TD ELM1 | Électromagnétisme

Action du champ magnétique

exercice sera corrigé en TD ;
exercice classique / important ; à maîtriser pour les concours ;
niveau de difficulté de l'exercice.

Parcours d'entrainement :

Je suis à l'aise avec le chapitre	toute la fiche
Je ne suis pas à l'aise	Exercices 1, 3, et 4

Les exercices issus du *cahier d'entrainement* sont à retrouver :

Les exercices au programme sont : 17.10, 17.11, 17.12 et 17.13.

Exercice 1 : Aimantation de la matière

d'après E. Thibierge

Le tableau ci-dessous 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 rapporté à son volume.

Matériau	**Aimantation (kA·m^{-1})**
AlNiCo 200	600
Ferrite 1000	1700
NdFeB	2000 à 4000
SmCo 5	2000 à 3000
SmCo 17	3500 à 5000

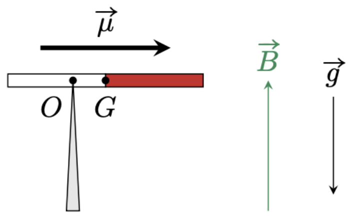
(1) Rappeler la dimension d'un moment magnétique et vérifier l'unité de l'aimantation donnée dans le tableau.
(2) Les matériaux pour fabriquer des aimants permanents doivent-ils posséder une aimantation forte ou faible ?
(3) Considérons un aimant rond NdFeB (néodyme, fer, bore) d'épaisseur $e = 1\,\mathrm{mm}$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

Exercice 2 : équilibre d'une aiguille

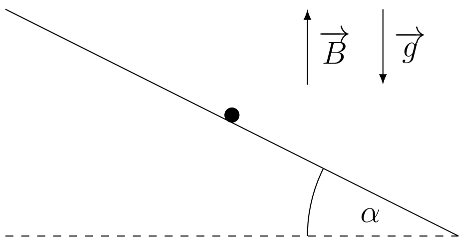
d'après M. Melzani et E. Thibierge

Un aimant très fin, de moment magnétique $\overrightarrow{\mu}$ et de masse m, repose en équilibre au sommet O d'une pointe. Il est soumis à un champ magnétique uniforme $\overrightarrow{B}$ et à la gravité.

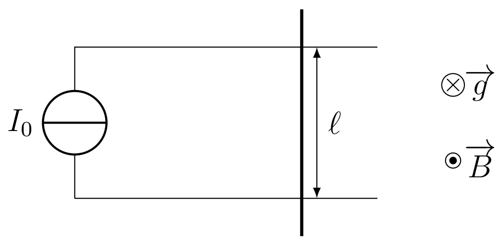
(1) Évaluer la distance $d = ||\overrightarrow{OG}||$ pour que l'aimant reste en équilibre vertical.



Exercice 3 : rail de Laplace inclinés



Vue de côté



Vue de dessus

Reprenons l'expérience des rails de Laplace, mais en les inclinant : au lieu d'être horizontaux, ils sont inclinés d'un angle $\alpha = 30°$ avec l'horizontale.

Le champ magnétique est supposé stationnaire, uniforme, vertical, dirigé vers le haut, de norme $||\overrightarrow{B}|| = 150\,\mathrm{mT}$.

Le courant I_0 sera également supposé constant.

Le barreau mobile des rails de Laplace pèse $m = 8{,}0\,\mathrm{g}$ et est long de $\ell = 12\,\mathrm{cm}$.

Les frottements sont négligés, de même que tout phénomène d'induction.

(1) Reproduire le 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 ?

