

## 11

# Champ magnétique

## Objectifs du chapitre

- 1 Connaître des exemples de sources de champ magnétique.
- 2 Connaître la notion de carte de champ magnétique
- 3 Exploiter une représentation graphique d'un champ vectoriel, identifier les zones de champ uniforme, de champ faible, et l'emplacement des sources.
- 4 Tracer l'allure des cartes de champs magnétiques pour un aimant droit, une spire circulaire et une bobine longue.
- 5 Savoir décrire un dispositif permettant de réaliser un champ magnétique quasi-uniforme.
- 6 Citer des ordres de grandeur de champs magnétiques : au voisinage d'aimants, dans une machine électrique, dans un appareil IRM, dans le cas du champ magnétique terrestre.
- 7 Savoir que le champ magnétique est lié à l'intensité du courant circulant dans un circuit.
- 8 Évaluer l'ordre de grandeur d'un champ magnétique à partir d'expressions fournies.
- 9 Définir le moment magnétique associé à une boucle de courant.
- 10 Par analogie avec une boucle de courant, associer à un aimant un moment magnétique.
- 11 Citer un ordre de grandeur du moment magnétique associé à un aimant usuel.

## Plan du cours

### 1 Le champ magnétique

- 1.1 Les aimants
- 1.2 Effet magnétique d'un courant électrique
- 1.3 Ordres de grandeurs de champs magnétiques

### 2 Les cartes de champs magnétique

- 2.1 Quelques cartes à reconnaître

2.2 Les propriétés des lignes de champ magnétiques

2.3 Dispositifs pour créer un champ magnétique uniforme

### 3 Les courants électriques et le champ magnétique

#### 4 Le moment magnétique

4.1 Moment magnétique d'une boucle de courant

4.2 Moment magnétique d'un aimant

## 1 Le champ magnétique

Dès l'antiquité, les hommes remarquent qu'un minéral naturel, appelé "magnétite" (essentiellement de l'oxyde de fer) a la propriété d'attirer des petits morceaux de fer. Cette interaction est appelée magnétisme, les solides capables d'attraction magnétique étant appelés aimants.

## 1.1 Les aimants

### Expérience

Lignes de champ magnétique : <https://youtu.be/2SNo1xw60jQ>

On constate que les aimants, quelle que soit leur forme et leur taille sont **polarisée**. C'est-à-dire qu'ils possèdent un pôle Nord et un pôle Sud. Si un aimant est brisé chacun des éclats aura à nouveau deux pôles.

On observe que :

- Le pôle nord d'un aimant et le pôle sud d'un autre aimant s'attirent.
- les deux pôles de même polarité de deux aimants se repoussent.

### Définition

Les lignes formées par la limaille sont appelées **lignes de champ**. Ces lignes sont orientées par l'orientation des boussoles. On définit, pour le moment, le **champ magnétique**, comme une grandeur vectorielle tangente aux lignes de champ. Il se note  $\vec{B}$  et son unité est le Tesla (T)

## 1.2 Effet magnétique d'un courant électrique

### Expérience à regarder

Boussole et fil électrique : <https://youtu.be/n7EWhEY0a0o>

On remarque que l'orientation de la boussole change en présence d'un circuit électrique parcouru par un courant. Cela signifie que la présence d'un courant provoque l'apparition d'un champ magnétique. Au même titre que les aimants, les circuits électriques parcourus par un courant sont des sources de champ magnétique.

En particulier, cela est vrai pour une bobine, qui est un enroulement de fil électrique autour d'un axe.

## 1.3 Ordres de grandeurs de champs magnétiques

Champ...	Ordre de grandeur
Magnétique terrestre	$5 \times 10^{-5}$ T
Crée par une bobine de 1000 spires parcourues par un courant de 1A	10 mT
Crée par un aimant	0,1 à 1 T
Crée par un appareil IRM	5 T
Champ pulsé	100 T

## 2 Les cartes de champs magnétique

### Définition

Une ligne de champ est une courbe dont la tangente en chaque point est parallèle au champ magnétique. Deux lignes de champs ne peuvent pas se croiser sauf si le champ est nul au point d'intersection.

Une carte de champ magnétique est une représentation des lignes de champ magnétiques créées par les sources (aimants ou courant). On peut faire le rapprochement avec les lignes de niveaux représentées sur une carte IGN.

