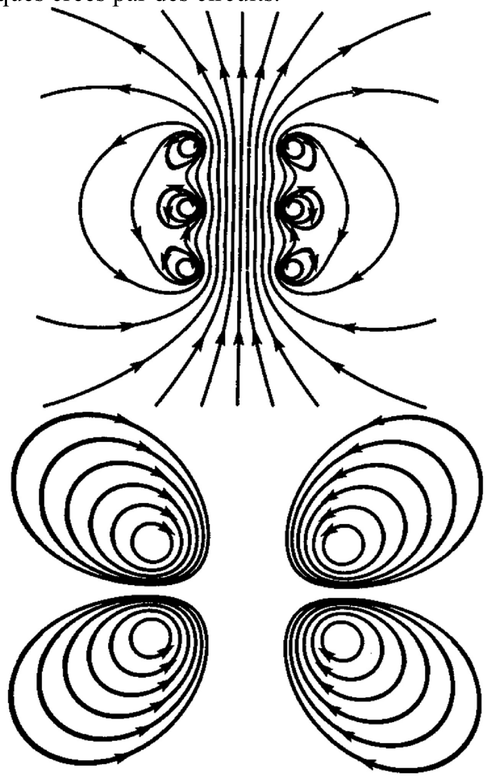
Exercices du chapitre Ém4

Topographie du champ magnétique

1. Analyse de cartes de champ

La figure ci-dessous représente deux cartes de champs magnétiques créés par des circuits.

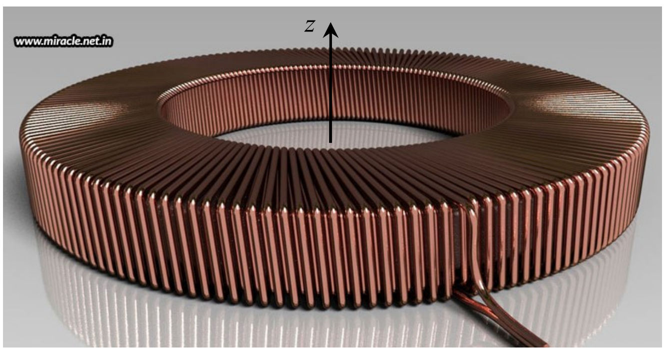


a) Indiquer les zones où le champ est le plus intense.
b) Indiquer les zones éventuelles où le champ est pratiquement uniforme.
c) Ajouter sur chaque schéma les circuits sources de ces champs, en précisant le sens du courant.

Théorème d'Ampère et inductance

2. Bobine torique (ou toroïdale)

Une bobine de transformateur est constituée de N spires enroulées sur un tore, d'axe de révolution (Oz) ; le courant qui passe dans chaque spire a une intensité I. Les spires étant jointives, cette distribution peut être assimilée à une distribution surfacique de courants.



a) Avec des arguments précis de symétrie/antisymétrie et d'invariance, simplifier la forme du champ magnétostatique $\vec{B}(M)$ créé en tout point M de l'espace par cette bobine.
b) Calculer $\vec{B}(M)$ avec le théorème d'Ampère, en indiquant clairement les étapes du calcul. On distinguera le cas d'un point à l'extérieur du bobinage et celui d'un point à l'intérieur.

Les calculs précédents sont indépendants de la forme des spires. Pour simplifier la suite, on suppose maintenant que les spires sont des carrés de côté a, les côtés verticaux étant situés aux distances R et $R + a$ de l'axe (Oz).
c) Calculer le flux du champ magnétique à travers une spire.
d) L'inductance L de la bobine est définie par la relation $\Phi = L I$, où Φ est le flux du champ à travers l'ensemble de la bobine (flux propre). Déterminer l'expression de L.

Dipôle magnétostatique

3. Champ magnétique terrestre

Le magnétisme de la Terre peut être interprété en première approximation par la présence en son centre d'un dipôle magnétique de moment $\vec{m}$, approximativement parallèle à l'axe des pôles, et de norme $m = 7{,}8 \cdot 10^{22}\ \mathrm{A \cdot m^2}$.
a) Faire un schéma de la Terre et de l'allure de quelques lignes de son champ magnétique. Quelles sont les zones géographiques où le champ est le plus intense ? le plus faible ?
b) Représenter la position d'équilibre d'une aiguille de boussole en un point proche de la Terre. Cette position est-elle horizontale ? Sachant qu'on a choisi d'appeler « pôle nord » de l'aiguille l'extrémité qui pointe vers le nord géographique, où se situe le pôle nord (au sens magnétique) du moment magnétique terrestre ?

4. Interaction entre deux dipôles

On considère deux dipôles magnétostatiques rigides, l'un de moment $\overrightarrow{m_1}$ placé au point O, l'autre de moment $\overrightarrow{m_2}$ placé au point M. On donne l'expression en coordonnées sphériques du champ créé par $\overrightarrow{m_1}$: $\vec{B}(M) = \dfrac{\mu_0}{4\pi} \dfrac{3\left(\overrightarrow{m_1} \cdot \overrightarrow{e_r}\right)\overrightarrow{e_r} - \overrightarrow{m_1}}{r^3}$.
a) Exprimer l'énergie potentielle d'interaction des deux dipôles (c'est-à-dire l'énergie potentielle du dipôle 2 dans le champ créé par le dipôle 1, ou l'inverse). Comment peut-on calculer la force subie par $\overrightarrow{m_2}$ à partir de l'énergie potentielle ?
b) Déterminer la force subie par $\overrightarrow{m_2}$ dans les cas suivants :
– dipôles parallèles à $\overrightarrow{OM}$ et de même sens ;
– dipôles parallèles à $\overrightarrow{OM}$, $\overrightarrow{m_1}$ dans le même sens et $\overrightarrow{m_2}$ en sens contraire ;
– dipôles orthogonaux à $\overrightarrow{OM}$, parallèles entre eux, de même sens.
Commenter dans chaque cas le caractère attractif ou répulsif de la force.
c) Évaluer l'ordre de grandeur de l'énergie potentielle d'interaction entre les moments magnétiques de deux atomes, et comparer à l'énergie moyenne d'agitation thermique dans des conditions usuelles.
En déduire si l'interaction magnétique est suffisante pour maintenir une aimantation dans la matière en l'absence de champ extérieur.
(Dans les matériaux ferromagnétiques, il existe en plus un effet quantique, appelé interaction d'échange de Heisenberg, qui permet aux dipôles atomiques de rester alignés.)
Données : magnéton de Bohr $\mu_B = 9{,}3 \cdot 10^{-24}\ \mathrm{A \cdot m^2}$; perméabilité du vide $\mu_0 = 1{,}257 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{H \cdot m^{-1}}$; constante de Boltzmann $k_B = 1{,}38 \cdot 10^{-23}\ \mathrm{J \cdot K^{-1}}$.

☞ *Réponses partielles*

2. b) $\vec{B}(M_{\text{int}}) = \dfrac{\mu_0 N I}{2\pi r}\overrightarrow{e_\theta}$. **4.** b) Premier cas : $\vec{F} = -\dfrac{\mu_0}{4\pi}\dfrac{6 m_1 m_2}{r^4}\overrightarrow{e_r}$ (attractive).