

## ***Electromagnétisme***

*Le magnétisme se manifeste par exemple lorsqu'un aimant attire un clou en fer. C'est un phénomène distinct de la gravitation, laquelle est une interaction due la masse des corps. En effet, les **phénomènes liés à l'électricité et au magnétisme ont la même cause : la charge électrique**. Ils sont réunis sous l'appellation plus générale d'électromagnétisme.*

*L'étude de l'électromagnétisme comprend les notions de champ magnétique, de force magnétique, de force magnétique de Lorentz et de force électromagnétique de Laplace, d'induction électromagnétique.*

## **Chapitre 1 : Champ magnétique**

### **1. Aimants**

#### **a) Définition**

Un aimant est un corps capable d'attirer le fer, le nickel, le cobalt et certains alliages contenant beaucoup de fer (tel que l'acier); ces corps sont appelés **corps ferromagnétiques**.

Cette force est appelée **force magnétique**.

#### **b) Exemples**

- \* Aimants naturels : c'est un minerai de fer appelé magnétite.
- \* Aimants artificiels : on distingue les aimants permanents tels que le barreau aimanté, l'aimant en U, l'aiguille magnétique, et les aimants temporaires tels que les électroaimants.

Ces aimants sont constitués de matières ferromagnétiques.

- \* Remarque : La terre est aussi un énorme aimant !

### c) Pôles magnétiques

- \* Ce sont les régions de l'aimant où la force d'attraction est la plus forte.
- \* Tout aimant possède 2 pôles: pôle Nord (N) et pôle Sud (S).
- \* Les pôles se trouvent généralement aux extrémités de l'aimant.
- \* Lorsque l'aimant est mobile il s'oriente tel que son pôle N pointe vers le pôle nord géographique.

## **2. Force magnétique exercée par un aimant sur un autre aimant**

Deux pôles magnétiques exercent l'un sur l'autre une force magnétique dont les caractéristiques sont :

- \* Direction : droite qui joint les 2 pôles.
- \* Sens : déterminé par la loi suivante :
  - deux pôles de même nom se repoussent ;
  - deux pôles de nom différent s'attirent.
- \* Intensité : d'autant plus grande que la distance entre les pôles est plus petite.

## **3. Aimantation d'un corps ferromagnétique**

### a) Expérience

Un aimant attire un corps en fer.

Interprétation : Le fer situé à proximité de l'aimant devient lui-même un aimant dont la polarité est telle qu'il est attiré.

Conclusion : Tout corps ferromagnétique initialement non aimanté, placé dans un champ magnétique devient lui-même un aimant. On dit qu'il est aimanté.

Remarque : Certains corps tel que l'acier restent aimantés lorsqu'on supprime le champ qui les a aimanté. D'autres corps par contre, tel que le fer sont alors très vite désaimantés.

### b) Expérience de l'aimant brisé

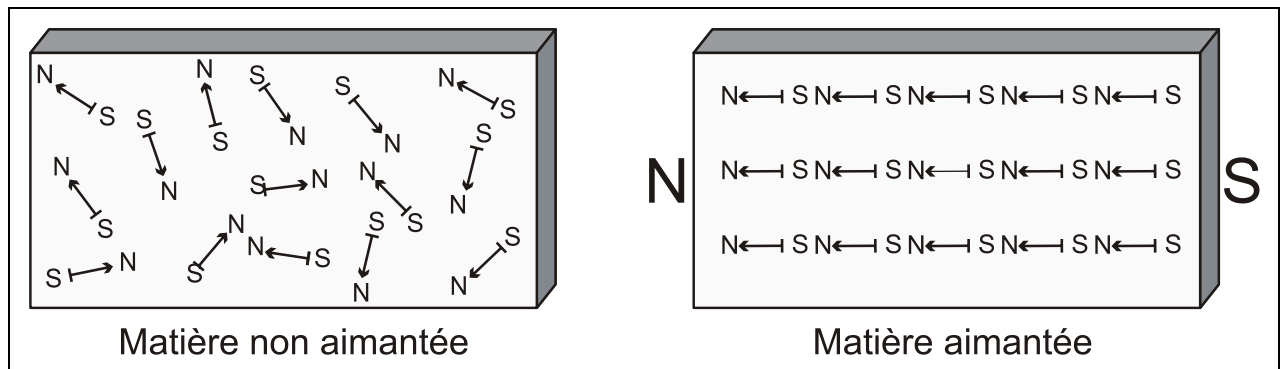
Coupons un aimant en deux parties afin d'obtenir des pôles isolés !

