

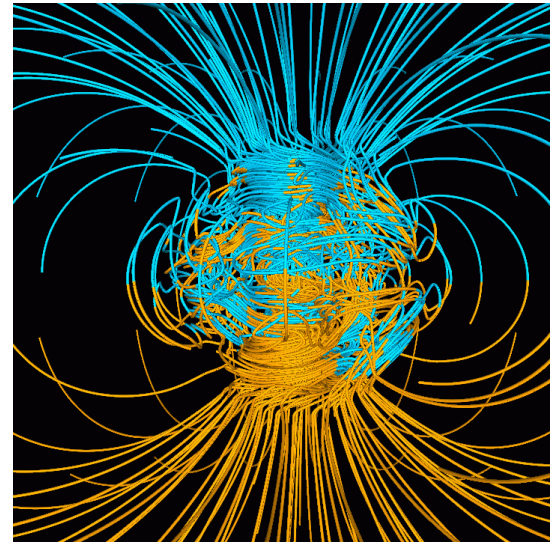
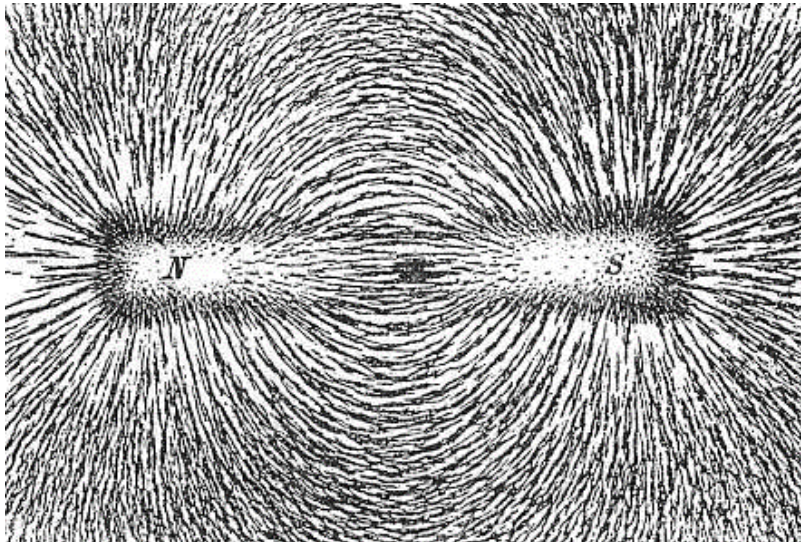
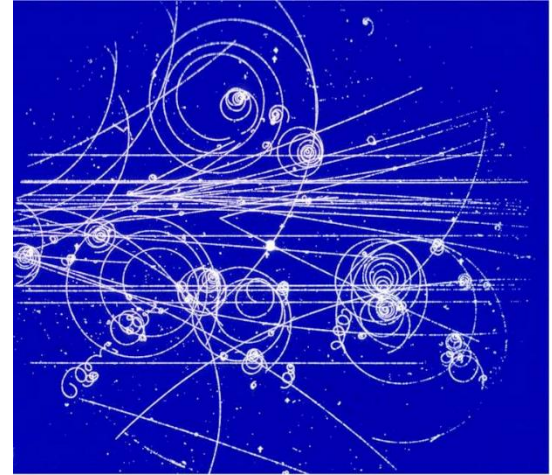


Éléments de Physique : Électromagnétisme

CHAPITRE 5 : CHAMP ET FORCES MAGNÉTIQUES

Table des matières

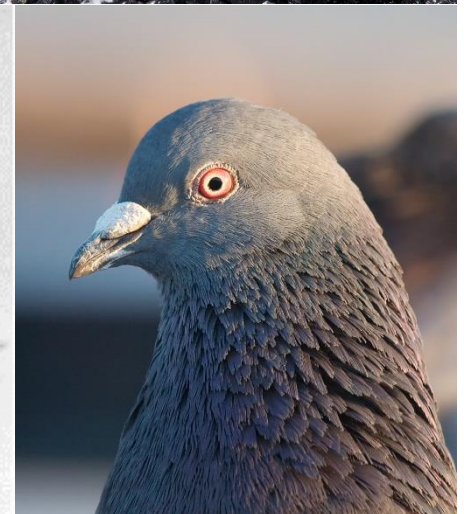
- Champ magnétique
- Force de Lorentz et force de Laplace
- Applications



