

## 1 Introduction

### 1.1 Interaction entre aimants

Observations expérimentales.

Pour quantifier ces effets, on va introduire la notion de champ magnétique.

**Définition.** Une boussole est une aiguille aimantée libre de tourner. On appelle nord magnétique l'extrémité qui pointe vers le nord géographique.

### 1.2 Le vecteur champ magnétique

La direction de l'aiguille aimantée en un point indique la direction du champ magnétique.

**Définition.**

### 1.3 Notion de champ en physique

Nous verrons de plus en plus souvent la notion de champ, omniprésente en physique.

#### Exemple

**Définition.** Un **champ** est une grandeur physique définie en tout point de l'espace. Sa valeur dépend en général d'où on se place et du temps.

- Lorsque la grandeur physique est un scalaire (température, pression, etc.) on parle de **champ scalaire**.
- Lorsqu'elle est un vecteur (force, vitesse, champ magnétique, etc.), on parle de **champ vectoriel**.

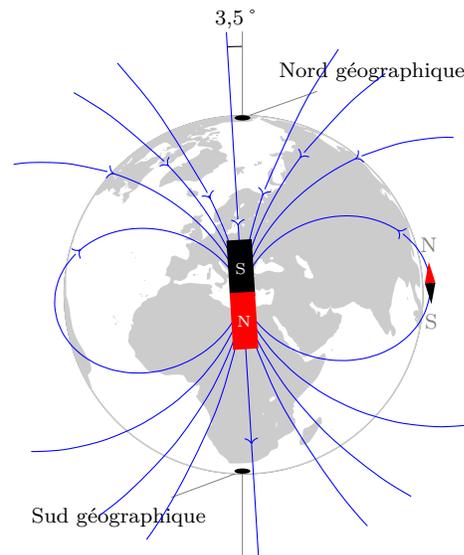
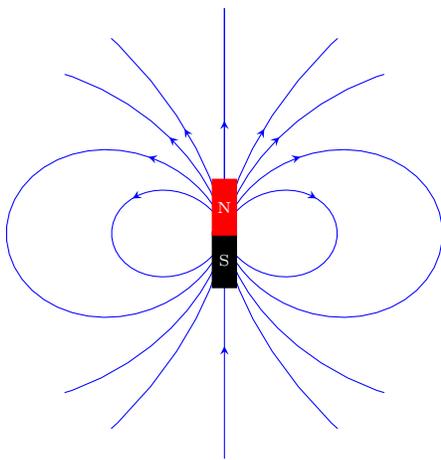
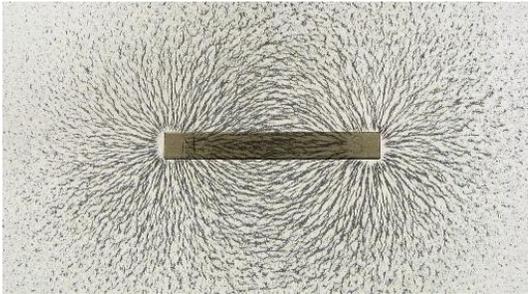
## 2 Sources et cartes de champ magnétique

### 2.1 Aimant droit

Tout aimant possède un pôle Nord et un pôle Sud magnétique. Deux pôles de même nature se repoussent, deux pôles différents s'attirent.

**Définition.**

Visualisation du champ magnétique à partir d'un aimant.

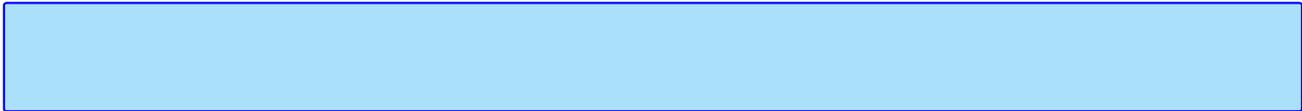
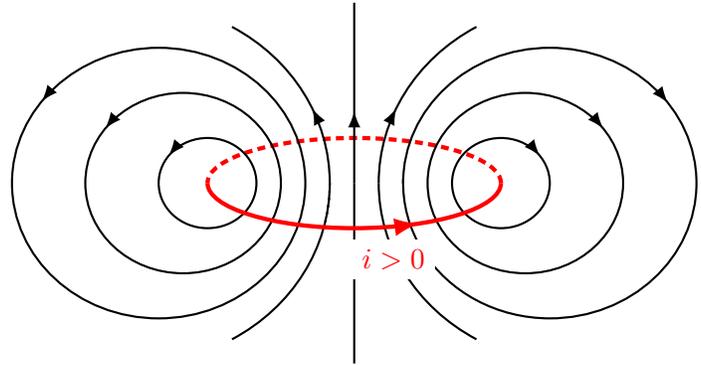
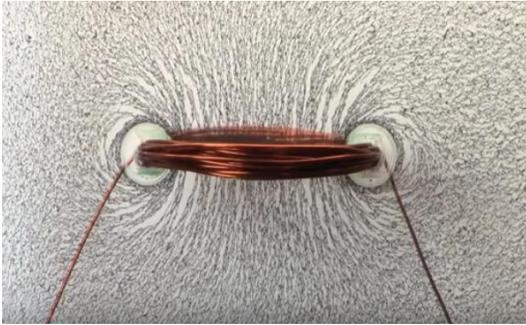