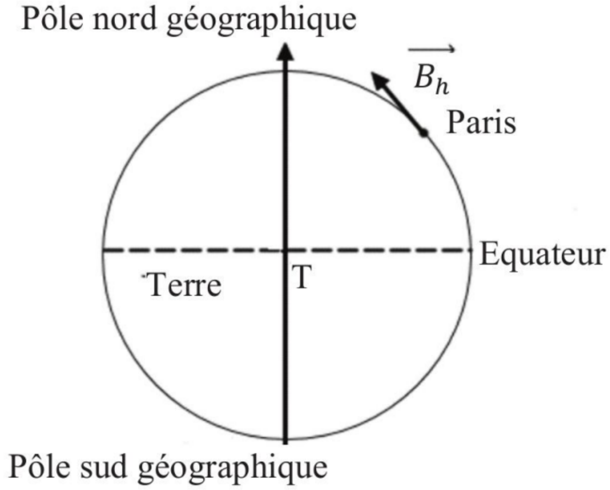
(2) Déterminer l'intensité du courant permettant l'équilibre du barreau.

(3) Partant de cette situation, on communique au barreau une vitesse initiale $\overrightarrow{v_0}$ dirigée vers le haut dans le sens des rails. Déterminer son mouvement ultérieur.

Exercice 4 : champ magnétique terrestre

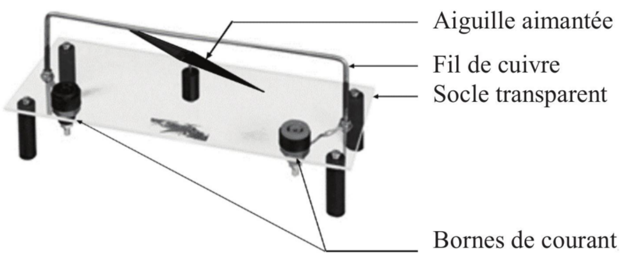
oral de CCINP

Dans un laboratoire situé à Paris, on souhaite déterminer la norme $||\overrightarrow{B_h}||$ de la composante horizontale locale $\overrightarrow{B_h}$ dont le sens et la direction sont donnés sur la ci-dessous.



Matériel disponible :

- 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, représenté figure suivante ;
- un rapporteur ;
- des fils électriques ;
- un interrupteur ;
- une alimentation électrique stabilisée 0 V − 30 V / 5 A ;
- un ampèremètre ;
- un teslamètre de gamme 0,1 mT à 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

$$\overrightarrow{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}\overrightarrow{e_\theta}$$

où $\mu_0 = 4\pi \times 1 \times 10^{-7}\,\mathrm{H\,m^{-1}}$ est la perméabilité du vide.

On admet que le champ créé par le fil du dispositif d'Ørsted 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 magnétostatiques.

1 Pour quelle raison ne peut-on pas se servir directement du teslamètre pour effecturer 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.

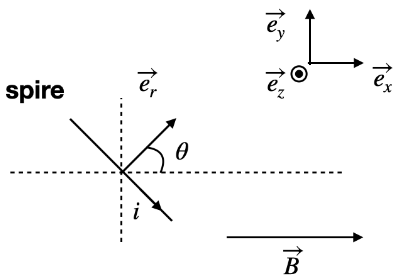
4 Préciser les mesures à réaliser.

5 Donner un ordre de grandeur des grandeurs physiques à employer pour réaliser l'expérience.

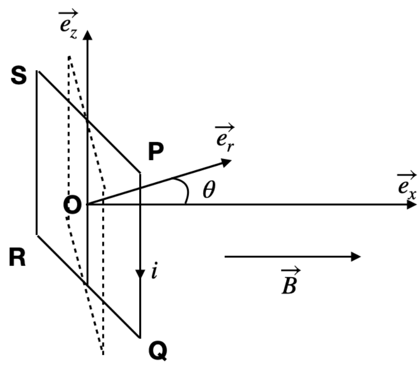
Exercice 5 : Ampèremètre à cadre mobile

d'après O. Fiat

Un ampèremètre à cadre mobile est constitué d'une spire dans laquelle nous faisons circuler le courant dont on veut connaitre l'intensité. La présence de ce courant va modifier la position d'équilibre de la spire, ce qui permet d'en déduire le courant après étalonnage de l'appareil. Cet instrument ne permet que la mesure de courant continu.



a) vue de dessus



b) vue en « 3D »

FIGURE 1 – Schéma de principe de l'ampèremètre à cadre mobile

Nous supposons que la spire est un cadre carré $(PQRS)$, de centre O est en rotation autour de l'axe (O, z) (voir figure 1). La longueur d'un côté est égale à L.

