

Champ magnétique

-  Difficulté d'analyse et compréhension, initiative requise ;
-  Difficulté technique et calculatoire ;
-  Exercice classique et/ou important.

Flasher ou cliquer
pour accéder
au corrigé



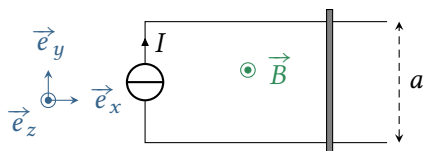
Se préparer

Applications de cours

Ces applications de cours sont des briques élémentaires des raisonnements à mener dans les exercices : les maîtriser est incontournable. Elles sont toutes traitées de manière exhaustive dans le cours.

I1.1 - Déterminer la direction du champ magnétique créé par un fil rectiligne infini et la/les variable(s) d'espace dont il dépend. La justification s'appuiera **obligatoirement** sur un schéma propre sur lequel figureront le(s) plan(s) intéressant(s).

I1.2 - Déterminer la direction du champ magnétique créé par un solénoïde infini et la/les variable(s) d'espace dont il dépend. La justification s'appuiera **obligatoirement** sur un schéma propre sur lequel figureront le(s) plan(s) intéressant(s).



I1.3 - Exprimer la force de Laplace subie par la tige mobile dans l'expérience des rails de Laplace, schématisée ci-contre.

I1.4 - Considérons un aimant de moment magnétique $\vec{\mu}$, en liaison pivot autour d'un axe (Oz) vertical passant par son centre de masse. Cet aimant est placé dans un champ magnétique extérieur $\vec{B} = B\vec{e}_x$ uniforme. Établir l'équation différentielle du mouvement. Établir l'expression de l'énergie potentielle magnétique en utilisant l'intégrale première.

I1.5 - Considérons un aimant de moment magnétique $\vec{\mu}$, en liaison pivot autour d'un axe (Oz) vertical passant par son centre de masse. Cet aimant est placé dans un champ magnétique extérieur $\vec{B} = B\vec{e}_x$ uniforme. Rappeler sans démonstration l'expression de l'énergie potentielle magnétique. En s'appuyant sur un graphe d'énergie potentielle, identifier les positions d'équilibre de l'aimant et analyser leur stabilité. En supposant l'aimant initialement aligné sur le champ, déterminer la vitesse angulaire minimale à lui communiquer pour qu'il ait un mouvement révolutif.

I1.6 - Montrer qu'un champ magnétique tournant peut être créé à partir de deux bobines placées à 90° l'une de l'autre. En déduire le principe de fonctionnement d'un moteur synchrone, et mettre en évidence la condition de synchronisme.

Cahier d'Entraînement



Le *Cahier d'Entraînement* est un projet collaboratif mené par des enseignants de CPGE, proposant aux étudiants des entraînements leur permettant de travailler en autonomie sur des techniques et « réflexes » utiles dans les exercices, en particulier calculatoires. Il est librement téléchargeable en scannant ou cliquant sur le QR-code ci-contre.

→ pour ce chapitre : 16.9, 16.10, 16.11, 16.13, 17.10, 17.12, 17.13

Cartes de champ magnétique

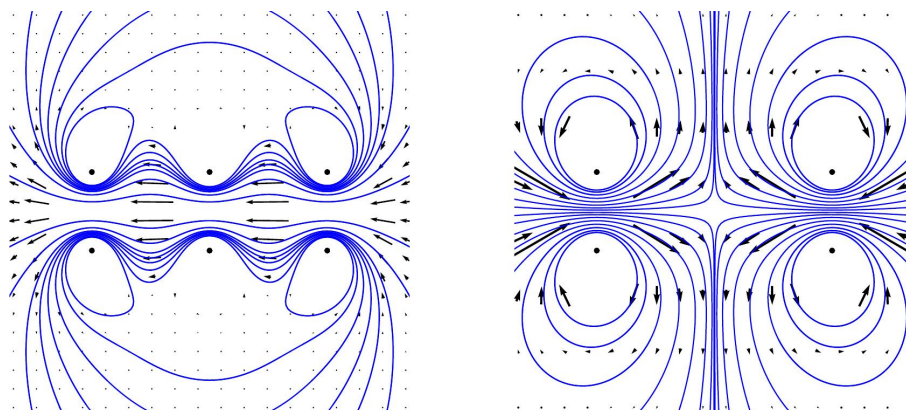
Exercice 1 : Cartes de champ magnétique

1 | ✂ 0



► Analyse d'une carte de champ.

Les champs magnétiques représentés par les cartes ci-dessous sont obtenus avec des courants électriques (pas d'aimants). Dans les deux cas, indiquer la position des sources, le sens du courant, les zones de champ fort et faible, et le cas échéant s'il existe une zone de l'espace où le champ magnétique est uniforme.

