

Aix-Marseille Université – Campus de Saint Jérôme

Module UE32P
Electromagnétisme
Travaux Pratiques

Deuxième année de licence
Filières P, PC

Année Universitaire 2015 - 2016

Introduction et organisation des Travaux Pratiques

- Avant la séance de TP, l'énoncé doit avoir été lu attentivement de sorte que les objectifs et les expériences à réaliser lors de la séance soient compris.
- Un compte-rendu par binôme est à rendre en fin de chaque séance. Il doit rendre compte de manière claire des objectifs, observations et conclusions.

La moyenne des notes des comptes rendus de TP comptera à hauteur de 20% dans la note finale du module.

TP I - Electrostatique

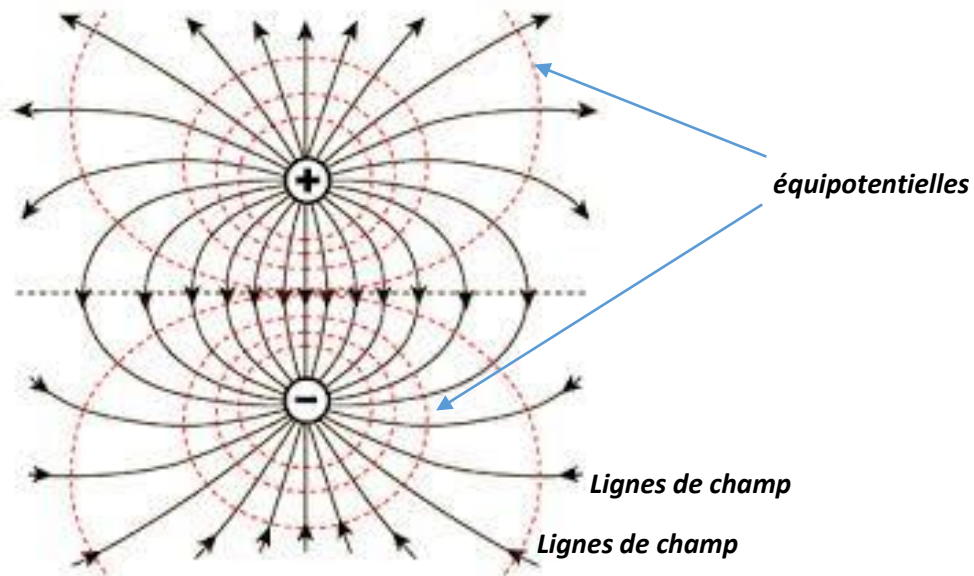
L'objectif de ce TP est de trouver les lignes équipotentielles et les lignes de champ électrique dans l'espace entre deux électrodes.

I.1) Rappels de cours

Lignes de champ électrique : Lorsqu'un conducteur est chargé électriquement, il donne naissance dans l'espace qui l'entoure à un champ électrostatique, $\vec{E}$. En tout point de cet espace, le champ $\vec{E}$ est **tangent** à des courbes appelées **lignes de champ**.

Surfaces équipotentielles :

Ce sont les lieux géométriques des points M qui ont la même valeur du potentiel électrique, c'est-à-dire $V(M) = \text{constante}$. Les lignes de champ sont toujours perpendiculaires aux surfaces équipotentielles; autrement dit, $\vec{E}$ est toujours **perpendiculaire** aux surfaces **équipotentielles**.



Si le champ électrique est créé par deux électrodes, l'une chargée +, l'autre chargée -, les lignes de champ électrique sont dirigées de l'électrode + vers l'électrode -. Elles indiquent le sens des forces électriques s'exerçant sur des charges + placées dans le champ.

Relation utile : Le champ électrique $\vec{E}$ est relié au potentiel électrique V par la relation

$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{l}$ ou, ce qui est équivalent, par $V = -\overrightarrow{\text{grad}}V = -\vec{\nabla}V$, où $\vec{\nabla}$ s'exprime en coordonnées cartésiennes par :

$$\vec{\nabla} = \overrightarrow{\text{grad}} = \vec{e}_x \frac{\partial}{\partial x} + \vec{e}_y \frac{\partial}{\partial y} + \vec{e}_z \frac{\partial}{\partial z}$$

I.2) Présentation du matériel

Cuve rhéographique : c'est une cuve transparente de forme rectangulaire, remplie d'un liquide faiblement conducteur (eau du robinet), sous laquelle est disposé un quadrillage pour repérer les coordonnées des points où l'on veut déterminer le potentiel électrique.

