

# LE CHAMP MAGNETIQUE

## Table des matières

I INTRODUCTION :	2
II MISE EN EVIDENCE DU CHAMP MAGNETIQUE :	2
II.1 Détection du champ magnétique avec une boussole :	2
II.2 Le champ magnétique :	3
II.2.1 Le vecteur champ magnétique :	3
II.2.2 Spectre magnétique :	3
II.2.3 Représentation et caractéristique du vecteur champ magnétique :	4
II.2.4 Composition de champs magnétiques :	5
III CHAMPS MAGNÉTIQUES CRÉÉS PAR LES COURANTS :	6
III.1 Circuit électrique quelconque :	6
III.2 Conducteur rectiligne :	6
III.3 La bobine plate :	6
III.4 Solénoïde ou bobine longue :	8
IV VECTEUR EXCITATION MAGNETIQUE :	9
IV.1 Définition :	9
IV.2 Intérêt du vecteur excitation magnétique :	9
V EFFET DU CHAMP MAGNETIQUE SUR DES PARTICULES CHARGÉES :	10
V.1 Action d'un champ magnétique sur un faisceau d'électrons :	10
V.2 Action d'un champ magnétique sur un conducteur parcouru par un courant :	12

## I INTRODUCTION :

Le champ magnétique existe partout : le champ magnétique terrestre qu'on met en évidence par une boussole.

Il existe d'autres sources magnétiques :

- aimants naturels : magnétite  $Fe_3O_4$ .
- acier qu'on aimante en le frottant avec un aimant.
- Les électroaimants.

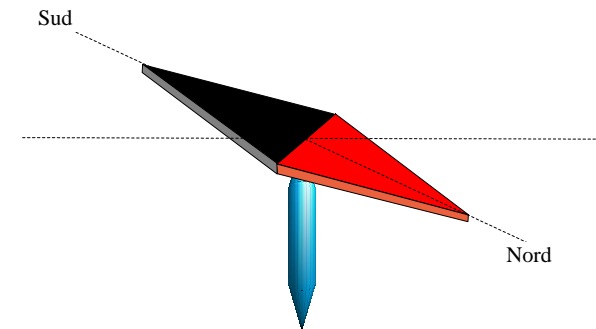
Dans la vie pratique on remarque plusieurs applications de la notion du champ magnétique :

- Appareils de mesures à cadre mobile.
- Haut parleur.
- Moteur électrique.
- Tube cathodique.
- Accélérateur de particules.
- Confinement magnétique (permet d'éviter le contact du plasma avec l'enceinte lors de l'étude des réactions thermonucléaires).

## II MISE EN EVIDENCE DU CHAMP MAGNETIQUE :

### II.1 Détection du champ magnétique avec une boussole :

Lorsqu'on place une boussole dans une région de l'espace où règne un champ magnétique, elle prend une direction privilégiée.



La boussole est un aimant léger mobile autour d'un axe. Il possède deux pôles magnétiques : un pôle nord (partie **noire**) et un pôle sud (partie **rouge**).

Le pôle **Nord** d'un aimant attire le pôle **Sud** d'un autre aimant.

Pour tout aimant, pôle nord et pôle sud sont indissociables (comme le recto et le verso d'une feuille).

En l'absence de toute source de champ magnétique extérieure, une boussole indique les pôles magnétiques terrestre.

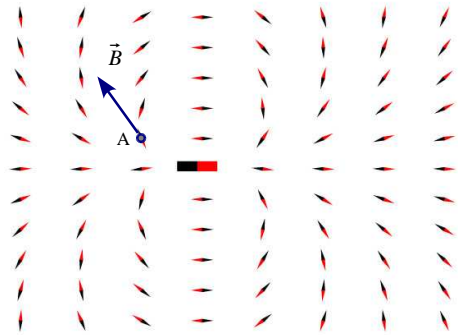
## II.2 Le champ magnétique :

### II.2.1 Le vecteur champ magnétique $\vec{B}$ :

L'espace champ magnétique est la zone d'influence d'un aimant.

