

# TP 5 : champs magnétiques

**Objectifs :** Évaluer le champ magnétique créé par une spire de courant en son centre par rapport au champ magnétique ambiant ;  
Vérifier la loi de Biot et Savart sur des bobines de différentes formes.

*Dans tout le TP le terme "champ magnétique" désigne la norme de celui-ci.*

**Pour avoir le temps de faire la deuxième partie, ne pas passer trop de temps sur la première.**

1<sup>ère</sup> partie : Champ magnétique créé par une spire

## 1 Théorie

### 1.1 Champ créé

#### 1.1.1 Par une spire

Une spire de rayon  $R$  parcourue par un courant  $I$  créé un champ magnétique dont les caractéristiques sont les suivantes :

– Module :

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R} \quad (1)$$

Avec  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  SI, la perméabilité du vide.

– Direction : axe de la spire ;

– Sens : donné par la règle du tire-bouchon.

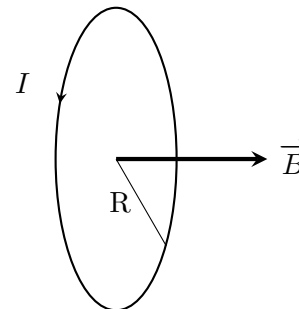


FIGURE 1 – Spire magnétique

#### 1.1.2 Par N spires sur une faible épaisseur

$N$  spires jointes (collées les unes aux autres) comme la spire précédente (de rayon  $R$ ) sont parcourues par un courant d'intensité  $I$ .

Elles créent alors un champ magnétique :

$$B = \frac{\mu_0 N I}{2R} \quad (2)$$

## 1.2 Principe d'évaluation du champ

Le champ magnétique terrestre n'est pas négligeable et des sources électriques inévitables créent également des champs magnétiques non négligeables.

On notera  $\vec{B}_a$  la somme de la composante horizontale de tous ces champs.

Cette composante n'étant pas négligeable, il faudra en tenir compte lors de nos mesures. Pour cela, on positionne la boussole placée au centre O de la spire vers le nord, lorsque la spire n'est pas parcourue par un courant (schéma ci-contre).

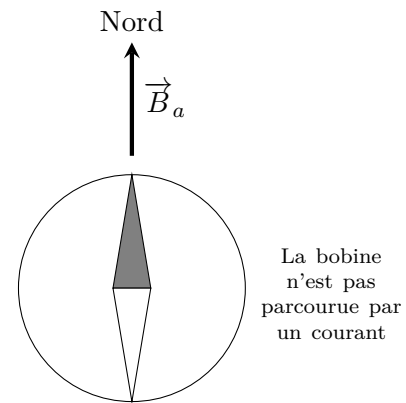


FIGURE 2 – Évaluation du champ avec une boussole : réglage du zéro

Lorsqu'un courant  $I$  circule dans la spire, elle crée un champ magnétique  $\vec{B}$  qui vient s'ajouter vectoriellement au champ  $\vec{B}_a$ . Il en résulte un champ  $\vec{B}_T$  qui fait un angle  $\alpha$  avec le nord (avec le champ  $\vec{B}_a$ ).

Telle que la boussole a été placée initialement (sans courant), les champs  $\vec{B}_a$  et  $\vec{B}_T$  sont perpendiculaires. On peut ainsi écrire :

$$\tan \alpha = \frac{B}{B_a} \quad (3)$$

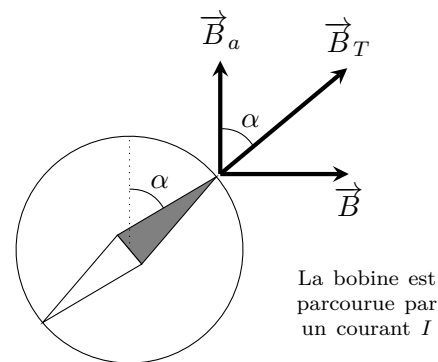


FIGURE 3 – Évaluation du champ avec une boussole : mesure

Cette angle est mesurable sur l'échelle graduée circulairement au centre de la spire.

Comme  $B = \frac{\mu_0 N I}{2R}$  alors  $\tan \alpha = \frac{\mu_0 N I}{2R B_a}$  :

L'angle  $\alpha$  est fonction de  $N$  (nombre de spires),  $I$  (intensité du courant dans la spire) et  $R$  (rayon de la spire).

