

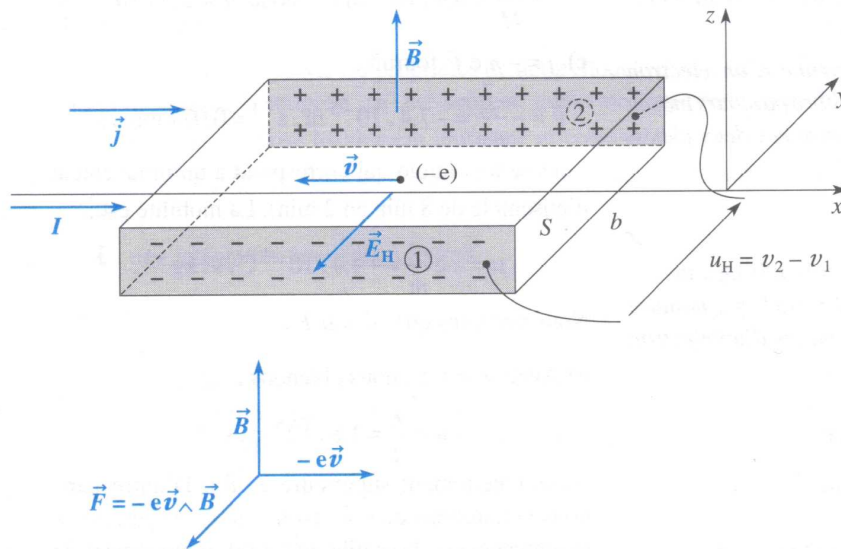
Action d'un champ magnétique sur un courant

Table des matières

| | |
|---|----------|
| 1 Effet Hall | 1 |
| 2 Forces de Laplace | 3 |
| 3 Dipôle magnétique | 4 |
| 3.1 Définition d'un dipôle magnétique et exemples | 4 |
| 3.2 Actions subies par un dipôle magnétique dans B uniforme | 5 |

1 Effet Hall

Considérons un ruban conducteur de section rectangulaire, de largeur b selon (Oy) , d'épaisseur a selon (Oz) et parcouru par un courant d'intensité I de sensité volumique $j = \frac{I}{S} = \frac{I}{ab}$ uniforme en régime permanent continu, en présence d'un champ magnétique $\vec{B} = B\vec{e}_z$.



Un électron ($q = -e$) est animé d'une vitesse $\vec{v} = v\vec{e}_x$ avec $v < 0$ compte tenu du sens de I . La force magnétique subie par l'électron est :

$$\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B} = -ev\vec{e}_x \wedge B\vec{e}_z = evB\vec{e}_y$$

Lors du régime transitoire ¹, sous l'effet de cette force, les électrons ont tendance à se déplacer vers la face 1 qui se charge alors négativement tandis qu'un défaut d'électrons provoque l'apparition d'une charge positive sur la face 2. Ces charges surfaciques ainsi apparues vont donner naissance à un champ électrique \vec{E}_H (le champ de HALL ²) qui à son tour agit sur les électrons de conduction.

En régime établi, les lignes de courant étant parallèles à (Ox) , le champ de HALL annule rigoureusement la force magnétique subie par un électron :

$$\vec{E}_H + \vec{v} \wedge \vec{B} = \vec{0}$$

$$\Rightarrow \vec{E}_H = -v\vec{e}_x \wedge B\vec{e}_z = vB\vec{e}_y = -\frac{1}{ne}jB\vec{e}_y = C_H jB\vec{e}_y$$

où $C_H = -\frac{1}{ne} < 0$ est appelée constante de HALL.

La tension de HALL, U_H vaut alors :

$$U_H = \int_{y=b/2}^{y=-b/2} \vec{E}_H \cdot dy\vec{e}_y = -\frac{1}{ne}jB \int_{y=b/2}^{y=-b/2} dy = \frac{Bjb}{ne} = \frac{BI}{nea}$$

Une application pratique évidente de ce phénomène est la mesure de champ magnétique puisque la tension U_H est proportionnelle à B et que les autres paramètres sont connus ou facilement mesurables.

Dans le cas de l'argent, $n = 6.10^{28}m^{-3}$. Pour $a = 0,1mm$, $B = 1T$ et $I = 5A$, nous obtenons $U_H = 5,2\mu V$. Cette valeur est très faible pour un métal, ainsi on utilise plutôt dans les **sondes à effet Hall** des matériaux semi-conducteurs pour lesquels n est de 10^5 à 10^6 fois plus faible, la tension U_H est alors directement mesurable sans amplification préalable.

1. <http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/Meca/Charges/hall.html>

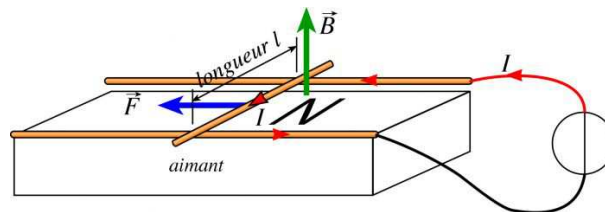
2. John L. Hall (21 août 1934 à Denver, Colorado, États-Unis) est un physicien américain. Il est colauréat avec Theodor W. Hänsch de la moitié du prix Nobel de physique de 2005

Nous avons envisagé un métal avec ses électrons de conduction. Dans les semi-conducteurs dopé P, la conduction est assurée par des charges positives qualifiées de trous. Pour un courant $I > 0$, ces charges positives se déplacent également, sous l'action de la force magnétique, vers la face 1, pendant la phase transitoire. Les tension HALL est alors de signe opposé à celle obtenue avec des électrons.