Magnétisme dans la nature

Manifestations du magnétisme dans la nature :

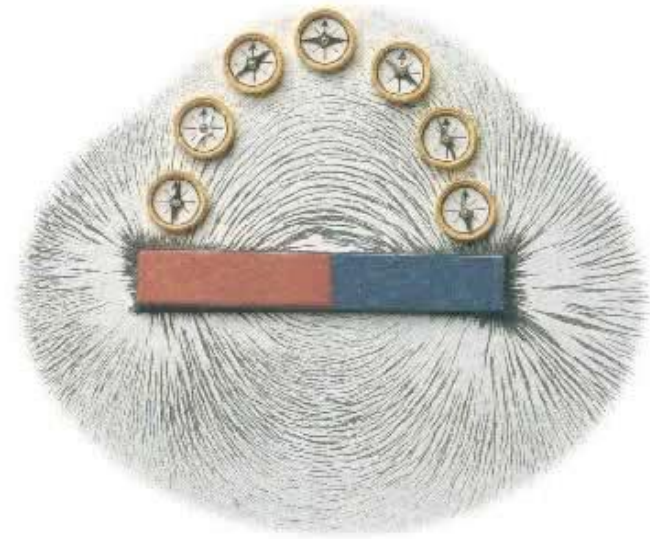
- Minerais (magnétite)
- Champ magnétique terrestre
- Organismes vivants



Magnétisme

Autres exemples :

- boussole
- limaille de fer
- aimants permanents
- électroaimants



Dans tous les cas, on observe une force, un mouvement ou une accélération (boussole, alignement de la limaille de fer).

Il n'existe **pas de charge magnétique** (donc il n'y a pas d'équivalent à la force de Coulomb).

Champ magnétique

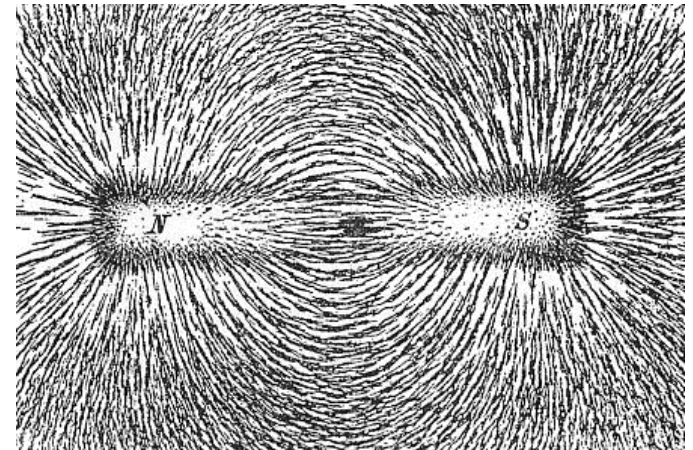
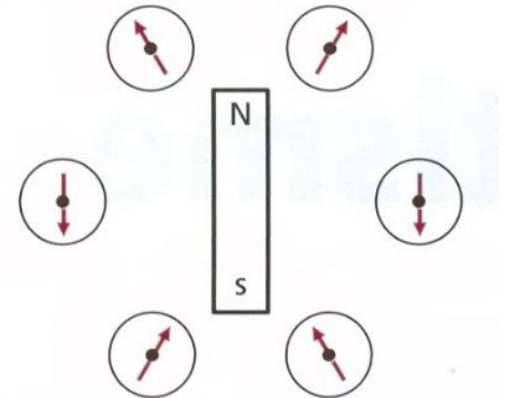
La force entre deux aimants montre que chacun d'eux possède une caractéristique intrinsèque, mesurable en tout point de l'espace.

Comme pour le champ électrique, on déduit de l'interaction entre aimants l'existence d'un **champ magnétique B** .

Unités :

- le tesla [T]
- le gauss [G] = 10^{-4} T
- l'oersted [Oe] = 1 G dans le vide

La limaille de fer met en évidence les lignes de champ.

