

Champ magnétique Protocole

Buts

Le laboratoire **Champ magnétique** vise à :

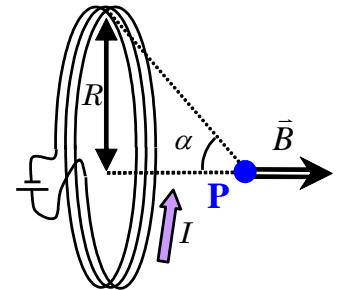
- Vérifier l'application de la règle de la main droite en déterminant l'orientation du champ magnétique.
- Vérifier qu'une bobine de N spires parcourues par un courant I génère un champ magnétique de module B en son centre tel que

$$B = N \frac{\mu_0 I}{2R} .$$

- Vérifier qu'une bobine de N spires parcourues par un courant I génère un champ magnétique de module B sur l'axe central de la bobine sous la forme de l'équation

$$B = N \frac{\mu_0 I}{2R} \sin^3(\alpha) .$$

- Évaluer correctement l'incertitude sur des mesures directes prises en laboratoire.
- Appliquer correctement les règles de propagation des incertitudes.



Montage

Pour réaliser cette expérience, vous devrez utiliser le matériel suivant :

- Une bobine à spires superposées de 500 tours générant un champ magnétique lorsque celle-ci est alimentée par un courant électrique.
- Une source de courant (modèle GW INSTEK GPS-3303) générant un **courant électrique** I pour alimenter la bobine.
- Une sonde magnétique pour mesurer le **champ magnétique** B par effet Hall.
- Un Xplorer GLX pour afficher les mesures prises par la sonde magnétique.
- Un câble de raccordement entre la sonde et le GLX.
- Un mètre en bois pour mesurer la **position de la sonde** x de la sonde le long de l'axe central de la bobine.
- Deux supports pour maintenir en équilibre la sonde sur l'axe central de la bobine.
- Un ruban à mesurer pour mesurer le **rayon** R de la bobine.
- Un niveau pour aligner horizontalement la règle.



bobine à spires superposées de 500 tours



source de courant



sonde magnétique



Xplorer GLX

Manipulations

Informations et directives :

- Notez tous vos résultats sur la feuille « Rapport ». N'oubliez pas d'indiquer les unités.
- Pour les étapes #6 et #7 où vous devrez tracer un graphique de vos données, entrez directement vos données dans Excel afin de pouvoir tracer rapidement les graphiques des données brutes. Cela permettra au professeur de voir rapidement si les résultats semblent corrects.
- **Ne perdez pas votre temps à faire la mise en page des graphiques durant le laboratoire!** Vous pourrez le faire plus tard.
- Pour les valeurs de courant et de champ magnétique mesurées au laboratoire, notez exactement le même nombre de chiffres qui est affiché sur l'appareil de mesure. (Par exemple, si votre sonde magnétique indique « 8.0 G », prenez en note exactement « 8.0 » et non « 8 ».)

Étape #1 : Limiter le courant dans le circuit

Au canal 1 (CH1) de votre source, ajustez le **courant maximal** pouvant être produit par la source à **1,2 A** afin de ne pas surchauffer la bobine lorsqu'un courant y circulera.

Étape #2 : Mesure du rayon de la bobine

Mesurez le diamètre externe D_{ext} et le diamètre interne D_{int} de la bobine à l'aide du ruban à mesurer et évaluez vous-même des valeurs raisonnables de l'incertitude δD associées à ces 2 mesures. Notez vos résultats sur votre feuille Rapport.