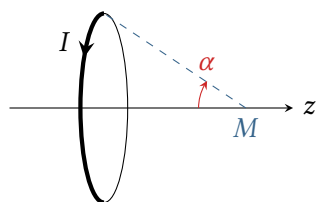


Exercice 2 : Champ sur l'axe d'une spire

2 | ✂ 2 | ⊗



► Symétries et invariances ;
► Moment magnétique.



Le champ créé par une spire circulaire de rayon R parcourue par un courant d'intensité I peut se calculer analytiquement. En un point M de cote z appartenant à l'axe de la spire,

$$||\vec{B}(M)|| = \frac{\mu_0 I}{2R} \sin^3 \alpha.$$

où α est l'angle sous lequel la spire est vue depuis le point M .

- 1 - Déterminer la direction de $\vec{B}(M)$, et l'exprimer en fonction de z et R sans faire intervenir α .
- 2 - Exprimer le moment magnétique $\vec{m}$ de la spire.
- 3 - Montrer que lorsque le point M est très éloigné de la spire ($z \gg R$), le champ sur l'axe s'exprime uniquement en fonction du moment magnétique $\vec{m}$ et de z .

Exercice 3 : Aimantation

1 | ✂ 1



► Moment magnétique.

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

Le tableau ci-contre indique les ordres de grandeur d'aimantation de plusieurs matériaux magnétiques permettant de fabriquer des aimants permanents. L'aimantation $\vec{M}$ 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.

- 1 - Rappeler la dimension d'un moment magnétique et vérifier l'unité de l'aimantation donnée dans le tableau.

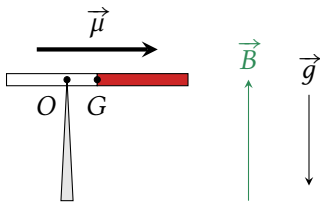
- 2 - Les matériaux pour fabriquer des aimants permanents doivent-ils posséder une aimantation forte ou faible ?
- 3 - Considérons un aimant rond NdFeB (néodyme, fer, bore) d'épaisseur $e = 1 \text{ mm}$ et de rayon $R = 5 \text{ mm}$. Calculer son moment magnétique.
- 4 - Combien de spires de même rayon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

Action mécanique d'un champ magnétique

Exercice 4 : Équilibre d'un aimant



-  $\triangleright$ Moment magnétique ;
 $\triangleright$ Couple magnétique.

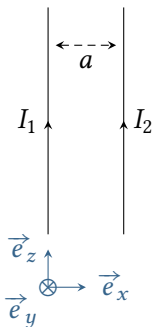


Un aimant très fin, de moment magnétique $\vec{\mu}$ et de masse m , repose en équilibre au sommet O d'une pointe. Il est soumis à un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ et à la gravité. Évaluer la distance $d = OG$ pour que l'aimant reste en équilibre vertical.

Exercice 5 : Définition historique de l'ampère



-  $\triangleright$ Symétries et invariances ;
 $\triangleright$ Force de Laplace.



Considérons deux fils rectilignes de grande longueur L , distants de a . Le champ créé à distance r par un fil infini parcouru par un courant I a pour norme

$$B(r) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}.$$

- 1 - Déterminer la direction et le sens de $\vec{B}_1$ au niveau du fil ②.
- 2 - Exprimer dans la base cartésienne la force exercée par le fil ① sur le fil ②. En déduire celle exercée par le fil ② sur le fil ①. Les fils s'attirent ou se repoussent-ils ?

3 - Entre 1948 et 2019, l'ampère était défini de la façon suivante : « Un ampère est l'intensité d'un courant constant qui, s'il est maintenu dans deux conducteurs linéaires et parallèles, de longueurs infinies, de sections négligeables et distants d'un mètre dans le vide, produit entre ces deux conducteurs une force linéaire égale à $2 \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ ». Montrer que cette définition revient à fixer la valeur de μ_0 et la calculer.

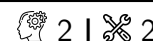
L'ampère a été redéfini en 2019 à partir de la charge élémentaire : désormais, elle est fixée par convention à $e = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19} \text{ A} \cdot \text{s}$. La seconde étant définie par ailleurs (via la fréquence d'une raie spectrale du césium), il s'agit bien d'une définition de l'ampère. D'autre part, la nouvelle définition du kilogramme fixe la valeur numérique de la constante de Planck h . Ces deux constantes h et e interviennent dans la description de phénomènes quantiques utilisés pour mesurer des tensions, résistances ou courants. Fixer leurs valeurs numériques permet une précision accrue.

