

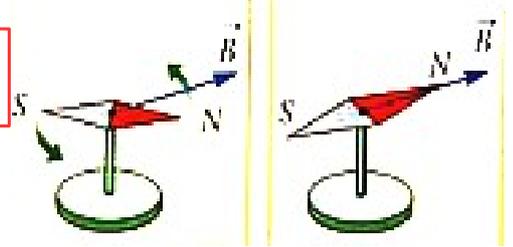
Le champ magnétique

1. Généralités sur le champ magnétique

1.1. Mise en évidence expérimentale

Il est possible de mettre en évidence la présence d'un champ magnétique grâce à une aiguille aimantée.

L'une des parties de cette aiguille constitue le pôle nord (partie rouge), l'autre le pôle sud. Une aiguille aimantée est libre de tourner autour d'un axe de rotation vertical.



- Loin de tout aimant ou de toute masse ferreuse, l'aiguille donne la direction du champ magnétique terrestre orienté du sud vers le nord.
- Si on approche un aimant l'aiguille change de direction.
- Si on approche une bobine parcourue par un courant l'orientation de l'aiguille change (expérience d'Oersted)

1.2. Topographie du champ magnétique

a) Définitions

Topographie : la topographie du champ magnétique est l'étude de ses lignes de champ.

Ligne de champ : une ligne de champ est une ligne tangente en chacun de ses points au champ magnétique.

Spectre magnétique : pour une source de champ donné, le spectre magnétique est constitué par l'ensemble des lignes de champs. On visualise ce spectre grâce à de la limaille de fer saupoudrée autour de la source de champ. Chaque grain se comporte comme un aimant et s'oriente dans le sens du champ.

b) Propriétés des lignes de champ

La topographie des divers champs permet d'arriver aux conclusions suivantes :

- Une ligne de champ est fermée sur elle-même (éventuellement à l'infini)
- Le champ \vec{B} est plus intense dans les régions où les lignes de champ sont plus resserrées.
- Le champ \vec{B} est uniforme dans les régions où les lignes de champ sont parallèles.
- Le champ \vec{B} est nul au point d'intersection des lignes de champ.
- Dans le cas d'un champ créé par des courants, le champ tourne autour de ses sources.

1.3. Principe de superposition

Soient deux sources de champ magnétique notées 1 et 2. Soit \vec{B}_1 le champ magnétique créé par la source 1 en un point M et soit \vec{B}_2 le champ magnétique créé par la source 2 en ce même point M. Le champ magnétique obéit au principe de superposition cad que :

$$\vec{B}(M) = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$$

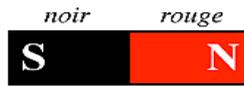
Généralisation :
$$\vec{B}(M) = \sum_i \vec{B}_i$$



2. Champ créé par un aimant

2.1. Propriétés des aimants

Schéma d'un aimant :



Bipolarité :

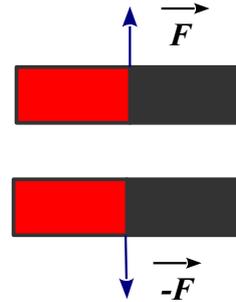
Un aimant possède toujours un pôle nord et un pôle sud. Ils sont indissociables.

Si on casse un aimant on 

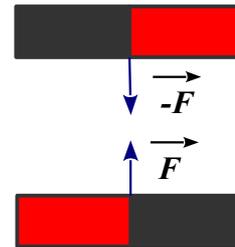
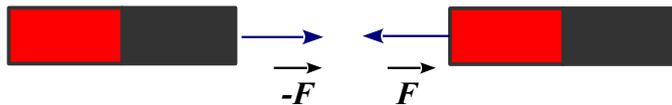


