

TP-3 *Electromagnétisme*

But du TP

- Savoir détecter un champ magnétique (boussole, teslamètre).
- Savoir calculer l'inductance L d'une bobine et comprendre ce que L représente.
- Apprendre à utiliser un teslamètre pour mesurer l'intensité d'un champ magnétique.
- Repérer les différents paramètres qui influent sur la valeur du champ magnétique créé par une bobine traversée par un courant électrique.

Rappels théoriques

L'électromagnétisme joue un rôle très important dans le domaine de l'électricité : alternateurs des centrales électriques, transformateurs, moteurs électriques, électro-aimants, microphones, haut-parleurs, inductances, etc.

Le magnétisme

Certains minerais naturels (comme la magnétite) ont le pouvoir d'attirer de la limaille de fer, on les appelle des **aimants permanents**.

Ils produisent autour d'eux un champ magnétique, comme le montre la figure ci-contre.

Ils ont toujours deux pôles : un pôle nord (N) et un pôle sud (S).

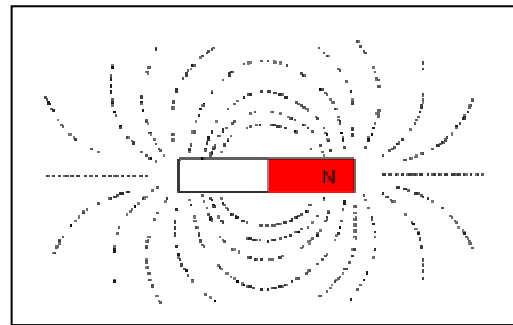
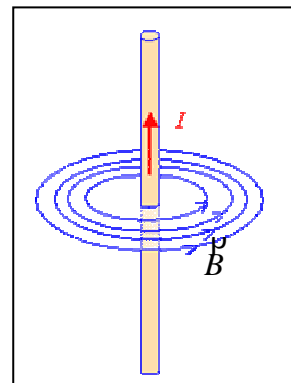


Fig.1 Un aimant permanent

Expérience d'Oersted

C'est en 1820 que le danois Oersted relie, pour la première fois, électricité et magnétisme. Il montre qu'à proximité d'un fil parcouru par un courant électrique, l'aiguille d'une boussole dévie. Il déduit alors que le déplacement de charges électriques crée un champ magnétique : c'est la naissance de l'électromagnétisme.



N.B. Les règles de "la main droite", du "tire-bouchon" ou du "tournevis" permettent de déterminer l'orientation du champ magnétique en fonction du sens du courant électrique dans la spire.

La spire

Si nous prenons le fil rectiligne d'en haut, et que nous l'enroulons en forme de cercle, nous obtenons ce que l'on appelle une **spire**. Quand cette spire est parcourue par un courant électrique I , il y a apparition d'un **champ magnétique** \vec{B} analogue à celui produit par un petit aimant (\vec{B} est tangent aux **lignes de champ**, présentées en pointillés sur la figure ci-contre).

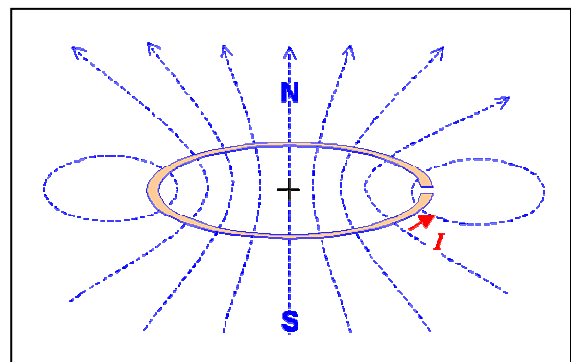


Fig.3 Champ magnétique produit par une spire

La bobine

L'effet magnétique d'une seule spire est faible. Pour le renforcer, Ampère eut l'idée de multiplier les spires, il fabriqua alors la **bobine**.

Une bobine électrique est constituée de l'enroulement d'un conducteur en plusieurs tours. Le nombre de tours N est appelé **nombre de spires**. Le champ magnétique B produit par une bobine dépend du nombre N , de la section S des spires et de l'intensité du courant I .

