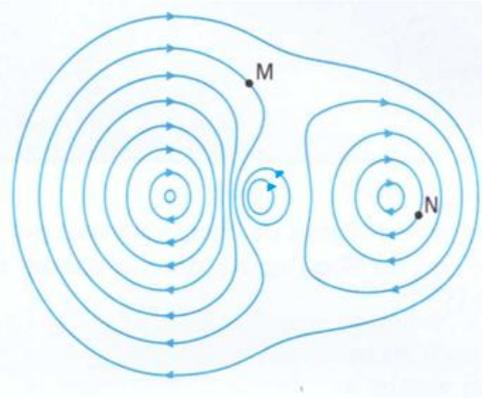


Exercice 1 : Lire une carte de champ magnétique.

La carte de champ ci-contre correspond au champ magnétique créé par 3 fils de grande longueur parcourus par des courants électriques orthogonaux au plan de la figure. Les flèches sur les lignes de champ indiquent le sens de \vec{B} .



- Où sont situés les fils ?
- Déterminer le sens des courants dans les fils à l'aide de la règle d'Ampère (ou règle de la main droite).
- Déterminer les zones où le champ est le plus faible et où il est le plus intense.
- Représenter qualitativement \vec{B} aux points M et N.

Exercice 2 : 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.

- Quelle observation peut-on faire sur la géométrie de cette bobine ? Donner alors l'expression du champ magnétique généré dans l'espace intérieur à la bobine et dans l'espace extérieur.
- Faire une représentation graphique de la carte de champ.
- Déterminer le nombre total N de spires nécessaire pour obtenir un champ d'amplitude $B = 1$ mT.

La bobine est réalisée en enroulant un fil de 1,5 mm de diamètre autour d'un cylindre en carton.

- Comment faut-il organiser l'enroulement pour obtenir le champ précédent.

Exercice 3 : Moment magnétique et cinétique de l'électron dans l'atome d'hydrogène.

On considère le modèle de Bohr de l'atome d'hydrogène. L'électron de masse m et de charge $-e$, présente un mouvement circulaire uniforme de rayon r et de vitesse v autour du proton situé au point O.

- Exprimer le moment cinétique (orbital) \vec{L}_{O,e^-} en O de l'électron en fonction de m , r et v .
- Exprimer l'intensité électrique du courant circulant dans la spire équivalente à la boucle de courant formée par l'électron en rotation.
- En déduire le moment magnétique \vec{M} de cette spire et l'écrire sous la forme $\vec{M} = \gamma \vec{L}_{O,e^-}$ où γ est un coefficient de proportionnalité appelé rapport gyromagnétique dont on donnera la valeur numérique.

Exercice 4 : Aimantation.

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 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.

- Rappeler la dimension d'un moment magnétique et vérifier l'unité de l'aimantation donnée dans le tableau.
- Les matériaux pour fabriquer des aimants permanents doivent-ils posséder une aimantation forte ou faible ?

Considérons un aimant cylindrique à base circulaire NdFeB (néodyme, fer, bore) d'épaisseur $e = 1$ mm et de rayon $R = 5$ mm.

- Calculer son moment magnétique. 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 ?

Exercice 5 : Champ magnétique terrestre.

On donne les caractéristiques actuelles du champ magnétique terrestre mesuré à Paris (latitude $\lambda = 48,9^\circ$ N, longitude $\mu = 2,35^\circ$ E) :

- composante horizontale $B_H = 2,09 \cdot 10^{-5}$ T
- inclinaison par rapport au plan horizontal $i = 64,3^\circ$ vers le bas.

On essaie de rendre compte de ces caractéristiques en supposant que le champ géomagnétique est celui d'un dipôle placé au centre de la terre et dont on suppose d'abord qu'il est dirigé le long de l'axe des pôles géographiques.

- Faire une figure et en déduire le sens du dipôle modélisant la source de champ magnétique terrestre.
- Montrer que le modèle adopté permet de prédire une valeur i_1 de i . Comparer au résultat expérimental.

On essaie d'améliorer le modèle précédent en tenant compte du fait que le dipôle considéré est en fait un peu incliné le long de l'axe des pôles géographiques : le pôle Nord magnétique était en 2019 situé à la latitude $\lambda_N = 86,5^\circ$ N et à la longitude $\mu_N = 178,9^\circ$ E.