On peut visualiser les lignes de champ avec de la limaille de fer où sur l'animation suivante : [https://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve\\_tulloue/Elec/Champs/topoB.php](https://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/Elec/Champs/topoB.php)

## 2.1 Quelques cartes à reconnaître

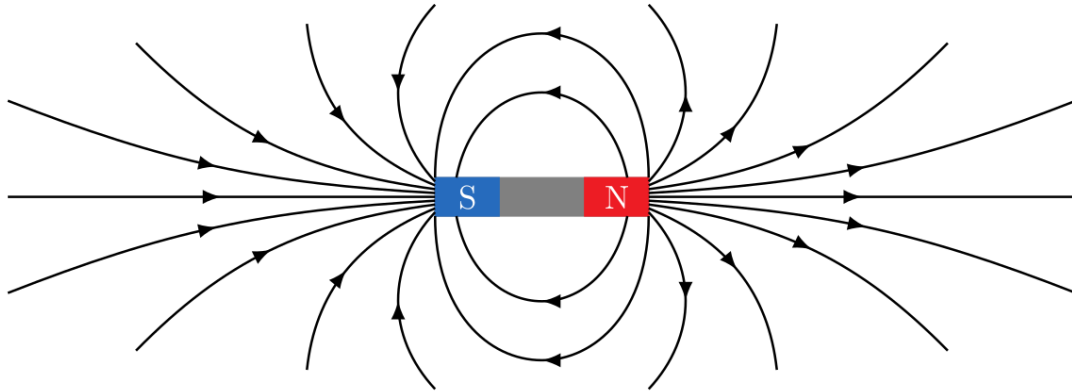


FIGURE 1 – Carte de champ magnétique d'un aimant droit. Le champ est orienté du nord vers le sud.

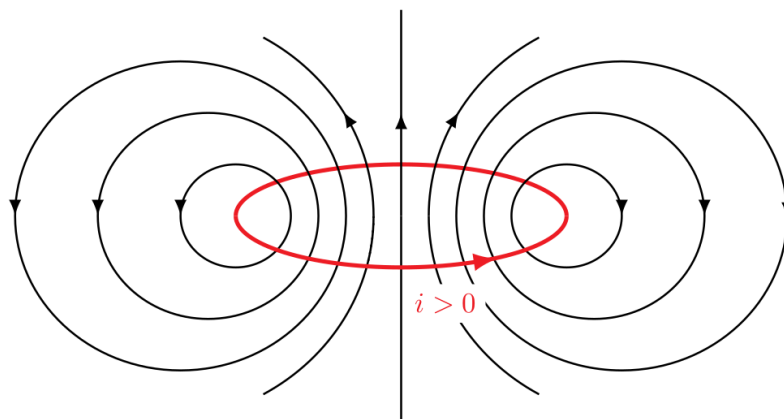


FIGURE 2 – Carte de champ magnétique créé par une boucle de courant. Le champ est orienté selon la règle de la main droite (les doigts suivent le sens du courant et le pouce indique la direction du champ magnétique)

