

I. Vecteur densité de courant. Intensité électrique

1) Isolants et conducteurs

Vis à vis du courant électrique, il existe deux types de milieux matériels :

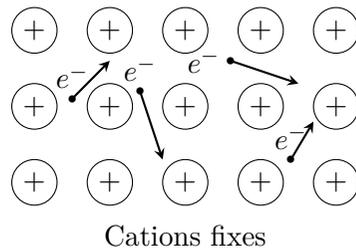
a) Les conducteurs

Ils contiennent des *porteurs de charges mobiles* (P.C.M.), c'est à dire des particules chargées qui peuvent se déplacer librement dans tout le volume du milieu matériel.

Exemples :

- Métaux :

Les P.C.M. sont des électrons de conduction. Selon les métaux, chaque atome cède entre 1 et 3 électrons qui quittent définitivement leur atome d'origine et deviennent libres.

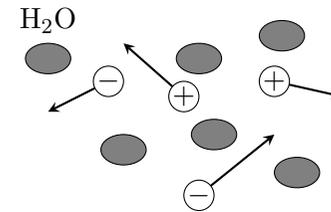


Les e⁻ de conduction se déplacent au milieu d'ions positifs fixes

- Électrolytes :

Ce sont des milieux liquides (le plus souvent mais il y a quelques électrolytes solides) contenant des ions mobiles qui en sont les P.C.M.

Exemple : une solution aqueuse de chlorure de sodium contient les ions Na⁺_(aq), Cl⁻_(aq), H₃O⁺_(aq) et OH⁻_(aq).



Les ions se déplacent au milieu des molécules d'eau

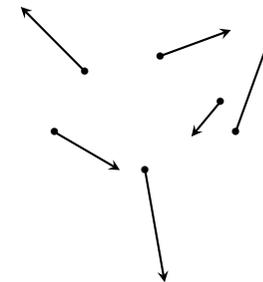
b) Les isolants

Ces milieux ne contiennent pas de P.C.M. et donc il ne peut y avoir de déplacement de charges électriques.

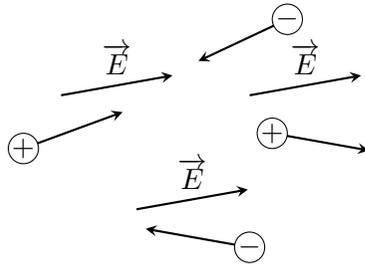
Exemples : bois, polystyrène, plastique, ...

2) Le courant électrique

En l'absence de champ électrique appliqué, les P.C.M. ont des mouvement totalement désordonnés suite aux divers chocs qu'ils subissent : ils se déplacent dans toutes les directions et dans tous les sens : il n'y a pas de mouvement d'ensemble.



Si on applique un champ électrique \vec{E} chaque P.C.M. est soumis à une force $\vec{F} = q\vec{E}$. Ainsi, les PCM ont tendance à se déplacer dans la direction du champ électrique appliqué.



Cependant, il y aura un double mouvement : les P.C.M. chargés + se déplaceront dans le sens de \vec{E} et les P.C.M. chargés - se déplaceront dans le sens opposé.

Par définition le *courant électrique* résulte du déplacement d'ensemble des P.C.M.

3) Vecteur densité volumique de courant

Dans un milieu conducteur donné, on regroupe les P.C.M. selon leur nature physico-chimique : on parlera de **types** de P.C.M.

Exemples :

- Dans un métal il n'y a qu'un seul type de P.C.M. : les électrons de conduction.
- Dans un électrolyte comme une solution de chlorure de sodium il y a plusieurs types de P.C.M. :

$$\text{Na}_{(\text{aq})}^+ = 1 \text{ type}$$

$$\text{Cl}_{(\text{aq})}^- = 1 \text{ autre type}$$

Lorsqu'il y a plusieurs types de P.C.M. on numérote chaque type à l'aide d'un entier $\alpha = 1, 2, \dots$ Il en résulte que tous les P.C.M. de même type (α donné) possèdent :

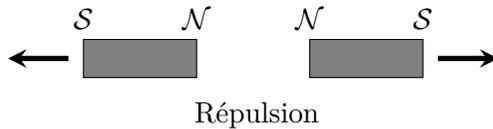
- La même charge électrique q_α ;
- La même masse m_α