Plus tard (donc pas nécessairement pendant le labo) vous utiliserez ces mesures afin de calculer le rayon R de la bobine :

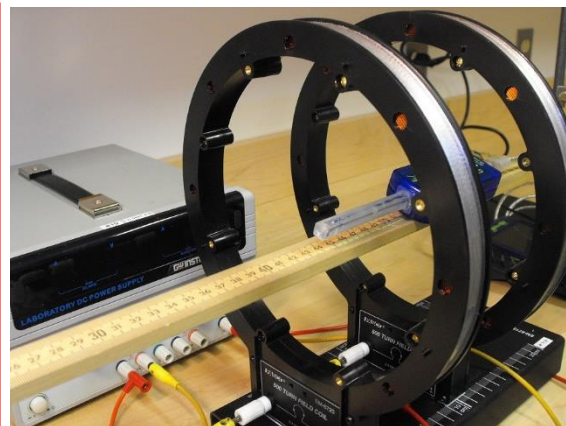
$$\text{Diamètre moyen : } D_{\text{moy}} = \frac{D_{\text{ext}} + D_{\text{int}}}{2} \qquad \text{Rayon : } R = \frac{D_{\text{moy}}}{2}$$

Étape #3 : Initialisation de la sonde et vérification de l'incertitude sur le champ magnétique

VOTRE PROFESSEUR AURA DÉJÀ FAIT LES ÉTAPES CI-DESSOUS

Modifiez l'affichage des mesures en réduisant le nombre de chiffres significatifs à l'aide de la procédure suivante : (utilisez le bouton crochet (\vee) pour faire une sélection)

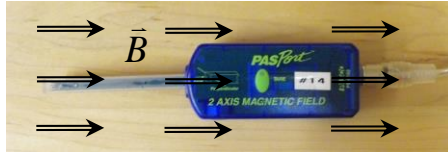
- Appuyez sur (Esc) pour obtenir le mode d'affichage par défaut de l'appareil.
- Appuyez sur (\vee) deux fois afin d'ouvrir et de sélectionner le menu « Champ magnétique (Axial) ».
- Choisissez (3) Propriétés des données... à l'aide des flèches et appuyez sur (\vee) pour valider.
- Choisissez « Nombres de chiffres » et réduisez à 1 avec le bouton (-).
- Fermez le menu avec (F1).



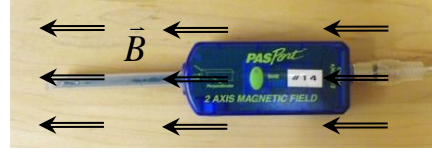
Placez la sonde dans l'axe perpendiculaire au plan de la bobine au centre de la bobine afin d'effectuer votre mise à zéro à l'aide du bouton « Tare ».

Déposez la sonde sur la règle afin que l'axe de la sonde soit parallèle à la règle. Positionnez la pointe de lecture de la sonde (i.e. la pointe métallique et non la pointe de plastique) au centre de la bobine (voir schéma ci-dessus). Effectuez maintenant la mise à zéro : **appuyez sur le bouton « Tare »** situé sur la sonde. Ceci a pour effet de retirer l'influence du champ magnétique terrestre.

Dans le cadre de ce laboratoire, les **mesures prises avec la sonde** seront **uniquement** selon **l'axe parallèle** à la sonde (**axial**) selon la **convention de signes** ci-dessous :



$B_{(axial)}$ positif : \vec{B} pointe vers la droite



$B_{(axial)}$ négatif : \vec{B} pointe vers la gauche

Placez donc toujours votre sonde sur votre règle afin que tige pointe vers la gauche (comme sur les schémas ci-dessus).

Vous ne devez donc pas tenir compte des mesures de la composante du champ perpendiculaire à la sonde (radial).

En principe, une fois qu'on a appuyé sur le bouton « Tare », le champ indiqué devrait être zéro. Cependant, vous remarquerez probablement que la valeur du champ affichée fluctue plutôt autour d'une valeur proche de zéro.

Selon le fabricant, l'incertitude de la sonde est

$$\delta B = 0,4 \text{ G}$$

Ainsi, vous devriez en principe observer une valeur affichée qui se situe ou qui fluctue entre $-0,4 \text{ G}$ et $+0,4 \text{ G}$. Si ce n'est pas le cas, appelez votre professeur pour qu'il vérifie votre montage.

Étape #4 : Position sur l'axe central associée au champ magnétique maximal

Effectuez le branchement du canal 1 (CH1) de la source à la **bobine de gauche**.

Assurez-vous que le courant maximal est limité à $1,2 \text{ A}$ (en principe vous avez déjà fait ce réglage à l'étape #1).