Les points d'intersection du cadre avec l'axe (O, z) sont notés I et J (voir figure). Un couple de rappel est exercé par un ressort sur cet axe de telle sorte que le moment sur l'axe soit $\Gamma = -k\,(\theta_0 - \theta)$.

L'angle de rotation est noté θ entre $\overrightarrow{e_x}$ et $\overrightarrow{e_r}$. $k > 0$ est la constante de rappel du ressort. θ_0 est une constante angulaire d'étalonnage à courant nul.

La spire est parcourue par un courant i constant. Elle est de plus plongée dans un champ magnétique uniforme et constant $\overrightarrow{B} = B_0\overrightarrow{e_x}$.

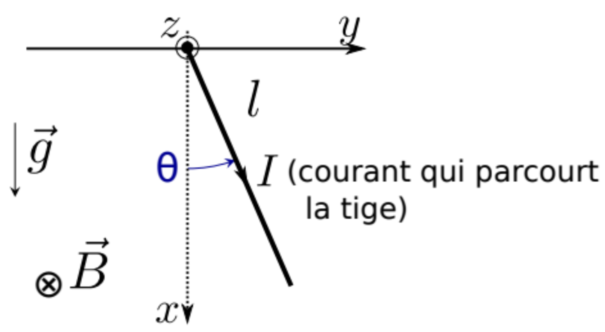
1 Faire le bilan des actions mécaniques sur la spire.

(2) Montrer que l'action des forces de *Laplace* sur la spire est équivalente à un couple de moment $\overrightarrow{\Gamma_L} = -iL^2 B_0 \sin(\theta)\overrightarrow{e_z}$.
(3) En déduire que la mesure de θ à l'équilibre permet de déterminer i.

Exercice 6 : Pendule magnétique

d'après M. Melzani

L'objectif de l'exercice est de décrire le comportement d'un pendule pesant, conducteur électrique, placé dans un champ magnétique. On négligera tout phénomène d'induction ainsi que tout frottement.



On modélise ce pendule par une tige rigide, homogène, de masse m et de longueur ℓ, libre de tourner autour d'un axe horizontal (Oz) passant par une de ses extrémités par une liaison pivot supposée parfaite.

On note J son moment d'inertie par rapport à cet axe. Le centre de masse G de la tige est situé en son milieu.

La position angulaire du pendule est repérée par l'angle θ qu'il forme avec la verticale.

Un dispositif non représenté permet de faire circuler un courant électrique d'intensité I dans la tige. Le pendule est placé dans un champ magnétique $\overrightarrow{B} = -B\overrightarrow{e_z}$, supposé constant et uniforme à l'échelle du pendule.

On suppose le courant I constant.
(1) Établir l'expression de la résultante des forces de Laplace qui s'exerce sur la tige.
(2) Montrer que le moment selon l'axe (Oz) des forces de Laplace s'écrit $\Gamma_{Oz}(\overrightarrow{F_L}) = I\ell^2 B$.
(3) Lister les autres actions mécaniques (autres que celles de Laplace) subies par le pendule et déterminer leurs moments par rapport à l'axe (Oz).
(4) Déterminer la ou les positions d'équilibre θ_E du pendule. Y a-t-il toujours existence d'une position d'équilibre ?
(5) Établir l'équation différentielle vérifiée par θ lorsqu'il y a mouvement, et la mettre sous la forme :

$$\ddot{\theta} + \omega_0^2 \theta = kI$$

avec ω_0 et k deux constantes dont on donnera l'expression en fonction de m, g, ℓ, J et B.

On suppose le mouvement tel que l'on peut faire l'approximation des petits angles. On lâche sans vitesse initiale la tige d'un angle θ_0.
(6) Déterminer l'expression de la solution $\theta(t)$ en fonction de θ_0, k, I, ω_0 et t. Quelle est l'expression de la période des oscillations ?