Conducteurs chargés : nous disposons de conducteurs que nous appellerons électrodes ; une paire d'électrodes planes et une électrode cylindrique.

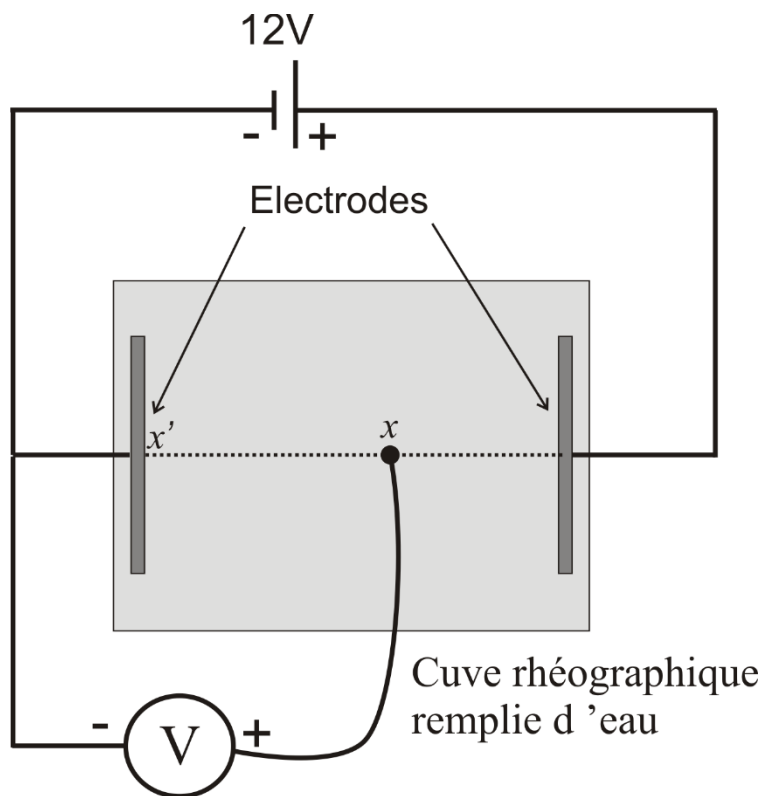
Source de tension : elle permettra d'assurer le passage d'un faible courant entre les électrodes immergées ceci permettant de mesurer le potentiel en un point quelconque de la cuve.

Mesures électriques : elles se feront à l'aide d'un voltmètre.

I.3) Mesures pour le jeu d'électrodes plane/cylindrique

Dans la cuve rhéographique remplie d'eau, nous plaçons deux électrodes conductrices planes. Aux extrémités des électrodes, nous appliquons une différence de potentiel de 12 V. L'état de référence des potentiels sera pris sur l'électrode négative ($V_- = 0$).