Action entre aimants : attraction - répulsion

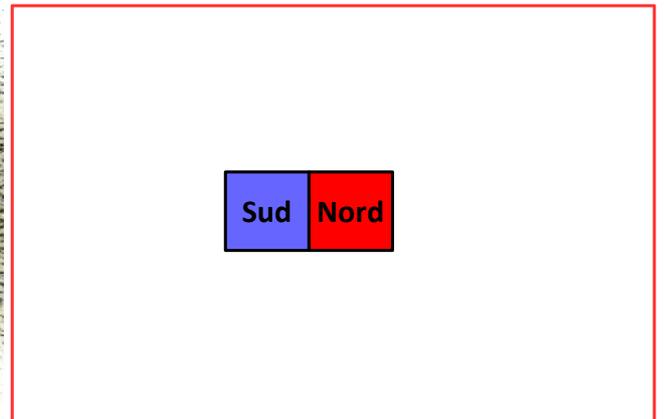
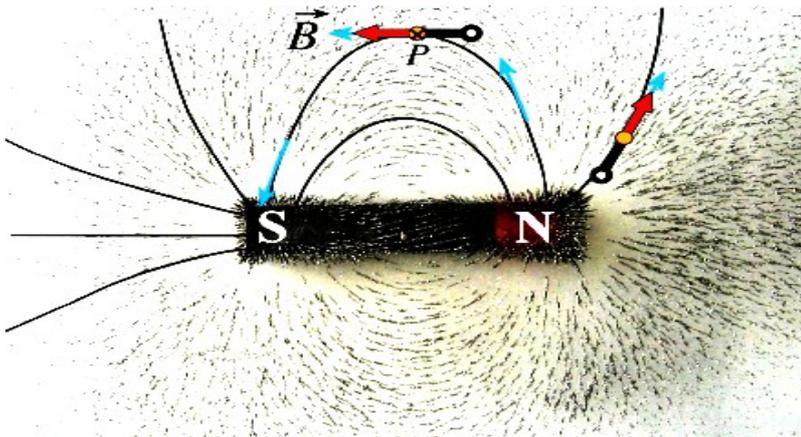
Si on approche deux pôles de même polarité, les aimants se repoussent.



Si on approche deux pôles opposés, les aimants s'attirent.



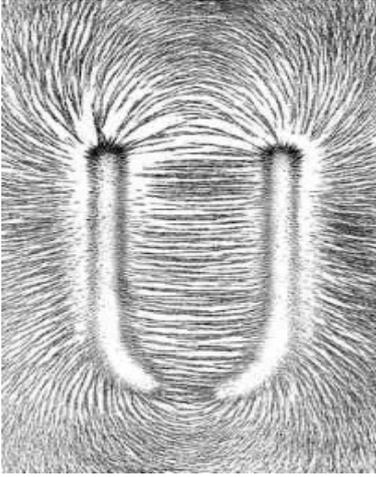
2.2. Spectre d'un aimant droit



Commentaires

Ordre de grandeur: un aimant crée un champ de 0,1T à 1T à quelques mm de sa surface.

2.3. Spectre d'un aimant en U



Commentaires



3. Le champ magnétique terrestre

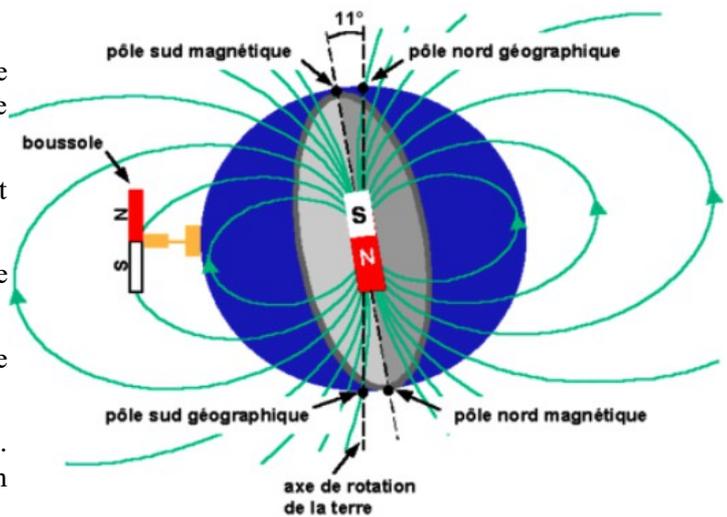
Le champ magnétique terrestre peut être considéré comme le champ créé par un aimant droit placé à quelques centaines de kilomètres du centre de la Terre.

