

Objectifs :

Déterminer, par acquisition informatique la structure spatiale du champ magnétique sur l'axe de différentes configurations de bobines. Vérifier par *ajustement numérique* l'accord avec les formules du modèle.

Matériel :

- un système de 2 bobines, teslamètre et sa sonde de champ magnétique,
- un solénoïde, un générateur 6 – 12V, un rhéostat, un ampèremètre,
- une bobine de 1000 spires sur cadre et son noyau de fer.
- le logiciel *LatisPro* et une carte d'acquisition permettant son interfacement.
- générateur basse fréquence, oscilloscope, boîte à décade de résistances et câbles.

Capacités mises en œuvre :

- ☐ Mesurer la valeur de l'inductance propre d'une bobine.

Pour des raisons de sécurité, on mesurera systématiquement l'intensité du courant utilisé et on veillera à ne pas dépasser l'intensité maximale indiquée sur le rhéostat. On réglera toujours par défaut la résistance du rhéostat au maximum avant de la diminuer pour obtenir l'intensité recherchée et on éteindra l'alimentation entre deux séries de mesures.

On veillera à sauvegarder régulièrement les données.

I Utilisation du logiciel LatisPro**I.1 Acquisition des données**

Le teslamètre utilise une sonde à *effet Hall*, mesurant la composante B_x du champ selon la direction indiquée par la flèche représentée à son extrémité. Il délivre une tension variant linéairement avec la composante B_x . Le logiciel *LatisPro* enregistre cette tension par l'intermédiaire de la carte d'acquisition et stocke les valeurs mesurées pour en tracer ultérieurement la représentation graphique, effectuer des calculs...

Dans toutes les manipulations, on enregistrera B_x pour un certain nombre de valeurs de x . Pour cela :

Manipulations :

- Choisir la voie d'acquisition analogique (sur laquelle a été branché le teslamètre) par le menu *Paramètres->Entrées*. Choisir comme capteur le teslamètre s'il est immédiatement détecté. Dans le cas contraire, choisir «Pas de capteur». On étudiera alors directement la tension aux bornes du teslamètre, proportionnelle au champ magnétique mesuré. Choisir également l'option *pas à pas*.
- Créer un tableau contenant les abscisses x des différents points (0 ; 5 ; 10 ; 15...mm) dans le mode tableau, accessible par **F11** en :
 - cliquant sur **+** pour créer la valeur « x »,
 - sélectionnant la colonne ainsi créée puis *Traitement->Remplir* par une rampe, choisir la valeur initiale (0) et l'incrément (5), option *Traiter la totalité*.
- L'acquisition est lancée par **F10**. À chaque nouvelle position de la sonde, l'appui sur la barre d'espacement réalise l'acquisition du point à la nouvelle abscisse préréglée.

- L'acquisition peut être interrompue par **ESC**.

Avant chaque acquisition, on configurera la fenêtre d'affichage (choisir la courbe à afficher dans *Paramètres->Courbe*, les échelles dans *Paramètres->Fenêtres*) de manière à pouvoir observer toute l'évolution. On mesurera pour cela les valeurs extrémales du champ magnétique étudié.

On représentera les données par des symboles, sans courbe, et l'ajustement par une courbe, sans symboles.

I.2 Ajustement numérique

Le logiciel permet de vérifier l'accord des points (x, B_x) avec une fonction $B_x(x)$. Pour cela il «ajuste» les valeurs des paramètres d'une fonction mathématique de manière à minimiser l'écart entre la courbe expérimentale et le modèle.

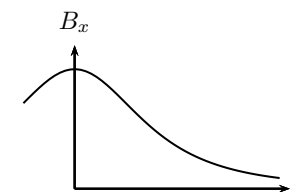
On pourra au choix réaliser l'ajustement avec *LatisPro* ou avec *SciDavis* après avoir exporté les données dans un fichier texte.

