



PeiP2 : **Electricité et magnétisme**

TP magnétostatique

De nombreuses applications font appel à des champs magnétiques relativement intenses et uniformes dans l'espace. C'est notamment le cas de l'imagerie médicale par résonance magnétique ou bien de la maîtrise de faisceaux de particules énergétiques dans les accélérateurs.

Nous rappelons que des champs magnétiques statiques (indépendants du temps) sont produits par des courants permanents.

Nous allons ici étudier un dispositif simple, la bobine circulaire. Dans un second temps nous allons étudier le montage de Helmholtz : dans ce montage, deux bobines montées en série et donc parcourues par un courant de même intensité I génèrent un champ magnétique quasiment uniforme.

Les éléments du montage sont les suivants :

- * Un jeu de bobines : chaque bobine a pour diamètre moyen 40 cm, comporte 154 spires et a une résistance de 2.2Ω .
- * Un multimètre : il sert à mesurer l'intensité I du courant circulant dans les bobines (faites vérifier vos montages par l'enseignant!).
- * Une alimentation de courant continu : elle délivre le courant parcourant les bobines. Le multimètre est branché en série dans le circuit afin de mesurer I . **Attention à ne jamais dépasser 2 Ampères.**
- * Une règle : fixée à la table, elle sert à mesurer les distances.
- * Un Teslamètre (sonde de Hall) : appareil qui sert à mesurer l'intensité B du champ magnétique. La sonde se trouve au bout d'une tige et mesure l'intensité de la composante de B parallèle à l'axe de la tige. **Attention : cette sonde est très fragile, prenez garde à ne pas la faire tomber ni lui faire subir de chocs.** L'unité de B dans le système international est le Tesla. Les mesures délivrées par le Teslamètre sont indiquées en milliTesla (mT) soit 10^{-3} Tesla.
- * Une boussole : c'est une aiguille aimantée, la direction et le sens SN de son axe (S pour Sud, et N pour Nord, N étant repéré par le côté noir) indiquent la direction et le sens du champ magnétique \vec{B} . La boussole étant montée dans un plan horizontal, elle n'indique que la composante horizontale de \vec{B} . L'aiguille se déplace facilement, sans frottement : **c'est un dispositif fragile qu'il faut manipuler avec délicatesse.**

1- Champ magnétique généré par une seule bobine

Reliez une des bobines à l'alimentation de courant et demandez à l'enseignant de vérifier votre montage. Alimentez alors la bobine avec un courant d'intensité 2 A.

1. **En manipulant la boussole avec précaution**, déterminez la direction et sens de \vec{B} sur l'axe (Oz) de la bobine. Même question en déplaçant la boussole à l'extérieur de la bobine, tout en restant dans le plan horizontal contenant l'axe de la bobine. Déplacez la boussole en suivant les lignes de champ.
2. Identifiez les plans de symétrie π et de symétrie inversion π^* de la distribution de courants. Placez les sur la figure. Placez la boussole en un point M du plan horizontal passant par l'axe de la bobine et représentez le champ \vec{B} sur la figure. Faire de même en M' (symétrique de M par rapport au plan xOy) et M'' (symétrique de M par rapport au plan yOz). En déduire les règles de transformation du champ \vec{B} par opération de symétrie par rapport à un plan π ou π^* . Comparez-les à celles du champ électrique \vec{E} qui est un vecteur vrai ou polaire. Comment peut on qualifier le vecteur \vec{B} ?
3. Comment est le champ \vec{B} en tout point d'un plan de symétrie et de symétrie inversion ? Justifiez votre réponse et vérifiez le.

4. En déduire le tracé schématique des lignes de champ dans le plan xOz (tracé sur la feuille jointe).
5. Eteignez l'alimentation de courant et inversez le sens du courant dans les bobines. Rétablissez le courant et suivez les lignes de champ correspondantes. Quelle est la différence avec le cas précédent ?
6. **Mesures.** Avant de commencer à utiliser le Teslamètre, assurez-vous qu'il affiche zéro quand il n'y a pas de courant dans la bobine (corrigez le zéro si nécessaire).
7. **Champ magnétique au centre de la bobine en fonction de l'intensité du courant électrique.** Placez la sonde de telle sorte qu'elle mesure l'amplitude $B_{z=0}$ au centre de la bobine. Relevez les mesures de $B_{z=0}(I)$ en fonction de l'intensité I du courant électrique (de zéro à un peu moins de 2 A). La variation de $B_{z=0}(I)$ est-elle compatible avec la relation calculée via la loi de Biot et Savart ? En déduire la valeur de la perméabilité du vide μ_0 (sans oublier d'évaluer les incertitudes de mesure et leur propagation dans les calculs), puis comparer avec la valeur conventionnelle $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{H.m}^{-1}$
8. **Champ magnétique sur l'axe Oz.** Mesurez l'intensité du champ magnétique sur l'axe de la bobine en fonction de la distance z entre la sonde de mesure et le centre de la bobine. Vous ferez les mesures de part et d'autre de la bobine ($z > 0$, $z < 0$), sur une plage assez étendue (jusqu'à 2 fois le rayon de la bobine).
Tracez la courbe $B_{\text{axe}}(z)$. Où est-elle maximale ? Quelle est la parité de la fonction $B_{\text{axe}}(z)$? Ajoutez sur le graphe la courbe représentative de la fonction $B_{\text{axe}}(z)$ calculée. Comparer et conclure.