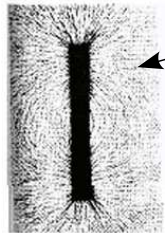
On caractérise, en chaque point de cet espace, le vecteur champ magnétique par un vecteur  $\vec{B}$ .

Exemple de représentation du vecteur champ magnétique  $\vec{B}$  au point A (détail de  $\vec{B}$  plus loin):



### II.2.2 Spectre magnétique :

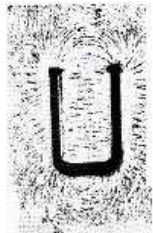
#### Spectre d'un aimant droit :



Limaille de fer.

Les gains de la limaille de fer s'aimantent à leur tour et prennent une direction privilégiée. Ils matérialisent des lignes qu'on appelle **lignes de champ magnétique**.

#### Spectre d'un aimant en U :



Une ligne de champs va du pôle **Nord** vers le pôle **Sud** à l'extérieur de l'aimant.

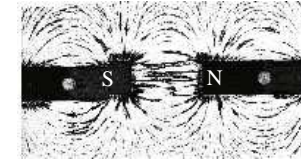
**Les lignes de champs ne peuvent pas se couper** (ce qui impliquerait que la boussole peut prendre deux directions en ce point d'intersection)

**Les lignes de champs sont des lignes fermées :**  
On imagine que les lignes de champs se referment par l'intérieur de l'aimant.

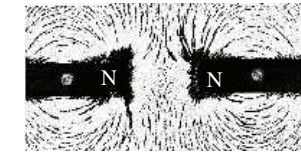


**Les lignes de champ sont des lignes dans l'espace**

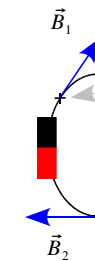
### Spectre de deux aimants droits pôles magnétiques opposés :



### Spectre de deux aimants droits pôles magnétiques identiques :



### II.2.3 Représentation et caractéristique du vecteur champ magnétique $\vec{B}$ :



Le vecteur  $\vec{B}$  est caractérisé par :

- **son origine** : le point considéré.
- **sa direction** : tangente à la ligne de champ considéré.
- **son sens** : celui de la ligne de champ.
- **sa norme** : l'intensité du champ au point considéré.

L'unité de l'intensité du champ magnétique est le Tesla (T). Anciennement, le Gauss.

*Remarque :* Le Tesla est une unité très grande, donc les résultats numériques qu'on va trouver seront de l'ordre de quelques mT à 5 tesla sur des circuits magnétiques ordinaires.

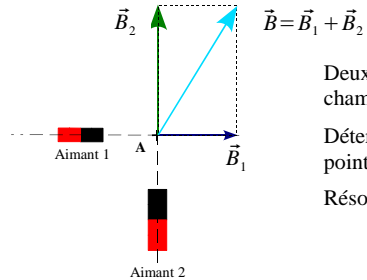
L'ordre de grandeur du Champ magnétique terrestre est de  $20 \mu\text{T} = 20 \cdot 10^{-6}\text{T} = 0.00002\text{T}$ , celui d'un aimant est de 0,5 T ; celui créé par les pôles d'une machine électrique 1 à 2T ; le champ magnétique le plus fort obtenu 35T en 1988 au National Magnet Laboratory de Cambridge (Quid 1993).

On mesure l'intensité d'un champ magnétique avec un **teslamètre**.

## II.2.4 Composition de champs magnétiques :

En un point de l'espace, on peut faire agir plusieurs sources de champs magnétiques. Le vecteur champ magnétique résultant en ce point sera la somme des vecteurs champs magnétiques des différentes sources magnétiques en ce point.

Exemples :



Deux aimants 1 et 2 créent individuellement au point A des champs magnétiques d'intensité  $B_1 = 30 \text{ mT}$  et  $B_2 = 50 \text{ mT}$ .

Déterminer le vecteur champ magnétique résultant  $\vec{B}$  au point A.