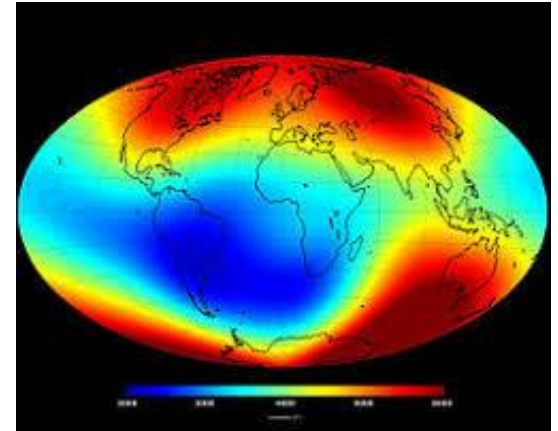


Amplitude du champ magnétique

Quelques ordres de grandeur

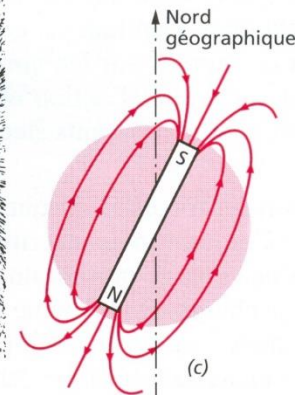
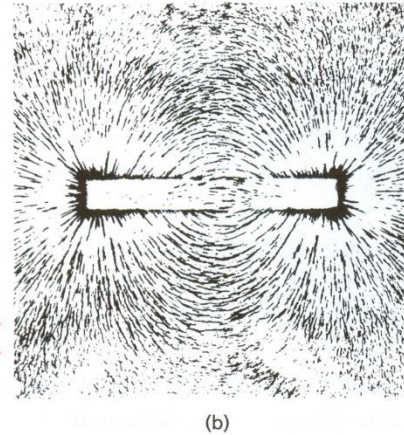
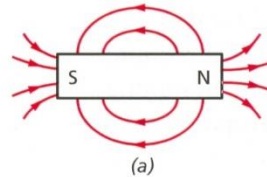
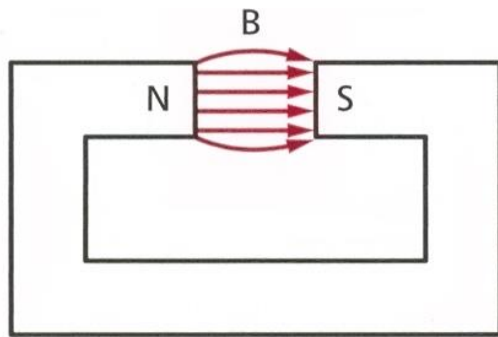
Le tesla est une relativement grande unité.

- Champ magnétique terrestre : 30-60 μT
- Aimant de frigo : quelques mT
- Champ expérimental habituel : $\leq 1 \text{ T}$
- Champ utilisé dans les disques durs : quelques T
- Plus grand champ expérimental uniforme : 100 T
- Pulsars : jusqu'à 10^{11} T



Lignes de champ

Quelques formes de champ magnétique :



➤ Les lignes de champ donnent la direction du champ magnétique. À l'extérieur de l'aimant, le sens de \mathbf{B} est du pôle N vers le pôle S.

➤ Signe de l'interaction magnétique :

L'interaction entre deux aimants est répulsive ou attractive, selon les pôles qui se font face.

Force (magnétique) de Lorentz

Lorsqu'une charge électrique q se déplace à une vitesse \mathbf{v} dans un champ magnétique \mathbf{B} , elle subit une force donnée par