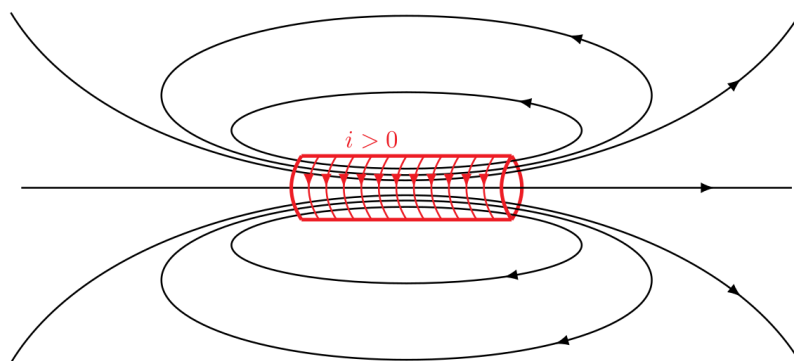


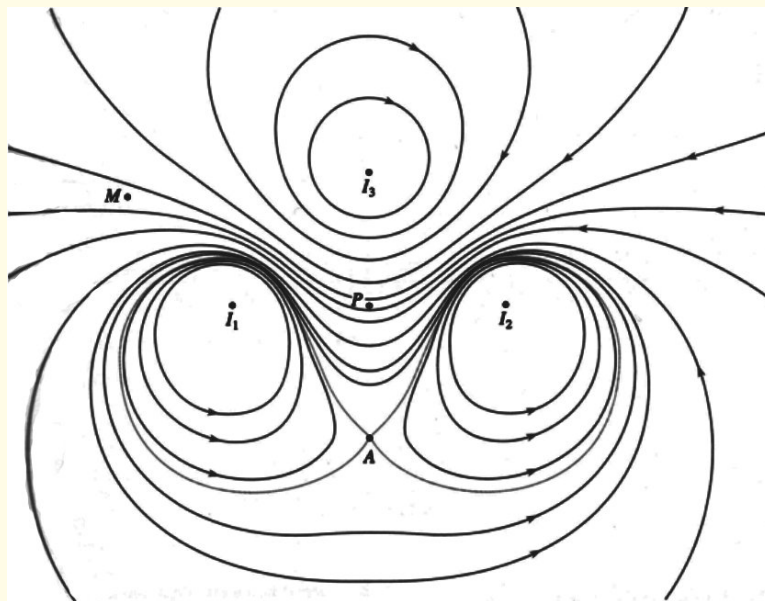
FIGURE 3 – Carte de champ magnétique créé par un solénoïde (c'est-à-dire un ensemble de spires les unes contre les autres, autrement dit une bobine ou inductance). Le champ est orienté selon la règle de la main droite.

## 2.2 Les propriétés des lignes de champ magnétiques

- Les lignes de champ sont dirigées du pôle Nord vers le pôle Sud des aimants.
- Si deux lignes de champ se coupent en un point, alors le champ est nul en ce point.
- Si les lignes de champ sont parallèles entre elles et régulièrement espacées alors le champ est uniforme.
- Les lignes de champ sont toujours des courbes fermées.
- Les boucles de champs enroulent les courants électriques en respectant la règle de la main droite.
- Lorsque les lignes de champ se resserrent, la norme de  $B$  augmente. Les zones où le champ est le plus intense se trouvent au voisinage de la source du champ magnétique.

### Application 1: Lignes de champ

Sur la carte de champ ci-dessous, identifier la direction des courants, les zones de champ forts et les zones de champ faible.



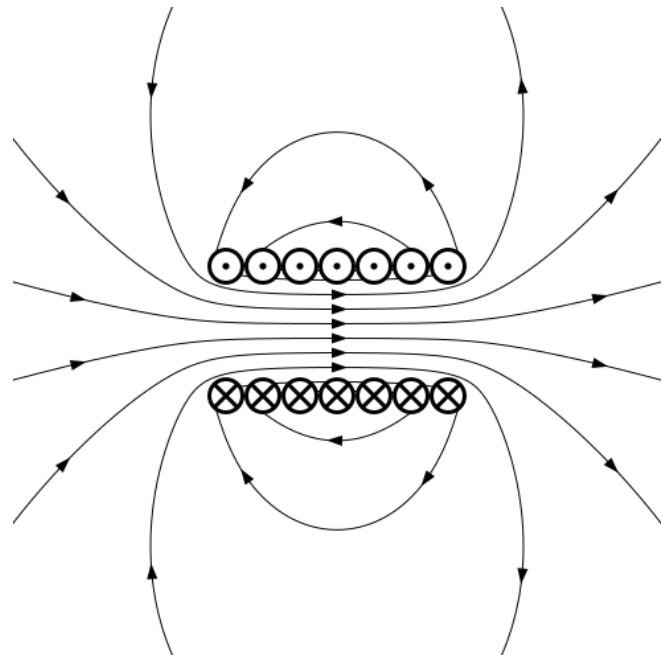
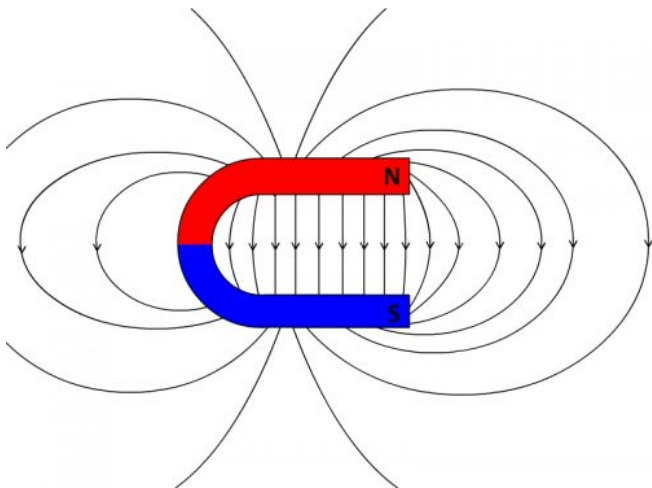
Règle de la main droite :

- Placer le pouce de la main droite dans le sens du courant. Les doigts s'enroulent dans le sens du champ magnétique.
- Enrouler les doigts de la main droite dans le sens du champ magnétique. Le pouce donne le sens du courant.

