TD 2 - Electromagnétisme

Champ magnétostatique

Questions de cours

Pour apprendre le cours : vérifiez que vous savez répondre à chaque question.

1. Définir le courant électrique, son intensité et la densité volumique de courant électrique.
2. Donner la relation entre la densité volumique de courant électrique et la vitesse de déplacement des porteurs de charge.
3. Rappeler les ordre de grandeur de champs magnétiques usuels.
4. Définir plan de symétrie et d'antisymétrie pour une distribution de courant. Quelles informations peut-on en déduire pour le champ magnétostatique ? On fera un schéma clair.
5. Quelles informations les invariances de la distribution de courant permettent-elles d'avoir sur le champ magnétostatique ?
6. Donner le théorème d'Ampère et l'appliquer pour trouver le champ magnétostatique créé par (au choix de la colleuse) un fil infiniment fin infini, un cylindre infini parcouru par une densité de courant volumique, un solénoïde infini (où on admet que le champ extérieur est uniformément nul).
7. Définir l'inductance d'une bobine et établir son expression pour un solénoïde infini.

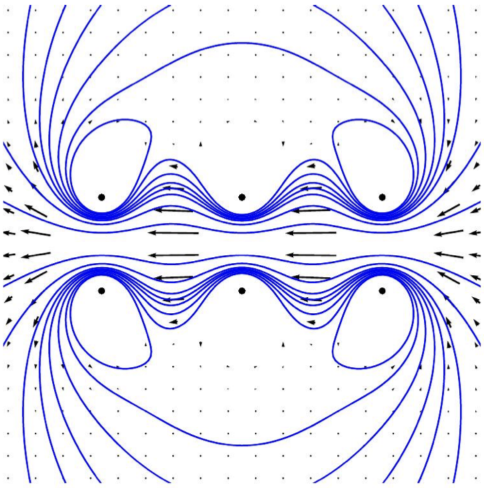
Exercices de cours - Savoirs-Faire

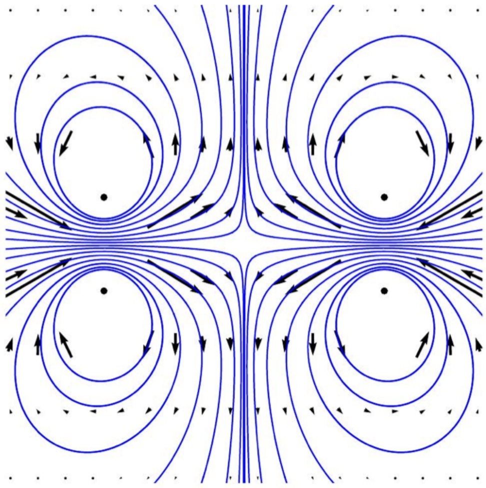
SF 1 - Déterminer un champ magnétostatique par le théorème d'Ampère

Calculer le champ magnétostatique créé par un fil infiniment fin infini, un cylindre infini parcouru par une densité de courant volumique, un solénoïde infini (où on admet que le champ extérieur est uniformément nul).

SF 2 - Savoir lire une carte de champ magnétique

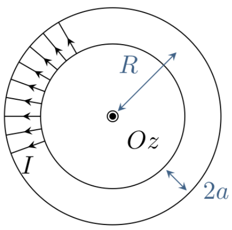
Les champs magnétiques représentés par les cartes ci-dessous sont obtenus avec des courants électriques (pas d'aimants). Dans les deux cas, indiquer la position des sources, le sens du courant, les zones de champ fort et faible, et le cas échéant s'il existe une zone de l'espace où le champ magnétique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

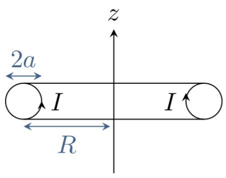




Exercice phare

Exercice 1 - Bobine torique



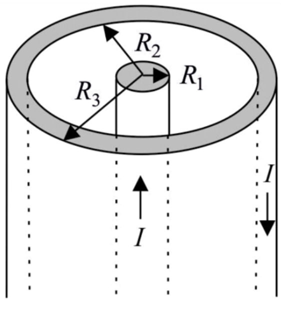


Une bobine torique est un enroulement de fil conducteur sur un support en forme de tore, c'est-à-dire la forme d'une bouée. Le support torique est caractérisé par un rayon moyen R autour de son axe de symétrie (Oz) et une section circulaire de rayon $a < R$.