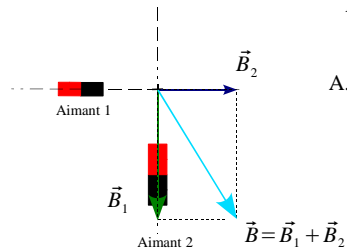
Résolution graphique : échelle  $1 \text{ cm} \leftrightarrow 20 \text{ mT}$ .

Résolution analytique :

Pythagore :

$$B_1^2 + B_2^2 = B^2 \Rightarrow B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$$

A.N. :  $B = \sqrt{30^2 + 50^2} = 58,3 \text{ mT}$



## III CHAMPS MAGNÉTIQUES CRÉÉS PAR LES COURANTS :

### III.1 Circuit électrique quelconque :

Un courant continu  $I$  parcourant un circuit électrique quelconque placé dans l'air ou dans le vide crée un champ magnétique  $\vec{B}$ .

La norme de ce champ magnétique est proportionnelle à l'intensité du courant électrique.

$$B = k \cdot I \quad . \quad k \text{ est une constante qui dépend du circuit et du milieu étudié.}$$

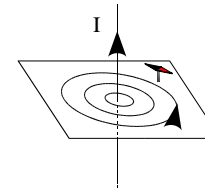
### III.2 Conducteur rectiligne :

Pour un conducteur rectiligne traversé par une intensité  $I$ , les lignes de champ sont des cercles concentriques.

L'orientation de ces lignes est donnée par :

**La règle de la main droite :** On place la main sur le conducteur, le pouce dans le sens du courant. Le sens des lignes de champ est donné par le sens des doigts lorsqu'on ferme la main.

Il existe aussi la règle de l'observateur d'Ampère et la règle du tire-bouchon.



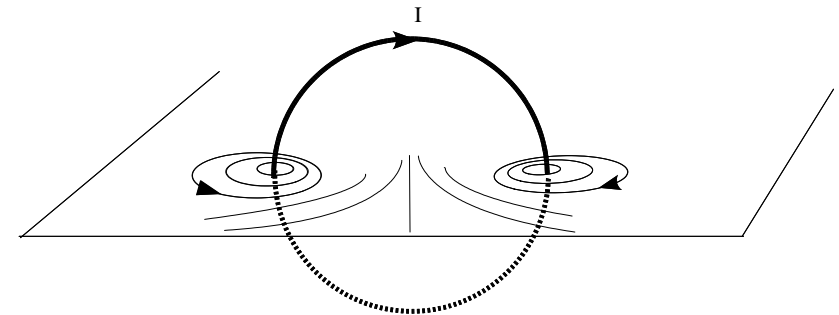
On montre qu'à la distance  $d$  du conducteur, la norme  $B$  du champ magnétique est

$$B = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{I}{d} \quad \text{avec } I [\text{A}] \text{ et } d [\text{m}].$$

*Exemple :* Un conducteur est traversé par une intensité  $I = 15 \text{ A}$ . Calculer la norme du champ magnétique  $B$  en un point situé à  $3 \text{ cm}$  du conducteur.

A.N. :  $B = 2 \cdot 10^{-7} \times \frac{15}{3 \cdot 10^{-2}} = 0,1 \text{ mT}$

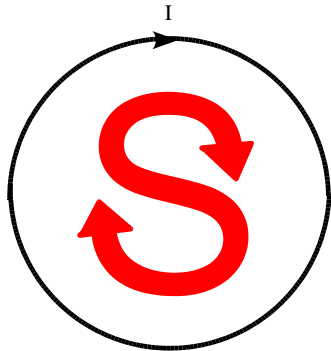
### III.3 La bobine plate :



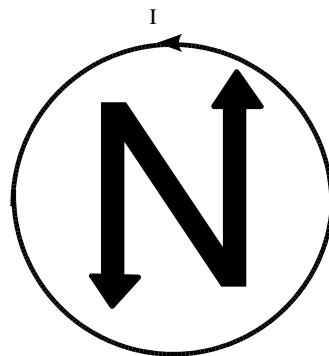
Le spectre est un ensemble de lignes convergentes au centre de la bobine.