L'axe de cet aimant fait un angle de l'ordre de 10° par rapport à l'axe de rotation de la Terre.

Ainsi, le pôle nord magnétique est à environ 1000 km du pôle géographique.

Le pôle nord magnétique se rapproche actuellement du pôle nord géographique à une vitesse moyenne de 40 km/an.

La position du pôle magnétique varie au cours de la journée. Il se déplace de plusieurs dizaines de km autour de sa position moyenne.



Le Pôle Nord magnétique terrestre est en réalité un pôle de magnétisme "sud" qui attire le pôle "nord" de l'aimant que constitue l'aiguille de la boussole.

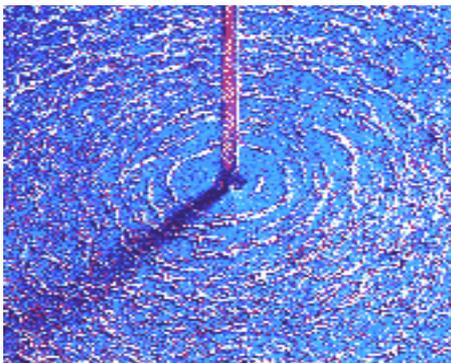
Ordre de grandeur :

La valeur du champ magnétique au centre de la France est de l'ordre de $B \approx 4,7 \cdot 10^{-5} \text{ T}$

4. Champs créés par les courants

4.1. Cas d'un fil rectiligne infini

Spectre



Commentaires

- Les lignes de champ sont des cercles concentriques
- Le champ est orienté suivant la règle de la main droite

Expression du champ créé :
$$\vec{B}(M) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \vec{u}_\theta$$

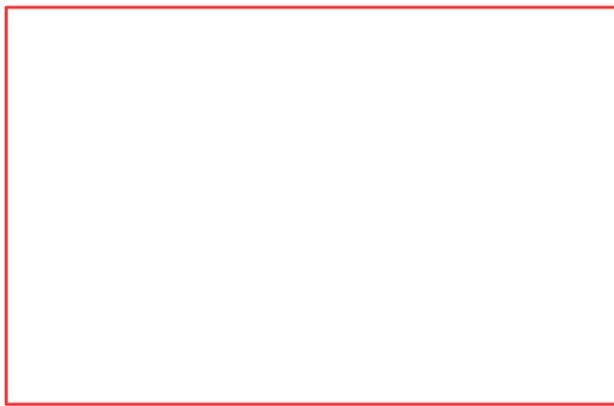
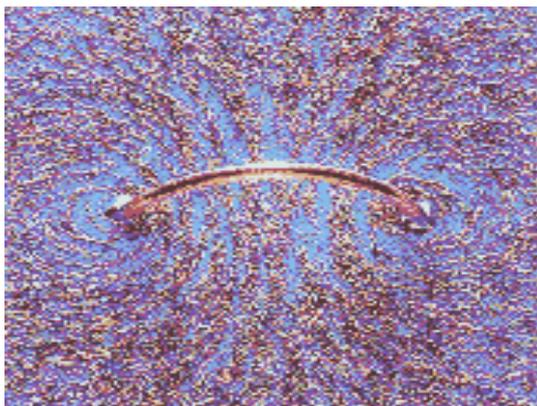
- μ_0 est la perméabilité magnétique du vide $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ SI. Elle est reliée à la permittivité du vide ϵ_0 par la relation: $\epsilon_0 \mu_0 c^2 = 1$.
- Le champ est proportionnel à l'intensité et dépend uniquement de la distance du point M au fil.

Application numérique

- Si $r = 2\text{cm}$ et $I = 10\text{A}$ alors $B = 10^{-4}$ T.
- Il faut réaliser des enroulements de fils (bobines) pour produire à l'aide de courants des champs magnétiques d'un ordre de grandeur acceptable.

4.2. Cas d'une spire circulaire

Spectre



Commentaires

- Les lignes de champ sont resserrées sur la surface de la spire, c'est là que la norme du champ est la plus intense.
- Les lignes de champ s'enroulent autour du courant et le champ est orienté suivant **la règle de la main droite**

Expression du champ créé au centre de la spire :

On montre que le champ au centre de la spire est donné par la formule :
$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2R} \vec{u}_z$$

- Le champ est proportionnel à l'intensité I du courant qui traverse la spire.

