

# TP 27 - CHAMPS MAGNÉTIQUES, INDUCTION

Le but du TP que vous allez effectuer aujourd'hui est dans un premier temps de voir expérimentalement les aspects du champ magnétique vus en cours (carte de champs, champ dans un solénoïde), puis de découvrir les phénomènes d'induction (balance de Cotton, modèle de transformateur)

## I Champ magnétiques

### I.1 Carte de champ

**Objectifs :**

- Observer l'action d'un champ magnétique sur un aimant.
- Observer la carte de champ pour un aimant droit, un aimant en U, un fil rectiligne, une bobine.

Question (I.1.1)

Placer un aimant droit sur une plaque de plexiglas emprisonnant des aiguilles aimantées libres de pivoter. Qu'observe-t-on ?

Question (I.1.2)

Approcher les deux aimants avec les pôles identiques qui se font face en les empêchant de pivoter. Qu'observe-t-on ?

Question (I.1.3)

Placer un aimant droit sur une plaque de plexiglas emprisonnant des aiguilles aimantées libres de pivoter. Qu'observe-t-on ? Représenter la carte de champ associée (en orientant les lignes de champ).

Question (I.1.4)

Renouveler l'opération dans le cas d'un aimant en U.

Question (I.1.5)

Saupoudrer de la limaille de fer sur une plaque de plexiglas percée pour laisser passer un fil de cuivre parcouru par un courant électrique  $I \sim 5$  A. Placer également quelques petites boussoles (=aiguilles aimantées) à proximité. Qu'observe-t-on ? Représenter la carte de champ associée (en orientant les lignes de champ).

Question (I.1.6)

Renouveler l'expérience précédente autour d'une spire. Commenter en particulier en la comparant à celle d'un aimant droit.

Question (I.1.7)

Renouveler l'expérience précédente autour d'un solénoïde. Commenter le caractère du champ à l'intérieur du solénoïde.

### I.2 Mesure de champ magnétique au teslamètre

**Objectifs :**

- Mesurer un champ magnétique au teslamètre.
- Montrer que le champ magnétique dans un solénoïde est uniforme.
- Montrer que l'intensité du champ magnétique dans un solénoïde est proportionnelle à l'intensité du courant qui le traverse.

#### I.2.1 Principe de fonctionnement

La partie utile d'un teslamètre, appelée sonde à effet Hall, est une petite pastille de silicium (matériau semi-conducteur) de forme parallélépipédique, dont les axes seront notés  $(Ox)$ ,  $(Oy)$  et  $(Oz)$ . Elle est positionnée au point  $M$  où l'on souhaite mesurer le champ  $\vec{B}$ . La sonde est suffisamment petite pour pouvoir considérer le champ uniforme à son échelle.

Lors de la prise de mesure, la sonde est parcourue par un courant électrique  $I$  de direction  $(Ox)$  et d'intensité connue, imposée par l'instrument de mesure ; elle est orientée de sorte que  $\vec{B}$  soit dirigé par

l'axe ( $Oy$ ). Il apparaît alors un régime transitoire durant lequel les électrons de conduction, en mouvement selon ( $Ox$ ), sont déviés selon ( $Oz$ ) par la force de Lorentz magnétique ( $\vec{f}_m = -e\vec{v} \wedge \vec{B}$ ) et s'accumulent sur les faces latérales de la sonde, créant une différence de potentiel mesurable et proportionnelle à  $B$ .

Question (I.2.1)

Le teslamètre disponible en TP permet de réaliser la mesure de deux des composantes du champ magnétique. Loin des sources de champ magnétique, on souhaite que  $B = 0$  : on réglera donc le zéro de l'appareil avant les mesures.

Question (I.2.2)

Réaliser le montage de la figure 1.  $R$  est un rhéostat de valeur  $R = 33 \Omega$  (ou  $50 \Omega$  selon les groupes). L'alimentation 12 V sera directement prise au niveau des paillasses (prises murales).

Attention au calibre de l'ampèremètre (le régler sur 10 A).

Caractéristiques du solénoïde : rayon  $R = 2,5 \text{ cm}$ , 200 spires, longueur  $L = 40 \text{ cm}$ . On utilisera l'enroulement dans sa totalité.

Question (I.2.3)

A partir de  $x = 0$ , faire varier  $x$  tous les 2 cm afin de tracer  $B_x = f(x)$  en maintenant  $I$  constant ( $I \sim 1,5 \text{ A}$ ). Tracer la courbe  $B_x = f(x)$  à l'aide de Regressi. Que dire de l'intensité du champ magnétique à l'intérieur du solénoïde ? Commenter.