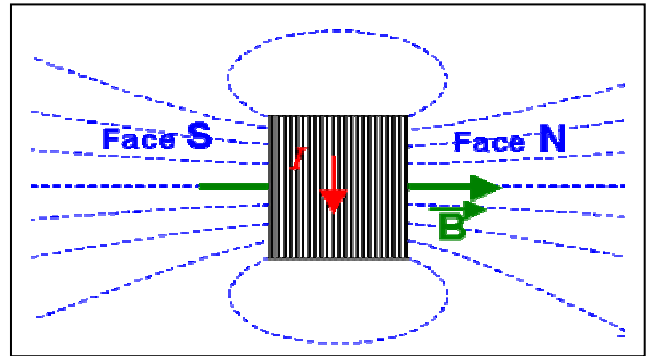


Fig.4 Champ magnétique produit par une bobine

Mesure du champ magnétique

Pour mesurer le champ B , on utilise le **Teslamètre** (le **tesla** étant l'unité de mesure du champ magnétique). C'est un appareil qui sert à la détection et à la mesure des champs magnétiques. En général, un teslamètre permet de détecter des champs de faible et de moyenne intensité (de 0,01mT à plusieurs centaines de mT). Son capteur est constitué d'une **sonde à effet Hall** qui mesure une tension proportionnelle au champ B dans lequel est plongée la sonde.

Quelques ordres de grandeurs :

Le champ magnétique terrestre avoisine 0,02 mT.

Les champs magnétiques les plus intenses sont de l'ordre de 50 T.

Autour d'un aimant permanent le champ magnétique est de l'ordre d'une dizaine de mT.

En **IRM** (Imagerie par résonance magnétique) quelques teslas –produits par un électroaimant– permettent l'exploration du corps humain.

Manipulation 1

Magnétisme d'une bobine traversée par un courant

But de cette manipulation

Déceler l'effet magnétique produit par une bobine traversée par un courant électrique I .

Liste du matériel

- Une bobine
- Un ampèremètre
- Une alimentation à courant continu G
- Une boussole
- Un aimant permanent
- Un rhéostat 10 Ω

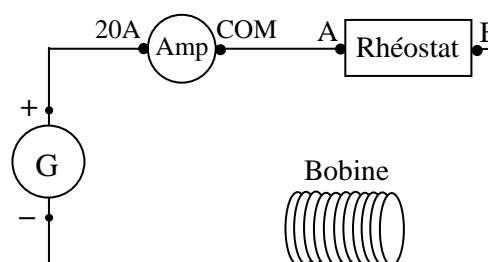


Schéma du montage

Travail à effectuer

- ✓ Prenez l'**aimant permanent**, utilisez la boussole pour identifier le pôle Nord et le pôle Sud de cet aimant.
- ✓ Déplacer la boussole autour de l'aimant pour "voir" les **lignes de champ** magnétique (l'aiguille de la boussole va dévier de façon à être toujours tangente aux lignes de champ).
- ✓ Utilisez la **limaille de fer** pour visualiser les lignes de champ. Les dessiner et les comparer avec celles de la fig.1?
- ✓ Réalisez le montage ci-dessus (ne "**jamais**" allumer l'alimentation sans l'autorisation de l'enseignant!)
- ✓ Réglez l'alimentation sur 5V— (courant continu), sans l'allumer.

- ✓ Branchez le rhéostat en résistance complète (c'est-à-dire sans utiliser la borne "rouge" du curseur C)
- ✓ Allumez l'ampèremètre, mettre le sélecteur sur le calibre 10A (ou 20A selon le type d'ampèremètre utilisé).
- ✓ Mettez une boussole devant l'une des extrémités de la bobine; quelle direction indique l'aiguille de la boussole?
- ✓ Allumer l'alimentation (après autorisation de l'enseignant).
- ✓ Que fait l'aiguille de la boussole?
- ✓ Repérez le pôle Nord et le pôle Sud de la bobine. Quelle est la direction et le sens de \vec{B} sur l'axe de la bobine?
- ✓ Utilisez la règle du "tournevis" pour identifier le sens de déplacement du courant I dans les spires de la bobine.
- ✓ Eteindre l'alimentation. Inversez les branchements de la bobine. Rallumer l'alimentation. Le champ \vec{B} garde-t-il le même sens? Pourquoi ?
- ✓ Eteindre l'alimentation et l'ampèremètre.

Manipulation 2

Détermination de l'inductance d'une bobine

Rappel théorique

Toute résistance est caractérisée par sa valeur R ; tout condensateur est caractérisé par sa capacité C ; aussi, toute bobine est caractérisée par son inductance L .

Quand nous mettons une bobine dans un circuit électrique, deux cas de figure sont possibles. Soit le courant électrique qui la traverse est constant ($di/dt = 0$); dans ce cas, même si la bobine produit un champ magnétique, elle n'aura pratiquement aucun effet sur le circuit. Par contre, si le courant qui la traverse varie ($di/dt \neq 0$), alors la tension à ses bornes va s'écrire :

$$u(t) = \frac{d\Phi_B}{dt}, \quad \Phi_B \text{ étant le flux de } \vec{B} \text{ à travers la section de la bobine : } \Phi_B = \iint \vec{B} \cdot d\vec{S} = L i,$$

$$\text{Ce qui donne : } u(t) = L \frac{di(t)}{dt}.$$

Ainsi, pour une même variation de i , la tension u aux bornes de la bobine est d'autant plus grande que L est grand.