## 2 Manipulation

### 2.1 Description du matériel, précautions

- Toutes les spires sont constituées par un dépôt (formant des cercles) de métal conducteur sur une plaque d'isolant. Des bornes percées dans cette plaque permettent de faire passer du courant dans les spires.
- Pour le générateur de courant, on utilise une alimentation stabilisée de courant maximum 10 A. Dans tous les cas, **faire attention aux valeurs des courants limites indiquées sur l'appareil et sur la plaque.**

- On mesurera le courant  $I$  avec un ampèremètre (multimètre) en série : attention au calibre (on utilisera le calibre 10A).  
Aux cours des mesures, ne pas rester trop longtemps avec  $I > 1 A$ .
- Pour faire le zéro de la boussole, on procédera ainsi : on repère la direction Nord-Sud à l'aide du côté rouge de l'aiguille et d'une autre boussole extérieure à la spire pour confirmer. On placera alors la direction du zéro de la graduation sur cette direction Nord-Sud et on ne modifiera plus ce réglage (la plaque contenant les spires ne doit plus être déplacée).
- Il faut effectuer chaque mesure à plusieurs reprises : lorsque l'aiguille semble avoir pris sa position d'équilibre, la déplacer manuellement et attendre qu'elle revienne dans sa position d'équilibre. Noter alors l'angle obtenu. Recommencer en déplaçant l'aiguille dans l'autre sens. Noter à nouveau l'angle . . . Retenir la valeur qui semble être la plus reproductible, ou la moyenne des valeurs obtenues (prendre des initiatives) . . . Le but de ces mesures répétées est de compenser les frottements de l'aiguille sur son axe.

## 2.2 Mesures et exploitation

Toutes les courbes sont à réaliser sous Regressi puis à imprimer.

### 1. Étude du champ magnétique en fonction du rayon de la spire

- (a) ♠ Pour les 4 spires de rayons différents, mesurer  $\alpha$  avec  $I = 1A$ . Remplir un tableau de valeurs comportant  $R$ ,  $\alpha$  et  $\tan \alpha$ .
- (b) ♠ Tracer la courbe  $\tan \alpha = f(\frac{1}{R})$  et déterminer la pente de celle-ci en faisant une régression linéaire.
- (c) ♠ En déduire une valeur expérimentale de  $B_a$ , commenter.

### 2. Étude du champ magnétique en fonction de l'intensité du courant dans une spire

- (a) ♠ Pour la spire de rayon 80 mm, mesurer  $\alpha$  pour 8 valeurs du courant  $I$ . Remplir un tableau comportant  $I$ ,  $\alpha$  et  $\tan \alpha$ . **Ne pas dépasser 3 A.**
- (b) ♠ Tracer la courbe  $\tan \alpha = f(I)$  et déterminer la pente de la droite obtenue en faisant une régression linéaire.
- (c) ♠ En déduire une valeur expérimentale de  $B_a$ . Commenter.

### 3. Étude du champ magnétique en fonction de l'intensité du courant dans plusieurs spires

- (a) ♠ Pour le groupe de 5 spires (noter le rayon moyen indiqué sur la plaque), mesurer  $\alpha$  pour 8 valeurs du courant  $I$ . Remplir un tableau comportant  $I$ ,  $\alpha$  et  $\tan \alpha$ .  
**Ne pas dépasser 2.5 A.**
- (b) ♠ Tracer la courbe  $\tan \alpha = f(I)$  et déterminer la pente de la droite obtenue en faisant une régression linéaire.
- (c) ♠ En déduire une valeur expérimentale de  $B_a$ . Commenter.

♠ **Ne pas oublier d'imprimer et de rendre les courbes avec modélisation  
obtenues sous Regressi**

## 2<sup>ème</sup> partie : Champ magnétique créé par des bobines

Cette étude concerne la bobine fine, les bobines de Helmholtz et le solénoïde.

Le but est de vérifier la loi de Biot et Savart dans les différents cas.

Les mesures se font ici avec un teslamètre et sa sonde (teslamètre Leybold ou Jeulin) : **attention, le teslamètre n'est pas dans le circuit électrique !**

La sonde du teslamètre est un capteur de Hall, sensible aux champs perpendiculaires à la tige si la sonde est "tangentielle" (position " $B_z$ ") et aux champs parallèles à la tige si la sonde est axiale (position " $B_x$ ").

### Expérience de test de la sonde

Mesurer le champ magnétique créé par un aimant permanent en forme de U avec la sonde tangentielle (position " $B_z$ "), faire la mesure où le champ  $B$  est maximum.

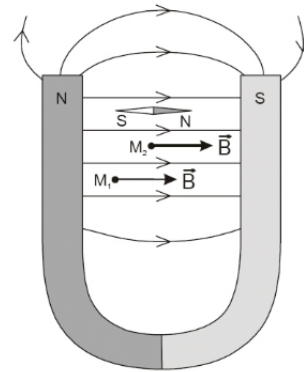


FIGURE 4 – Mesure du champ magnétique régnant à l'intérieur d'un aimant en U

Dans toute la suite du TP, on utilisera la sonde en position axiale (" $B_x$ ")

## 3 Bobine fine

### 3.1 Théorie : loi de Biot et Savart pour une bobine circulaire

Soit une bobine circulaire de rayon  $R$  et de largeur  $2L$ .

