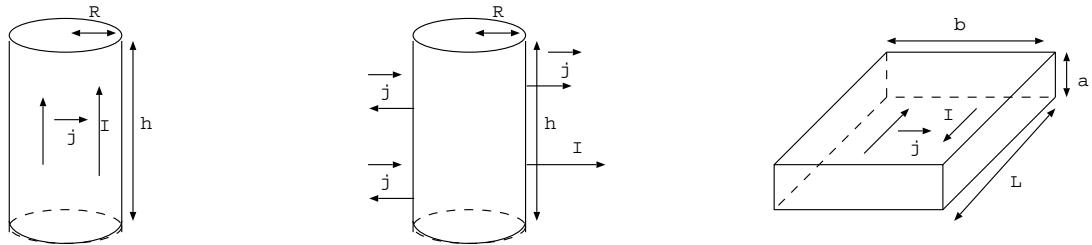
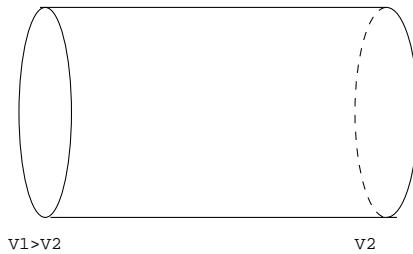


Schéma récapitulatif: on rappelle la convention: l'intensité du courant électrique est positive dans le sens du déplacement des charges positives.

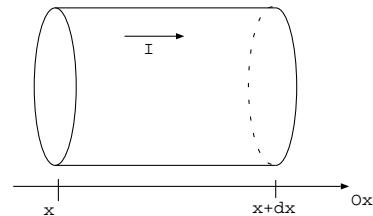


2. Equation de conservation de la charge

On considère le système élémentaire de conducteur de section S compris entre x et $x + dx$.

On note $\rho_m(x, t)$

On note $\vec{j}(x, t)$



Charge présente dans le système à l'instant t :

Charge présente dans le système à l'instant $t + dt$:

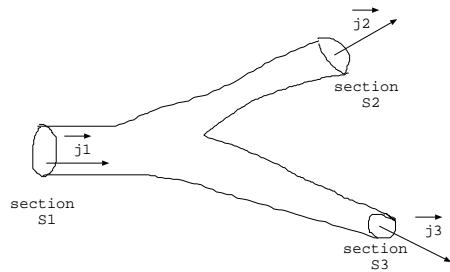
Charge qui entre dans le système entre t et $t + dt$:

Charge qui sort dans le système entre t et $t + dt$:

La conservation de la charge s'écrit:

On généralise cette équation à 3 dimensions:

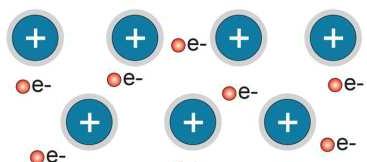
Conséquence en régime stationnaire:



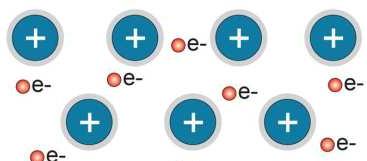
II. Conducteur ohmique

1. Modèle de Drude (1900)

Dans un conducteur métallique, chaque atome possède au moins un électron de conduction, dit électron libre car il n'est pas lié au noyau. Le métal est donc composé de cations fixes disposés aux noeuds du réseau et d'électrons de conduction en mouvement incessant. Ces électrons subissent de nombreuses collisions entre eux et avec les cations du métal.

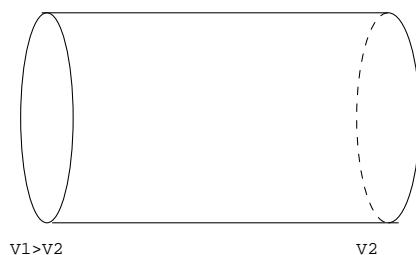


En absence de champ électrique extérieur, ces électrons ont un mouvement désordonné, aléatoire donc ils n'ont pas de mouvement d'ensemble. Le courant électrique est nul.



En présence d'un champ électrique extérieur, ces électrons subissent la force électrique. Ils se déplacent tous dans le sens opposé au champ électrique. Cela crée un mouvement d'ensemble appelé courant électrique.

2. Loi d'Ohm locale



Unité de la conductivité γ (notée aussi σ):

Remarque: On donne la relation entre le champ électrique et le potentiel: $\vec{E} = -\vec{\text{grad}}V$.

3. Exercice

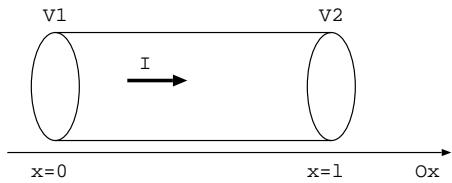
a- Le cuivre est un métal dans lequel chaque atome libère un électron de conduction. On donne la masse volumique du cuivre $\mu = 9.10^3 \text{ kg/m}^3$ et la masse molaire du cuivre $M = 64 \text{ g/mol}$. Calculer n^* , ρ_m et la vitesse moyenne des électrons dans un fil de section $S = 1 \text{ mm}^2$ parcouru par $I = 0,1 \text{ A}$. Données: $\mathcal{N}_a = 6.10^{23} \text{ mol}^{-1}$ et $e = 1,6.10^{-19} \text{ C}$.