Observation : Chaque moitié possède les 2 pôles N et S.

Même si on répète l'opération, on n'obtient jamais un seul pôle magnétique. Il semble impossible d'isoler un seul pôle. Chaque fragment est un aimant complet possédant ses 2 pôles.

Interprétation : Toute matière ferromagnétique est constituée d'aimants élémentaires (microscopiques). Lorsque la matière n'est pas aimantée les aimants élémentaires sont complètement désordonnés. Leurs actions se neutralisent mutuellement.

Si la matière est placée dans un champ magnétique tous les aimants élémentaires s'orientent suivant la même direction et dans le même sens. A l'intérieur de la matière les pôles se neutralisent mutuellement. A chaque extrémité par contre il reste des pôles non neutralisés qui tous ensemble constituent un pôle magnétique important. Lorsqu'on coupe l'aimant en deux parties, il en va de même pour chacune des parties.



## 4. Champ magnétique

### a) Définition

C'est une région de l'espace où une aiguille magnétique est soumise à une force magnétique.

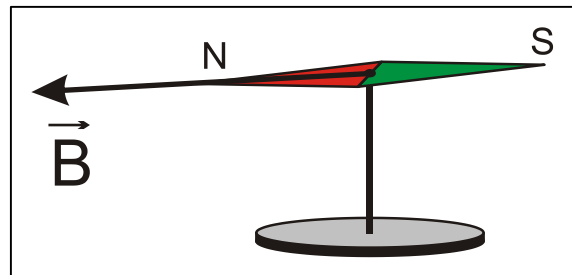
### b) Exemples de champs magnétiques

Au voisinage d'un aimant permanent (aimant droit, aimant en U), d'un électroaimant, d'un fil parcouru par le courant, de la Terre.

### c) Définition du vecteur champ magnétique

Le champ magnétique en un point est caractérisé par son **vecteur champ magnétique  $\vec{B}$**  :

- Direction : celle d'une aiguille magnétique placée en ce point
- Sens : celui de la force magnétique sur le pôle Nord de l'aiguille
- Intensité : d'autant plus grande que les forces magnétiques sur l'aiguille sont plus importantes



Unité: **le tesla (T)**

### d) Mesure de l'intensité $B$ du (vecteur) champ $\vec{B}$ :

A l'aide d'un teslamètre.