L'inductance L de la bobine est donnée par la formule : $L = \mu_o N n S$ (1)

Où μ_o est la perméabilité magnétique du vide ($\mu_o = 4\pi 10^{-7}$), N est le nombre de spires formant la bobine, S la section de la bobine et n est le nombre de spires par mètre ($n = N/l$, l étant la longueur de la bobine). L'inductance L est exprimée en henry (H).

Remarque :

La formule de L ci-dessus est valable lorsque la bobine est sans "noyau". Mais si à l'intérieur de la bobine on introduit un noyau en fer doux (c'est-à-dire en fer pur), alors pour trouver la nouvelle valeur de son inductance L il suffit de remplacer, dans l'expression (1), μ_o par μ (μ étant la perméabilité magnétique du fer doux).

But de cette manipulation

Calculer l'inductance L de deux bobines, à l'aide de la formule (1), et comparer les valeurs obtenues avec celles données par le fabricant (inscrites sur les bobines en question).

Liste du matériel

- Un solénoïde ayant un nombre de spires N_1 .
- Une bobine ayant un nombre de spires N_2 .

N.B. Un solénoïde est une bobine "longue".

Travail à effectuer

- ✓ Relevez le nombre de spires N_1 du solénoïde. Mesurez sa longueur l_1 (à l'aide d'une règle), mesurez son diamètre d_1 (à l'aide d'un pied à coulisse) puis calculez sa section S_1 . Déduire, à l'aide de la formule (1), la valeur de son inductance L_1 . La comparer avec celle donnée par le fabricant.
- ✓ Relevez le nombre de spires N_2 de la bobine. Mesurez sa longueur l_2 , mesurez son diamètre d_2 puis calculez sa section S_2 . Déduire la valeur de son inductance L_2 . La comparer avec celle donnée par le fabricant.

Manipulation 3

Champ magnétique créé au "centre" d'une bobine plate

Rappel théorique

Une **bobine plate** est une bobine dont le rayon R est beaucoup plus grand que sa longueur l .

Considérons une bobine circulaire de rayon R possédant N spires; le champ magnétique B_o , au centre de la bobine, est dirigé suivant l'axe de celle-ci et il a pour expression :

$$B_o = \frac{\mu_o NI}{2R} \quad (2)$$

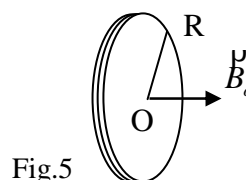


Fig.5

But de cette manipulation

Vérifier la relation (2).

Liste du matériel

- Une bobine plate
- Une alimentation à courant continu G
- Un rhéostat 10Ω 5,7A
- Un ampèremètre (Amp)

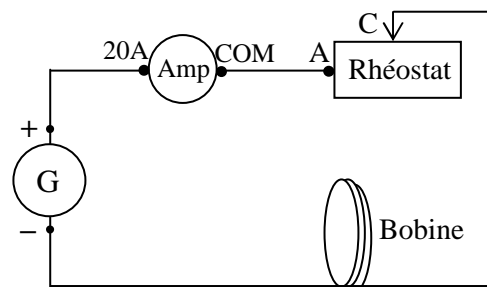


Schéma du montage

Travail à effectuer

- ✓ Réalisez le montage ci-dessus (ne "**jamais**" allumer l'alimentation sans l'autorisation de l'enseignant!).
- ✓ Branchez la bobine plate en choisissant $N=30$ (en effet, il y a trois possibilités avec cette bobine : $N=10$, $N=20$ et $N=30$, nous choisissons 30 pour pouvoir, dans cette manipulation, négliger l'influence du magnétisme terrestre).
- ✓ En branchant le rhéostat, mettez le curseur C en position de résistance maximale, c'est-à-dire l'extrémité opposée à l'entrée A (**Attention** : ce rhéostat ne supporte pas un courant supérieur à 5,7A, en suivant bien les indications de cette brochure vous ne risquez pas de dépasser cette valeur).
- ✓ Vérifiez que votre alimentation est bien sur le voltage continu (les bornes des tensions continues sont toujours indiquées par + et -).
- ✓ Vérifiez, sur l'alimentation, que le bouton de sélection du voltage (gros bouton rotatif) est bien sur "0V" (en butée à gauche).
- ✓ L'ampèremètre sera branché par les bornes 20A et COM, et le sélecteur mis sur le calibre 20A. Allumez l'ampèremètre.
- ✓ Allumez le teslamètre, vérifiez que la sonde à effet Hall est bien connectée à celui-ci.
- ✓ Le teslamètre peut mesurer des champs magnétiques continus ou alternatifs; comme nous travaillons, dans cette manipulation, avec une alimentation continue, le champ magnétique

produit au niveau de la bobine sera également continu; il faut donc que l'interrupteur "choix du champ" du teslamètre soit positionné sur "champ continu" (interrupteur vers le bas).