Application numérique :

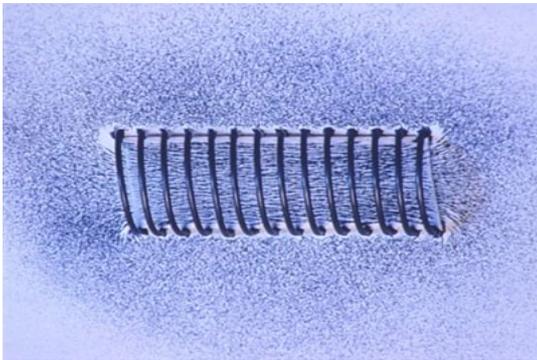
- Si $R = 2\text{cm}$ et $I = 10\text{A}$ alors $B = 3,14 \cdot 10^{-4}$ T.

Le champ est encore faible. On réalise pour cette raison des bobines.

4.3. Cas d'une bobine longue

Une bobine est un circuit constitué de spires jointives enroulées sur un cylindre . Elle est caractérisées par son rayon R et n son nombre de spire par unité de longueur . Dans le cas d'une bobine de longueur L comprenant N spires $n = \frac{N}{L}$. On étudie une bobine telle que $L \gg R$.

Spectre



Commentaires :

- Les lignes de champ vérifient la règle de la main droite.
- Le champ est quasi uniforme à l'intérieur de la bobine (les lignes de champ restent // sans se resserrer ni s'éloigner)

Expression du champ l'intérieur de la bobine :

On montre que pour une bobine longue ($L / R > 5$) la norme du champ est donné par la formule : $\vec{B} = \mu_0 n I \vec{u}_z$. Le champ est proportionnel à l'intensité I.

Application numérique :

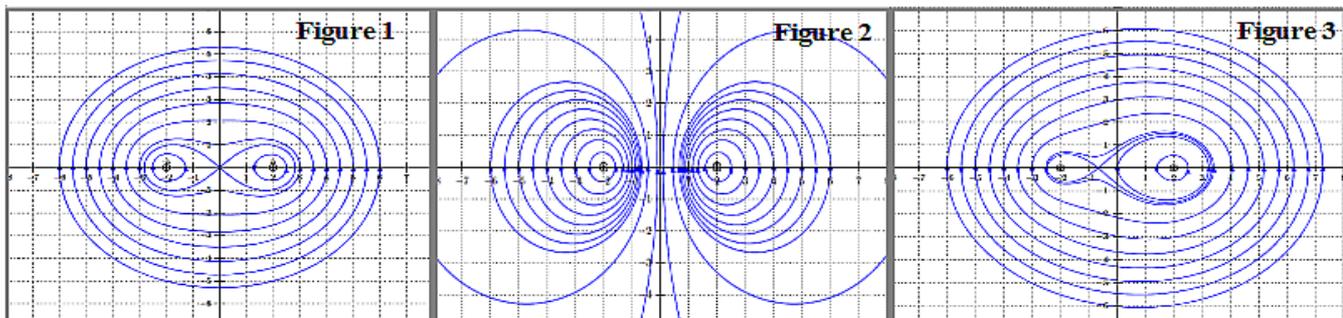
On considère une bobine formée de $N = 1000$ spires sur une longueur $L = 10$ cm parcourue par un courant $I = 0,5$ A, la norme du champ intérieur est :

$$B = 6,3 \cdot 10^{-3} \text{T.}$$

Rem : une bobine longue est aussi nommée solénoïde, du grec solen qui signifie tuyau.

4.4. Étude de spectres magnétiques (exemple de cours)

On a tracé à l'aide d'un logiciel de simulation, les cartes de champs magnétiques créés par des courants circulant dans des fils rectilignes perpendiculaires au plan de la figure.



1. Préciser dans chaque cas l'orientation du courant dans les fils.
2. Que peut-on dire de l'intensité relative ?
3. Préciser les points de champ nul.
4. Dans chaque cas que peut-on dire du champ à grande distance ?