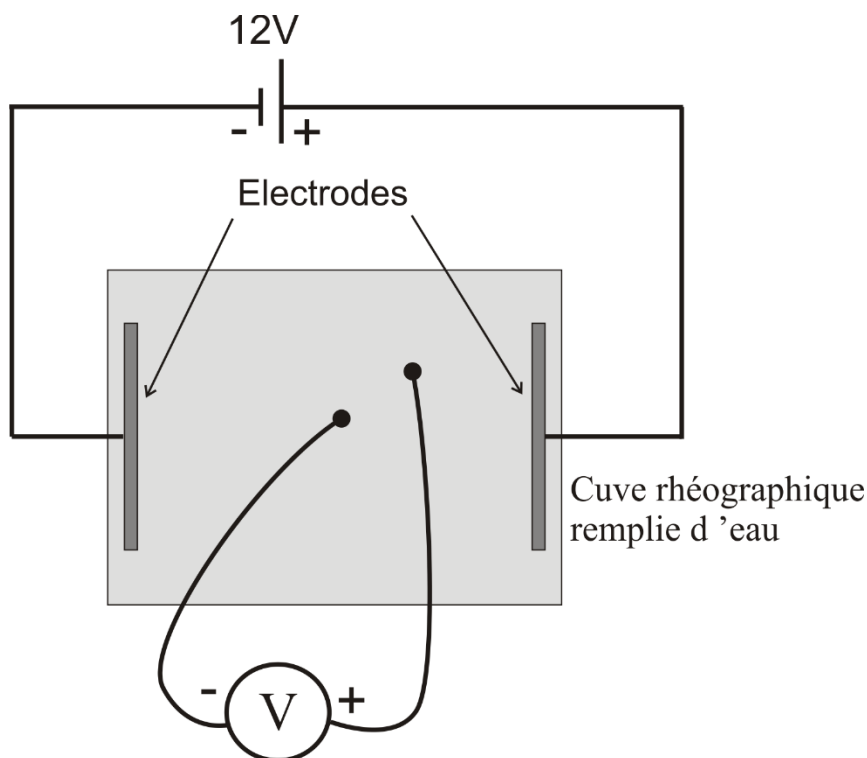
I.3.a) Détermination des équipotentielles pour le jeu d'électrodes planes.



A l'aide d'un voltmètre branché entre l'électrode négative et une pointe plongée dans l'eau conductrice, nous explorons l'espace entre les électrodes et recherchons les points se trouvant au même potentiel. (Faites attention à tenir la pointe de façon verticale)

- 1) Déterminer suffisamment de points repartis dans la cuve afin de pouvoir tracer ensuite des lignes d'équipotentiels pour lesquelles le voltmètre indique une tension $V_1=3V$ ($\pm 0.1 V$).
- 2) Reportez les points obtenus sur la feuille 1 de papier millimétré.
- 3) Tracer la ligne d'équipotential $V_1=3V$ en joignant les points.
- 4) Répétez cet ensemble de mesures pour $V_2 = 2.4 V$, $V_3 = 1.7 V$, et $V_4 = 1 V$, et tracez les équipotentiels correspondantes. Finalement, sur la feuille 1 de papier millimétré, vous aurez quatre lignes équipotentiels que vous désignerez par V_1 , V_2 , V_3 , et V_4 .
- 5) Soit $x'x$ la droite perpendiculaire et au milieu des l'électrodes planes. Si l'on prend comme origine O sur cet axe le point appartenant à l'électrode plane au potentiel négative, tout point de la droite sera repéré par une abscisse x positive. Mesurez les valeurs du potentiel $V(x)$, en déplaçant la sonde avec un pas de 1 cm le long de l'axe $x'x$.
- 6) Tracez le graphe $V(x)$ correspondant sur la feuille 2 de papier millimétré. Commentez.
- 7) Que représente le coefficient directeur de la tangente en un point ? Justifiez.
- 8) Déterminez ce coefficient directeur au point de la droite appartenant à l'équipotentielle $V_1 = 7.5V$. N'oubliez pas l'unité!

I.3.b) Détermination du champ



Pour différents points se trouvant sur une même équipotentielle : 7.5V,

6V, 4 V, nous mesurons à l'aide d'un voltmètre la ddp entre deux pointes solidarisées grâce à un « sucre » électrique.

- 1) Placez l'une des pointes du voltmètre sur un point situé sur la ligne équipotentielle $V_2=2.4V$, tournez l'autre pointe autour de la première. Lisez l'affichage du voltmètre, et trouvez la direction qui correspond à la valeur extrême de la tension affichée.
- 2) Montrez, en utilisant la relation, $dV = -\vec{E} \cdot d\vec{l}$, que l'on peut déduire de la mesure précédente la direction, le sens et la valeur du champ électrostatique au point en question de la ligne équipotentiel V_2 .
- 3) Représentez le champ avec l'échelle : 2cm pour 1V/cm sur la feuille 1 de papier millimétré.
- 4) Refaites cela pour tous les autres points des équipotentielles V_1 , V_3 et V_4 .

I.3.c) Détermination des lignes de champ

- 1) Concevez et décrivez un protocole, utilisant le voltmètre et les deux pointes solidarisées, permettant de déterminer une ligne de champ.
- 2) Déterminez et tracez, sur la feuille 1 de papier millimétré, une ligne de champ complète passant par un point de l'équipotentielle $V_1=7.5V$ (pas sur $x'x$, cela manquerait de suspense !). S'il vous reste du temps à la fin du TP, vous pourrez en tracer d'autres!