III. L'interaction magnétique

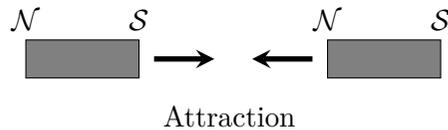
1) Origine

Il est connu depuis l'antiquité que certains corps dits aimantés ont la propriété de s'attirer ou de se repousser. Taillés d'une certaine manière, en forme de cylindres, ces corps possèdent deux faces indissociables appelées respectivement face Nord (\mathcal{N}) et face Sud (\mathcal{S}), telles que :

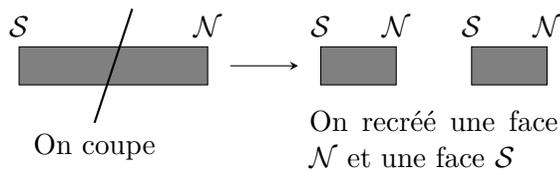
- Deux faces identiques se repoussent :



- Deux faces différentes s'attirent :



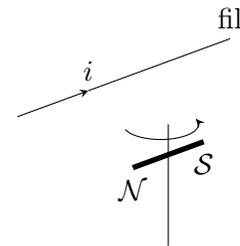
On ne peut jamais isoler une seule face : si on coupe un cylindre aimanté en deux parties, on obtient deux aimants possédant chacun sa face \mathcal{N} et sa face \mathcal{S} .



2) Effet d'un courant sur un aimant

À partir du XIX^{ème} siècle, les physiciens se sont aperçus du lien qui existait entre magnétisme et courant électrique.

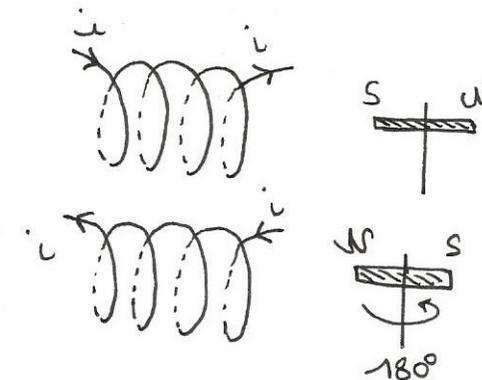
Expérience d'Oersted (1819) :



Le courant i dans le fil rectiligne fait dévier la boussole (aimant)

Le sens de déviation change avec le sens du courant

Expérience avec une bobine :



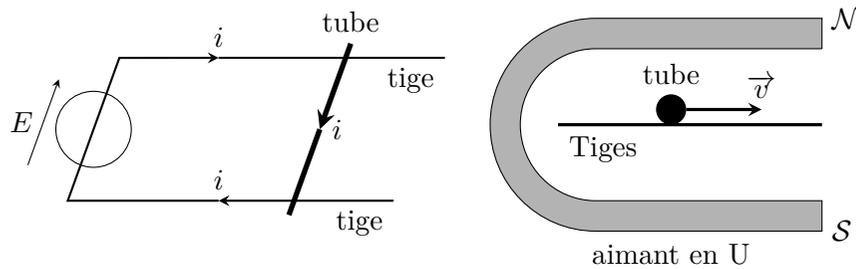
La boussole s'aligne avec l'axe de la bobine. Un renversement du sens du courant la fait se retourner de 180°

3) Effet d'un aimant sur un courant

Expérience des rails de Laplace :

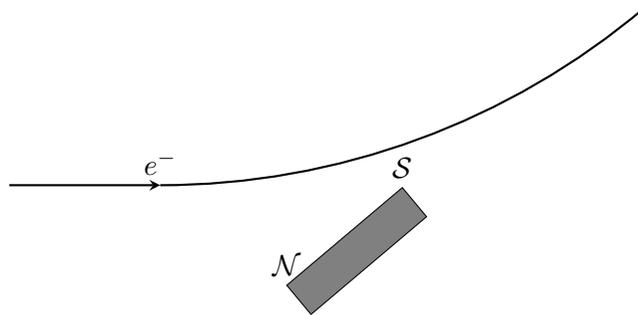
Un tube métallique est posé sur deux tiges métalliques parallèles, aux bornes desquelles on branche un générateur. L'ensemble générateur + tiges + tube constitue un circuit fermé parcouru par un courant i .