On peut faire apparaître, suivant le sens du courant :

une face **Sud** :



et une face **Nord** :



On montre que pour une bobine plate, la norme du champ magnétique au centre de celle-ci

$\mu_0$  : perméabilité du vide en  $[Tm/A]$  ou  $[S.I]$

$N$  : Nombre de spires (pas d'unité)

est :  $B = \mu_0 \frac{N \cdot I}{2R}$  avec :  $I$  en Ampère  $[A]$

$R$  : rayon de la bobine  $[m]$

$B$  : champ magnétique en tesla  $[T]$

et  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} S.I$

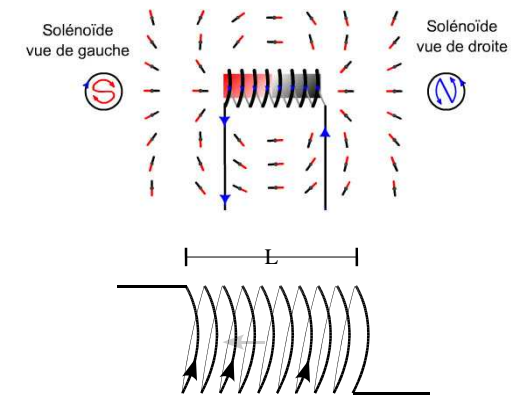
Exemple : Une bobine plate de rayon  $R = 12$  cm est parcourue par une intensité  $I = 5A$ .

Calculer la norme du champ magnétique au centre de la bobine lorsque le nombre de spires  $N = 1$  puis  $N = 20$ .

$$\text{A.N. : } B = \mu_0 \frac{N \cdot I}{2R} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \times 5}{2 \times 12 \cdot 10^{-2}} \times N$$

Pour  $N=1$  :  $B = 26,2 \mu T$  et pour  $N = 20$  :  $B = 0,52$  mT

### III.4 Solénoïde ou bobine longue :



On considère qu'une bobine est longue lorsque sa longueur est grande devant son diamètre.

Les lignes de champs sont parallèles à l'intérieur de la bobine. On remarquera une certaine analogie avec le spectre d'un aimant droit.

On montre que pour un solénoïde, la norme du champ magnétique au centre de celui-ci est :

$\mu_0$  : perméabilité du vide en  $[Tm/A]$  ou  $[S.I]$

$N$  : Nombre de spires (pas d'unité)

$B = \frac{\mu_0 N \cdot I}{L}$  avec :  $I$  en Ampère  $[A]$

$L$  : longueur de la bobine  $[m]$

$B$  : champ magnétique en tesla  $[T]$

et  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} S.I$

Si on pose  $n = \frac{N}{L}$ , le nombre de spires par mètre, l'expression devient :  $B = \mu_0 \cdot n \cdot I$

Exemple : Un solénoïde de longueur  $L = 35$  cm est parcouru par une intensité  $I = 5A$ . Calculer la norme du champ magnétique au centre du solénoïde lorsque le nombre de spires  $N = 120$ .

$$\text{A.N. : } B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{L} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \times 120 \times 5}{35 \cdot 10^{-2}} = 2,15 \text{ mT}$$

Quelle doit-être la valeur de  $I$  si on veut une valeur du champ magnétique  $B$  au centre de la bobine égale à 5 mT ?

$$\text{A.N. : } I = \frac{B \cdot L}{\mu_0 \cdot N} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \times 35 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \times 120} = 11,6 \text{ A}$$

## IV VECTEUR EXCITATION MAGNETIQUE :

### IV.1 Définition :

Dans les relation précédentes, on remarque toujours la présence du terme N.I. Ceci montre que l'intensité du champ magnétique est proportionnel à **N.I** appelé aussi **ampères-tours**.