Aimants permanents  $B$  de l'ordre de  $10^{-3}$  T à  $10^{-2}$  T

Champ magnétique terrestre  $B_T = 50 \mu\text{T}$

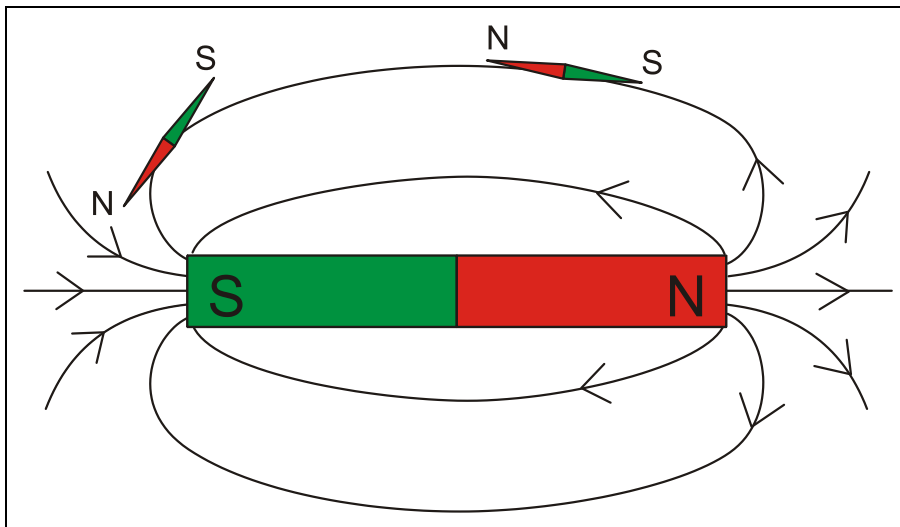
## 5. Spectres magnétiques

Les **lignes de champ** magnétique indiquent en tout point du champ la direction et le sens du vecteur  $\vec{B}$  :  $\vec{B}$  est tangent aux lignes de champ.

Plus les lignes sont denses, plus B est important.

Expérimentalement on visualise les lignes de champ à l'aide de grains de limaille de fer : dans le champ chaque grain s'aimante et subit un couple de forces qui l'oriente parallèlement au champ, tout comme une aiguille magnétique.

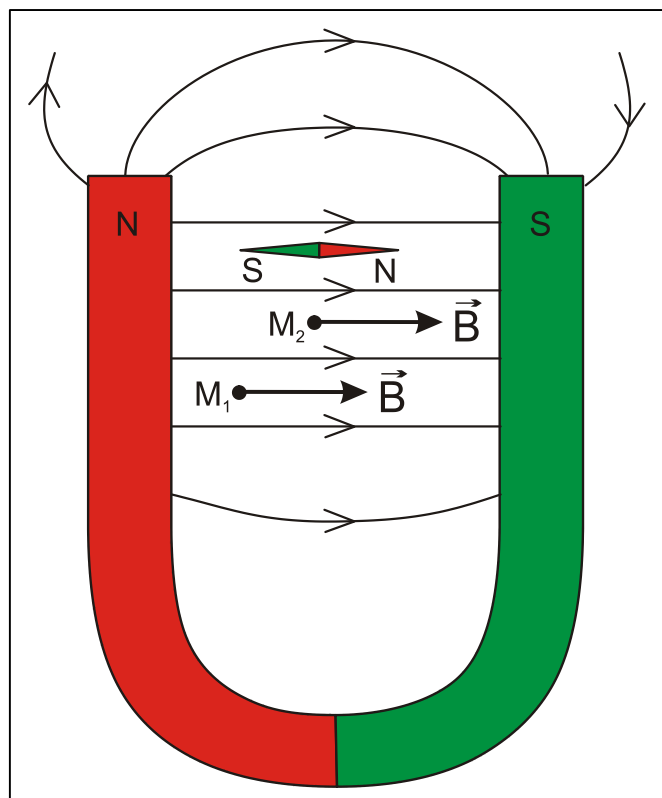
### a) Champ créé par un aimant droit



Les lignes sortent du pôle N et entrent par le pôle S.

### b) Champ créé par un aimant en U

Entre les branches de l'aimant le vecteur  $\vec{B}$  est le même en tout point  $\Leftrightarrow$  le champ magnétique  $\vec{B}$  y est **uniforme** !