$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

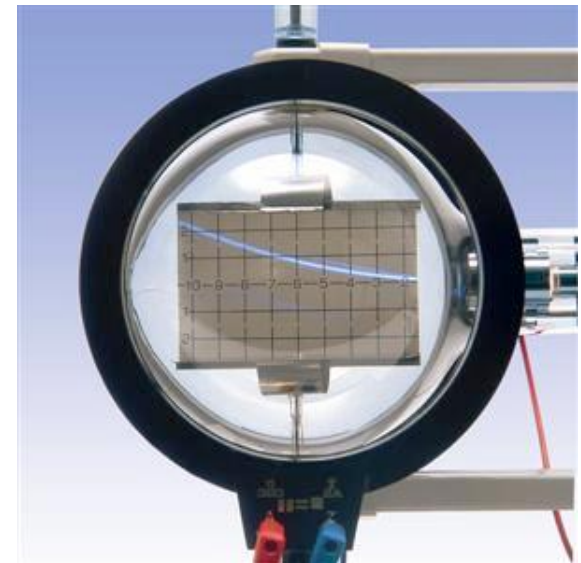
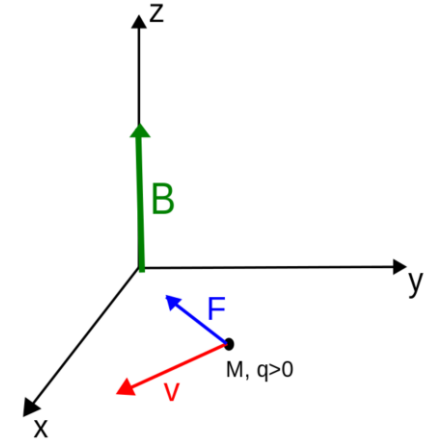
Il s'agit de la **force (magnétique) de Lorentz**.

- Manifestation claire : déflexion d'un électron dans un tube sous vide.

Lorsqu'on approche un aimant, le faisceau monte ou descend.

- En présence de \mathbf{E} et \mathbf{B} , la **force de Lorentz** s'écrit

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$



Force de Lorentz

Caractéristiques

- La partie magnétique de la force de Lorentz ne travaille pas : elle ne change pas le module de \mathbf{v} .
- Estimation de la force sur un électron dans le champ magnétique terrestre, avec $B_T = 5,8 \times 10^{-5} \text{ T}$ et $v = 10^5 \text{ m/s}$.

$F \sim 10^{-19} \text{ N}$, à comparer avec le poids de l'électron $W \sim 10^{-29} \text{ N}$.

- La force de Lorentz ne dépend pas de la masse, mais de la charge. Elle permet donc de séparer des ions (\mathbf{F} perpendiculaire et dépend de q).

$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} = m\mathbf{a}$$

Application : spectrométrie de masse

On distingue des molécules sur base du rapport m/q .

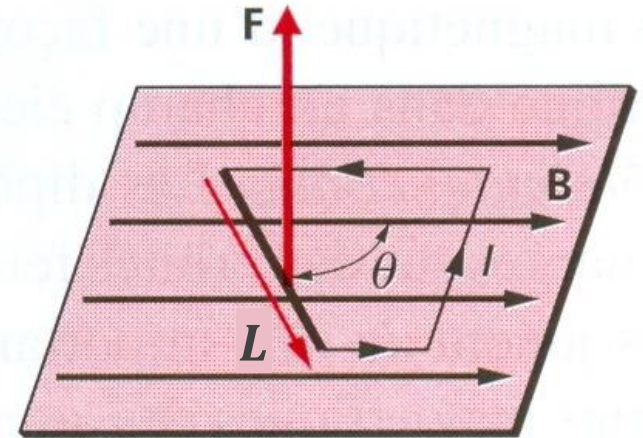
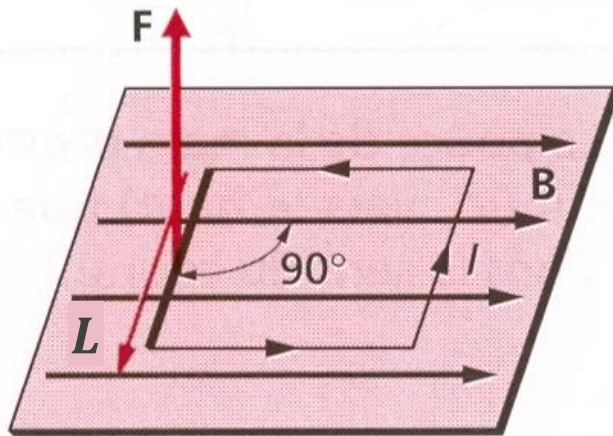
Force de Laplace

Un fil de longueur L parcouru par un courant I est placé dans un champ magnétique \mathbf{B} .

