

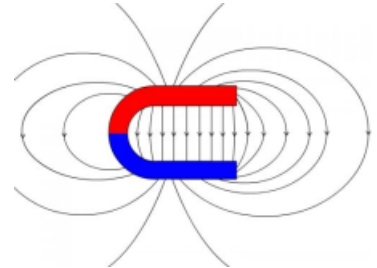
TD d'application : Champ magnétique et actions mécaniques



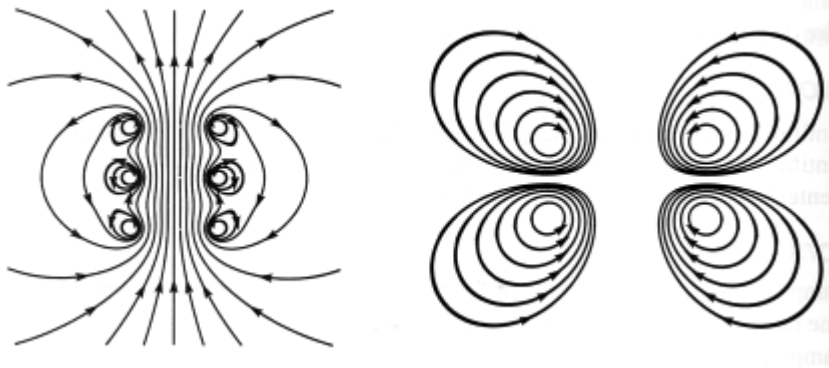
I Lectures de cartes

1) On donne ci-contre la carte de champ d'un aimant en U.

- 1) Donner l'emplacement des pôles, les zones de champ fort et faible.
- 2) Indiquer la zone où le champ est uniforme.
- 3) Préciser la direction du champ magnétique dans l'entrefer.
- 4) Donner deux autres moyens de créer un champ uniforme.



2) Dans les cartes de champ magnétique suivantes, où le champ est-il le plus intense ? Où sont placées les spires à l'origine de ces champs ? Indiquer pour chacune le sens de parcours du courant.



II Aimantation d'un matériau

Matériau	Aimantation ($\text{kA} \cdot \text{m}^{-1}$)
AlNiCo 200	600
Ferrite 1000	1700
NdFeB	3000
SmCo 17	4000

Le tableau ci-contre indique les ordres de grandeur d'aimantation de plusieurs matériaux magnétiques permettant de fabriquer des aimants permanents. L'aimantation d'un matériau est définie comme le **moment magnétique volumique**, c'est-à-dire le moment magnétique d'un échantillon de ce matériau divisé par son volume.

- 1) Rappeler la dimension d'un moment magnétique, et vérifier l'unité de l'aimantation donnée dans le tableau.
- 2) Les matériaux pour fabriquer des aimants permanents doivent-ils posséder une aimantation forte ou faible ?
- 3) Considérons un aimant cylindrique NdFeB (néodyme, fer, bore), d'épaisseur $e = 1 \text{ mm}$ et de rayon $R = 5 \text{ mm}$. Calculer son moment magnétique.
- 4) Combien de spires de même rayon R et parcourues par un courant d'intensité $I = 100 \text{ mA}$ faudrait-il bobiner pour obtenir le même moment magnétique ?



III Symétries et invariances

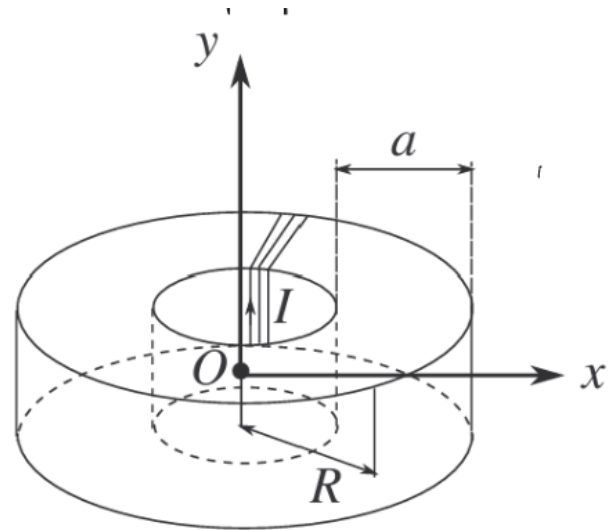
Dans chacune des situations suivantes, déterminer la forme générale du champ magnétique $\vec{B}(\text{M})$ en un point M quelconque de l'espace par une étude des symétries et invariances. Pour cela, on suivra la méthode suivante :

Méthode symétries et invariances

- a – Faire un schéma de la situation, choisir le système de coordonnées adapté et écrire la forme générale du champ magnétique $\vec{B}(\mathbf{M})$ en fonction des coordonnées choisies.
- b – Étudier les plans de symétrie et d'antisymétrie de la distribution de courant, et en déduire les composantes du champ magnétique. Pour cela :
 - ◇ Prendre un point $\mathbf{M}$ quelconque de l'espace.
 - ◇ Trouver un premier plan de la distribution de courant, et écrire la manière dont le champ magnétique se comporte par rapport à ce plan.
 - ◇ Barrer alors la ou les composantes nulle(s).
 - ◇ Recommencer pour chaque plan. À la fin, il ne reste qu'une composante (pour cet exercice).
- c – Étudier les invariances de la distribution de courant, et en déduire les variables dont dépend le champ magnétique.
- d – Conclure.

- 1) Une bobine longue infinie.
- 2) Un câble cylindrique rectiligne de rayon R parcouru uniformément en volume par des courants colinéaires à l'axe du câble.
- 3)

Une bobine torique, formée d'un enroulement de fil conducteur autour d'un solide, de section carrée et refermé sur lui-même.