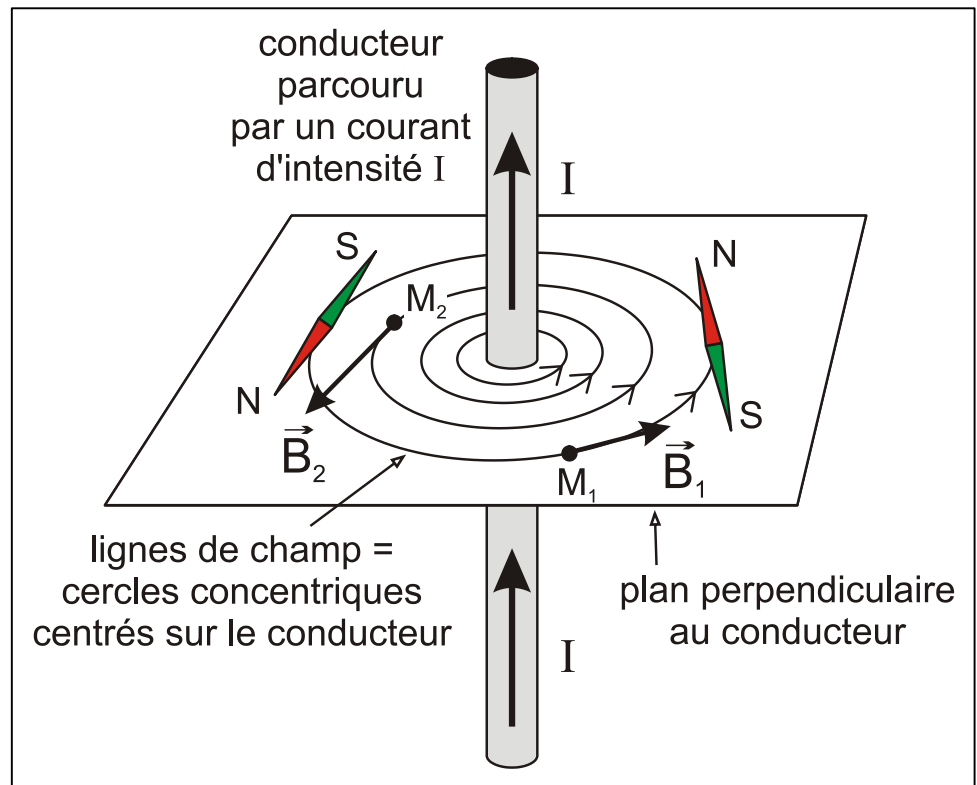


### c) Champ créé par un conducteur rectiligne parcouru par le courant

Il n'y a pas de pôles N ni S.

Le sens de  $\vec{B}$  dépend du sens de I.

L'intensité B du champ augmente avec l'intensité de courant et diminue avec la distance au conducteur.

