

Le Champ magnétique

Tester le cours

Citer les différents types de courants électriques	Courant de conduction, de convection, particulaire.
Donner des ordres de grandeur de champ magnétique	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Champ magnétique terrestre : 50.10^{-6} T ◇ Aimant usuel : 0,1 à 1 T ◇ Appareil d'IRM : 3 T ◇ Aimants de guidage du LHC : 9 T ◇ Spectromètre RMN : 24 T
Définir une ligne de champ	courbe orientée tangente en tout point vecteur champ (ici champ magnétique).
Propriétés du champ magnétique	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Le champ est proportionnel à l'intensité de courant I qui lui donne naissance. ◇ Les lignes de champ magnétique sont des courbes fermées. ◇ Les lignes de champ ne se coupent qu'aux points où le champ est nul ou non défini. ◇ le champ magnétique est un champ à flux conservatif.
Que signifie "le champ magnétique est à flux conservatif" ?	$\oiint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$ <p>Le flux de \vec{B} à travers une surface fermée est nul. Ou encore $\text{div } \vec{B} = 0$ (pour la spé). Conséquence : les lignes de champ se resserrent dans les régions où la norme du champ magnétique augmente.</p>
Principe de Curie	Le champ magnétique a au moins les mêmes invariances et propriétés de symétrie que la distribution de courant qui lui donne naissance.
Champ magnétique créé par un solénoïde infini	<p>Le champ est nul à l'extérieur du solénoïde. A l'intérieur du solénoïde, le champ est uniforme, colinéaire à l'axe du solénoïde, orienté par le courant (règle de la main droite) :</p> $B = \mu_0 n i$ <p>où n est le nombre de spires par unité de longueur.</p>
Comment modéliser un dipôle magnétique. Indiquer l'expression du moment magnétique.	<p>On modélise un dipôle magnétique par une boucle (circuit fermé) de surface S parcourue par un courant I.</p> $\vec{M} = I \cdot \vec{S}$ <p>Le vecteur surface est orienté par le sens du courant I.</p>

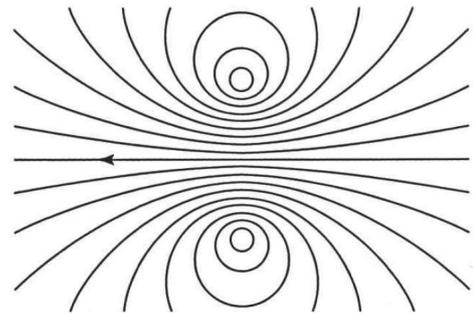
Tester les Bases

TLB_{MtE} 1 Solenoid

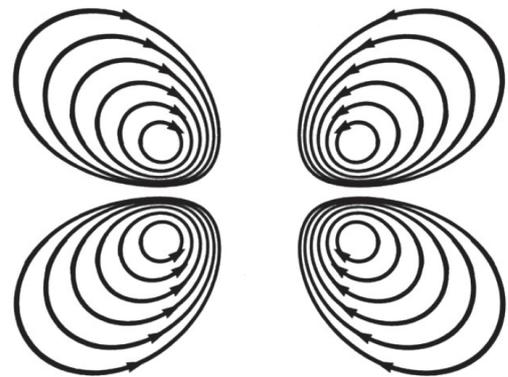
Le champ magnétique au centre d'une spire de rayon R parcourue par le courant I est $B_0 = \frac{\mu_0 I}{2R}$. Calculer la valeur du champ magnétique au centre d'une bobine plate de $N = 500$ tours de fil pour $I = 1$ A et $R = 2$ cm.

TLB_{MtE} 2 Lignes de champ

1. Orienter la totalité des lignes de champ.
2. Analyser soigneusement les symétries. En déduire où se situent les fils. Indiquer dans quel sens circule le courant.
3. Dans quelle zone de la figure la norme du champ magnétique est-elle maximale ?
4. En quel point de l'axe de la spire la norme du champ magnétique est-elle maximale ?



TLB_{MtE} 3 Dans la carte de champ magnétique de la figure ci-contre indiquer où sont les sources de courant. Préciser si le courant sort ou rentre du plan de la figure.



Exercices

Ex 1 Fils infinis

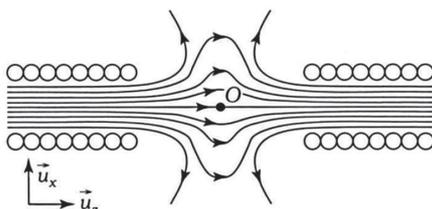
Deux fils verticaux très longs sont distants de $d = 8$ cm. Ils sont parcourus par un courant de même intensité $I = 5$ A. Donner les caractéristiques du vecteur champ magnétique créé par le courant en un point M situé dans le plan des fils et à égale distance de chacun d'eux.

1. si les courants dans les fils sont de même sens.
2. si les courants dans les fils sont de sens contraire.

