

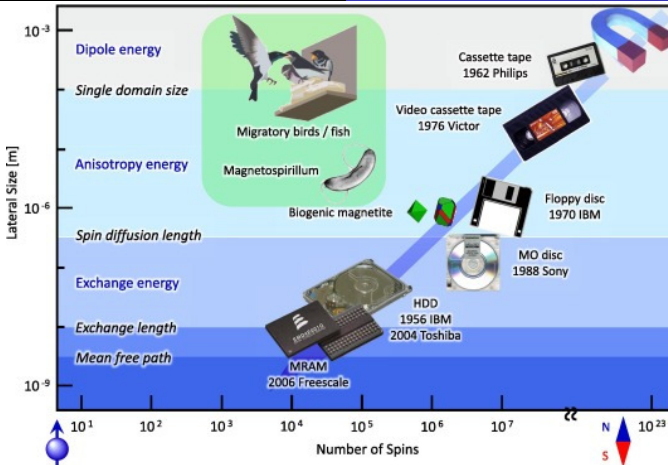
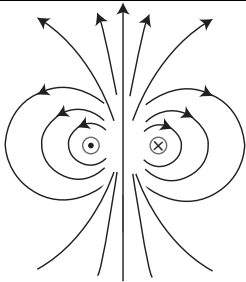
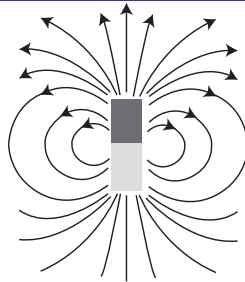


Figure – Différentes échelles associées aux dipôles magnétiques. D'après *Review on spintronics : Principles and device applications, Journal of Magnetism and Magnetic Materials* **509**,166711 (2020).



Spire



Aimant permanent

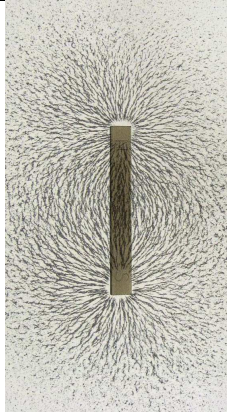


Figure – Champ créé par une spire ou un aimant droit. Dans le cas de la spire, perpendiculaire au plan de la feuille, le courant tourne en "entrant" par la gauche et en "sortant" de la page par la droite comme représenté ce qui conduit à l'orientation du champ magnétique en accord avec la règle de la main droite.



Définition :

Pour une spire parcourue par un courant I , le moment magnétique $\vec{\mathcal{M}}$ par

$$\vec{\mathcal{M}} = IS\vec{n}$$

où S est la surface de la spire parcourue par un courant I . Le vecteur $\vec{n}$ oriente la spire de façon directe d'après le sens du courant (cf. fig. 3).

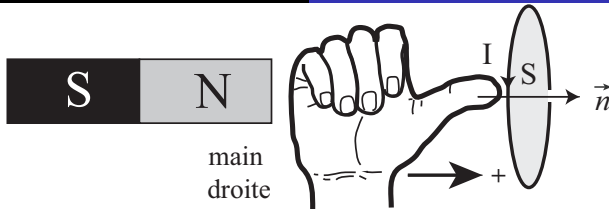


Figure – Orientation d'un moment magnétique

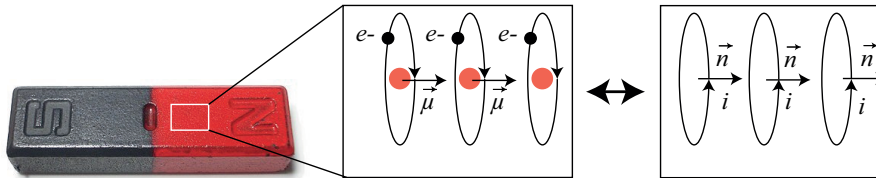


Figure – Contribution des électrons au moment magnétique d'un aimant droit. On rappelle que par convention, le courant circule en sens inverse des porteurs de charges négatives, ici les électrons.

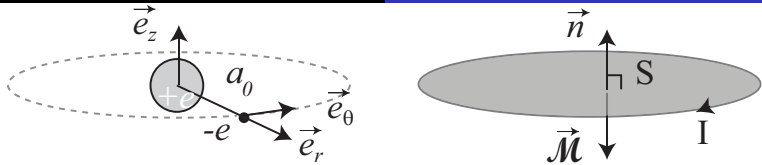


Figure – Modélisation d'un atome d'hydrogène par une spire.



Définition :

L'unité de moment magnétique atomique est appelé **magnéton de Bohr** s'exprime selon

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m} \approx 10^{-23} \text{ A.m}^{-2}$$

avec $e = 1,6.10^{-19} \text{ C}$, $\hbar = h/2\pi = 1,05.10^{-34} \text{ J.s}$, $m = 9,1.10^{-31} \text{ kg}$

Exemple 1

Estimer le moment magnétique de l'aiguille d'une boussole. On considérera qu'un seul électron par atome participe à son aimantation.