Le champ magnétique dépend du milieu dans lequel il se trouve. Par exemple, si on place un noyau de fer à l'intérieur d'une bobine, la valeur du champ magnétique augmente ; cette valeur est multipliée par ce qu'on appelle la perméabilité relative du matériau  $\mu_R$ . ( Cela signifie que le matériau considéré est  $\mu_R$  fois plus perméable aux lignes de champ que l'air ou le vide).

Pour le cas d'un solénoïde avec noyau de fer, l'expression de la valeur du champ magnétique B devient :  $B = \mu_0 \cdot \mu_R \cdot N \cdot \frac{I}{L}$

On définit le **vecteur excitation magnétique** par **H** (colinéaire à  $\vec{B}$  ) et son module par :

$$H = \frac{B}{\mu} = \frac{B}{\mu_0 \cdot \mu_R} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} B \text{ en Tesla [T]} \\ \mu : \text{perméabilité absolue du milieu} \\ H : \text{Excitation magnétique en ampères par mètre [A.m}^{-1}] \end{array}$$

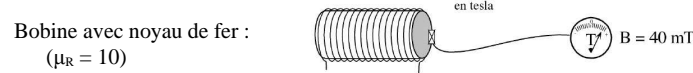
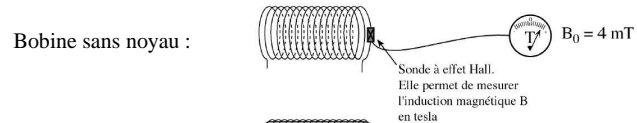
$\mu_R$  : la perméabilité relative du matériau est toujours supérieure ou égale à 1.

Elle vaut 1 pour les matériau ne présentant pas de propriétés magnétiques (bois, aluminium..) et quelques milliers pour les matériaux dits ferromagnétiques (contenant des atomes de fer).

### IV.2 Intérêt du vecteur excitation magnétique :

Le vecteur excitation magnétique  $\vec{H}$  caractérise le circuit source de champ magnétique. Il est indépendant du milieu où il est placé. Le vecteur champ magnétique  $\vec{B}$  caractérise complètement le champ magnétique en un point.

Exemple :



Pour la bobine sans noyau :  $H = \frac{B_0}{\mu_0} = \frac{4 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}} = 3,18 \cdot 10^6 \text{ A.m}^{-1}$

Pour la bobine avec noyau :  $H = \frac{B_0}{\mu_0 \cdot \mu_R} = \frac{40 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \times 10} = 3,18 \cdot 10^6 \text{ A.m}^{-1}$

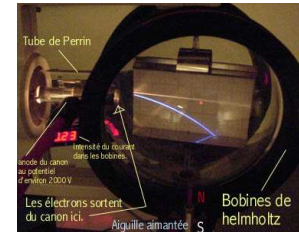
Pour les deux circuits, H est identique.

## V EFFET DU CHAMP MAGNETIQUE SUR DES PARTICULES CHARGÉES

### V.1 Action d'un champ magnétique sur un faisceau d'électrons :

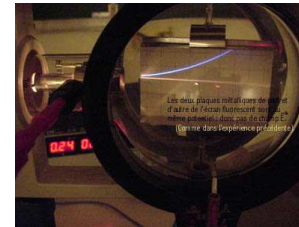
On approche un aimant (ou un bobine alimentée en continu) près d'un faisceau d'électrons (particule chargée électriquement  $e^- = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ).

Le faisceau d'électrons est dans le plan de cette feuille,  $\vec{B}$  est orthogonal à ce plan.



On observe que le faisceau est dévié vers le bas, chaque particule est soumise à une force dirigée vers le bas.

On inverse les pôles :



la déviation du faisceau s'inverse; chaque particule est soumise à une force dirigée vers le haut.

**Conclusion :** Un champ magnétique exerce une force  $\vec{F}$  sur des particules chargées en mouvement.

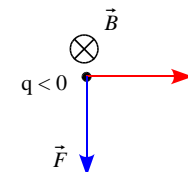
**Explication :**

On représente par  $\vec{v}$  le vecteur vitesse de l'électron.