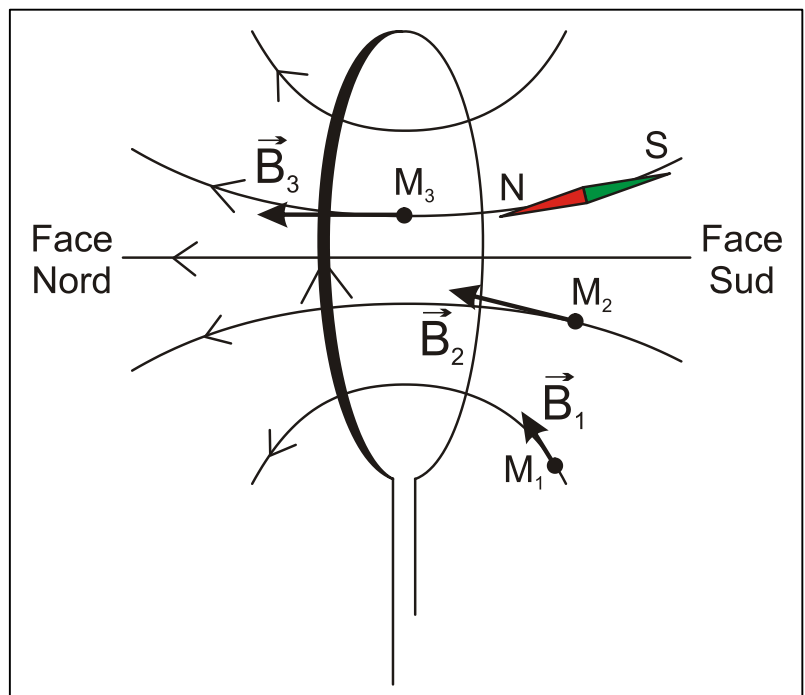


### d) Champ créé par un conducteur circulaire (bobine plate) parcouru par le courant

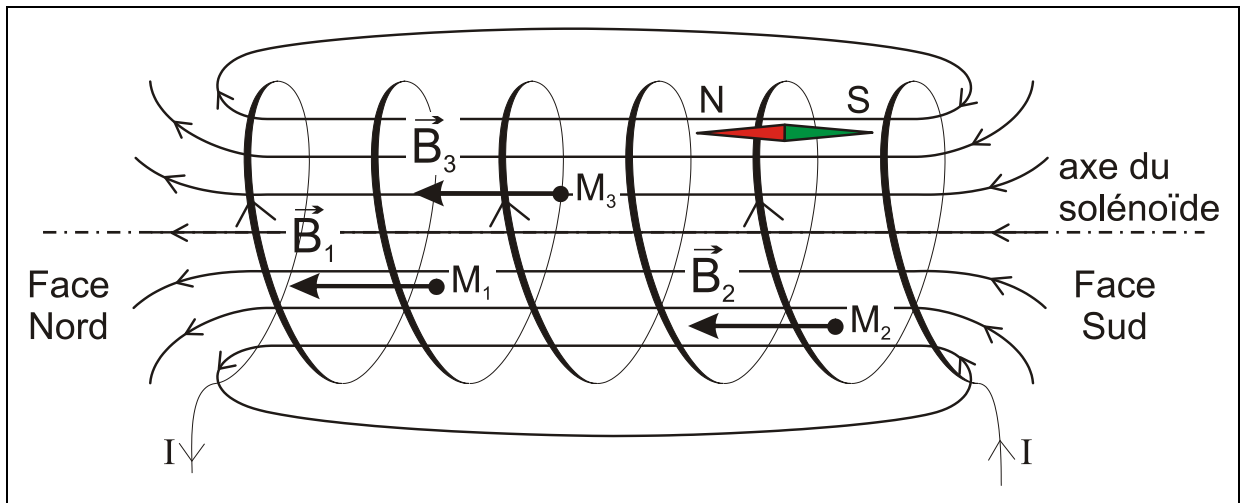
Toutes les lignes sortent par une face appelée **face nord** (N) et entrent par l'autre face appelée **face sud** (S).

Le sens de  $\vec{B}$  dépend du sens de I.

Le champ au centre est d'autant plus important que l'intensité de courant est plus élevée et que le rayon est plus petit.



### e) Champ créé par un solénoïde (bobine longue) parcouru par le courant



\* A l'intérieur d'un solénoïde le champ est uniforme d'intensité :  $B = \mu_0 \frac{NI}{\ell} = \mu_0 nI$

$\mu_0$  = perméabilité du vide :  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  unités S.I. (H/m = henry/mètre)

$n$  = densité de spires :  $n = \frac{N}{\ell}$  avec  $\ell$  = longueur du solénoïde et  $N$  = nombre de spires

$I$  = intensité de courant à travers le solénoïde

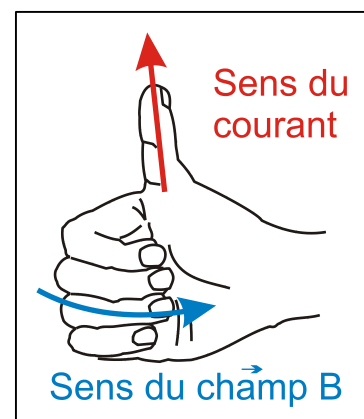
\* Le sens de  $\vec{B}$  dépend du sens de  $I$ .

### f) Règles pour trouver le sens du champ magnétique

\* **Règle 1 de la main droite (valables dans tous les cas) :**

Pouce : sens du courant

Doigts courbés : sens de  $\vec{B}$

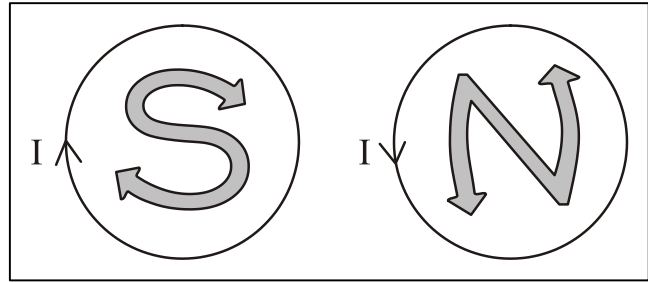


\* **Règle 2 (pour les bobines uniquement) :**

On regarde sur l'une des faces et on examine le sens du courant :

s'il correspond au sens indiqué par la lettre S on regarde sur une face Sud ;

s'il correspond à celui indiqué par la lettre N on regarde sur une face Nord.