Le fil est dévié par la **force de Laplace** :

$$\mathbf{F} = I\mathbf{L} \times \mathbf{B}$$

Le vecteur \mathbf{L} a pour module la longueur L du fil et est orienté dans le sens du courant.



Force de Laplace

Explication microscopique simple

La force de Lorentz s'applique sur les électrons du fil de longueur L , parcouru par un courant I .

$$q = It = \frac{IL}{v}$$

$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} = I\mathbf{L} \times \mathbf{B}$$

Lorsque le fil n'est pas rectiligne, on doit intégrer la force $d\mathbf{F}$ produite par chaque élément infinitésimal de fil $d\mathbf{L}$:

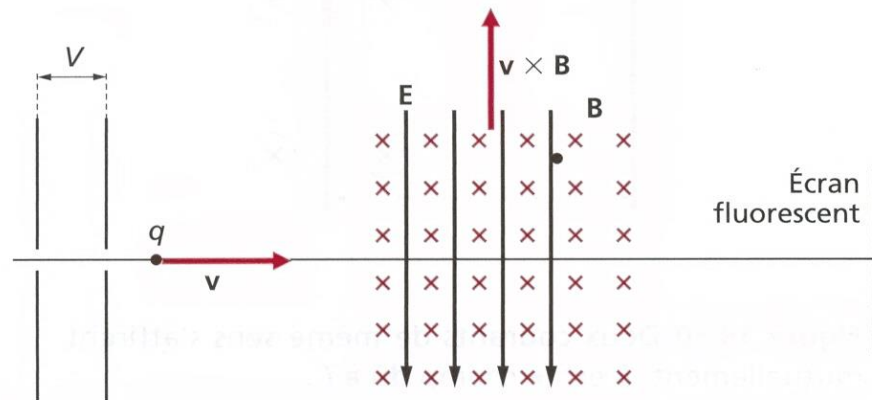
$$d\mathbf{F} = Id\mathbf{L} \times \mathbf{B}$$

Applications

Champs électrique et magnétique croisés

Un faisceau d'électrons est accéléré par un potentiel V et passe ensuite dans un champ électrique \mathbf{E} et un champ magnétique \mathbf{B} perpendiculaire.

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$



- En choisissant correctement \mathbf{E} et \mathbf{B} , on peut annuler \mathbf{F} pour les électrons ayant une vitesse

$$v = \frac{E}{B}$$

- Ce dispositif permet aussi la mesure de $\frac{q}{m}$.

Applications

Spectroscopie de masse

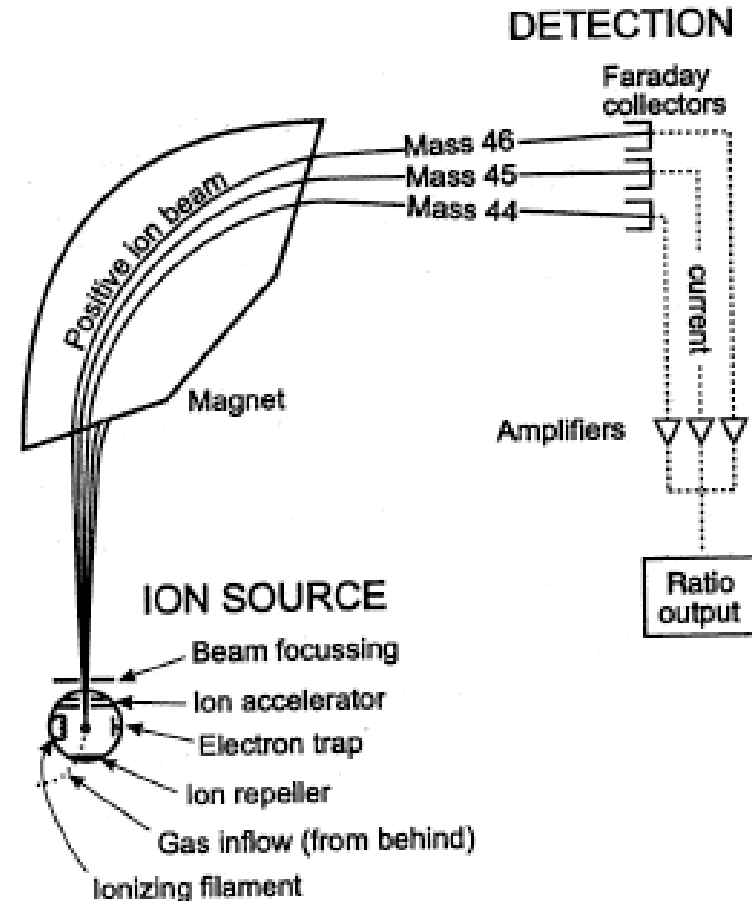
- Accélération des charges (V)
- Filtre de vitesse $v = \frac{E}{B_1}$ (vitesse connue)
- B_2 donne la même force à toutes les particules de même charge.