Exercice 6 : Moteur synchrone

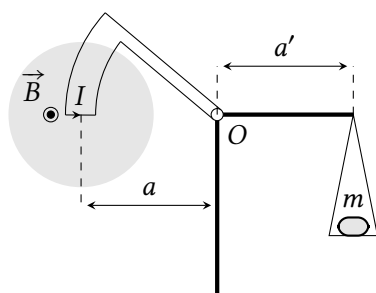
- ▷ Champ magnétique tournant ;
- ▷ Moment magnétique ;
- ▷ Moment cinétique.

Considérons un modèle simple de moteur synchrone. Le rotor, de moment magnétique $\vec{\mu}$, tourne avec la même vitesse angulaire ω constante que le champ magnétique $\vec{B}$ qui l'entraîne. On néglige tout frottement interne au moteur. On s'intéresse à l'angle interne du moteur θ orienté de $\vec{\mu}$ vers $\vec{B}$ et au couple $\vec{M}$ exercé par le champ sur le moment magnétique. On prendra $B = 0,2 \text{ T}$, $m = 8 \text{ A} \cdot \text{m}^2$ et une fréquence de rotation de 50 tours par seconde.

- 1 - Proposer un dispositif simple permettant de réaliser le champ magnétique tournant.
- 2 - Que vaut θ si le moteur fonctionne à vide ?
- 3 - Le moteur doit entraîner une charge mécanique qui exerce un couple résistant $M_r = 0,65 \text{ N} \cdot \text{m}$. Calculer l'angle interne et la puissance mécanique fournie par le moteur. D'où provient cette puissance ?
- 4 - La vitesse de rotation dépend-elle de la charge ? Quel est le couple maximal que peut fournir ce moteur ?

Exercice 7 : Balance de Cotton

- ▷ Force de Laplace ;
- ▷ Moment cinétique.



La balance de Cotton est un dispositif ancien, développé au tout début du XX^e siècle par Aimé Cotton pour mesurer avec précision des champs magnétiques. Elle est constituée de deux bras rigidement liés l'un à l'autre en O. La partie de gauche comprend sur sa périphérie un conducteur métallique qui est parcouru par un courant et dont une partie est placée dans le champ magnétique uniforme et permanent à mesurer, représenté par la zone grisée. Dans cette partie, les conducteurs aller et retour sont des arcs de cercle de centre O, reliés par une portion horizontale de longueur L. Le bras droit comporte un plateau sur lequel est déposée une masse m afin d'équilibrer la balance.



La balance peut tourner sans frottement dans le plan de la figure autour du point O. À vide, c'est-à-dire sans champ magnétique ni masse m, la position du plateau est ajustée afin que la balance soit à l'équilibre avec le bras de droite parfaitement horizontal.

- 1 - Montrer que le moment en O des forces de Laplace s'exerçant sur les parties en arc de cercle est nul.
- 2 - À l'équilibre, en présence de courant et de champ magnétique, établir l'expression du moment en O des forces de Laplace.

3 - En déduire la relation entre la masse m à poser sur le plateau pour retrouver la configuration d'équilibre et le champ magnétique B, à exprimer en fonction de a, a', l, I et de l'intensité de la pesanteur g.

4 - La sensibilité de la balance étant de $\delta m = 0,05 \text{ g}$, en déduire la plus petite valeur de B mesurable pour $a = a' = 25 \text{ cm}$, $L = 5 \text{ cm}$ et $I = 5 \text{ A}$. En comparant cette valeur avec une ou des références connues, conclure quant à l'utilisabilité de la balance.

Exercice 8 : Cadre oscillant

- ▷ Moment magnétique ;
- ▷ Énergie potentielle.

Un cadre conducteur rectangulaire, de masse m et moment d'inertie J , tourne sans frottement autour d'un axe fixe Δ horizontal confondu avec un de ses côtés, voir figure 1. Un dispositif non représenté sur la figure maintient un courant d'intensité $i > 0$ constante dans le cadre. Le cadre est placé dans un champ magnétique $\vec{B}$ vertical, de sens opposé à $\vec{g}$.

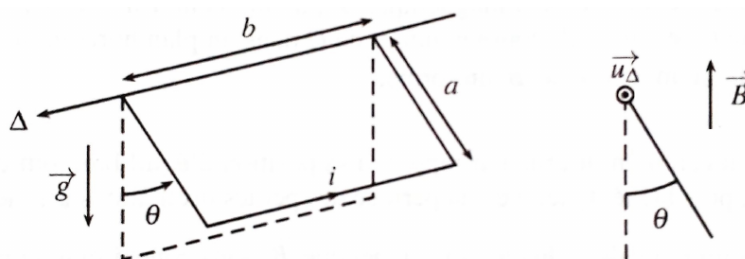


Figure 1 – Cadre oscillant autour d'un de ses côtés.

- 1 - Déterminer la/les position(s) d'équilibre θ_{eq} du cadre et analyser leur stabilité.
- 2 - Déterminer la pulsation des petites oscillations.