La Terre se comporte comme un gigantesque aimant. Son sud magnétique se situe au nord géographique, de sorte à ce que les nords magnétiques des boussoles s'orientent vers le nord géographique.

### 2.2 Champ magnétique créés par des courants

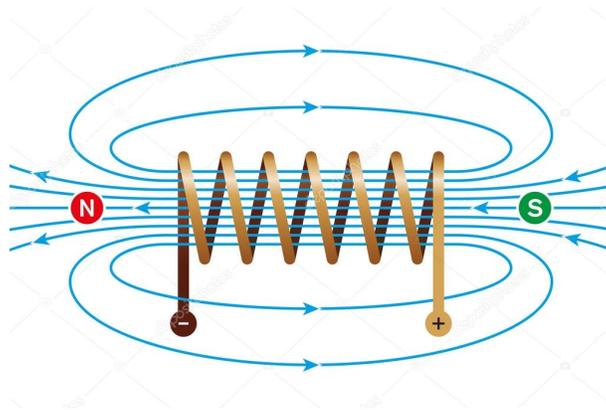
**Expérience d'Ørsted.** En 1820, Ørsted découvre qu'un fil parcouru par un courant dévie une aiguille aimantée. C'est la première preuve historique qu'un courant électrique crée un champ magnétique. Nous pouvons mettre en évidence cet effet expérimentalement assez facilement. Si on change le sens du courant, on change le sens de l'aiguille.

**Bobine plate.** Une bobine plate est un fil électrique de forme circulaire. On refait une expérience avec de la limaille de fer. On retrouve des lignes qui sont analogues à celles créées par l'aimant, si on le plaçait perpendiculairement à la spire (vertical ici).



**Bobine longue ou solénoïde.**

**Définition.** En enroulant un fil le long d'un cylindre, on fabrique un **solénoïde**.



### 3 Intensité du champ magnétique

**Expérience.** Plus la boussole est proche de l'aimant, plus elle s'aligne rapidement sur le champ magnétique.

On mesure le champ magnétique par son effet sur les courants, les aimants, etc., que nous verrons aux prochains chapitres. Le champ magnétique est mesuré en tesla (T).

#### 3.1 Lien entre intensité du champ magnétique et cartes de champ

**Sur le schéma ci-dessus.** Le champ magnétique est uniforme dans le solénoïde. Lorsque l'on s'en éloigne :

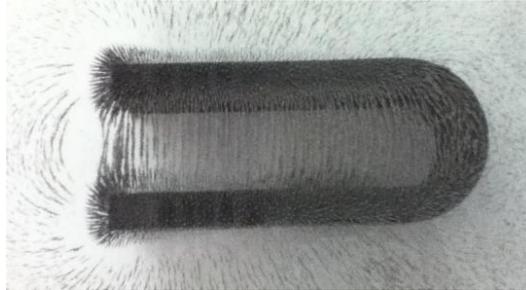
- l'intensité du champ magnétique décroît ;
- les lignes de champ s'écartent les unes des autres.

Cette caractéristique est liée à une propriété fondamentale du champ magnétique qui sera vue en deuxième année.

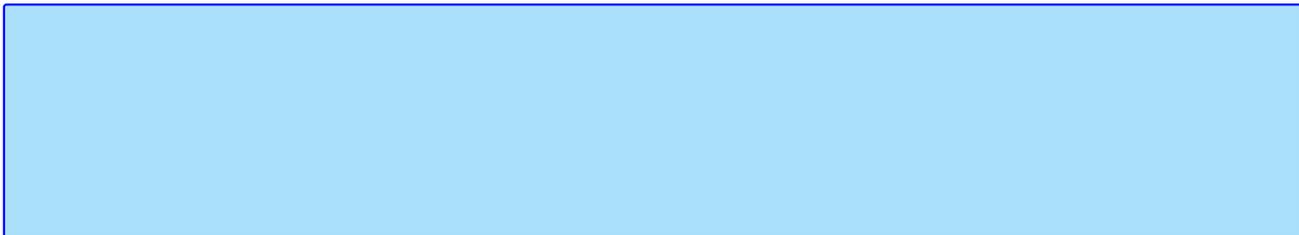


### 3.2 Dispositif pour créer un champ magnétique uniforme

- Nous avons vu que dans un solénoïde, les lignes de champ sont parallèles : c'est une première façon de générer un champ magnétique uniforme.
- Ensuite, regardons les lignes de champ d'un aimant en U :



