

Le champ magnétique et ses actions

Travaux Dirigés

Méthodologie : Comment travailler les exercices ?

Avant la séance de TD :

- Sur une feuille de brouillon, avec un crayon à la main et le chapitre ouvert sous les yeux.
- Essayer des « trucs » même si cela n'aboutit pas.
- Faire des schémas complets et suffisamment grands.
- Ne rien écrire sur l'énoncé de TD afin de pouvoir refaire les exercices après la correction en classe.
- Réfléchir environ 10 à 15 min sur chaque exercice demandé. Si vous bloquez complètement sur une question/un exercice, passez à la suite au bout de 10 min, et me poser des questions.

Après la séance de TD :

- Refaire les exercices corrigés ensemble, sans regarder le corrigé dans un premier temps.
- Une fois l'exercice terminé ou si vous êtes totalement bloqué, reprendre avec le corrigé.

En autonomie

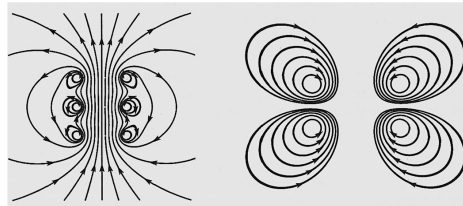
Cahier d'entraînement : fiche 16 : 16.1 à 16.3 et 16.7 à 16.14 et 16.17, fiche 17 : 17.13

Savoir-faire

Savoir-faire 1 – Exploiter une représentation graphique d'un champ vectoriel, identifier les zones de champ uniforme et l'emplacement des sources.

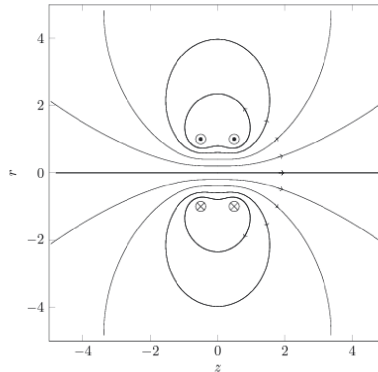
On visualise les lignes de champ magnétique suivantes créées par des conducteurs filiformes. Pour chaque cas, répondre aux questions suivantes :

- Où, sur une ligne de champ donnée, le champ est-il le plus intense ?
- Indiquer les zones où le champ peut être considéré comme uniforme.
- Où sont placées les sources ?
- Le courant sort-il ou rentre-t-il de la figure ?



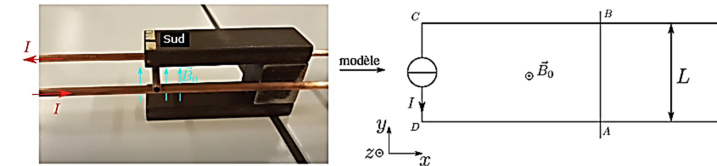
Savoir-faire 2 – Savoir exploiter les symétries et les invariances des sources

- Déterminer les plans de symétrie et d'antisymétrie de la distribution de courant.
- Choisissez deux points M et M' symétriques par rapport à un plan d'antisymétrie de la distribution de courant. Représenter les champs magnétiques $\vec{B}(M)$ et $\vec{B}(M')$ en M et M' . Que pouvez-vous en dire ?
- Comment est le champ magnétique en un point M du plan d'antisymétrie ?
- Choisissez deux points M et M' symétriques par rapport à un plan de symétrie de la boucle de courant. Représenter les champs magnétiques $\vec{B}(M)$ et $\vec{B}(M')$ en M et M' . Que pouvez-vous en dire ?
- Comment est le champ magnétique en un point M du plan de symétrie ?

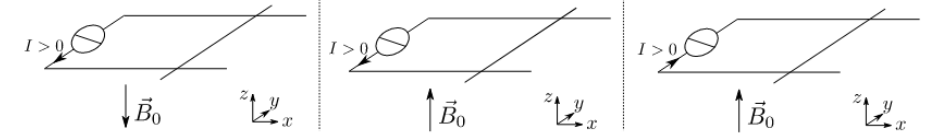


Savoir-faire 3 – Etude des rails de Laplace

On considère le circuit électrique plan ci-dessous, dans lequel une tige peut glisser sur des rails sans que le contact électrique soit rompu. L'ensemble est placé dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}_0$ normal au plan du circuit. On désigne par L la distance entre les rails.

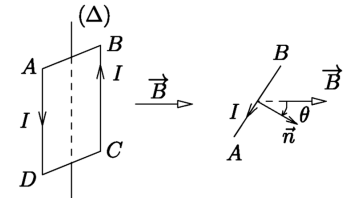


- Donner l'expression de la résultante des forces de Laplace en fonction de I , B_0 , L et d'un vecteur unitaire à préciser.
- Prévoir le sens de déplacement de la tige mobile dans chacun des trois cas ci-dessous.