Question (I.2.4)

Faire varier  $I$  de 0 à 4 A et tracer  $B_x(x = 0) = f(I)$  à l'aide de Regressi. Comment varie le champ  $B_x(x = 0)$  en fonction de  $I$  ? On effectuera une régression linéaire adaptée.

Question (I.2.5)

Comparer vos résultats à la formule vue en cours pour un solénoïde infini  $B = \mu_0 n I$  avec  $n$  le nombre de spire par unité de longueur et  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ H/m}$  la perméabilité magnétique du vide

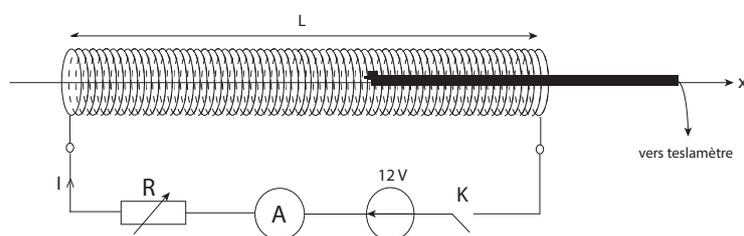


FIGURE 1 – Schéma du montage de mesure de champ magnétique dans le solénoïde.

## II Force de Laplace

**Objectifs :**

- Mesurer un champ magnétique grâce à la force de Laplace.

La balance de Cotton est un appareil de mesure (peu précis) permettant la mesure de l'intensité du champ magnétique. L'un des fléaux de la balance est constitué d'un circuit électrique parcouru par un courant d'intensité  $I$  et plongé dans le champ magnétostatique  $\vec{B}$  à mesurer. Le deuxième fléau permet d'équilibrer la balance à l'aide de masses marquées.

On suppose que le champ magnétique  $\vec{B}$  est uniforme. Son action se limite à la zone hachurée.

### II.1 Montage

- Dévisser les deux vis sur le côté de la balance pour la débloquer et réaliser le montage ci-contre.

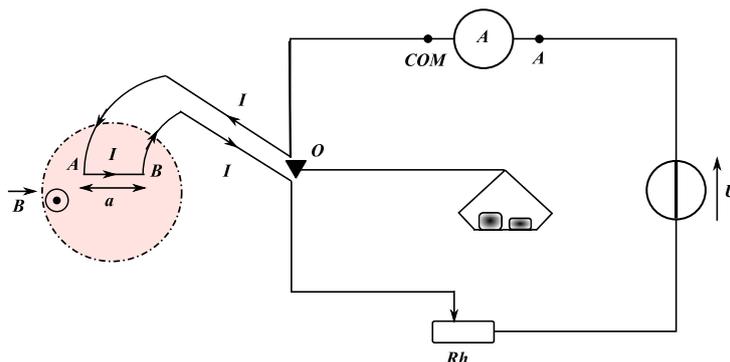


FIGURE 2 – Schéma du montage de mesure de champ magnétique grâce à la balance de Cotton.

- Placer l’aimant en U sur le boy assez haut : le contre-poids doit être environ à moitié dans l’entrefer de l’aimant en U.  
**Orienter convenablement l’aimant de façon à ce que le champ  $\vec{B}$  ait bien le sens indiqué sur le schéma !**
- $U$  est une tension continue égale à 12 V.
- $R_h$  est un rhéostat de  $10 \Omega$ .
- L’élément conducteur  $AB$  de longueur  $a$  étant placé dans l’entrefer de l’aimant, réaliser l’équilibre de la balance en l’**absence de courant  $I$** .
- Régler le sens de  $I$  de manière à ce que le conducteur  $AB$  soit soumis à la force de Laplace  $\vec{F}_L$  dans le sens indiqué sur le schéma précédent.
- Pour différentes masses, réaliser l’équilibre de la balance en variant l’intensité  $I$ . On ne dépassera pas 4A.

Question (II.1.1)

Montrer qu’à l’équilibre on peut écrire que :

$$B.I.l.a = m.g.l'$$

Question (II.1.2)

Dresser un protocole de mesure permettant l’estimation de la valeur de l’intensité du champ magnétique  $B$  dans l’entrefer de l’aimant.

Question (II.1.3)

Quelle est cette valeur ? La comparer à celle mesurée au teslamètre.

### III Mesure d’une inductance mutuelle

**Objectifs :**

- Réaliser la mesure d’une inductance mutuelle en imposant une tension triangle à l’inducteur et confronter le résultat à la théorie.
- Vérifier la dépendance linéaire de l’inductance mutuelle avec le nombre de spires de l’induit.