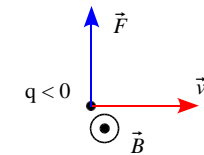
On représente par  $\vec{B}$  le vecteur champ magnétique.

On appelle q la charge de l'électron (dans notre cas, elle est négative).

1. Cas n°1 :



Cas n°2 (sens de  $\vec{B}$  inversé):

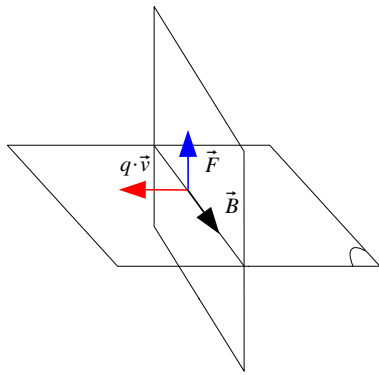


On montre que le sens de la force est donné par la relation :  $\vec{F} = q \cdot \vec{v} \wedge \vec{B}$  . (règle de la main droite ou du trièdre direct).

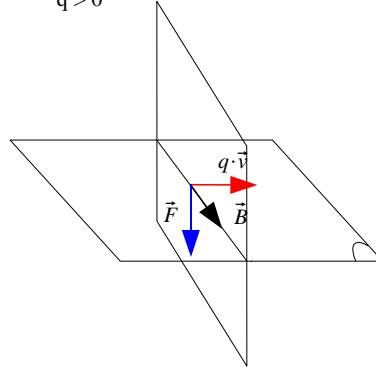
Caractéristique de la force  $\vec{F}$  :

$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \wedge \vec{B} \quad (\text{l'opérateur '}\wedge\text{' se lit 'vectoriel'}).$$

$q < 0$

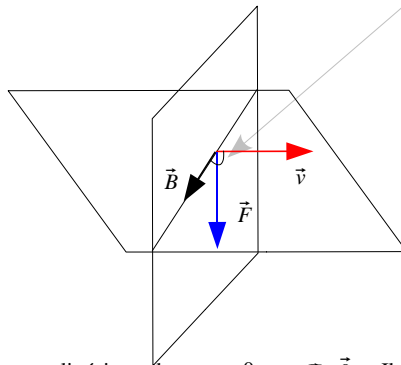


$q > 0$



La direction du vecteur  $\vec{F}$  est normale (perpendiculaire) au plan formé par les vecteurs  $\vec{v}$  et  $\vec{B}$ .

La norme de la force  $\vec{F}$  est définie par :  $F = |q \cdot v \cdot B| \sin \alpha$  avec  $\alpha = (\hat{V}, \hat{B})$  (angle orienté de  $\vec{v}$  vers  $\vec{B}$ ).



Remarques :

Si  $\vec{v}$  et  $\vec{B}$  sont colinéaires, alors  $\alpha = 0$  et  $F = 0$ . Il n'y a pas de déviation du faisceau.

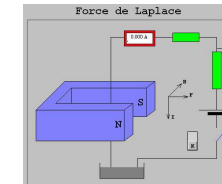
De même que si  $\vec{v} = \vec{0}$ ,  $F = 0$ . Il n'y a pas de déviation pour une particule immobile.

La norme de  $\vec{F}$  est maximale lorsque les vecteur  $\vec{v}$  et  $\vec{B}$  sont orthogonaux.

**V.2 Action d'un champ magnétique sur un conducteur parcouru par un courant :**

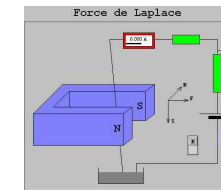
L'intensité électrique est dû au déplacement des électrons dans les conducteur électriques.

Plaçons un conducteur électrique dans un champ magnétique (le circuit est ouvert) :



Le conducteur ne bouge pas. C'est normal car, comme le circuit est ouvert, les électrons ne peuvent pas se déplacer et donc ne sont soumis à aucune force.

Maintenant, on ferme le circuit :



Le conducteur s'est déplacé ; il est soumis à une force.

Détails de tout cela au prochain chapitre.