Données :

- Magnéton de bohr : $\mu_B = 9 \cdot 10^{-24} \text{ A} \cdot \text{m}^2$
- Dimensions de l'aiguille ($L \times l \times h$) : $4 \text{ cm} \times 5 \text{ mm} \times 0,5 \text{ mm}$
- Distance interatomique $d = 2 \cdot 10^{-10} \text{ m}$



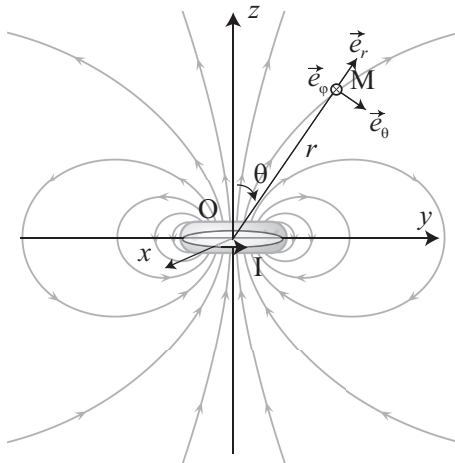


Figure – Lignes de champ et coordonnées sphériques pour un dipole magnétique selon $\vec{e}_z$, généré par une spire parcourue un courant d'intensité I .

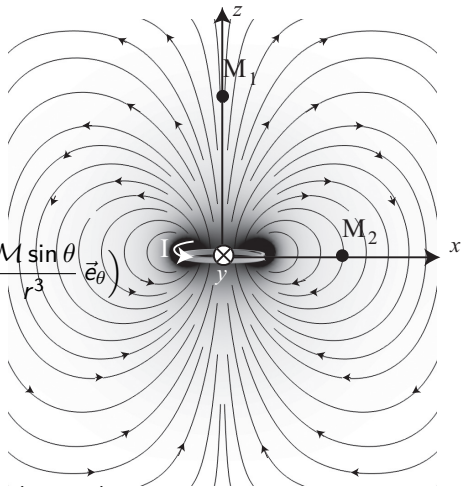
Exemple 2

On considère une spire parcourue par un courant I tel qu'indiqué sur la figure ci-contre. Le champ magnétique à grande distance est donné par :

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \left(\frac{2\mathcal{M} \cos \theta}{r^3} \vec{e}_r + \frac{\mathcal{M} \sin \theta}{r^3} \vec{e}_\theta \right)$$

1 - Exprimer dans la base cartésienne $Oxyz$, le champ magnétique au point M_1 de coordonnées $(0, 0, z_1)$ et au point M_2 de coordonnées $(x_2, 0, 0)$.

2 - Justifier l'orientation des vecteurs $\vec{B}(M_1)$ et $\vec{B}(M_2)$ par des



considérations de symétrie.

3 - Par des considérations sur les lignes de champ, justifier que le champ magnétique augmente lorsqu'on se rapproche de la spire.



Définition :

Le moment des forces sur un dipôle magnétique $\vec{\mathcal{M}}$ plongé dans un champ magnétique $\vec{B}$ uniforme est donné par

$$\vec{\Gamma} = \vec{\mathcal{M}} \wedge \vec{B}$$

Exemple 3

L'aiguille d'une boussole de longueur $L = 4,0 \text{ cm}$ et de masse $m = 0,80 \text{ g}$ oscille avec une période $T = 0,85 \text{ s}$. Le champ magnétique terrestre qui entoure l'aiguille aimantée vaut $B_0 = 48 \mu\text{T}$.

- 1 - Déterminer l'équation du mouvement vérifiée par θ , angle d'inclinaison de la boussole par rapport au champ magnétique.
- 2 - En déduire le moment magnétique de la boussole.

Données : moment d'inertie par rapport à son centre d'une barre homogène de longueur L : $J_{Oz} = mL^2/12$





Définition :

Plongé dans un champ magnétique $\vec{B}$ non uniforme, un moment magnétique fixe^a $\vec{\mathcal{M}}$ est soumis à une force

$$\vec{F} = \text{grad}(\vec{\mathcal{M}} \cdot \vec{B})$$

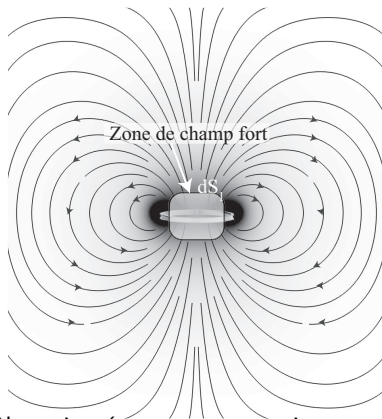
a. Comme dans le cas du dipôle électrique, cf chap. ??, cette expression s'utilise en ne dérivant que le champ magnétique.

Exemple 4

Sur la figure ci-contre sont représentées les lignes de champ magnétique créées par un dipôle placé au centre de la figure.