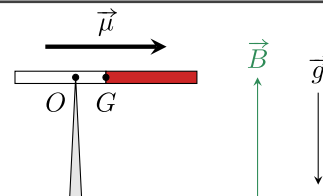
- 4) Un plan infini (Oxy) parcouru par des courants de surfaces uniformes, portés par $+\vec{u}_x$. Comment sont les champs magnétiques en deux points symétriques par rapport au plan (Oxy) ?

TD d'entraînement : Champ magnétique et actions mécaniques



I Équilibre d'un aimant

- 1) Un aimant très fin, de moment magnétique $\vec{\mu}$ et de masse m , repose en équilibre sur une pointe en O. Il est soumis à l'action d'un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ et au champ de pesanteur terrestre $\vec{g}$. On appelle G le centre d'inertie de l'aimant. Exprimer la distance $d = OG$ pour que l'aimant reste en équilibre horizontal.



II Mesure du champ magnétique terrestre

Dans un laboratoire situé à Paris, on souhaite déterminer la norme $\|\vec{B}_h\|$ de la composante horizontale locale $\vec{B}_h$ (dont le sens et la direction sont donnés sur la Figure I2.1) grâce à un dispositif d'ÆRSTED (Figure I2.2). Ce dernier est constitué d'une aiguille aimantée libre de pivoter sans frottement sur son axe, fixé à un socle transparent et un fil de cuivre relié à deux bornes de sécurité fixées au même socle transparent, de courant admissible 5 A.

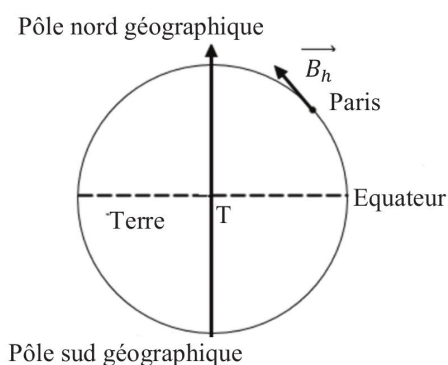


FIGURE I2.1 – Sens de la composante horizontale locale du champ magnétique terrestre à Paris.

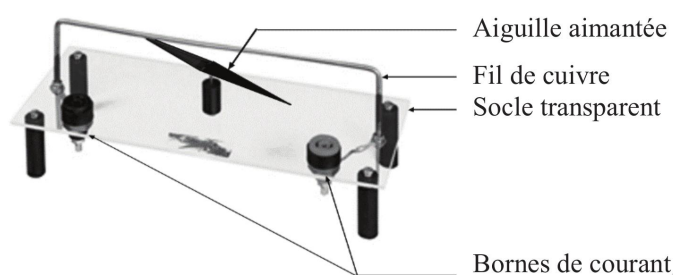


FIGURE I2.2 – Dispositif d'ÆRSTED

Matériel

- ◇ un rapporteur ;
- ◇ des fils électriques ;
- ◇ un interrupteur ;
- ◇ une alimentation électrique stabilisée [0 ; 30] V/5 A ;
- ◇ un ampèremètre ;
- ◇ un teslamètre permettant la mesure d'intensité de champs magnétiques entre [0,1 ; 100] mT.

Donnée

Le champ magnétique créé par un fil infini parcouru par un courant I s'exprime, dans un système de coordonnées cylindriques d'axe z orienté par le sens réel du courant, par :

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \vec{u}_\theta$$

avec $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H}\cdot\text{m}^{-1}$. On admet que le champ créé par le fil du dispositif d'ÆRSTED est convenablement décrit par cette expression.

On souhaite établir un protocole permettant de mesurer la composante horizontale locale du champ magnétique terrestre à Paris en exploitant le principe de superposition des champs magnétiques.

- 1) Pour quelle raison ne peut-on pas se servir directement du teslamètre pour effectuer la mesure ?

- 2) On suppose que le fil est parcouru par un courant d'intensité $I = 1 \text{ A}$. Calculer la valeur du champ magnétique à $r = 2 \text{ cm}$ du fil.
- 3) Décrire et schématiser l'expérience à réaliser en vous servant du matériel mis à votre disposition, exception faite du teslamètre.
- 4) Préciser les mesures à réaliser, et la technique numérique à employer pour trouver la valeur.
- 5) Donner un ordre de grandeur des grandeurs physiques à employer pour réaliser l'expérience.



III RAILS de LAPLACE inclinés

On reprend les rails de LAPLACE, mais en les inclinant : au lieu d'être horizontaux, ils forment un angle $\alpha = 30^\circ$ avec l'horizontale. Le champ magnétique est supposé stationnaire, uniforme, vertical dirigé vers le haut, de norme 150 mT . Le barreau mobile des rails de LAPLACE pèse $8,0 \text{ kg}$ et est long de $\ell = 12 \text{ cm}$. Les frottements sont négligés, de même que tout phénomène d'induction.

- 1) Faire un schéma du dispositif en représentant les différentes forces agissant sur le barreau mobile. Quel doit être le sens du courant dans le circuit pour que la force de LAPLACE retienne le barreau ?
- 2) Déterminer l'intensité du courant permettant l'équilibre du barreau.
- 3) Partant de cette situation, on communique au barreau une vitesse initiale v_0 dirigée vers le haut. Déterminer son mouvement ultérieur.
- 4) En raisonnant à partir de la loi de LENZ (chapitre suivant), indiquer qualitativement comment est modifiée la réponse à la question précédente lorsque l'on tient compte de l'induction.