## 2.3 Dispositifs pour créer un champ magnétique uniforme

On rappelle que le champ magnétique est uniforme, autrement dit qu'il ne dépend pas de la position si les lignes de champs sont parallèles. C'est le cas, entre autre pour certaines zones de trois dispositifs :

- A l'intérieur d'un solénoïde
- Entre les deux branches d'un aimant en U
- Entre deux bobines (dites de Helmholtz) fines mises en regard l'une de l'autre avec le courant les parcourant dans le même sens.



## 3 Les courants électriques et le champ magnétique

Toutes les charges électriques en mouvement rayonnent un champ magnétique. En particulier, les électrons en mouvement dans un courant électrique sont responsables de l'apparition d'un champ magnétique.

Les expressions mathématiques du champ magnétique en fonction de la forme des circuits électriques seront étudiées pour certains cas en deuxième année. On retiendra que, au niveau des dimensions, on a :

$$B \propto \mu_0 \frac{I}{L}$$

avec  $I$  le courant électrique responsable du champ magnétique,  $L$  une grandeur caractéristique du problème et  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$  la perméabilité du vide.

### Application 2: Calcul d'un champ magnétique

Le champ magnétique uniforme à l'intérieur d'un solénoïde de  $N = 1000$  spires de longueur  $L = 10 \text{ cm}$  et parcouru par un courant  $i = 0,1 \text{ A}$  est donné par  $B = \mu_0 \frac{N}{L} i$ . Que vaut le champ magnétique en Tesla ?

## 4 Le moment magnétique

### 4.1 Moment magnétique d'une boucle de courant

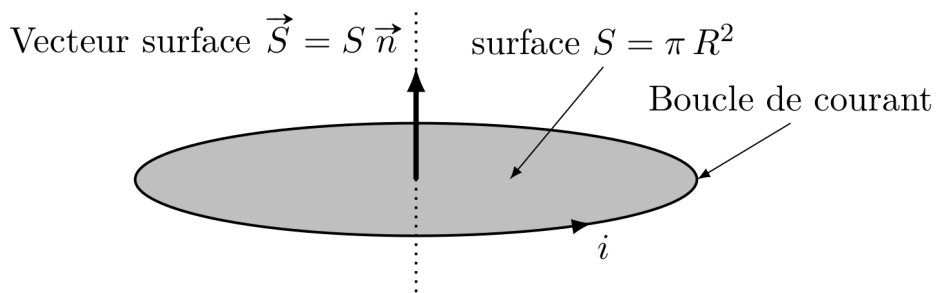
**Définition**

On considère une spire de rayon  $R$  (de surface  $S = \pi R^2$ ) parcourue par un courant  $i$ . Le moment magnétique  $\vec{\mathcal{M}}$  d'une spire plane est :

$$\vec{\mathcal{M}} = i\vec{S} = iS\vec{n}$$

Le moment magnétique d'une bobine, qui est un assemblage de  $N$  spires, est :

$$\vec{\mathcal{M}} = Ni\vec{S} = NiS\vec{n}$$

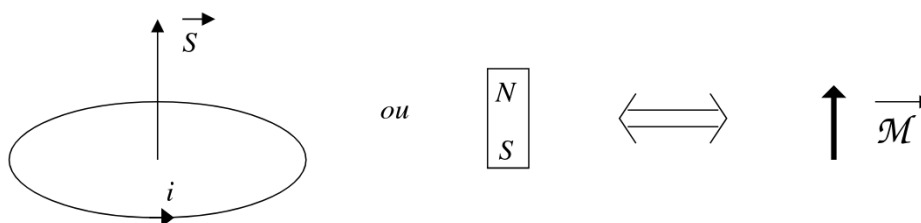


### 4.2 Moment magnétique d'un aimant

Un aimant, bien qu'étant parcouru par aucun courant, produit et subit les mêmes effets qu'une spire. De plus, si l'on compare les lignes de champ d'un aimant et d'une bobine, on trouve des courbes de même allure. On modélise donc ces effets en introduisant la même notion de moment magnétique dans les deux cas.



On associe à un aimant un moment magnétique, orienté du sud vers le nord.



Remarque : Au niveau microscopique, ces milieux comportent des petits dipôles magnétiques qui sont alignés de manière à ce que leurs moments dipolaires se somment. On parvient à créer des aimants très puissants qui engendrent des champs de plusieurs dixièmes de tesla.

L'ordre de grandeur du moment magnétique d'un aimant usuel (une aiguille de boussole) est d'environ  $10 \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$ . Le moment magnétique terrestre vaut  $7,9 \times 10^{22} \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$ .