Appuyez sur le bouton output afin que la petite lumière verte soit allumée.

Sens indiqué sur la bobine

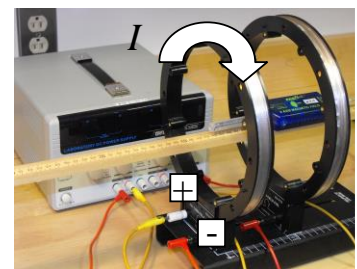


Borne blanche : (+)

Borne noire : (-)

Sens courant + vers - : horaire

Sens horaire



Tournez le bouton « **voltage** » afin d'augmenter le ΔV aux bornes de la bobine. Plus vous augmenterez ΔV , plus la valeur du courant I augmentera également. (La valeur du courant I s'affichera sur la source, avec des chiffres rouges, tout juste à gauche de votre valeur de ΔV). Ajustez le bouton « voltage » jusqu'à ce que vous ayez un courant de **1,00 A** qui circule dans votre bobine.

Déplacez doucement la sonde magnétique sur la règle afin de trouver la position x_c où le module du champ magnétique généré par la bobine est maximal. (Théoriquement ceci devrait survenir lorsque la sonde est près du centre de la bobine, donc pour une position proche de $x = 45 \text{ cm}$ sur la règle.)

- Dans le Rapport, notez la position sur l'axe central x_c associée au module du champ magnétique maximum. Évaluez également une valeur raisonnable pour son incertitude. (Notez cependant que l'incertitude sur la position de la sonde ne sera pas considérée dans les calculs faits dans l'analyse.)

Cette position x_c correspond à la position du centre de la bobine. Vous en aurez besoin plus tard aux étapes #6 et #7.

Étape #5 : Sens du champ magnétique et règle de la main droite

Mesurez le module et l'orientation du champ magnétique sur l'axe central de la bobine à 10 cm du centre de la bobine du côté gauche et droit à l'aide de la sonde lorsqu'un courant de **0,50 A** et de **1,00 A** circule dans la bobine dans le sens horaire et antihoraire (voir schémas ci-dessous). Ajustez le bouton « **voltage** » de la source adéquatement afin d'obtenir le courant désiré dans la bobine.

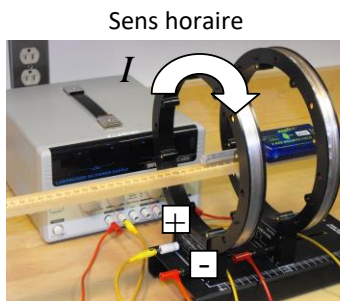


Sens indiqué sur la bobine

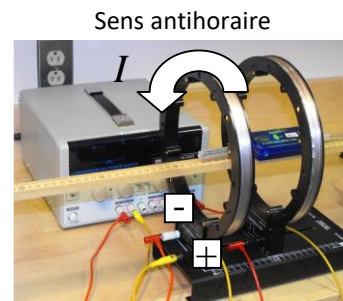
Borne blanche : (+)

Borne noire : (-)

Sens courant + vers - : horaire



Sens horaire



Sens antihoraire

- Complétez le tableau ci-dessous dans le Rapport en précisant le **champ magnétique** en gauss (G). Conservez le signe (+ ou -) de vos mesures : un signe positif signifie que \vec{B} pointe vers la droite et un signe négatif signifie que \vec{B} pointe vers la gauche.

Courant	Courant circulant en sens horaire		Courant circulant en sens antihoraire	
	Champ magnétique (en G) à 10 cm à gauche du centre	Champ magnétique (en G) à 10 cm à droite du centre	Champ magnétique (en G) à 10 cm à gauche du centre	Champ magnétique (en G) à 10 cm à droite du centre
0,50 A	À COMPLÉTER DANS LE RAPPORT			
1,00 A				

Avant de continuer, téléchargez d'abord le fichier Excel suivant disponible sur le site web du professeur :

<https://physique.cmaisonneuve.qc.ca/btardif/NYB/TemplateChampMagnetique.xlsx>

Vous pourrez noter vos mesures directement dans ce fichier. Assurez d'en conserver une copie dans vos dossiers.