I.4) Conducteur creux plongé dans un champ électrique

Placez un conducteur creux dans la cuve, entre les deux électrodes cylindriques.

- 1) Que remarquez-vous?
- 2) Les lignes équipotentielles restent-elles inchangées ?

Sondez maintenant l'intérieur du conducteur creux.

En reliant une des deux bornes du voltmètre à la source de tension (cf. I) mesurez :

- le potentiel au contact du conducteur et en différents points (intérieur, extérieur)
- le potentiel en plusieurs points à l'intérieur de la cavité formée par le conducteur creux.

Décrivez vos observations en utilisant les deux bornes du voltmètre (cf. II) mesurez la ddp entre plusieurs points situés à l'intérieur du conducteur, puis effectuez des rotations locales des deux bornes du voltmètre et décrivez vos observations.

Quelles conclusions pouvez-vous tirer quant au potentiel et au champ électrique à l'intérieur d'un conducteur ? Pouvez-vous les justifier théoriquement ?

TP II - Bobines

II.1) Introduction - Rappels de cours

II.1.a) Propriété

Une charge électrique en mouvement crée, dans tout l'espace, un champ magnétique $\vec{B}$.

II.1.b) Définition d'un champ

Par définition, un champ, en physique, est une fonction qui, à chaque point de l'espace, associe un être géométrique. Un exemple simple est celui du champ de température : en chaque point M de l'espace d'une salle de cours (par exemple) on associe un scalaire (nombre réel) qui caractérise ce point. On parle alors de champ scalaire. Le champ magnétique, quant à lui, est un champ vectoriel : une fonction qui à tout point de l'espace, associe un vecteur. Il faut donc trois grandeurs indépendantes pour le caractériser. Ainsi, le vecteur peut être décrit par ses composantes dans une base orthonormale. Alternativement, on peut le définir par son sens (donné par un vecteur unitaire $\vec{u}$), et sa norme. On peut donc utiliser les diverses notations :

$$\vec{B} = B \vec{u} \text{ ou encore } \vec{B} = \begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{pmatrix} \text{ dans une base cartésienne.}$$

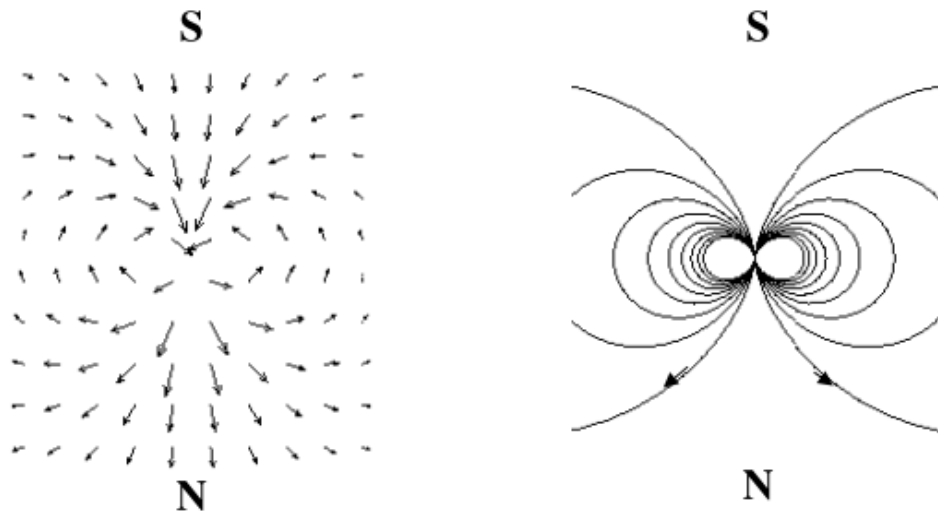


Figure 1) - Deux représentations du champ créé par un dipôle magnétique (ou aimant) : à gauche, le champ est représenté par des vecteurs en de nombreux points du plan, à droite, seules figurent des lignes de champ. Attention, contrairement à ce que peut faire croire la figure de droite, les lignes de champ magnétique sont TOUJOURS fermées - même si elles sortent du cadre sur cette représentation.