Les électrons de conduction subissent des collisions entre eux et des collisions avec les cations. Ces collisions sont modélisées dans le modèle de Drude par la force: $\vec{F} = -\frac{m}{\tau} \vec{v}$ où \vec{v} est la vitesse moyenne d'un électron.

b- Quelle est la dimension de la grandeur τ ?

c- On néglige le poids des électrons. Etablir l'équation différentielle vérifiée par \vec{v} . Déterminer la durée du régime transitoire et exprimer la vitesse limite atteinte par l'électron. En déduire l'expression de γ . AN : calculer τ pour le cuivre de conductivité $\gamma = 10^4 \text{ SI}$. Donnée: $m = 9.10^{-31} \text{ kg}$.

4. Loi d'Ohm intégrale



5. Loi de Joule locale

Une particule de charge q soumise au champ électrique \vec{E} subit la force:

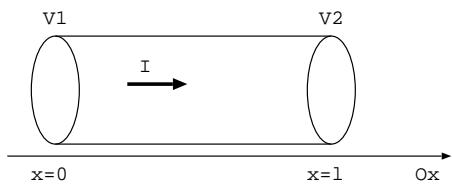
Cette force exerce sur la charge la puissance:

Un volume $d\tau$ de conducteur contient N charges q :

Les charges contenues dans ce volume $d\tau$ reçoivent donc de la part du champ électrique, la puissance:

A retenir:

Soit un conducteur filiforme de section S , de longueur l et de conductivité γ . Ce conducteur est parcouru par un courant d'intensité I créé par l'application d'un champ électrique \vec{E} . Exprimer la puissance reçue par le conducteur de la part du champ électrique et préciser ce que devient cette puissance.



III. Action d'un champ magnétique sur un courant électrique

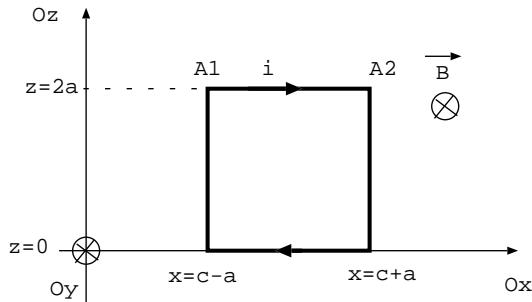
1. Force de Laplace

Une particule de charge q , animée d'une vitesse \vec{v} et placée dans un champ magnétique \vec{B} , subit la force:

Un élément de longueur $d\vec{l}$ parcouru par un courant électrique d'intensité I et placé dans un champ magnétique \vec{B} subit la force:

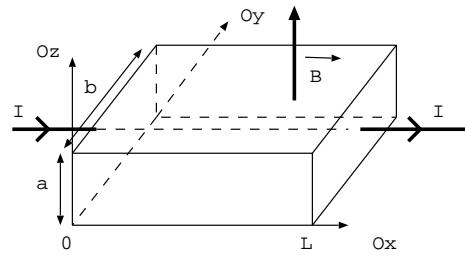
Un segment CD parcouru par un courant I et placé dans un champ magnétique \vec{B} uniforme subit la force:

Application: Soit une spire carrée de côté $2a$ placée dans une région où un champ magnétique de la forme $\vec{B} = \frac{\alpha}{x} \vec{e}_y$. La spire est parcourue par un courant d'intensité i , exprimer la force de Laplace subie par le côté A_1A_2 et par la spire.



2. Effet Hall

On considère un barreau de grande longueur L selon Ox avec une section droite rectangulaire de dimensions b selon Oy et a selon Oz . Ce barreau est parcouru par un courant I tel qu'en tout point du barreau $\vec{j} = j\vec{e}_x$. Ce courant correspond à un déplacement de charge q de vitesse \vec{v} . On note n^* la densité volumique de charges. Ce barreau est placé dans une zone de champ magnétique $\vec{B} = B\vec{e}_z$. On ne s'intéresse qu'au régime permanent établi.



Remarque: il faut comprendre que le courant I est créé par un générateur de fem U_0 à l'origine d'un champ électrique extérieur \vec{E}_0 .

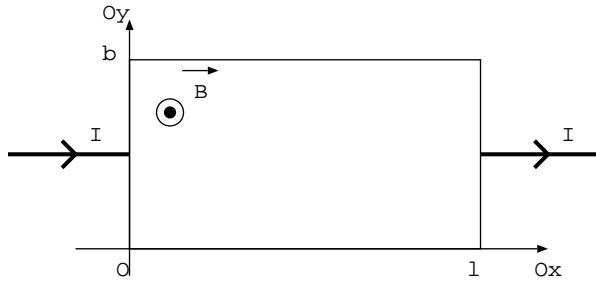
1- Décrire le mouvement des charges dans le barreau et montrer qu'il apparaît un champ électrique appelé champ de Hall.

2- Décrire les forces appliquées à un électron en régime permanent.

3- En déduire le champ de Hall \vec{E}_H et en déduire l'expression de la tension de Hall U_H entre deux faces identifiées du barreau.

4- Le capteur est composé d'une pastille semi-conductrice largeur $a = 1 \text{ mm}$ et de hauteur $b = 0,1 \text{ mm}$ composée d'Antimoniure d'indium dans laquelle circule un courant d'intensité $I = 1 \text{ A}$. La densité volumique des porteurs de charge y est d'environ $n^* = 10^{22} \text{ m}^{-3}$ contre $n^* = 10^{28} \text{ m}^{-3}$ dans le cuivre. Discuter avec des critères quantitatifs de l'intérêt d'utiliser l'Antimoniure.

Vue de dessus pour des charges positives



Vue de dessus pour des charges négatives