Le bobinage est réparti uniformément en plusieurs couches et le nombre de spires est  $N$ .

Les spires sont parcourues par le courant  $I$ .

### 3.1.1 Champ au centre

Le champ magnétique au centre est donné par :

$$B_{\text{theo}}(O) = B_O = \frac{\mu_0 N I}{2R} \left( 1 - \frac{L^2}{2R^2} \right) \quad (4)$$

Ceci est vrai si  $L \ll R$ , c'est-à-dire lorsque  $L$  est de l'ordre de  $\frac{R}{20}$  ou inférieur.

**Mise à jour**

On donne :  $N = 130$  ;  $R = 15 \text{ cm}$  ;

Relever les informations indiquées sur les bobines

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ SI}$ .

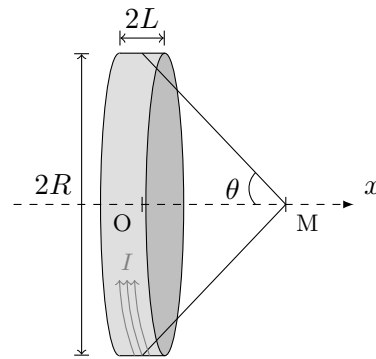


FIGURE 5 – Configuration de la bobine fine

### 3.1.2 Champ sur l'axe

Sur l'axe Ox, le champ pour une bobine fine est donné par :

$$B_{\text{theo}}(M) = B_O \sin^3 \theta \text{ avec } \sin \theta = \frac{R}{\sqrt{R^2 + x^2}} \quad (5)$$

On peut poser  $X = \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{x}{R}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}}$ , on a alors :

$$B_{\text{theo}}(M) = B_O X \quad (6)$$

## 3.2 Montage expérimental

On réalise un circuit en série composé de l'alimentation stabilisée, la bobine fine et un ampèremètre.

La sonde du teslamètre mesurant le champ qui lui est parallèle (position " $B_x$ "), il faut la placer de façon perpendiculaire au plan de la bobine.

Avant toute mesure, on règle le zéro du teslamètre pour "éliminer" la contribution du champ ambiant : en l'absence de courant dans la bobine, le teslamètre doit indiquer  $B = 0$ .

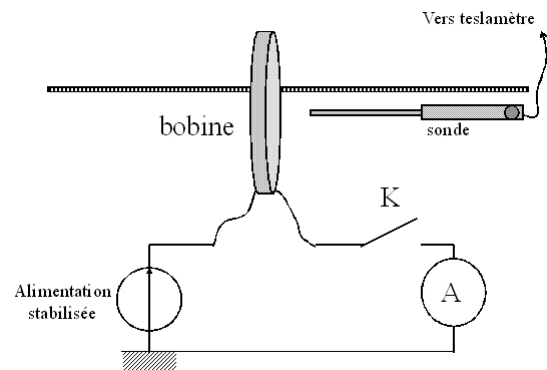


FIGURE 6 – Montage expérimental pour l'étude d'une bobine fine

**Refaire le zéro du teslamètre régulièrement**

## 3.3 Mesures et exploitation

L'intensité sera limitée à 5 A

### 3.3.1 Champ au centre

1. Fermer le circuit et régler l'intensité  $I$  parcourant la bobine à 1 A.

2. ♠ Lire alors directement la valeur du champ magnétique donné par le teslamètre en millitesla (mT).
3. ♠ **Mise à jour**  
A l'aide des données de  $L$  et  $R$ , calculer le champ magnétique théorique au centre de la bobine fine.  
Calculer alors l'écart relatif entre valeur théorique et valeur expérimentale. Commenter.

### 3.3.2 Champ sur l'axe

1. Fermer le circuit et régler l'intensité  $I$  à 2 A.
2. ♠ Mesurer le champ  $B$  pour différentes valeurs de  $x$  compris entre 0 et 20 cm. Remplir un tableau comportant  $x$  et  $B$ . Noter la valeur de  $B_0$ .
3. ♠ Ajouter deux lignes au tableau précédent pour y faire apparaître pour chaque valeur de  $x$  la valeur (à calculer) de  $X$  et de  $Y = \frac{B}{B_0}$  où  $B$  est la valeur mesurée.
4. ♠ La comparaison de  $X$  et  $Y$  permet de confronter théorie et expérience : tracer la droite de régression  $Y = f(X)$  sous regressi et conclure.

**Imprimer la régression**

## 4 Bobines de Helmholtz

### 4.1 Théorie : loi de Biot et Savart

2 bobines fines de rayon  $R$ , espacées de  $R$ , parcourues par un courant  $I$  dans le même sens constitue un ensemble appelé bobines de Helmholtz.