\* **Règle 3 (pour les bobines uniquement) :**

Les 4 doigts courbés de la main droite : sens du courant à travers les spires de la bobine

Pouce : sens de  $\vec{B}$

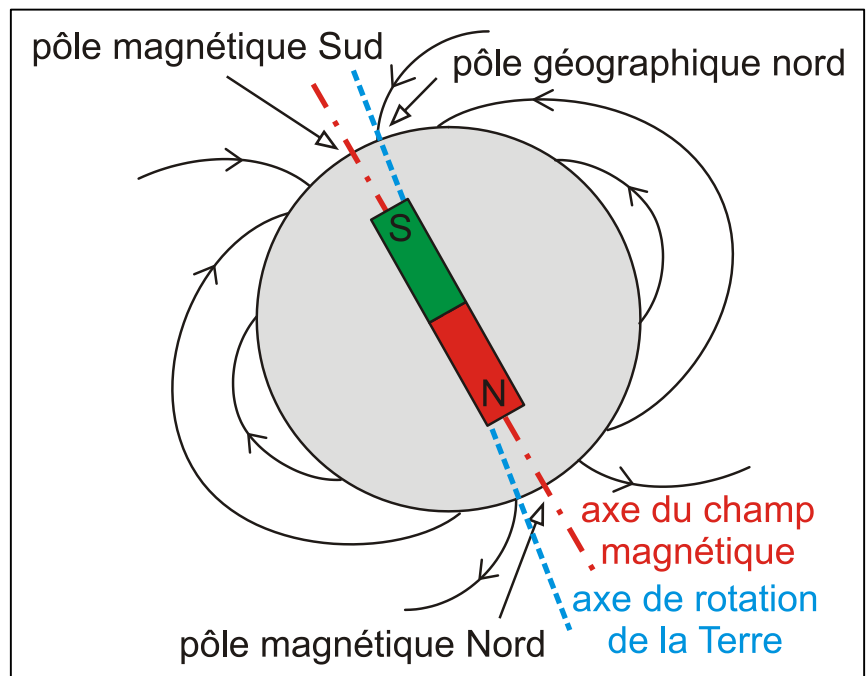
## 6. Le champ magnétique terrestre

Autour de la Terre règne un champ magnétique, dont l'étude est extrêmement utile pour la navigation et l'orientation.