Étape #6 : Relation entre le module du champ magnétique B et le courant I

Vérifier la relation qui existe entre le module du champ magnétique B généré au centre d'une bobine de N spires et le courant I qui circule dans la bobine : $B = N \frac{\mu_0 I}{2R}$

Afin de vérifier cette relation, placez votre sonde au centre de la bobine (à la position x_c que vous avez déterminée à l'étape #4) et tracez un **graphique des données brutes #1** sur Excel du module du **champ magnétique B** (en G) en fonction du **courant I** (en A) à l'aide de plusieurs mesures de courant entre 0,10 A et 1,00 A inclusivement.

- **SIGNATURE #1** : Demandez la présence de votre professeur pour vérifier votre graphique. Plus tard pendant l'analyse (donc pas nécessairement pendant le laboratoire) vous tracerez le graphique #1 de la variable transformée associée à ces données.

(Le graphique des données brutes que vous venez de montrer à votre professeur n'est pas à imprimer ni à inclure dans votre rapport. Il servait simplement à vérifier que vos données semblaient correctes. Une fois que vous avez obtenu votre signature, vous pouvez donc supprimer votre graphique.)

Étape #7 : Le module du champ magnétique B le long de l'axe central

Vérifiez qu'une bobine de N spires parcourues par un courant I génère un champ magnétique de module B sur l'axe central de la bobine sous la forme de l'équation

$$B = N \frac{\mu_0 I}{2R} \sin^3(\alpha).$$

Faites circuler le courant dans la bobine dans le sens horaire. Ajustez le bouton « voltage » de votre source afin de faire circuler un courant I constant de votre choix entre 0,50 A et 1,00 A.

- Notez le courant choisi dans le Rapport et calculez son incertitude. *L'incertitude δI sur le courant produit par la source est : 0,5% de la valeur affichée + 3 unités de la dernière décimale affichée*

Mesurez le champ magnétique sur l'axe central à différentes distances (entre $-0,4$ m et $+0,4$ m) du centre de la bobine à gauche et à droite et représentez vos données sur Excel sous la forme d'un **graphique des données brutes #2** du module du **champ magnétique B** (en G) en fonction de la **position x** (en m) tel que $x = 0$ représente la coordonnée du centre de la bobine (la coordonnée x_c que vous avez déterminée à l'étape #4).

Attention! Le courant peut varier légèrement tout au long de vos mesures. Réajustez-le si nécessaire.

- **SIGNATURE #2** : Demandez la présence de votre professeur pour vérifier votre graphique. Plus tard pendant l'analyse (donc pas nécessairement pendant le laboratoire) vous tracerez le graphique #2 de la variable transformée associée à ces données.

(Le graphique des données brutes que vous venez de montrer à votre professeur n'est pas à imprimer ni à inclure dans votre rapport. Il servait simplement à vérifier que vos données semblaient correctes. Une fois que vous avez obtenu votre signature, vous pouvez donc supprimer votre graphique.)

Analyse

Construction et analyse du graphique #1

Utilisez vos données brutes dans l'onglet « Graphique1 » du fichier Excel pour calculer les valeurs dans le tableau des variables transformées :

Concernant le courant I :

Vous devrez calculer δI pour chacune de vos valeurs de I . L'incertitude δI sur le courant produit par la source est : 0,5% de la valeur affichée + 3 unités de la dernière décimale affichée.

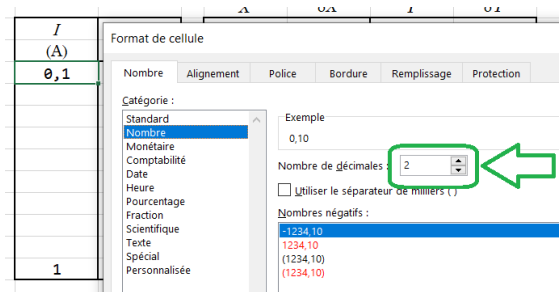
Concernant le champ magnétique B :

Vous devrez convertir vos valeurs de B en Teslas. Rappel : $1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$.