Le champ magnétique créé est donné par :

$$B = \frac{\mu_0 N I}{2R} \left( \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{x}{R}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} + \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{x}{R} - 1\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} \right) \quad (7)$$

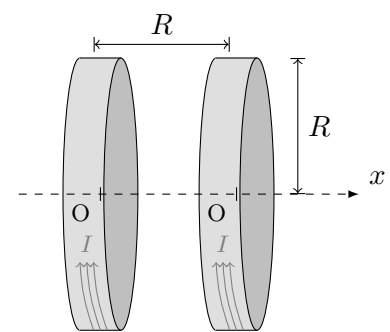


FIGURE 7 – Configuration des bobines de Helmholtz

### 4.2 Montage

On place la deuxième bobine fine dans son support de manière à ce que la distance entre les deux bobines soit  $R$ . Les deux bobines doivent être en série : le courant  $I$  doit être dans le même sens dans les 2 bobines.

On peut vérifier cela en mesurant  $B$  qui doit être maximum au milieu et sur l'axe des deux bobines.

**Refaire le zéro du teslamètre  
régulièrement**

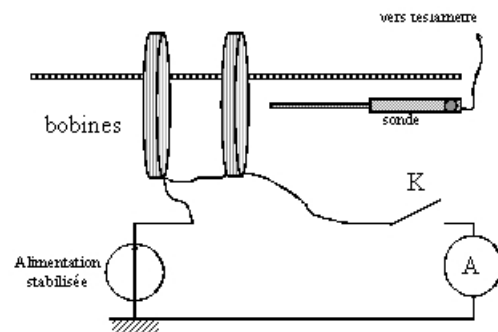


FIGURE 8 – Montage expérimental pour l'étude des bobines de Helmholtz

### 4.3 Mesures

1. Fermer l'interrupteur K et Régler l'intensité du courant à 2 A.
2. ♠ Mesurer le champ  $B$  pour différentes valeurs de  $x$  comprises entre -5 et 20 cm. Remplir un tableau de mesures.  
Noter également la valeur de  $B$  pour  $x = \frac{R}{2}$ .

### 4.4 Exploitation

1. ♠ Représenter sous Regressi la courbe  $B = f(x)$ . La commenter.
2. ♠ Calculer la valeur de  $B_{\text{theo}}$  pour  $x = \frac{R}{2}$ , comparer cette valeur à  $B_{\text{exp}}$  obtenu expérimentalement.

## 5 Solénoïde

### 5.1 Théorie : champ à l'intérieur d'un solénoïde

Soit une bobine circulaire de rayon  $R$  et de longueur  $L$ . Le bobinage est réparti uniformément en plusieurs couches et le nombre de spires est  $N$ . Les spires sont parcourues par le courant  $I$ .

Le champ magnétique à l'intérieur est donné par :

$$B_S = \frac{\mu_0 N I}{L} \quad (8)$$

Si  $L \gg R$  c'est-à-dire  $L$  de l'ordre de  $10R$  ou supérieur.

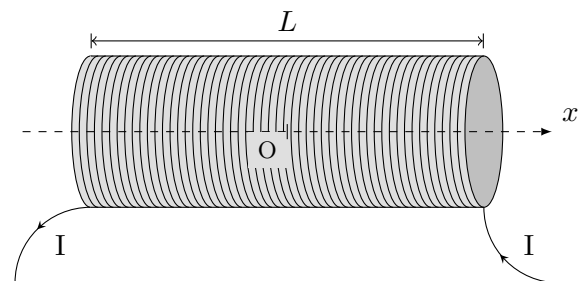


FIGURE 9 – Configuration du solénoïde

### 5.2 Montage

On veillera à placer la sonde bien parallèle à l'axe du solénoïde et au centre de celui-ci.

**Refaire le zéro du teslamètre  
régulièrement**

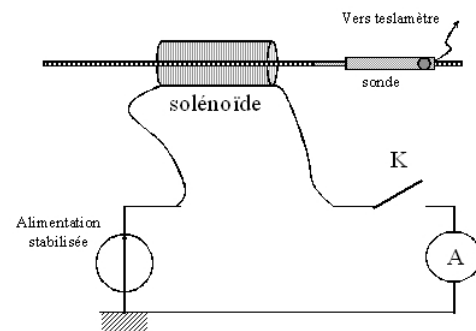


FIGURE 10 – Montage expérimental pour l'étude du solénoïde

### 5.3 Mesures

1. Fermer l'interrupteur K et fixer l'intensité  $I$  à 1 A.  
♠ Mesurer le champ  $B_S$ , comparer avec la valeur théorique.
2. ♠ Déplacer la sonde à l'intérieur du solénoïde le long de son axe : que dire de la valeur de  $B_S$  ?