Savoir-faire 4 – Déterminer le couple de Laplace sur une spire rectangulaire

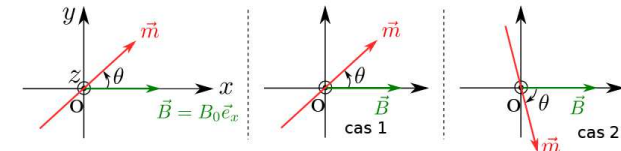
Soit un cadre rectangulaire $ABCD$ conducteur, de côtés $AB = 2a$ et $BC = 2b$, plongé dans un champ magnétique $\vec{B}$ fixe et uniforme. Il peut tourner sans frottements autour d'un axe passant par le milieu des côtés $[AB]$ et $[CD]$, tel que le champ $\vec{B}$ est toujours perpendiculaire à l'axe du cadre.



- Montrer que, lorsqu'il est parcouru par un courant d'intensité I , le cadre subit un couple Γ_L . Déterminer son expression.
- Écrire l'équation différentielle régissant l'évolution temporelle de l'angle θ .
- Citer une application pratique de ce système.

Savoir-faire 5 – Étudier le couple de Laplace sur une spire rectangulaire

On considère une boussole : c'est une aiguille aimantée libre de tourner sur un axe passant par son centre. On la modélise par un moment magnétique $\vec{m}$. Elle est dans un champ magnétique extérieur uniforme $\vec{B} = B_0 \cdot \vec{e}_x$.



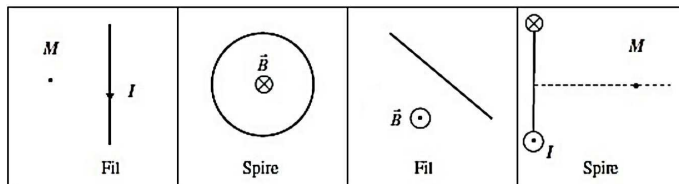
- Donner l'expression du couple exercé par le champ $\vec{B}$ sur l'aiguille.
- Sur les cas 1 et 2 ci-dessus, indiquer dans quel sens ce couple tend à faire tourner l'aiguille.
- Démontrer qu'il y a une position d'équilibre en $\theta = 0$ et une en $\theta = \pi$. Laquelle de ces positions est-elle stable / instable ?

On note J le moment d'inertie de l'aiguille par rapport à l'axe Oz . On néglige toute autre action que celle du champ.

- Donner l'équation du mouvement portant sur l'angle θ .
- Donner la pulsation des petites oscillations.

Exercices incontournables

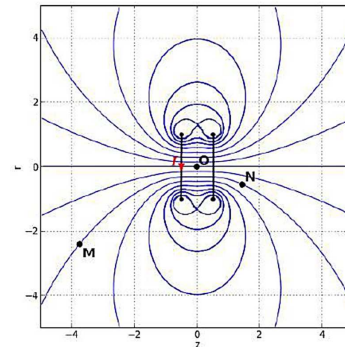
Exercice 1 : Questions d'orientation (★★★)



Q1. Déterminer selon le cas l'orientation du champ magnétostatique $\vec{B}$ au point M ou le sens du courant ($I > 0$) pour le conducteur.

Exercice 2 : Bobines de Helmholtz (★★★)

On considère deux bobines de rayon R parcourues par le même courant (même intensité I , même sens), séparées d'une distance R . Un tel dispositif est appelé bobines de Helmholtz. La figure ci-contre représente quelques lignes de champ associées à ce dispositif.



- Q1. Il est utilisé pour créer un champ magnétique uniforme. Dans quelle région cela est-il le cas ?
 Q2. Dans quelles zones le champ est-il le plus faible ?
 Q3. Représenter qualitativement le vecteur $\vec{B}$ aux points M et N .
 Q4. Comment est le courant dans la seconde bobine ?
 Q5. Que vaudrait le champ en O si l'on inversait le sens du courant dans une des deux bobines ?

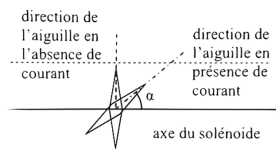
Exercice 3 : Champ créé par une bobine longue (★★★)

On considère une bobine de longueur $L = 60$ cm, de rayon $R = 4$ cm, parcourue par un courant d'intensité $I = 0,6$ A. On donne $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ S.I.

- Q1. La formule du champ d'un solénoïde infini est-elle valable ?
 Q2. Déterminer le nombre de spires nécessaires pour obtenir un champ de 1 mT.
 Q3. La bobine est réalisée en enroulant un fil de 1,5 mm de diamètre autour d'un cylindre en carton. Combien de couches faut-il pour obtenir le champ précédent ?