Ex 2 Lignes de champ

Un dispositif crée le champ magnétique dont les lignes de champ sont tracées sur la figure ci-dessous. Les ronds indiquent des fils. Ces lignes de champ sont invariantes par rotation autour de l'axe central.

1. Décrire le dispositif utilisé pour produire le champ.
2. Analyser les symétries du champ magnétique. Indiquer le sens du courant dans les fils.
3. Peut-on réaliser une carte de champ dans le plan xOy ?



Ex 3 Aimantation

Le tableau ci-dessous indique de 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.

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 $e = 1$ mm et de rayon $R = 5$ mm. Calculer son moment magnétique.
4. Combien de spires de même rayon R et parcourues par un courant d'intensité $I = 100$ mA faudrait-il bobiner pour obtenir le même moment magnétique ?

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

Ex 4 Champ magnétique terrestre

Le moment magnétique de la Terre est $\vec{M} = -M\vec{u}_z$ où $M = 7,9 \cdot 10^{22} \text{ A m}^2$ et \vec{u}_z est l'axe géomagnétique

1. En utilisant la formule du champ magnétique créé par un dipôle (en coordonnées sphériques) :

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

Déterminer les composantes et la norme du champ magnétique terrestre à Versailles. La latitude de Versailles est $48,80^\circ$ et le rayon de la Terre est $R_T = 6378 \text{ km}$.

Ex 5 Variation de B

On se place dans le cas d'un solénoïde de grande longueur pour le quel le champ interne est uniforme à l'intérieur et négligeable à l'extérieur.

- Rappeler quelle propriété on obtient en multipliant l'intensité du champ magnétique par la longueur parcourue lorsqu'on suit une ligne de champ magnétique.
- Appliquer ceci pour une ligne de champ traversant le solénoïde et se refermant à l'extérieur. En déduire la valeur du champ interne en fonction de i , N , ℓ et d'une constante.
- Retrouver la formule donnant le champ interne d'un solénoïde infini.

Ex 6 Spires concentriques

Une bobine circulaire plate est considérée comme un ensemble de N spires circulaires concentriques dont les rayons sont régulièrement répartis entre deux valeurs extrêmes R_1 et R_2 . On note i le courant dans la bobine et on prendra pour les AN : $N = 100$, $i = 100 \text{ mA}$, $R_1 = 19 \text{ cm}$ et $R_2 = 21 \text{ cm}$.

1. Donner l'expression du champ créé au centre de la bobine sachant que le champ au centre d'une spire de rayon R est égal à

$$B = \frac{\mu_0 i}{2R}$$

- Calculer le champ au centre de cette bobine.
- Calculer l'écart relatif entre cette valeur et celle que l'on obtiendrait en considérant N spires de rayon égal à la moyenne de R_1 et R_2 .

Ex 7 Champ uniforme

On considère deux bobines de Helmholtz : deux bobines plates de rayon R et de N spires chacune de même axe Ox et séparées par une distance $d = O_1O_2$.

Le courant circule dans le même sens dans les deux bobines. On s'intéresse au champ magnétique créé par ce dispositif au voisinage du point O , milieu de O_1O_2 . Le champ créé par une spire sur son axe Ox est donné par l'expression suivante :

$$\vec{B} = \pm \frac{\mu_0 i}{2R} \left(1 + \left(\frac{x}{R} \right)^2 \right)^{-3/2} \vec{e}_x$$

- En considérant chaque bobine comme N spires circulaires confondues, donner l'expression du champ en un point M de l'axe Ox .
- Montrer que si $d = R$, le champ au voisinage du point O sera constant en x .

Ex 8 Champ linéaire

On considère un dispositif analogue aux bobines de Helmholtz : deux bobines plates de rayon R et de N spires chacune de même axe Ox et séparées par une distance $d = O_1O_2$.

La différence est que le courant circule en sens opposé dans les deux bobines. On s'intéresse au champ magnétique créé par ce dispositif au voisinage du point O , milieu de O_1O_2 . Le champ créé par une spire sur son axe Ox est donné par l'expression suivante :

$$B = \pm \frac{\mu_0 i}{2R} \left(1 + \left(\frac{x}{R} \right)^2 \right)^{-3/2} \vec{e}_x$$

- Vérifier que le champ est nul en O .
- En considérant chaque bobine comme N spires circulaires confondues, donner l'expression du champ en un point M de l'axe Ox .
- Montrer que si $d = \sqrt{3}R$, le champ au voisinage du point O varie linéairement avec x à des termes du cinquième ordre en x près.
- On souhaite un champ au voisinage de O linéaire de pente $a = 10 \text{ T/m}$ avec un courant d'intensité $I = 10 \text{ mA}$ et des bobines de rayon $R = 10 \text{ cm}$. Calculer le nombre N de spires que doit comporter chaque bobine.