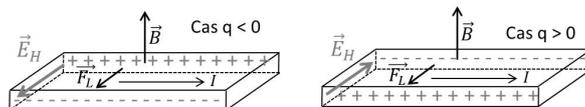
2- Montage avec deux bobines

Associez les 2 bobines de façon à ce que leurs axes soient communs et qu'elles soient séparées d'une distance fixe $d = 20 \text{ cm}$. Branchez-les en série et alimentez-les avec un courant de 2A.

1. Pour les deux configurations pour lesquelles les courants électriques circulent en sens inverse ou dans le même sens dans les deux bobines, observez qualitativement et commentez le comportement de la boussole au cours de sa translation le long de l'axe central. Que se passe-t-il dans chaque configuration ?
2. En déduire dans quel cas le courant circule dans le même sens dans les deux bobines.
3. Pour les deux configurations à nouveau, identifiez les plans de symétrie et d'anti-symétrie de la distribution de courant. Conclure.
4. Mesurez l'amplitude du champ magnétique sur l'axe et au milieu des deux bobines dans les deux cas. Expliquez vos observations. Déterminez avec précision la position de la sonde Hall pour laquelle le champ magnétique est nul (on définira ce point comme l'origine $z = 0$).
5. Après avoir branché les bobines de façon à ce que le champ au centre soit maintenant non nul, mesurez $B(z)$ sur l'axe de ce montage (de -30 à +30 cm, par pas de 1 cm). Tracez vos mesures de B en fonction de z . Calculez la variation relative du champ $\frac{\Delta B}{B} = |B_{\text{max}} - B_{\text{min}}|/B_{\text{min}}$ dans la zone comprise entre les deux bobines.
6. Répétez les mesures de $B(z)$ (une vingtaine de mesures dans l'espace entre les deux bobines) pour $d = 50 \text{ cm}$ et $d = 10 \text{ cm}$ et calculez $\frac{\Delta B}{B}$ dans les deux cas. Comparer avec le cas $d = 20 \text{ cm}$
Conclure : quelle configuration donne le champ le plus uniforme ? Quels sont les avantages et inconvénients de cette configuration dite "configuration de Helmholtz" par rapport au champ créé à l'intérieur d'un solénoïde ?
7. Question bonus : lors de l'enregistrement d'une image par IRM, il est nécessaire de pouvoir déterminer avec précision la localisation d'un signal. L'une des clés de cette localisation est de réaliser des gradients de champ magnétique le long d'une direction de l'espace. Revenir au cas où le champ magnétique est nul au centre des deux bobines. Mesurez $B(z)$ sur l'axe (de -30 à +30 cm, par pas de 1 cm) et tracez le graphe.

ANNEXES au TP Magnétostatique :

A- Principe de la sonde à effet Hall



Lorsque qu'un champ magnétique \vec{B} est appliqué perpendiculairement à un plan conducteur parcouru par un courant d'intensité I , une force de Lorentz s'exerce dans le plan sur les charges en mouvement. Il en découle un gradient de concentration des porteurs de charge perpendiculairement à la direction de I et donc l'apparition d'une tension transversale dite de Hall V_H . On établit $V_H = \frac{IB}{n_S q}$ avec q la charge des porteurs et n_S la densité de porteurs *par unité de surface* ($n_S = n_{vol}d$ où d est l'épaisseur du plan). V_H étant proportionnelle à B , la mesure de V_H (après amplification) permet de déduire B pour un matériau connu. En pratique on utilise un semi-conducteur (la densité n_S est plus petite et donc l'effet Hall est plus grand).

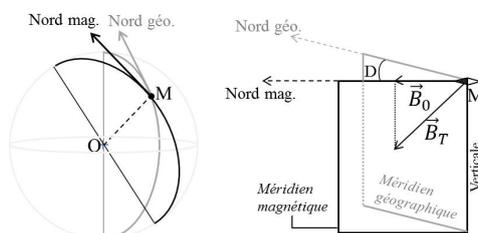
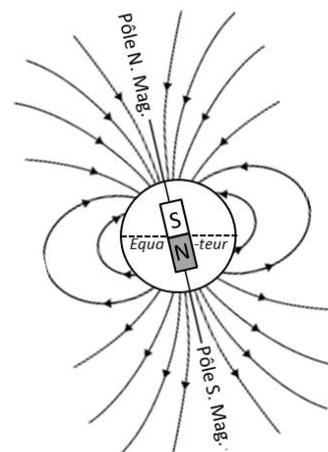
B- Le champ magnétique terrestre

La distribution du champ magnétique terrestre peut être décrite de manière approchée par celle d'un aimant droit ("dipôle magnétique") qui serait situé au centre de la terre.