5. Moment magnétique

5.1. Lignes de champ à grande distance

Une spire, une bobine longue, un aimant, ainsi que de nombreuses sources naturelles ou artificielles de champ magnétique admettent des lignes de champ magnétique de même allure à grande distance ($OP \gg$ la taille de la source).

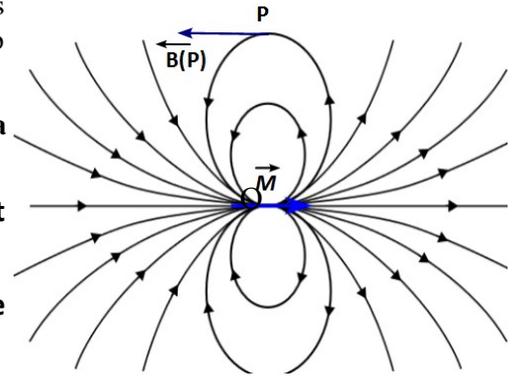
Afin de comparer leurs effets à grande distance, on les modélise en utilisant la notion de moment magnétique.

Les sources de champ sont qualifiées de dipôle magnétique et caractérisée par leur moment magnétique \vec{M} .

A grande distance, le champ créé par un dipôle magnétique ne dépend que de son moment magnétique \vec{M} .

L'unité du $\|\vec{M}\|$ est $A.m^2$.

Rem : La source n'est pas représentée car totalement concentrée au point O.

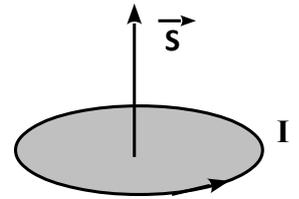


5.2. Vecteur surface d'une surface orientée

Définition :

Pour une surface orientée, de surface S , le vecteur surface \vec{S} est un vecteur de norme S , orthogonal à la surface, de sens donné par la règle de la main droite.

Si on considère une spire parcourue par un courant, le sens du courant permet d'orienter la surface. Le vecteur \vec{S} a alors l'orientation de la figure ci-contre :



5.3. Moment magnétique d'une boucle de courant

On admet que le moment magnétique d'une boucle de courant plane, de surface S , parcourue par un courant d'intensité i , est un vecteur $\vec{M} = i \vec{S}$. Son unité est $A.m^2$.

5.4. Moment magnétique d'un aimant

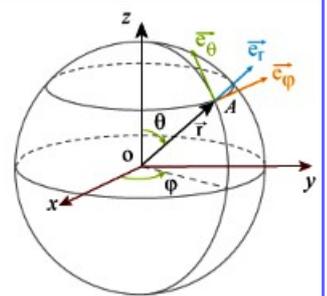
Les lignes de champ d'une boucle de courant et d'un aimant étant identiques à grande distance, on étend la notion de moment magnétique aux aimants. Le moment dépend de sa taille. L'ordre de grandeur du moment magnétique d'un aimant usuel est d'environ $10 A.m^2$.

Représentation du moment magnétique :



5.5. Le moment magnétique de la terre

Le champ magnétique terrestre est décrit en première approximation par le champ d'un dipôle magnétique situé au centre de la terre O, de moment magnétique : $\vec{M} = -M \vec{u}_z$, où $M = 7,9.10^{22} A.m^2$ et \vec{u}_z désigne le vecteur unitaire de l'axe géomagnétique de la terre. Un point de l'espace est repéré par ses coordonnées sphériques (r, θ, φ) par rapport à l'axe géomagnétique. En un point suffisamment éloigné de O les composantes de \vec{B} s'écrivent : $B_r = -\frac{\mu_0}{4\pi} M \frac{2 \cos \Phi}{r^3}$ et $B_\theta = -\frac{\mu_0}{4\pi} M \frac{\sin \Phi}{r^3}$ et $B_\varphi = 0$.



La norme du champ magnétique vers le centre de la France métropolitaine où $r = 6300 \text{ km}$ et $\Phi = 42^\circ$ vaut avec cette modélisation : $B = 5,1.10^{-5} T$