Exercice 4 : Champ magnétique terrestre (★★★)

Pour mesurer approximativement la composante horizontale du champ magnétique terrestre, on utilise le dispositif suivant : une petite aiguille aimantée est placée à l'intérieur d'un solénoïde (qu'on considère infini), de manière à ce que, en l'absence de courant dans le solénoïde, l'aiguille soit orthogonale à son axe.



- Q1. Indiquer qualitativement ce qui se produit lorsqu'un courant circule dans le solénoïde.
 Q2. Avec un courant d'intensité $i = 96$ mA, on relève $\alpha = 37^\circ$. Sachant que le solénoïde comporte $N = 130$ spires et que sa longueur est $L = 60$ cm, calculer la valeur de la composante horizontale du champ magnétique terrestre.
 Q3. On estime que l'incertitude sur l'angle est de 2° , et on néglige les incertitudes sur les autres grandeurs. Quelle est l'incertitude sur la valeur du champ ?

Exercice 5 : Définition de l'Ampère (★★★)

- Q1. Rappeler l'expression du champ magnétique créé par un courant permanent I parcourant un fil rectiligne supposé infini.

Deux fils rectilignes infinis, parallèles, distants de $d = 1$ m l'un de l'autre, sont parcourus par des courants I identiques mais en sens contraire.

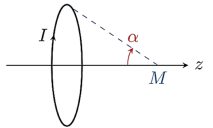
- Q2. Quelle est la force par unité de longueur exercée par l'un des deux fils sur l'autre ?
 Q3. Faire un schéma indiquant clairement la direction et le sens de cette force.
 Q4. Quelle doit être l'intensité I pour que cette force soit égale à $2 \cdot 10^{-7}$ N/m ?
 Données : $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ SI

Exercice d'entraînement

Exercice 6 : Champ sur l'axe d'une spire (★★★)

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, il prend la forme particulièrement simple :

$$\vec{B}(M) = \pm \frac{\mu_0 I}{2R} \sin^3(\alpha) \cdot \vec{u}_z$$



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

- Q1. Dans quel sens est orienté le champ $\vec{B}$ en M ? En déduire le signe $\pm$ à conserver dans l'expression de $\vec{B}(M)$.
 Q2. Exprimer le moment magnétique $\vec{M}$ de la spire.
 Q3. Montrer que lorsque le point M est très éloigné de la spire ($z \gg R$), le champ sur l'axe s'exprime directement en fonction du moment magnétique $\vec{M}$ sans faire intervenir ni l'intensité I ni le rayon R .

Exercice 7 : Moment magnétique de l'atome d'hydrogène (★★★)

On modélise l'atome d'hydrogène par le modèle de Bohr : l'atome d'hydrogène est formé d'un proton immobile en O et d'un électron qui décrit autour de ce proton une orbite circulaire de rayon a à la vitesse v .

Données : charge fondamentale : $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C, masse de l'électron : $m = 9,107 \cdot 10^{-31}$ kg

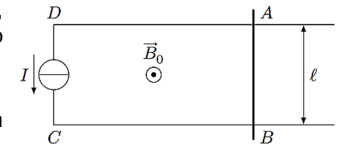
- Q1. Exprimer le moment cinétique $\vec{L}_O$ de l'électron par rapport au point O en fonction du rayon a de la trajectoire, de la masse m de l'électron et de la période T du mouvement de l'électron autour du noyau.
 Q2. On assimile la trajectoire de l'électron à une boucle de courant. Exprimer l'intensité du courant électrique circulant dans cette boucle.
 Q3. En déduire l'expression du moment magnétique $\vec{M}$ de l'atome d'hydrogène.
 Q4. Montrer que $\vec{M} = \gamma \cdot \vec{L}_O$ où γ s'appelle le rapport gyromagnétique orbital de l'atome. Calculer sa valeur numérique.

Exercice 8 : Rail gun (★★★)

Un rail gun est un canon électromagnétique, qui utilise une accélération via les forces de Laplace d'un projectile. L'avantage par rapport à un projectile à poudre est qu'il permet d'atteindre des vitesses (et des portées) plus élevées.

On souhaite projeter un projectile de masse $m = 1$ kg à une vitesse de Mach 6 ($v = 2,4 \cdot 10^3$ m/s), en disposant de rails de longueur $d = 5$ m, espacés de $\ell = 10$ cm, parcourus par un courant $I = 1,0 \cdot 10^3$ A et baignant dans un champ magnétique externe B_0 dont la valeur est à spécifier.

On modélise l'ensemble par le circuit électrique plan ci-contre.



- Q1. Donner l'expression du travail de la force de Laplace pour un déplacement d'une longueur d de la tige mobile.
 Q2. En utilisant un théorème énergétique, déterminer l'expression et la valeur de B_0 pour que l'on puisse accélérer la masse selon le cahier des charges.
 Q3. Cette valeur est-elle réalisable en pratique ?