- ✓ Le bouton "calibre" du teslamètre doit être mis sur 20mT (mT : milli Tesla, le Tesla étant l'unité de mesure du champ magnétique). Le teslamètre dispose de trois calibres : 20mT, 200mT et 2000mT (ainsi la valeur maximale du champ magnétique qui peut être mesurée par ce teslamètre est 2T).
- ✓ Sous le bouton "calibre", se trouve un petit bouton rotatif noir, il permet de régler le teslamètre sur 0mT avant de commencer la prise de mesures (le réglage de ce bouton n'est pas facile, et c'est là qu'intervient justement le "talent" de l'expérimentateur!).
- ✓ Une fois le teslamètre prêt, allumez l'alimentation (après autorisation de l'enseignant).
- ✓ Tournez le bouton rotatif de l'alimentation, dans le sens des aiguilles d'une montre, et fixer-le sur 10V.
- ✓ Déplacez doucement le curseur C du rhéostat jusqu'à lire sur l'ampèremètre un courant I avoisinant 0,9A.
- ✓ Placez le "bout" de la *sonde* du teslamètre au centre de la bobine (la "tige" de la sonde doit être perpendiculaire à l'axe de la bobine). Relevez le champ magnétique affiché par le teslamètre.
- ✓ Répéter la même procédure, avec les autres valeurs du courant indiquées sur le tableau ci-dessus.

I (A)	0,9	1,2	1,4	1,7	2,2	2,8	3,1
B _{o,exp} (mT)							
B _{o,th} (mT)							

- ✓ Calculez, pour chaque intensité I du courant, la valeur théoriquement attendue B_{o,th} (pour cela, relevez le nombre de spires N de la bobine et mesurez, à l'aide d'une règle, son rayon R).
- ✓ Tracer, sur un même graphe, B_{o,exp} en fonction de I et B_{o,th} en fonction de I.
- ✓ Comparez ces deux courbes.

Manipulation 4

Influence du champ magnétique terrestre

Constatation expérimentale

Tant que nous alimentons une bobine avec un courant I assez fort (qui produit un champ B assez important) la direction de \vec{B} , trouvée expérimentalement est bien celle que prédit la théorie (fig.6).

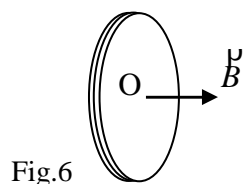


Fig.6

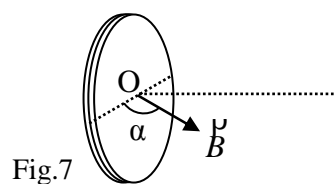


Fig.7

Mais si le courant I est faible, \vec{B} n'est plus perpendiculaire au plan de la bobine, comme le montre la fig.7.

Comment expliquer cela? La théorie n'étant pas fausse, il doit y avoir un champ magnétique "parasite" qui perturbe notre expérience. Annulons le courant I, la boussole dévie pour indiquer la direction du **champ magnétique terrestre**! Le voilà notre champ parasite. Quand le courant I est faible, B_{Terrestre} n'est plus négligeable devant B_{Bobine}, et on a un champ résultant \vec{B} tel que:

$$\vec{B} = \vec{B}_T + \vec{B}_B$$

But de cette manipulation

Calculez le champ B_B , créé par la bobine en son centre, à partir de la valeur du champ magnétique terrestre (que l'on peut mesurer avec la sonde à effet Hall), et de l'angle de déviation α .

