



### Buts

- Mesurer le champ magnétique produit par des bobines de fil et déterminer la constante magnétique du vide  $\mu_0$ .
- Représenter graphiquement différents champs magnétiques.

### Matériel

- Module d'acquisition + sonde magnétique
- Source de courant
- Ampèremètre
- Bobine de 15 tours
- Solénoïde
- Aimant
- 2 blocs d'aluminium

### Théorie

La physique étant une science expérimentale, ce sont des mesures précises qui servent à confirmer ou infirmer les relations déduites théoriquement.

Ainsi, la loi de Biot-Savart prédit que le champ magnétique sur l'axe d'une bobine circulaire de rayon  $a$  est donnée par

$$\text{la relation suivante : } B_{\text{axe}} = \frac{\mu_0 NI \sin^3 \alpha}{2a}$$

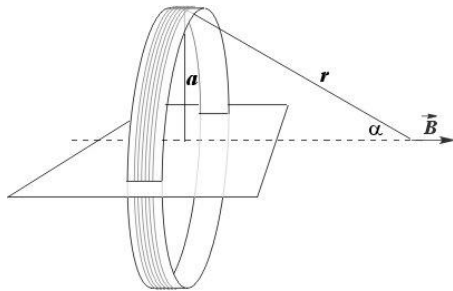


Fig. 1 : Champ de la bobine, au centre et sur l'axe

Nous allons vérifier cette relation en mesurant à l'aide d'une sonde le champ magnétique  $B$  à différentes positions le long de l'axe. Nous ferons également d'autres vérifications avec des solénoïdes et un aimant.

### Instrumentation

#### Sonde magnétique

Pour prendre des mesures d'intensité du champ magnétique, nous utiliserons une sonde magnétique et un module d'acquisition LabQuest. Ce module d'acquisition est conçu pour fonctionner avec une multitude de sondes permettant de mesurer tout type de grandeur (thermomètre, décibel-mètre, accéléromètre, etc.).

En mettant l'appareil sous tension et en branchant une sonde magnétique (dans l'une des entrées CH1 à CH3), la sonde sera reconnue automatiquement et l'appareil passera automatiquement à l'affichage du champ magnétique en milliteslas (mT). Vous êtes alors en mesure d'observer l'intensité du champ magnétique terrestre, qui fluctue avec l'orientation de la sonde.

La pointe de la sonde, mesure l'intensité du champ magnétique à près d'un centimètre de la pointe, vis-à-vis la ligne, dans une direction parallèle à la pointe (inclinaison, si le montage l'exige). La valeur est positive lorsque la sonde pointe vers un pôle sud. Observez le comportement du champ dans différentes orientations.



La sonde comporte un commutateur permettant de choisir son niveau de sensibilité. L'une des positions permet la mesure précise de champs inférieurs à 0,3 mT, et l'autre, des champs jusqu'à 6,4 mT. On indique dans chacune des sections quel mode utiliser, pour assurer la validité des mesures.

#### Source de tension

Pour fournir un courant suffisant au montage, nous avons besoin d'une puissante source de tension. Nous disposons donc de sources pouvant fournir jusqu'à 30 V et 3 A.

Vous n'aurez besoin que de l'une des deux sources de l'appareil. En branchant votre circuit aux bornes rouge et noire, ajustez le potentiel de la source jusqu'à ce que le courant (que vous mesurez avec un ampèremètre) soit de l'intensité voulue. Notez que le bouton *current* de l'appareil n'est pas un ajustement du courant mais un limiteur du courant. Puisqu'ici, une tension très faible suffit à produire un courant important (la résistance de l'enroulement est faible), il est plus facile d'ajuster le courant souhaité que la tension correspondante : ouvrez les ajustements de tension au maximum et utilisez le limiteur de courant pour ajuster le courant à 2 A.

#### Précautions

- La sonde magnétique capte dès sa mise sous tension le champ magnétique terrestre. Ce champ n'a évidemment pas la même intensité dans toutes les directions, et dans tous les cas on ne veut étudier que le champ d'une boucle de courant ou d'un aimant. On voudrait donc soustraire de chaque mesure la valeur du champ terrestre. Le module LabQuest permet de remettre à zéro la valeur affichée : via le menu « sonde » au haut de

l'écran, sélectionnez « zéro » et confirmez la mise à zéro de la sonde utilisée.