L'incertitude δB de votre appareil de mesure est $\delta B = 0,4 \text{ G}$... que vous devrez convertir lui aussi en Teslas.

Lorsqu'on exprime une mesure expérimentale sous la forme $x = (\tilde{x} \pm \delta x)$, il est important que \tilde{x} et δx possèdent le nombre de chiffres significatifs et le nombre de décimales appropriés. Au besoin, sachez qu'il est toujours possible de spécifier manuellement à Excel le nombre de décimales qu'on souhaite à afficher dans une (ou plusieurs) case.

Il suffit de cliquer sur une case, de cliquer ensuite sur le bouton de droite de la souris pour accéder au menu contextuel, et cliquer ensuite sur « Format de cellule ». Dans l'onglet « Nombre », on peut ensuite sélectionner la catégorie « Nombre » et sélectionner le « Nombre de décimales » souhaité. Vous devriez, par exemple, spécifier « Nombre de décimales : 2 », afin de forcer Excel à afficher « 0,10 » au lieu de simplement « 0,1 » pour votre première valeur de courant dans le **Tableau des données brutes**.



Tracez le graphique (nuage de points) de la variable transformée. Votre graphique doit respecter les consignes de mise en forme habituelle (titre complet, axes bien identifiés avec symbole des variables et unités entre parenthèses, courbe de tendance avec son équation dans laquelle vous devrez remplacer x et y par les valeurs de votre expérience, etc.).

Ajoutez une courbe de tendance linéaire à votre graphique. Vous remarquerez que la pente et l'ordonnée à l'origine calculées automatiquement par Excel lorsque vous ajouterez votre courbe de tendance linéaire ne seront pas exactement les mêmes que celles calculées dans les cases rouges en haut du tableau Excel ... c'est normal, car celles calculées dans les cases rouges prennent en considération les incertitudes sur chacune des mesures et sont donc plus précises et plus représentatives de la réalité. Modifiez vous-même « manuellement » l'équation de votre courbe de tendance sur votre graphique pour inscrire les mêmes valeurs (pente M et ordonnée à l'origine B) que celles calculées dans les cases rouges. (À ce moment-ci, vous n'avez pas besoin de vous soucier du nombre exact de décimales à inscrire lorsque vous inscrivez vos valeurs de M et B).

Sachant que l'équation théorique du module du champ magnétique B généré au centre d'une bobine de N spires parcourue par un courant I est :

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

L'expression « théorique » de la pente du graphique #1 est donc $M = \frac{\mu_0 N}{2R}$.

Dans l'espace prévu à cet effet dans le rapport, recopiez la valeur de votre pente M et de son incertitude δM calculées dans les cases rouges (vous devrez ajuster vos valeurs M et δM afin de respecter le bon nombre de chiffres significatifs et le bon nombre de décimales). Spécifiez également les unités de la pente M .

Faites les calculs nécessaires pour obtenir le nombre de tours expérimental N_{exp} et exprimez-le sous la forme $N = (\tilde{N} \pm \delta N)$. Pour calculer δN , vous pouvez utiliser soit les **règles simplifiées**, soit la **méthode différentielle**. Montrez vos calculs.

Tracez un diagramme de concordance et dites si votre valeur de N_{exp} concorde avec la valeur de référence $N_{\text{théo}} = 500$ tours.

Construction et analyse du graphique #2

Utilisez vos données brutes dans l'onglet « Graphique2 » du fichier Excel pour calculer les valeurs dans le tableau des variables transformées :

Concernant le terme $\sin^3(\alpha)$:

Vous devrez programmer les cellules Excel avec une « équation algébrique » afin qu'elles calculent automatiquement les valeurs du terme $\sin^3(\alpha)$ pour tous vos points. Voici quelques fonctions Excel qui pourraient vous être utiles :

=SIN(valeur) ... fonction qui calcule le sinus d'une valeur. (La valeur en argument doit être en radians).

=ATAN(valeur) ... fonction qui calcule l'arc tangente d'une valeur. (Le résultat sera donné en radians).

=ABS(valeur) ... fonction qui calcule la valeur absolue d'une valeur.