L'enroulement comporte $N \gg 1$ spires que l'on modélisera par des spires planes circulaires de rayon a. Le nombre de spires est suffisamment grand pour que l'on puisse considérer les spires comme continûment réparties le long du tore. On note I le courant circulant dans cette bobine. On se place en coordonnées cylindriques d'axe (Oz).
Calculer le champ magnétostatique créé par cette bobine en tout point M.

Exercices en plus

Exercice 2 - Câble coaxial



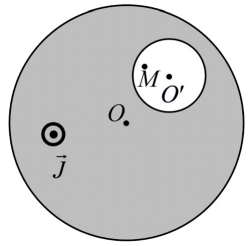
On considère un câble coaxial de longueur H, composé de :

- une âme centrale cylindrique de rayon R_1, parcourue par un courant d'intensité I uniformément répartie sur l'enveloppe cylindrique
- un cylindre de rayons intérieur R_2 et extérieur R_3 parcouru par un courant en sens opposé, de même intensité I, uniformément répartie sur l'enveloppe cylindrique

Déterminer l'expression du champ magnétostatique pour $r < R_1$, $R_1 < r < R_2$, $R_2 < r < R_3$, $R_3 < r$ et tracer le graphe correspondant. Quel est l'intérêt d'un tel câble ?

Exercice 3 - Cylindre avec cavité

Un cylindre d'axe $\vec{u}_z$ et de centre O_1 est parcouru par une densité volumique de courant $\vec{\jmath} = j\vec{u}_z$. Ce cylindre contient une cavité cylindrique vide de courant, de centre O_2.



1. Déterminer le champ magnétique dans l'espace en l'absence de cavité.
2. En appliquant judicieusement le théorème de superposition, déterminer le champ magnétique dans la cavité.

Exercice 4 - Cylindre parcouru par un courant inhomogène

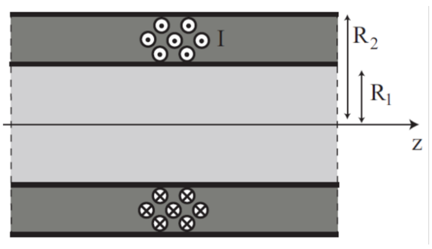
On considère un câble cylindrique de rayon R et d'axe z parcouru par un courant d'intensité I réparti de façon non uniforme au sein du câble :

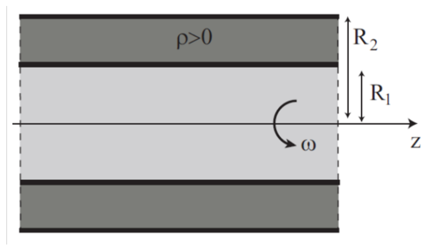
$$\vec{\jmath} = J_0 \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) \vec{e}_z$$

1. Exprimer J_0 en fonction de I.
2. Calculer le champ magnétostatique créé par ce câble en tout point de l'espace.

Exercice 5 - Solénoïde épais

1. On considère tout d'abord le solénoïde épais de la figure à gauche ci-dessous. Il est constitué de spires parcourues par un courant I enroulées entre les rayons R_1 et R_2, avec n spires par mètre selon sa longueur (selon z), et m spires par mètre selon son épaisseur (selon r). L'intérieur est vide.
   (a) Étudier les symétries et invariances de $\overrightarrow{B}(M)$.
   (b) Calculer le champ magnétostatique, en admettant que le champ est nul à l'extérieur.





2. On s'intéresse maintenant à un cylindre uniformément chargé en volume entre les rayons R_1 et R_2 avec une densité volumique de charges $\rho > 0$. Celui-ci est mis en rotation à la vitesse angulaire ω uniforme autour de l'axe z.
   (a) Exprimer le courant $\vec{\jmath}$ ainsi créé.
   (b) Étudier les symétries et les invariances de $\overrightarrow{B}(M)$.
   (c) Calculer le champ magnétostatique, en admettant que le champ est nul à l'extérieur.
   (d) Cette distribution peut-elle être exactement équivalente à celle de la question 1 ?