Alors : $B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$ qui est un nombre réel positif. Il s'agit d'être vigilant aux notations utilisées puisque les projections du vecteur sur les axes de base sont, elles, des quantités algébriques. On écrira alors : $\vec{B} = B \vec{u}$.

II.1.c) Mode de représentation

On peut naturellement représenter le champ magnétique par un ensemble de vecteurs, de même direction que le champ magnétique, et dont la longueur est proportionnelle à l'intensité du champ (voir figure 1, à gauche). Pour un dipôle magnétique, la zone d'où « sortent » les flèches des vecteurs est appelée pôle Nord, et la zone dans laquelle les flèches semblent entrer est le pôle Sud. Pour représenter le champ magnétique, on peut aussi utiliser les « lignes de champ » (voir figure 1, à droite). Ces lignes sont définies par la propriété suivante : en chaque point M de l'espace, le vecteur $\vec{B}(M)$ est tangent à la ligne de champ passant par M . On a alors les propriétés suivantes :

- une ligne de champ magnétique est toujours fermée : elle est orientée dans le même sens que le champ,
- la norme du champ est d'autant plus grande en un point (donc le champ d'autant plus intense) que les lignes de champ y sont rapprochées.

II.1.d) Unité

L'unité de mesure de l'intensité du champ est le tesla (T) ; c'est une unité relativement grande, au sens où les champs couramment mesurés sont en général de l'ordre du millitesla.

II.2.a) Appareils de mesure

Les outils généralement utilisés pour mesurer le champ magnétique sont l'aiguille aimantée et le teslamètre. L'aiguille aimantée (ou boussole) permet d'avoir accès à la direction du champ, le nord de l'aiguille donnant le sens du champ.

Le teslamètre est un appareil électronique équipé d'une sonde qui transforme le champ magnétique en différence de potentiel (par effet Hall), reliée à un boîtier sur lequel on peut lire une valeur. Cet appareil mesure non pas la norme B du champ magnétique, mais la projection du champ sur l'axe de la sonde (sonde axiale). On mesure donc le produit scalaire entre le champ $\vec{B}(M)$ et le vecteur directeur de la sonde $\hat{u}_{\text{sonde}}$: $B_{\text{mes}} = \vec{B}(M) \cdot \hat{u}_{\text{sonde}} = B(M) \cos \theta$ avec θ l'angle entre la direction de la sonde et le vecteur champ magnétique.

Si la sonde est placée perpendiculairement au champ, la valeur mesurée sera nulle quel que soit l'intensité réelle du champ ! Pour mesurer la norme du champ magnétique, il est donc nécessaire de mesurer d'abord l'orientation du champ, puis de placer la sonde du teslamètre selon cette direction.

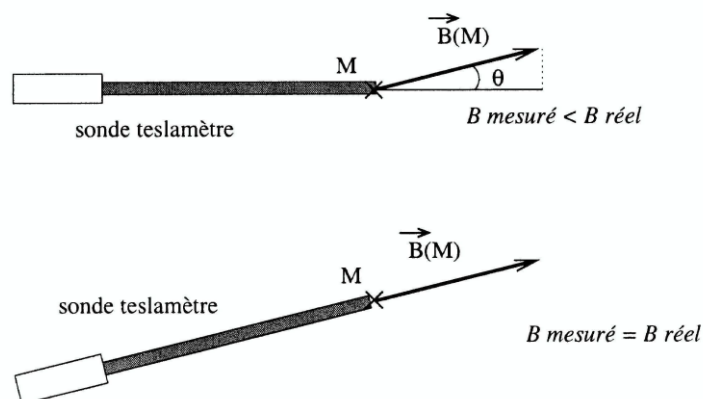


Figure 2 – Utilisation d'une sonde dite *longitudinale*.