- Tous les fils portant un courant produisent un champ magnétique parasite. Branchez donc les éléments de votre montage de façon à éloigner les fils le plus possible de la sonde magnétique.
- Notez que la mise à zéro n'est bonne que pour l'orientation dans laquelle se trouve la sonde lors de l'opération. Vous devez placer la sonde dans une position fixe en vue d'une série de mesures avant de procéder à la remise à zéro. Aussi, par souci de précision, refaites la mise à zéro avant chaque série de mesures et assurez-vous de le faire en éloignant de la sonde toute source de champ magnétique.

### **A) Détermination de la constante magnétique du vide**

#### **$\mu_0$**

- Utilisez la bobine de 5/10/15 tours et mesurez son diamètre.
- Comme l'indique la figure 2, placez une règle près de la base de la bobine et ajustez sa position pour qu'un point de repère de la base soit à la position 0 cm. Cette règle ne devra plus bouger pour les mesures suivantes. Utilisez un peu de ruban adhésif.
- Branchez la sonde de champ magnétique dans une entrée du module d'acquisition et assurez-vous que le commutateur de la sonde est à la position « 0,3 mT ».
- Placez la sonde sur le support et ajustez sa position pour que son extrémité soit exactement sur l'axe de la bobine (et parallèle à l'axe) comme l'indique la figure 2. Déplacez le support jusqu'à ce que la pointe de la sonde soit exactement au centre de la boucle. La sonde ne devra plus bouger pour les mesures suivantes. Fixez le support avec un peu de ruban adhésif au besoin.

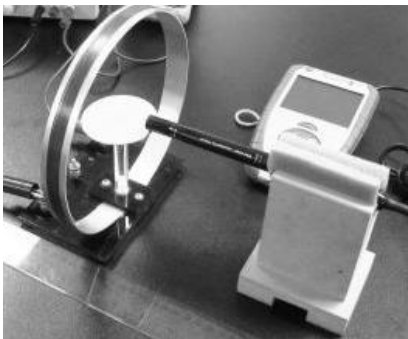


Fig. 2 : Configuration pour la mesure du champ produit par la boucle de courant

- Mettez en marche le module d'acquisition.
- Après quelques secondes, l'appareil détecte la sonde et affiche le champ magnétique terrestre ambiant détecté par la sonde.
- À l'écran, pointez/cliquez sur la valeur affichée pour faire apparaître le menu de calibration et appuyez sur

« zéro » afin de soustraire la composante mesurée du champ magnétique terrestre.

À partir de cet instant, la sonde ne doit plus bouger.

- Reliez en série la source, les 15 tours de la boucle et un ampèremètre.
- Faites circuler un courant de 2 A dans le circuit (mesuré avec l'ampèremètre). Inversez le sens du courant si la sonde indique une valeur négative (en inversant le branchement aux bornes de la boucle).
- En vous servant de la règle comme guide, éloignez la bobine de la sonde et mesurez le champ magnétique à tous les centimètres à partir du centre jusqu'à 20 cm. Consignez vos mesures dans le tableau 1.
- Faites d'abord un graphique du champ magnétique en fonction de la position  $x$  (avec courbe lissée). Il montre comment varie le champ au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la bobine. Ne tracez pas la courbe de tendance.
- Pour déterminer la constante magnétique  $\mu_0$ , vous devrez faire un graphique du champ  $B$  en fonction de  $\sin^3\alpha$ .
- Notez que dans Excel, les angles sont par défaut assumés en radians. Il sera très commode de faire calculer par Excel les angles et leurs sinus, mais il faut d'abord vous initier à certaines fonctions Excel; consultez l'annexe. Seul le point au centre de l'anneau exigera que vous calculiez vous-même la valeur de  $\sin^3\alpha$ .
- À partir de ce graphique « linéarisé » et de l'équation de la courbe de tendance, vous déterminerez la constante magnétique  $\mu_0$ . Aussi, déterminez selon la relation théorique s'il faudrait forcer le passage à l'origine et commentez votre décision dans la section commentaires.
- Calculez l'écart relatif entre votre valeur et celle indiquée par la théorie. Que concluez-vous?

### **B) Champ magnétique au bout et à l'intérieur d'un solénoïde**

- Mesurez la longueur du solénoïde utilisé (longueur sur laquelle du fil de cuivre est enroulé).
- Placez la sonde dans le mode « 6,4 mT ».
- Reliez en série la source, le solénoïde et un ampèremètre (choisissez les bornes appropriées du solénoïde en observant ses connexions).
- Placez une règle dans le solénoïde de façon à ce qu'elle dépasse à chaque extrémité : elle servira de support à la sonde dans le solénoïde (voir figure 3). (Vous pouvez coller la sonde à la règle et glisser la règle dans le solénoïde pour pouvoir mesurer facilement sa position.
- Faites circuler un courant de 1 A dans le circuit.
- Faites en sorte que le champ mesuré soit positif. Inversez le sens du courant au besoin.