- On peut également créer un champ magnétique uniforme avec deux bobines ; en effet on pourra manipuler l'animation [https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/Elec/Champs/Helmholtz\\_FJ.php](https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/Elec/Champs/Helmholtz_FJ.php) Lorsque l'on place deux bobines de rayon  $R$ , parcourues par un même courant, à une distance  $R$  l'une de l'autre, le champ est à peu près uniforme entre les bobines.



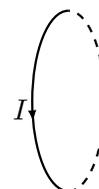
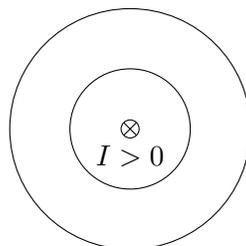
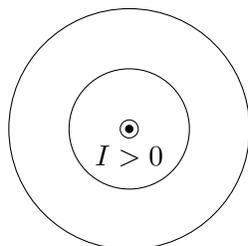
### 3.3 Lien entre courant et champ magnétique

#### 3.3.1 Direction du champ magnétique

##### Règle de la main droite.

1. Le champ magnétique créé par un fil est orienté ainsi : en fermant le poing de la main droite, les doigts indiquent l'orientation des lignes de champ et le pouce le courant.
2. Le champ magnétique créé par une bobine est orienté ainsi : en fermant le poing de la main droite, les doigts indiquent le sens du courant et le pouce le champ magnétique.

#### Application



### 3.3.2 Proportionnalité

Dans le vide, le champ magnétique créé par un courant  $i$  est de l'ordre de :

$$\|\vec{B}\| = \mu_0 \frac{i}{L}$$

où  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$  est une constante nommée **perméabilité magnétique du vide** et  $L$  est une longueur « typique » du problème.

Par exemple, le champ créé par un solénoïde est  $\vec{B} = \mu_0 n i(t) \vec{u}_z$  où  $\vec{u}_z$  est l'axe du solénoïde orienté selon la règle de la main droite par rapport au courant et  $n$  le nombre de spires par mètre.

### 3.3.3 Symétries de la distribution de courant

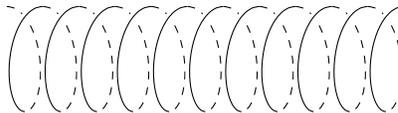


#### Exemple

Considérons un fil doté des coordonnées cylindriques.



Considérons un solénoïde doté des coordonnées cylindriques.



### 3.3.4 Invariances de la distribution de courant



## Exemple



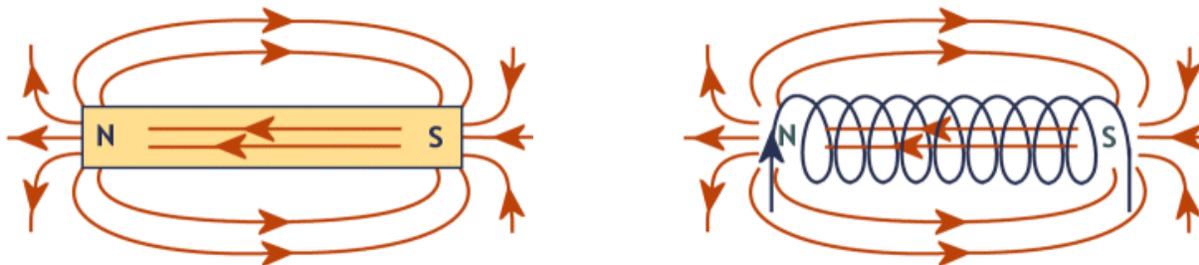
## ⚠ Attention



## 4 Le moment magnétique

Définition.

**Cas des aimants.** La notion de moment magnétique s'applique aussi aux aimants. L'origine du champ magnétique est le déplacement de particules chargées. Ces courants sont équivalents à un moment magnétique  $\vec{M}$  qui peut donc être considéré également comme l'origine du champ magnétique. À moment magnétique identique, le champ magnétique à grande distance est le même pour un aimant ou une boucle de courant.



Moment magnétique...	Ordre de grandeur
▷ d'un aimant droit usuel	$\approx 1 \text{ A} \cdot \text{m}^2$
▷ d'un petit aimant néodyme fer bore	$\approx 10 \text{ A} \cdot \text{m}^2$
▷ de la Terre	$\approx 8 \times 10^{22} \text{ A} \cdot \text{m}^2$