II.2.b) Exemples courants

Le champ le plus classique est le champ magnétique terrestre, créé dans les zones internes de la planète. Il est dirigé vers le pôle nord magnétique terrestre, qui est presque confondu avec le pôle nord géographique (intersection de la sphère terrestre avec son axe de rotation). Sa norme est comprise entre 0,03 et 0,06 mT. Les autres champs magnétiques qu'on rencontre couramment sont les champs créés par des aimants ou par des circuits électriques. L'origine du champ créé par un aimant est microscopique, liée à des matériaux spécifiques. Le champ définit dans l'aimant un pôle nord et un pôle sud : les lignes de champs « sortent » par le pôle nord et « entrent » par le pôle sud. Un courant électrique est, par définition, un déplacement de porteurs de charge : il crée donc toujours un champ magnétique. Dans le cas d'un enroulement, le sens du champ magnétique est donné par la règle du tire-bouchon : si celui-ci est placé selon le sens d'enroulement de la bobine, avec un courant circulant dans ce sens, il pointe dans la direction du vecteur champ magnétique. On rappelle quelques formules classiques donnant la norme du champ créé par des systèmes électriques :

- champ créé en son centre par une bobine de N spires de rayon R , parcourues par le courant I :

$$B(0) = \frac{\mu_0 N I}{2R} \quad (1)$$

- champ créé par un solénoïde long (c'est à dire pour lequel la longueur est beaucoup plus grande que le rayon : $l > 10R$) à l'intérieur du solénoïde :

$$B(0) = \mu_0 N I \quad (2)$$

II.2.c) Présentation du matériel

Ce TP a pour but de se familiariser avec les instruments de mesure du champ magnétique, ainsi qu'avec quelques dispositifs classiques de création de champ magnétique.

Le matériel comprend :

- un générateur de courant,
- un teslamètre,
- des petites boussoles,
- une bobine électrique,
- un solénoïde long.

Mise en garde : Attention à bien respecter les limites en courant imposées par les bobines ! Des courants de quelques ampères sont de forts courants, à manipuler avec un minimum de précaution. On fera notamment vérifier le montage par un enseignant avant d'allumer l'alimentation.

II.2.d) Utilisation des instruments de mesure

Contrairement à beaucoup de grandeurs mesurées en physique, le champ magnétique n'est pas une grandeur scalaire mais un vecteur, ce qui rend sa mesure plus délicate. On se servira donc de deux instruments pour pouvoir connaître le vecteur champ magnétique en un point M : d'abord la boussole, qui donnera le sens et la direction du champ magnétique, puis la sonde du teslamètre qui, placée selon cette direction, donnera la norme du vecteur.

- 1) La boussole donne la direction et le sens du vecteur. On la placera sur un plan horizontal, le centre de l'aiguille placé sur le point M .

- 2) La sonde du teslamètre est d'une forme un peu compliquée car elle peut servir à différents types de mesures. Pour ce qui concerne ce TP, on placera l'extrémité de la sonde sur le point M, tout en veillant à placer la sonde longitudinale dans le sens et la direction du vecteur champ magnétique, donnés par la boussole. Les sondes tangentielles sont à placer perpendiculairement à la direction de la boussole.

II.3) Champ créé par une bobine simple

II.3.a) Etude qualitative

On alimente la bobine en courant continu. A l'aide des différents instruments de mesure disponibles, répondre aux questions préliminaires suivantes :

- 1) Trouver le pôle nord de la bobine. Que se passe-t-il lorsque l'on change le sens du courant (faire un schéma) ?
- 2) Trouver les points de l'espace où le champ est d'intensité maximale, puis les points de l'espace où le champ est d'intensité minimale. On donnera la méthode expérimentale puis une interprétation théorique.
- 3) Montrer que la sonde du teslamètre mesure bien la projection du champ sur son axe (on détaillera l'expérience réalisée et son résultat).
- 4) Quel est l'ordre de grandeur de la norme du champ créé par la bobine ? Comparer au champ magnétique terrestre, conclure.

II.3.b) Tracés de champs

- 1) Relever la direction (à l'aide d'une boussole), puis la norme (avec le teslamètre) du champ magnétique en une dizaine de points du plan horizontal passant par le centre de la bobine. Reporter vos résultats sur une feuille de papier millimétrée, en choisissant une échelle appropriée. On n'oubliera pas de noter sur le graphe titre et légende.
- 2) Déplacer « à la main » la sonde du teslamètre autour de la bobine afin d'en déduire approximativement l'allure des lignes de champ.