- Mesurez le champ magnétique à tous les centimètres à partir de 10 cm à l'extérieur du solénoïde jusqu'à 10 cm à l'extérieur de l'autre extrémité (en passant graduellement à travers le solénoïde). Soyez précis. Consignez vos mesures dans le tableau 2. Faites en sorte que la position « 0 » corresponde au centre du solénoïde, pour que le graphique à faire montre bien où était le centre du solénoïde.

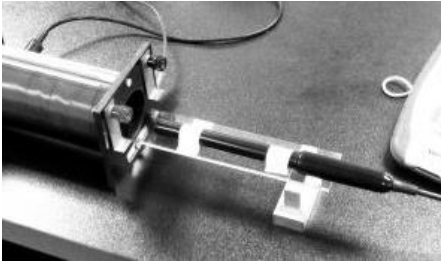


Fig. 3 : Configuration pour la mesure du champ produit par le solénoïde

- Faites le graphique du champ magnétique en fonction de la position (utilisez un nuage de point avec courbe lissée).
- Décrivez comment varie le champ magnétique produit par un solénoïde.
- Est-ce conforme à la théorie? Que concluez-vous?

### **C) Champ produit par un aimant permanent.**

- Le commutateur de la sonde doit être à la position « 6,4 mT ».
- Placez la sonde sur le support comme à la figure 4 et placez l'aimant permanent sur le plateau central de la bobine circulaire, et utilisez un bloc s'il le faut pour ajuster la hauteur de l'aimant par rapport à la sonde.



Fig. 4 : Configuration pour la mesure du champ produit par un aimant

- Enlevez l'aimant temporairement pour effectuer une mise à zéro avant la nouvelle série de mesures.
- Mesurez le champ magnétique de l'aimant à tous les centimètres à partir de 1 cm jusqu'à 10 cm. Consignez vos mesures dans le tableau 3.
- Tracez le graphique de  $B$  en fonction de la distance (utilisez un nuage de point avec courbe lissée).
- Comment se comporte le champ magnétique?

## **Travail à remettre**

### Partie A

- Tableau/valeurs;
- Graphiques demandés de  $B(x)$  et  $B(\sin^3 \alpha)$ ;
- Démonstration et calculs de  $\mu_0$
- Calcul de l'écart expérimental et commentaires sur les 2 graphiques et les résultats (15 à 20 lignes)

### Partie B

- Tableau/valeurs;
- Graphique  $B(x)$ ;
- Description/analyse du champ du solénoïde et Comparaison avec la théorie, commentaires. (10 à 15 lignes)

### Partie C

- Tableau/valeurs;
- Graphique  $B(x)$ ;
- Description/analyse du champ d'un aimant (10 à 15 lignes)

Date de remise : \_\_\_\_\_

## **Annexe**

Excel peut calculer pour vous toutes les fonctions trigonométriques. Par exemple, pour calculer le sinus d'un angle, il suffit d'inscrire la valeur de l'angle (en radians) à l'intérieur des parenthèses dans la ligne de commande suivante : « =SIN ( $\theta_{\text{rad}}$ ) ».

Attention : tous les angles requis ou résultants dans Excel sont en radians. Les valeurs en radians sont moins familières, mais il est possible de convertir rapidement les angles d'un format à l'autre à l'aide des fonctions suivantes :

radians à degrés : =DEGRES ( $\theta_{\text{rad}}$ )

dégrés à radians : =RADIAN (  $\theta_{\text{degrés}}$  )

Les fonctions trigonométriques inverses sont obtenues simplement par ASIN(*valeur*), ACOS(*valeur*), ATAN(*valeur*), etc.

Finalement, il est possible « d'imbriquer » toutes les fonctions successives à utiliser pour effectuer plusieurs opérations dans une même cellule, en utilisant plusieurs niveaux de parenthèses. Par exemple :

=DEGRES (ATAN(*valeur*))

ou

=SIN(ATAN(*valeur*))^3

Utilisez ces fonctions pour faire calculer automatiquement le contenu des colonnes de votre tableau pour la partie A.