1 - Par des considérations sur les lignes de champ, justifier que deux dipôles orientés dans le même sens s'attirent l'un avec l'autre.

2 - De même, pour des dipôles orientés en sens contraire, montrer qu'ils se repoussent.





Définition :

Un moment magnétique permanent $\vec{\mathcal{M}}$ dans un champ magnétique $\vec{B}$ possède une énergie potentielle définie par : $\mathcal{E}_p = -\vec{\mathcal{M}} \cdot \vec{B}$

 **Exemple 5** Lors de la première guerre mondiale, des ingénieurs imaginaient des canons à propulsion magnétique permettant de tirer des projectiles en rafale en s'affranchissant de l'échauffement du fût du canon par les projectiles classiques à poudre.

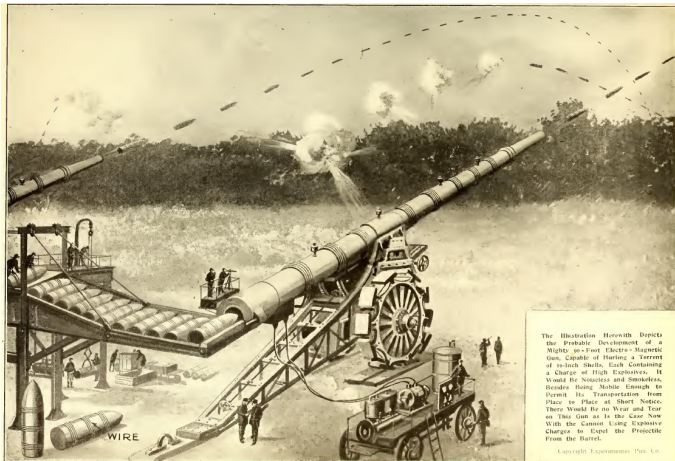


Fig. 2. Electro-Magnetic Gun of the Future, Which Can Hurt 10-inch High Explosive Shells 25 Miles and More. It Could Fire a Perfect String of Shells, Sufficient to Batter Down the Strongest Forts.

Canon électromagnétique Woltereck (1914)

On supposera que le projectile est un aimant permanent de masse

$m = 10,0 \text{ kg}$, de moment $\mathcal{M} = 1,00 \cdot 10^6 \text{ A.m}^2$ qui est accéléré par une bobine constituée de $N = 1000$ spires jointives de rayon $R = 20,0 \text{ cm}$.

1 - Représenter l'énergie potentielle du projectile. Justifier que cette propulsion nécessite d'annuler rapidement le courant à un moment donné.

2 - Déterminer l'intensité parcourue dans la bobine pour que la vitesse d'éjection soit de 300 m/s .

données :

- champ magnétique sur l'axe d'une spire centrée sur l'axe Oz :

$$B(z) = \frac{\mu_0 I}{2R} \frac{1}{(1+z^2/R^2)^{3/2}}$$

- $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$

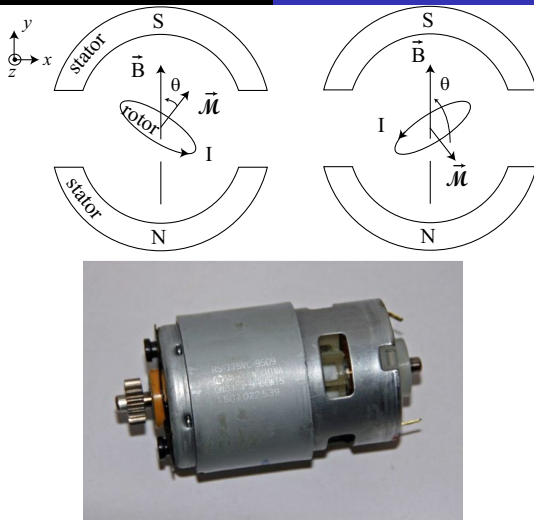


Figure – Schéma de principe d'un moteur à courant continu et moteur de perceuse.

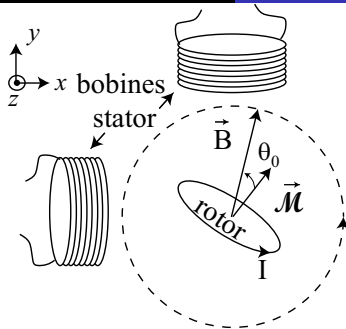




Figure – Schéma d'un moteur synchrone (gauche), rotor d'un moteur réel démonté (droite)

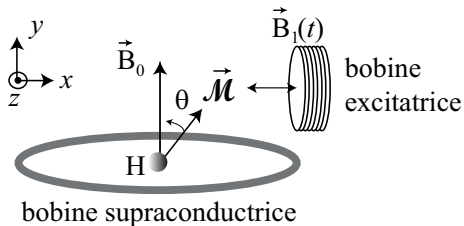


Figure – Principe de la RMN et bobines supra conductrices dans un institut de recherche.