Si on place le tube à l'intérieur d'un aimant en U, il se déplace dans un sens qui dépend du sens du courant i .



Action d'un aimant sur un faisceau d'électrons

Un faisceau d'électrons émis par un filament chauffé à haute T est dévié par un aimant.



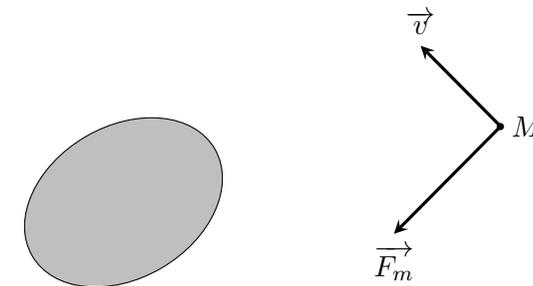
4) Champ magnétique

Hypothèse d'Ampère :

Le magnétisme est un phénomène produit par des charges en mouvement, c'est à dire un courant électrique. Dans les aimants, ce sont des courants microscopiques qui interviennent (mouvement des électrons autour de noyaux).

Définition de \vec{B} :

Dans tout ce qui suit, D_c est une distribution de courants, c'est à dire un ensemble de points P où il existe une densité de courant $\vec{j}(P, t)$.



Distribution de courants D_c

Toute distribution de courants D_c exerce sur une charge *ponctuelle test* q_T placée en M avec un vecteur vitesse \vec{v} une **force magnétique** \vec{F}_m ayant les propriétés suivantes :

$$\vec{F}_m \text{ est } \begin{cases} \text{proportionnelle à } q_T \\ \perp \vec{v} \text{ et elle est proportionnelle à } \|\vec{v}\| \\ \vec{F}_m = \vec{0} \text{ si } \vec{v} = \vec{0} \end{cases}$$

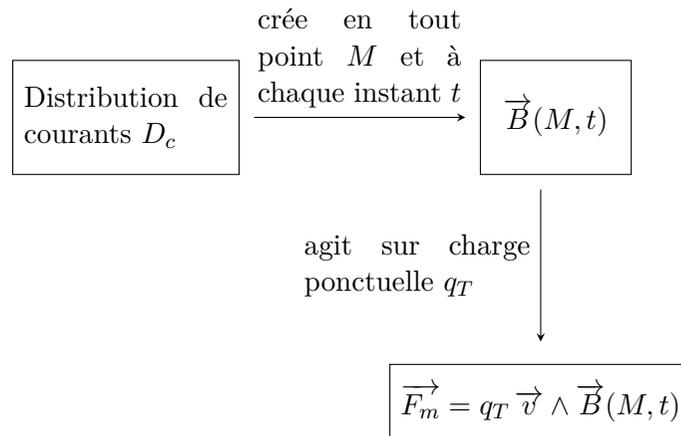
On en déduit que :

$$\vec{F}_m = q_T \vec{v} \wedge \vec{B}(M, t)$$

C'est la *force de Lorentz*. Cette relation **définit** le champ vectoriel \vec{B} , appelé *champ magnétique*. Il s'agit d'un champ vectoriel défini en tout point de l'espace et à chaque instant t .

Unité :

$$[F_m] = [q_T][v][B] \text{ donc } [B] = \text{N.C}^{-1}.\text{m}^{-1}.\text{s} = \text{T (Tesla)}$$

Schéma de l'interaction :**Cas général :**

Dans le cas où il y a aussi un champ électrique $\vec{E}(M, t)$ présent en M , la force subie par la charge ponctuelle test est alors :

$$\vec{F}_m = q_T \vec{E}(M, t) + q_T \vec{v} \wedge \vec{B}(M, t)$$

Elle est encore appelée *force de Lorentz*.

Ordres de grandeur :

- Champ magnétique terrestre : composante horizontale $B_h \approx 20 \mu\text{T}$ et composante verticale $B_v \approx 50 \mu\text{T}$.
- Petit aimant $B < 1 \text{ T}$ (quelques dizaines à quelques centaines de mT).
- Électromaimant : quelques T \rightarrow 10 T \rightarrow 35 T le plus fort actuellement (avec courants supraconducteurs).
- Pour certaines étoiles à neutrons : $B \approx 10^{10} \text{ T}$