On dispose de deux solénoïdes enroulés l’un avec l’autre de même section  $S = 19,6 \pm 1,0 \text{ cm}^2$ , l’un servira d’inducteur et comporte  $N_1 = 200$  spires en cuivre et l’autre qui, servira d’induit, comporte  $N_2$  spires en argent pouvant varier de 10 à 170. Les bornes noires correspondent au solénoïde 1 (inducteur) et les bornes rouges aux divers nombres de spires du solénoïde 2 (induit). Les enroulements des solénoïdes sont faits dans le même sens et on choisit  $R = 47 \Omega$ .

On alimente le solénoïde 1 comme indiqué dans le schéma ci-dessus. Faire apparaître sur le schéma avec les spires en perspective ci-contre le courant  $i_1$  qui circule dans le solénoïde 1 et en déduire le vecteur  $\vec{B}_1$  correspondant (en supposant  $i_1 > 0$ ). On n’a pas représenté tout le solénoïde 1 pour plus de lisibilité.

Orienter le solénoïde 2 pour que le flux  $\phi_{12}$  soit positif (on suppose toujours  $i_1 > 0$ ) et représenter la f.e.m. induite  $e = -\frac{d\phi_{12}}{dt}$

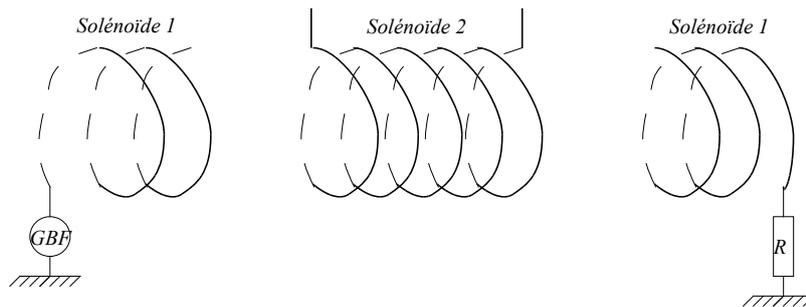


FIGURE 3 – Schéma du montage de mesure de l'inductance mutuelle.

### III.1 Manipulation

Question (III.1.1)

Déterminer comment brancher la voie 2 de l'oscilloscope pour mesurer  $e$ .

Question (III.1.2)

Régler le GBF pour qu'il délivre un signal triangle, de fréquence  $f = 5,0$  kHz et d'amplitude crête à crête  $V_{pp} = 20$  V. Régler l'induit sur  $N_2 = 60$  spires dans un premier temps.

Question (III.1.3)

Préciser comment obtenir l'intensité  $i_1$  qui circule dans l'inducteur à partir des oscillogrammes.

Question (III.1.4)

On rappelle que, pour un solénoïde suffisamment long, le champ magnétique à l'intérieur du solénoïde a pour norme  $B = \mu_0 \frac{N}{L} i$ . Montrer que le flux  $\phi_{12}$  est proportionnel à la tension mesurée  $u_1$ .

Question (III.1.5)

Observer les oscillogrammes des deux voies et les représenter schématiquement sur votre compte-rendu.

Question (III.1.6)

Pourquoi peut-on dire que les allures sont cohérentes avec la loi de Faraday  $e = -\frac{d\phi_{12}}{dt}$  ?

**Indications :**

- On rappelle que l'inductance mutuelle est définie par  $\phi_{12} = M_{12}i_1$ .
- Comme  $e = -\frac{d\phi_{12}}{dt}$ , on obtient  $e = -M_{12}\frac{di_1}{dt}$ .

Question (III.1.7)

Expliquer comment les mesures de la pente de la tension inductrice  $\frac{du_1}{dt}$  et de la fem induite  $e$  permettent d'obtenir l'inductance mutuelle  $M_{12}$ .

Question (III.1.8)

Se placer dans une zone de l'oscillogramme où on a  $\frac{du_1}{dt} = cste$  et trouver la valeur de l'inductance mutuelle.

On n'oubliera pas d'évaluer les incertitudes de lecture sur l'oscilloscope et on négligera l'incertitude sur la valeur de  $R$  qu'on prendra soin de mesurer à l'ohmmètre.

Question (III.1.9)

Vérifier rapidement que  $M_{12} = M_{21}$  en inversant les branchements et en rééditant la mesure.

Question (III.1.10)

Vérifier que  $M_{12}$  est proportionnelle au nombre de spires de l'induit  $N_2$  en réalisant une régression linéaire.