Manipulations :

- activer le mode *modélisation* par *Traitement->Modélisation* ou **F4**,
- choisir la variable sur laquelle réaliser l'ajustement,
- entrer la fonction d'ajustement (*Autre Fonction*). Par exemple, pour le champ axial d'une bobine : on rentre, si la variable est nommée B et l'abscisse x ; $B=B0/(1+((x-x0)/R)^2)^{(3/2)} + B_{inf}$, de paramètres $B0, x0, R, B_{inf}$ qu'on marquera actifs.
- choisir *Calculer*, marquer les paramètres désirés actifs et entrer des valeurs proches des valeurs attendues. Choisir à nouveau *Calculer*.

II Champs magnétiques créés par des bobines**II.1 Champ axial d'une bobine****Manipulations :**

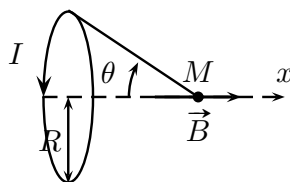
- Brancher en série l'alimentation, le rhéostat et une bobine. Régler le rhéostat de manière à avoir un courant de quelques ampères sans dépasser le maximum autorisé.
- Fixer la sonde. Réaliser l'acquisition des valeurs du champ magnétique en translatant la bobine et en laissant la sonde fixe. On prendra quelques points d'un côté de la bobine et l'essentiel de l'autre côté. de manière à obtenir une courbe proche de celle ci-contre.



Exploitation :

Le champ créé, en un point M défini par l'angle θ , sur son axe de révolution par une bobine de rayon R parcourue par un courant I a pour expression :

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2R} \sin^3 \theta \vec{e}_x$$



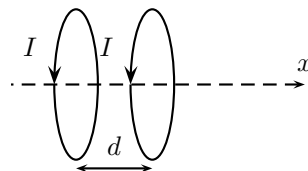
- Réaliser un ajustement des données par cette fonction et relever l'«écart¹» indiqué à l'issue de l'optimisation. On utilisera comme expression l'exemple donné précédemment au I.2.
- Réaliser un autre ajustement par une fonction gaussienne, d'expression : $B = B_0 \cdot \exp(-((x-x_0)^2 / (2 \cdot R^2))) + B_{inf}$. Créer pour cela une nouvelle fonction en donnant un autre nom au modèle. Relever de nouveau l'écart.
- Comparer graphiquement, et en comparant l'écart, la qualité des deux ajustements. Conclure quant à la pertinence du modèle 1.

Questions :

Comment pourrait-on mesurer exactement B_{inf} afin de ne plus le considérer comme un paramètre ajustable ?

II.2 Bobines de Helmholtz**Manipulations :**

- Reprenre le circuit précédent en branchant maintenant les deux bobines en série (le courant doit «tourner» dans le même sens dans les deux bobines).
- Réaliser l'acquisition pour $d = R$ (valeur déterminée par l'ajustement précédent), et pour une valeur $d > R$ (de l'ordre de $1,5R$) s'il reste du temps.

**Exploitation :**

Réaliser un ajustement de chaque série en adaptant la fonction précédente. On rajoutera en particulier un paramètre d'ajustement d .

Questions :

- Quelle propriété remarquable possède le champ pour $d = R$. Quelle utilité voyez-vous à ce dispositif ?
- Retrouver par le calcul ce résultat (on considérera les dérivées successives de $B_z(z)$ au centre.)

¹Il s'agit de la racine de la somme des écarts au carré entre les valeurs expérimentales et les valeurs calculées par le modèle

III Mesure de l'inductance propre d'une bobine**Manipulations :**

Mesurer l'inductance propre d'une bobine de 1000 spires par la méthode de votre choix, en utilisant entre autres un GBF et un oscilloscope. On pourra par exemple :

- étudier la constante de temps d'un régime transitoire,
- mesurer son impédance en régime sinusoïdal établi,
- caractériser son comportement dérivateur sur un signal triangulaire.

IV Champ d'un solénoïde

Un solénoïde est un enroulement cylindrique de spires jointives parcourues par le même courant I . Il est caractérisé par son nombre de spires par unité de longueur n .