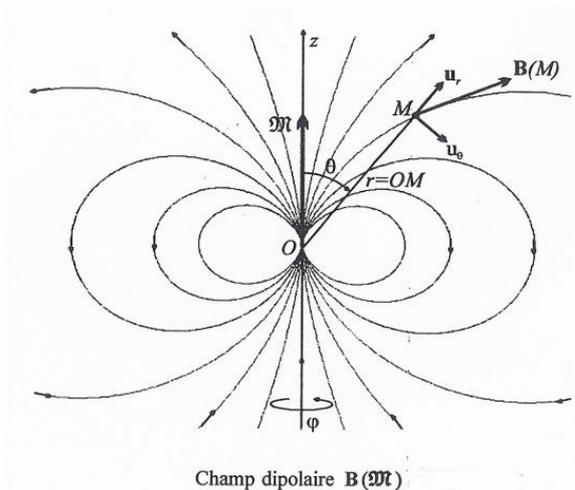
- Quelle nouvelle valeur i_2 de i obtient-on ?
- Évaluer l'ordre de grandeur du moment magnétique du dipôle terrestre.

Données :

Les composantes du champ magnétique créé par un dipôle $\vec{\mathcal{M}}$ placé à l'origine O , s'expriment sur la base des coordonnées sphériques $(\vec{u}_r, \vec{u}_\theta, \vec{u}_\varphi)$ par

$$\begin{cases} B_r = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\mathcal{M} \cos \theta}{r^3} \\ B_\theta = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\mathcal{M} \sin \theta}{r^3} \\ B_\varphi = 0 \end{cases}$$

avec $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H.m.}^{-1}$



Exercice 6 : Production d'un champ magnétique uniforme.

On considère un solénoïde de longueur L constitués de N spires circulaires de rayon R parcourues par un même courant d'intensité i tel que le champ magnétique est orienté dans la direction et le sens de Ox l'axe de révolution horizontal de la spire.

- Exprimer le vecteur champ magnétique au centre de ce solénoïde en spécifiant le modèle simplifié utilisé.

On donne $R = 10 \text{ cm}$, $L = 10 \text{ cm}$, $N = 1000$ spires. $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$.

- Déterminer l'intensité du courant pour obtenir un champ magnétique d'amplitude 10^{-2} T .

Une bobine plate située dans le plan $x = -x_0$ constituée de N spires circulaires de rayon R , d'axe de révolution Oz est parcourue par un courant d'intensité i . Elle produit alors un champ magnétique qu'on peut exprimer sur son axe de révolution par la relation :

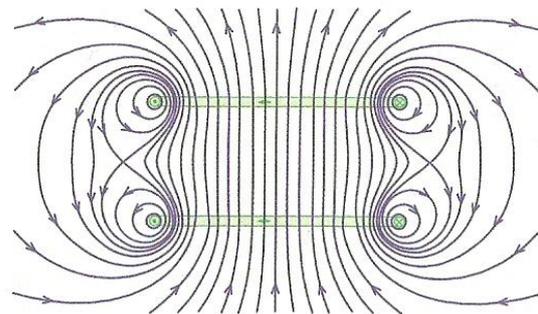
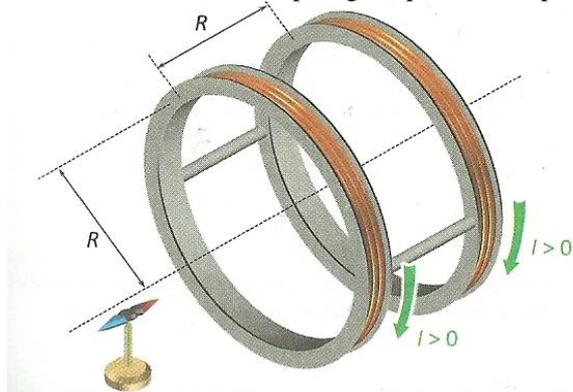
$$\vec{B}(x) = \frac{\mu_0 N i}{2} R^2 (R^2 + (x + x_0)^2)^{-\frac{3}{2}} \vec{e}_x$$

- Déterminer le développement limité à l'ordre 3 de l'expression du champ magnétique autour de la valeur $x = 0$.

On envisage alors de placer une seconde bobine en $x = x_0$ de mêmes caractéristiques et parcourue par un courant i dans le même sens que la première bobine.

- Déterminer le développement limité à l'ordre 3 du champ généré autour de la position $x = 0$.
- Déterminer une condition sur R et x_0 pour que le champ sur l'axe soit uniforme à l'ordre 3. Déterminer l'intensité du courant à faire circuler dans les bobines pour obtenir un champ de même intensité que précédemment si on considère qu'elles présentent chacune 500 spires.

On donne la carte de champ magnétique suivante pour le système des bobines de Helmholtz :



- Quels commentaires peut-on faire sur cette configuration ? Estimer les dimensions du domaine spatial sur lequel le champ magnétique est quasiment uniforme pour ce système. Quel avantage y-a-t-il à utiliser ce type de système en pratique ? Quel inconvénient ?

Avec le même système, on envisage alors de retourner le sens du courant dans la seconde bobine en respectant la relation précédemment établie entre x_0 et R .

- Déterminer le développement limité à l'ordre 3 du champ généré. Quel est le terme prépondérant dans ce développement ? Quel est l'ordre du premier terme correctif ?