$$qv \times B_2 = ma$$

- Les particules décrivent des trajectoires circulaires de rayon

$$R = \frac{mv}{qB_2}$$

- On en déduit le rapport $\frac{q}{m} = \frac{v}{RB_2}$

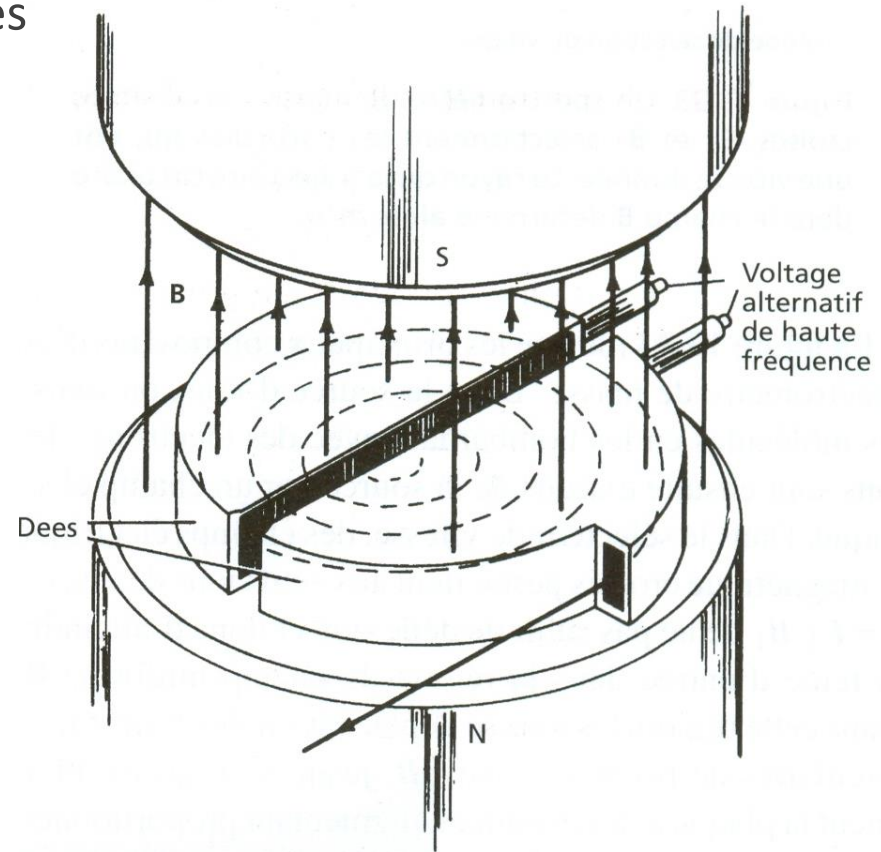


Applications

Cyclotron

- Un champ \mathbf{B} maintient des particules en rotation (accélération radiale).
- Un champ électrique \mathbf{E} variable les accélère (accélération tangentielle).
- Quel est le rayon des trajectoires ?

$$r = \frac{mv}{qB}$$



Applications

Cyclotron

- Une tension oscillante accélère les charges entre les « D » (« dees »).
- La vitesse v augmente à chaque passage :

$$F = ma = qV$$

- Le rayon de la trajectoire augmente avec v , mais la période de rotation T reste constante :

$$T = \frac{2\pi m}{qB}$$

- À la sortie du cyclotron ($r = R$), on récolte des électrons relativistes !