Le rayon du solénoïde utilisé est $r = 5\text{ cm}$.

Pour toutes ces mesures, on n'utilisera que les bornes rouges du solénoïde.

IV.1 Modèle du solénoïde infini

On restera dans cette partie loin des extrémités du solénoïde.

Manipulations :

- Mesurer au teslamètre le champ magnétique axial pour quelques points. Dépend-il de la position axiale, de la position radiale ?
- Comparer la valeur du champ axial mesurée par le teslamètre immédiatement à l'extérieur du solénoïde et assez loin des extrémités quand l'intensité du courant est nulle et non nulle.
- Mesurer le champ magnétique au centre du solénoïde pour des nombres de spires N différents à courant constant (on utilisera des paires de bornes plus ou moins espacées et on veillera impérativement à conserver un courant de même intensité).

Questions :

- Vérifier que la variation avec n du champ au centre est compatible avec le modèle $B = \mu_0 n I$.
- Proposer un modèle du champ d'un solénoïde infini. Où le champ est-il nul, où est-il uniforme ?
- Comment pourrait-on avec un ensemble de bobines en configuration Helmholtz réaliser un champ quasiment uniforme sur l'axe. Quelle propriété supplémentaire possède le solénoïde infini ?

IV.2 ☉ Solénoïde fini

On explore maintenant toute la longueur du solénoïde.

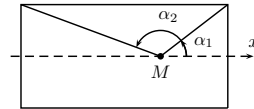
Manipulations :

Réaliser l'acquisition des valeurs du champ axial à l'intérieur d'un solénoïde de 60 spires.

Exploitation :

Vérifier, par un ajustement numérique, l'accord avec le modèle :

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 n I}{2} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1) \vec{e}_x.$$



V ☉ Mesure du champ magnétique terrestre horizontal : boussole des tangentes

On utilise pour ces mesures une paire de grandes bobines de Helmholtz alimentées comme précédemment. On place au centre du dispositif une petite aiguille aimantée qui peut tourner dans un plan horizontal autour de son axe. Cette aiguille, placée dans un champ magnétique \vec{B} s'oriente (après un régime transitoire oscillant) parallèlement au champ \vec{B} : on réalise ainsi une boussole qui pointe dans la direction locale du champ magnétique.

On étudie ici le champ magnétique terrestre que l'on peut décomposer en deux composantes, horizontale \vec{B}_H et verticale \vec{B}_V , telles que $\vec{B}_T = \vec{B}_H + \vec{B}_V$.

Manipulations :

- Le courant parcourant les bobines étant nul, orienter le système de telle sorte que l'aiguille soit orthogonale à l'axe Oz commun aux deux bobines.
- Augmenter progressivement l'intensité du courant et noter la valeur de l'intensité $I_{\pi/4}$ pour laquelle la position de l'aiguille au repos a tourné d'un angle $\alpha = \pi/4$.
- Mesurer alors au teslamètre la valeur du champ magnétique axial créé par les bobines de Helmholtz par un courant I exactement 10 fois supérieur : $I = 10 \times I_{\pi/4}$. Effectuer la moyenne des mesures dans les deux sens opposés afin de corriger un éventuel décalage du teslamètre.

Questions :

- À quelle composante horizontale ou verticale du champ la boussole est-elle sensible ?
- Faire un schéma représentant la position de l'aiguille en fonction des champs \vec{B}_{sol} du solénoïde et \vec{B}_H . Déterminer α en fonction du quotient B_{sol}/B_H et en déduire B_H en fonction de B_{sol} quand $\alpha = \pi/4$. En déduire la valeur de B_H en gauss ($1\text{G} = 1 \cdot 10^{-4}\text{T}$).
- Justifier l'utilisation d'une paire de bobines en configuration Helmholtz plutôt qu'une seule bobine.
- Quelle valeur du champ magnétique mesure-t-on directement au teslamètre ? Commenter, justifier la précision supérieure de la méthode de la boussole des tangentes.