Liste du matériel

- Une bobine plate, munie d'une boussole et d'un rapporteur
- Une alimentation électrique continue G
- Un rhéostat
- Un ampèremètre (Amp)

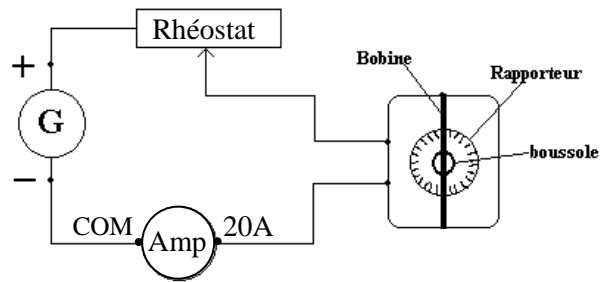


Schéma du montage (vu de dessus)

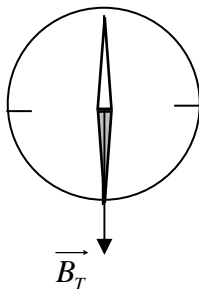
Travail à effectuer

- ✓ Eloignez de votre poste d'expérimentation tout objet métallique et tout aimant.
- ✓ Réaliser le dispositif ci-dessus (sans allumer l'alimentation).
- ✓ La bobine doit être branchée sur $N=10$ (afin de voir l'influence du champ magnétique terrestre).
- ✓ Le sélecteur de l'ampèremètre doit être mis sur le calibre 20 A (ou 10A selon l'ampèremètre utilisé).
- ✓ Tournez le support de la bobine jusqu'à ce que l'aiguille de la boussole soit alignée avec le plan de la bobine.
- ✓ Allumer l'alimentation et la régler sur 3V (après autorisation de l'enseignant).
- ✓ Positionner le curseur du rhéostat de façon à mesurer, avec l'ampèremètre, un courant avoisinant 0,3A.
- ✓ Mesurez l'angle α de déviation de l'aiguille aimantée de la boussole.
- ✓ A l'aide du rhéostat, augmentez la valeur de I, puis mesurez l'angle de déviation α .
- ✓ Mettez vos résultats dans le tableau ci-dessous :

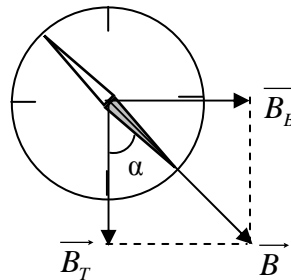
I (A)	0,3	0,5	1,2
α (°)			
$B_{B,exp}$ (mT)			
$B_{B,th}$ (mT)			

L'aiguille de la boussole indique l'orientation du champ résultant \vec{B} , or dans ce cas $\vec{B} = \vec{B}_T + \vec{B}_B$ (car ici le champ magnétique terrestre n'est plus négligeable).

- ✓ Comment s'écrit le champ magnétique B_B de la bobine en fonction de B_T (champ magnétique terrestre, $B_T=0,02\text{mT}$) et de $\tan\alpha$.
- ✓ Grâce à cette expression, complétez les cases correspondant à $B_{B,exp}$ dans le tableau ci-dessus.
- ✓ Calculez, pour chaque valeur de I, le champ magnétique de la bobine prévu théoriquement, $B_{B,th}$ (pour cela relevez le nombre de spires N et mesurez le rayon R de la bobine).
- ✓ Comparez $B_{B,exp}$ et $B_{B,th}$.



Orientation de l'aiguille de la boussole quand le courant dans la bobine est nul



Orientation de l'aiguille de la boussole quand le courant dans la bobine est non nul

Annexe

Sonde à effet Hall

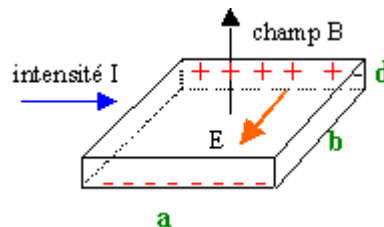
C'est une sonde qui permet une mesure locale du champ magnétique B. La sonde à effet Hall est un instrument fiable, mais a l'inconvénient d'être sensible à l'orientation de la sonde.

L'effet Hall fut découvert en 1879 par le physicien américain E.C. Hall.

Lorsqu'un ruban de faible épaisseur, traversé par un courant dans le sens de la longueur, est placé dans un champ magnétique qui lui est perpendiculaire, il apparaît entre les bords opposés une tension appelée tension de Hall. Cette tension est proportionnelle au champ magnétique. A l'aide d'un montage électronique, on amplifie cette tension.

Présentation de la sonde à effet Hall :

On remarque de l'expérience précédente que l'on peut complètement dévier l'aiguille de l'aimant. De plus le champ magnétique crée par plusieurs spires superposées sera plus fort. Nous devons donc utiliser une nouvelle technique de mesure : La sonde à effet Hall.



Un matériau soumis à un champ B et traversé par un courant I présente une ddp U_H entre les faces parallèles au plan (B,I)

$$U_H = R_H IB/e \Rightarrow B(\text{mT}) = U_H(\text{mV})/50$$

La sonde de Hall est adaptée à la mesure de B faibles de l'ordre du mT.