Il est recommandé de calculer vous-même à la calculatrice votre première valeur de $\sin^3(\alpha)$ pour vous assurer qu'elle concorde bien avec le résultat obtenu avec Excel.

Par ailleurs, notez que nous négligerons l'incertitude associée aux termes $\sin^3(\alpha)$ donc ne modifiez pas les cases grises dans le fichier Excel.

Concernant le champ magnétique B :

Vous devrez convertir vos valeurs de B en Teslas. Rappel : $1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$.

L'incertitude δB de votre appareil de mesure est $\delta B = 0,4 \text{ G}$... que vous devrez convertir lui aussi en Teslas.

Tracez le graphique (nuage de points) de la variable transformée. Votre graphique doit respecter les consignes de mise en forme habituelle (titre complet, axes bien identifiés avec symbole des variables et unités entre parenthèses, courbe de tendance avec son équation dans laquelle vous devrez remplacer x et y par les valeurs de votre expérience, etc.).

Ajoutez une courbe de tendance linéaire à votre graphique. Modifiez vous-même « manuellement » l'équation de votre courbe de tendance sur votre graphique pour inscrire les mêmes valeurs (pente M et ordonnée à l'origine B) que celles calculées dans les cases rouges.

Sachant que l'équation théorique du module du champ magnétique B généré sur l'axe central d'une bobine de N spires parcourue par un courant I est :

$$B = N \frac{\mu_0 I}{2R} \sin^3(\alpha)$$

L'expression « théorique » de la pente du graphique #2 est donc $M = \frac{\mu_0 N I}{2R}$.

Dans l'espace prévu à cet effet dans le rapport, recopiez la valeur de votre pente M et de son incertitude δM calculées dans les cases rouges (vous devrez ajuster vos valeurs M et δM afin de respecter le bon nombre de chiffres significatifs et le bon nombre de décimales). Spécifiez également les unités de la pente M .

Faites les calculs nécessaires pour obtenir le nombre de tours expérimental N_{exp} et exprimez-le sous la forme $N = (\tilde{N} \pm \delta N)$. Pour calculer δN , vous pouvez utiliser soit les **règles simplifiées**, soit la **méthode différentielle**. Montrez vos calculs.

Tracez un diagramme de concordance et dites si votre valeur de N_{exp} concorde avec la valeur de référence $N_{\text{théo}} = 500$ tours.

Discussion des incertitudes et des causes d'erreurs

En analysant les données de votre graphique 2, vous êtes parvenu à obtenir une valeur expérimentale du nombre de tours N_{exp} . Pour obtenir cette valeur, vous avez dû effectuer plusieurs mesures :

- Vous avez mesuré le rayon R de la bobine ... avec son incertitude δR ;
- Vous avez mesuré un courant I circulant dans la bobine ... avec son incertitude δI ;
- Vous avez mesuré plusieurs valeurs de champ magnétique B ainsi que plusieurs positions x de la sonde sur la règle, qui ont été combinées ensemble afin d'obtenir une pente M ... et son incertitude δM .

Selon vous, quelle a été la plus grande source d'incertitude dans l'expérience ? Autrement dit, on cherche à savoir ce qui a le plus influencé votre incertitude absolue δN obtenue sur le nombre de tours expérimental ? Afin de répondre correctement à la question, calculez d'abord (en pourcentage) chacune des trois incertitudes relatives associées à R , I et M et comparez-les.

Rappel : pour une quantité quelconque $z = (\tilde{z} \pm \delta z)$, l'incertitude relative (en %) est $\frac{\delta z}{|\tilde{z}|}$

Répondez à la question sous la forme d'un court texte dans l'espace prévu à cet effet dans le Rapport.

INSTRUCTIONS POUR LA REMISE :

- Répondez à toutes les questions dans le **rapport**.
- Imprimez (sur une seule page) le **graphique #1** ainsi que les tableaux de données associés.
- Imprimez (sur une seule page) le **graphique #2** ainsi que les tableaux de données associés.
- Brochez ensemble votre rapport et vos deux graphiques et remettez le tout au moment indiqué par votre professeur.