Il faut noter cependant que l'axe des pôles magnétiques est différent de celui de l'axe des pôles géographiques de la Terre (actuellement les deux axes forment un angle d'environ 11° mais l'axe des pôles magnétiques évolue au cours du temps).

Par convention on désigne par "pôle magnétique Nord" le pôle magnétique le plus "proche" du pôle Nord géographique, alors qu'il correspond au pôle Sud de l'aimant si on se réfère au sens des lignes de champ.

En un point M de la surface du globe, on définit **deux plans méridiens**, l'un géographique, l'autre magnétique : les deux contiennent la verticale, et le méridien géographique contient l'axe des pôles géographiques tandis que le méridien magnétique contient le champ magnétique local \vec{B}_T (et donc l'axe des pôles magnétiques dans l'approximation d'un champ dipolaire).



Au point M , on définit donc deux lignes horizontales, tangentes respectivement aux méridiens géographique et magnétique, qui définissent le Nord géographique et le Nord magnétique. L'angle entre ces deux directions horizontales définit la "déclinaison magnétique" D .

La boussole astreinte à se déplacer autour de l'axe vertical s'oriente suivant la composante horizontale \vec{B}_0 du champ magnétique terrestre local \vec{B}_T , et indique donc le "Nord magnétique".

La valeur de la déclinaison, ainsi que celle des intensités B_0 et B_T sont locales, c'est à dire qu'elles dépendent du point M considéré sur la surface terrestre.

TP magnétostatique - figures (à rendre complétées)

binôme :

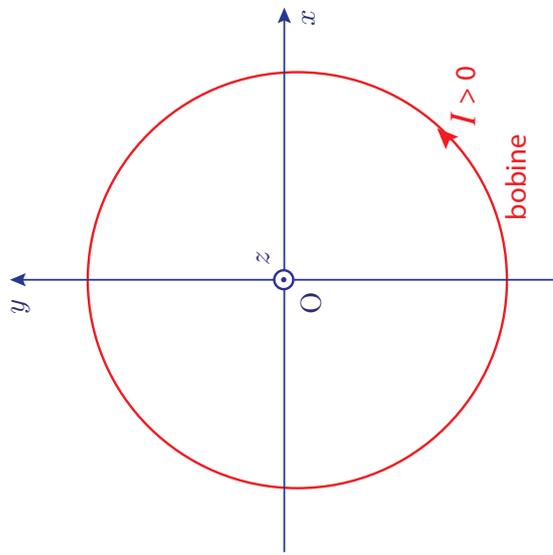
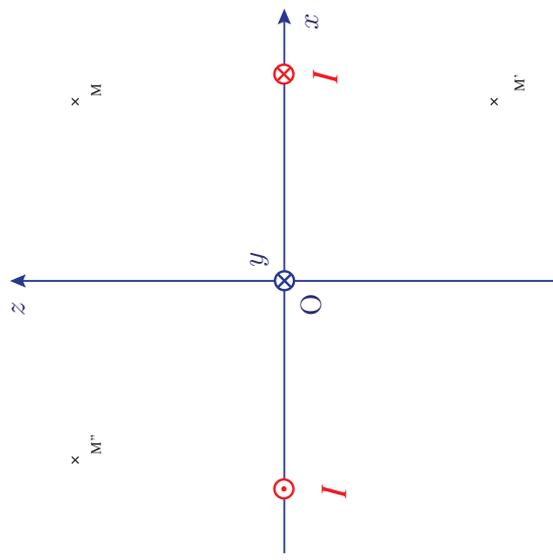
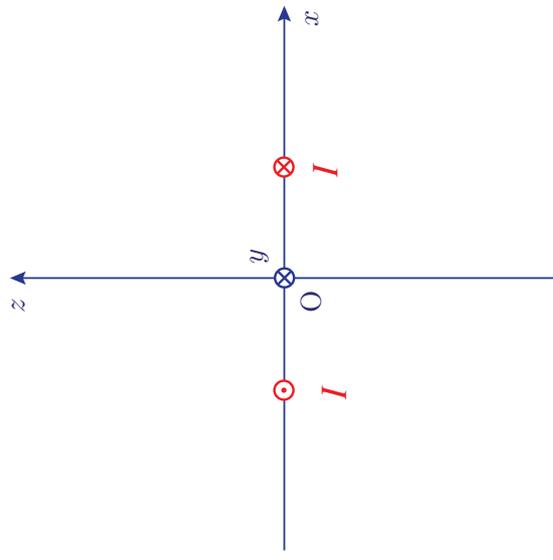


Schéma bobine



Tracez le vecteur champ magnétique aux points M, M' et M''



Tracez les lignes de champ dans le plan xOz.