### a) Caractéristiques générales

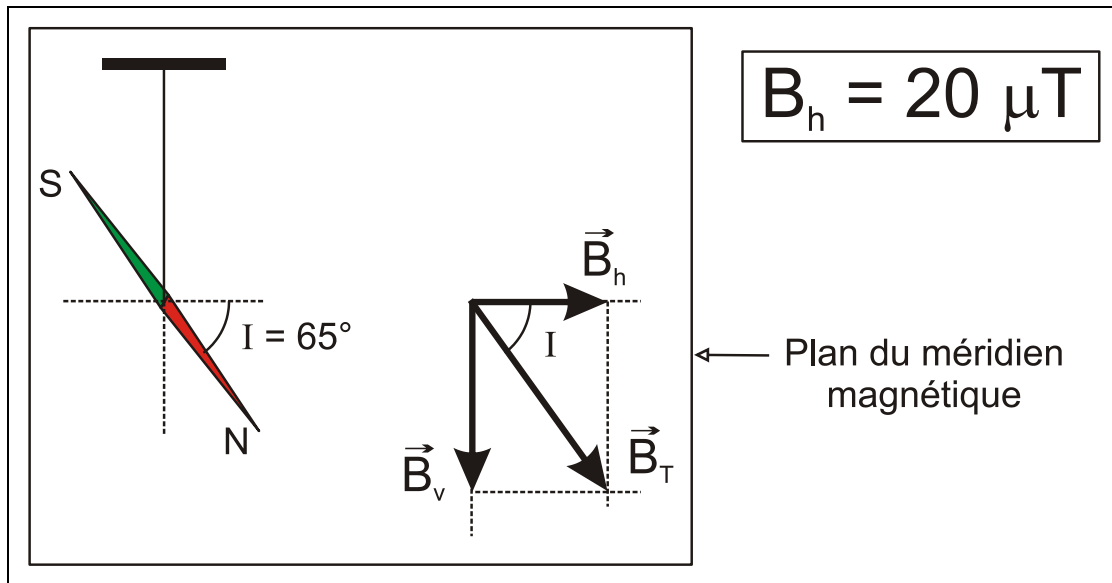
Le champ magnétique terrestre est approximativement assimilable à celui d'un aimant droit placé au centre de la Terre (et dont l'axe est incliné d'un faible angle par rapport à l'axe de rotation).

Le **pôle magnétique Sud** se trouve à proximité du **pôle géographique nord**. De même le pôle magnétique Nord se trouve près du pôle géographique sud.





## b) Caractéristiques locales



- \* A Luxembourg, le champ magnétique terrestre  $\vec{B}_T$  n'est ni horizontal, ni vertical : il fait un angle appelé **inclinaison**  $I = 65^\circ$  par rapport à l'horizontale. Il se décompose en deux vecteurs : la composante horizontale  $\vec{B}_h$  et la composante verticale  $\vec{B}_v$ .
- \* Le **plan du méridien magnétique** est le plan vertical contenant le vecteur champ magnétique terrestre  $\vec{B}_T$  (de donc aussi  $\vec{B}_h$ ).
- \* On a évidemment :  $B_h = B_T \cdot \cos I$   
avec  $B_h = 20 \mu\text{T}$  (Europe de l'Ouest) on obtient  $B = 47 \mu\text{T}$
- \* Les aiguilles des **boussoles** ne sont généralement mobiles que dans un plan horizontal : elles indiquent donc la direction de  $\vec{B}_h$ .
- \* La direction de  $\vec{B}_h$  n'est pas exactement celle du méridien géographique : l'écart angulaire varie avec le temps et vaut actuellement à peu près  $1^\circ$ .

## Exercices supplémentaires

### 1 Champ magnétique d'un conducteur rectiligne parcouru par le courant

Un conducteur rectiligne est parcouru par un courant électrique. Décrire avec le plus de précisions possible le champ magnétique créé par ce conducteur.

### 2 Champ magnétique d'un solénoïde parcouru par le courant

Un solénoïde (bobine longue) est branché à un générateur de courant.

- Effectuer un schéma du montage et y insérer le générateur, le courant électrique à travers la bobine, les lignes de champ magnétique ainsi que les pôles des deux faces de la bobine.
- Déterminer la valeur du champ magnétique si le solénoïde à une longueur de 5 cm, contient 1000 spires et est parcourue par un courant de 6 A. (151 mT)

### 3 Superposition de deux champs magnétiques

Un solénoïde de 60 cm de long comporte 650 spires. Son axe est horizontal et perpendiculaire au plan du méridien magnétique terrestre. Au centre de ce solénoïde, on place une petite aiguille aimantée horizontale, mobile librement autour d'un axe vertical.

- En absence de courant électrique dans le solénoïde, préciser l'orientation de l'aiguille.
- Un courant d'intensité  $I$  traverse le solénoïde. La petite aiguille dévie d'un angle de  $78^\circ$  par rapport à sa position initiale.

Interpréter l'expérience.

Préciser sur un schéma clair le sens de circulation du courant et justifier la nouvelle position de l'aiguille.

- Déterminer l'intensité du courant dans le solénoïde. (69,1 mA)