2 Forces de Laplace

Expérience de cours : Le rail de LAPLACE³.

Un circuit électrique composé d'un rail conducteur et d'une tige métallique mobile qui peut glisser sur ce rail, est plongé dans un champ magnétique permanent obtenu grâce à un aimant. On impose alors un courant dans le circuit à l'aide d'un générateur de tension continue. On observe alors le déplacement de la tige dans un sens ou dans l'autre suivant le sens du courant I . Ceci s'explique par l'action de la résultante des forces électromagnétiques sur l'élément conducteur, appelée force de LAPLACE. On remarque également que l'inversion du sens de \vec{B} (en retournant l'aimant), sans changer le sens de I , change le sens de déplacement de la tige.



La force de Laplace à laquelle est soumis un élément de courant $I d\vec{l}$ placé dans un champ magnétique \vec{B} est :

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \wedge \vec{B}$$

et pour une portion AB de circuit :

$$\vec{F} = \int_A^B I d\vec{l} \wedge \vec{B}$$

3. Pierre-Simon de Laplace, né le 23 mars 1749 à Beaumont-en-Auge et mort le 5 mars 1827 à Paris, est un mathématicien, astronome et physicien français.

Une conséquence immédiate est que les forces s'exerçant sur un circuit fermé plongé dans un champ magnétique uniforme est nulle, en effet :

$$\vec{F} = \oint_{\text{circuit}} I \vec{dl} \wedge \vec{B} = \left(\underbrace{\oint_{\text{circuit}} I \vec{dl}}_{\vec{0}} \right) \wedge \vec{B} = \vec{0}$$

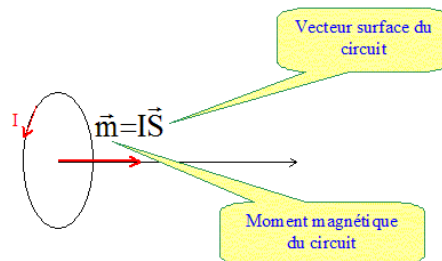
3 Dipôle magnétique

3.1 Définition d'un dipôle magnétique et exemples

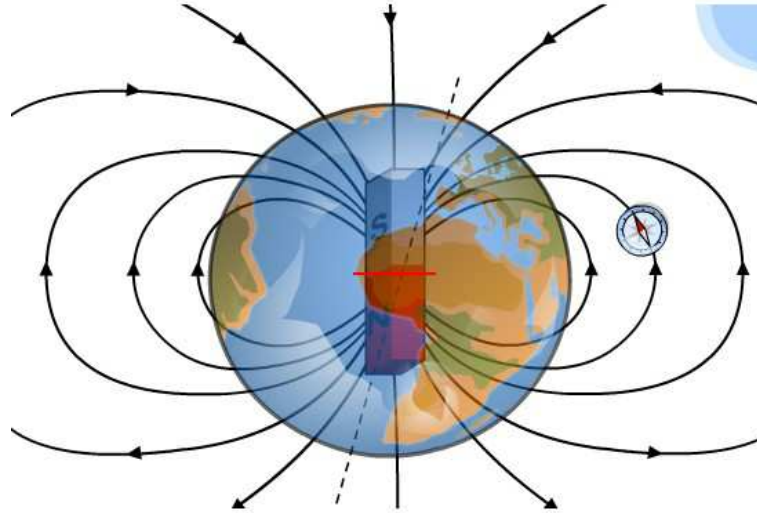
Définition : Un **dipôle magnétique** est une source de champ magnétique de dimension typique a , vue de loin, c'est-à-dire depuis une distance $r \gg a$.

Définition : Soit une spire circulaire de rayon R parcourue par un courant I et ayant un vecteur surface $\vec{S} = \pi R^2 \vec{n}$ orienté par l'orientation du courant et la règle du tire-bouchon. On définit le **moment magnétique** \vec{M} de la spire par :

$$\vec{M} = I \vec{S}$$



Les lignes de champ magnétique quittent le dipôle par le pôle nord et reviennent au dipôle par le pôle sud. On admettra que l'on peut également définir \vec{M} dans le cas d'un circuit filiforme quelconque, ou bien encore d'un aimant permanent. Les cartes de champ magnétique d'un aimant ou du champ terrestre ressemblent fortement à celles d'un dipôle.



3.2 Actions subies par un dipôle magnétique dans \vec{B} uniforme

La résultante \vec{F} des forces magnétiques subies par un dipôle magnétique dans un champ magnétique \vec{B} uniforme est nulle. Ce résultat se retrouve immédiatement dans le cas de la spire compte-tenu de ce qui a déjà été vu un paragraphe 2. On admet la validité de ce résultat pour n'importe quel dipôle magnétique :

$$\boxed{\vec{F} = \vec{0}}$$

Le moment résultant $\vec{\Gamma}$ des forces magnétiques subies par un dipôle magnétique dans un champ magnétique uniforme vaut :

$$\boxed{\vec{\Gamma} = \vec{\mathcal{M}} \wedge \vec{B}}$$

ainsi, le moment magnétique tend à s'aligner sur le champ magnétique.