II.4) Solénoïde

Dans cette partie, on cherche à vérifier la formule théorique donnant le champ magnétique à l'intérieur du solénoïde et à calculer expérimentalement la valeur de μ_0 .

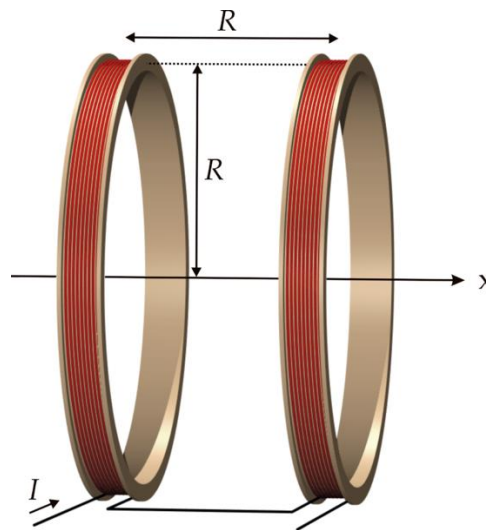
II.4.a) Caractérisation du champ créé par un solénoïde

- 1) Relever les caractéristiques du solénoïde : rayon R, longueur l, nombre de spires N. Donner également le nombre de spires par unité de longueur $n = N/l$.
- 2) Le solénoïde peut-il être considéré comme « long » ? Justifier.
- 3) Alimenter le solénoïde et mesurer la valeur du champ magnétique en différents points de l'intérieur.
- 4) Mesurer le champ magnétique à l'extérieur du solénoïde. Commenter.

II.4.b) Caractérisation du champ créé par un solénoïde

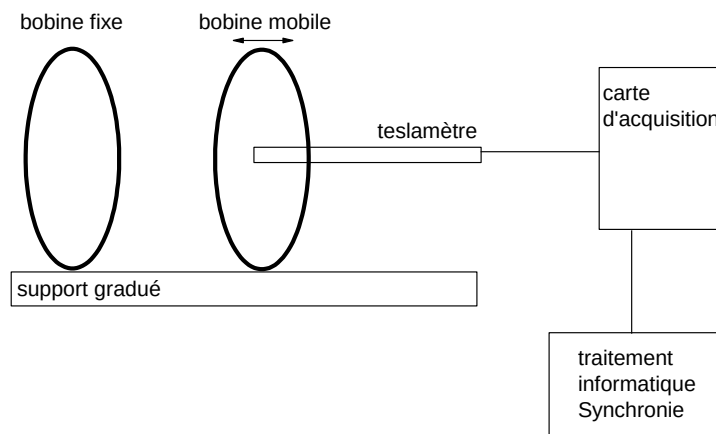
- 1) Comment doit-on placer un ampèremètre dans un circuit électrique (justifier) ?
- 2) Placer un ampèremètre dans le circuit d'alimentation du solénoïde. Tout en prenant bien soin de ne pas dépasser les valeurs de courant autorisées par le solénoïde et les instruments de mesure, mesurer la valeur du champ au centre B_0 , et tracer la courbe $B_0 = f(I)$. Commenter.
- 3) On se propose de déterminer expérimentalement, avec la meilleure précision, la valeur de μ_0 . L'incertitude absolue sur l'intensité lue sur l'ampèremètre est donnée par la formule suivante : $\Delta I = pI + (\Delta I)_0$, où p est la précision et $(\Delta I)_0$ l'incertitude correspondant aux unités de représentation (U.R. ou digits), pour le calibre utilisé. Ici la notice nous donne : $p = 2\%$ et 5 digits (à vérifier). Montrer à l'aide de la formule que la mesure la plus précise, c'est-à-dire celle minimisant l'incertitude relative $\frac{\Delta I}{I}$ correspond à la valeur de I la plus proche du calibre. Sélectionner cette situation dans les mesures précédentes. Calculer alors la valeur μ_0^{exp} obtenue grâce à cette mesure, ainsi que l'incertitude absolue $\Delta \mu_0^{\text{exp}}$. La valeur obtenue est-elle compatible avec la valeur théorique donnée au paragraphe 1.3 ? Justifier

TP III - Bobines de Helmholtz



III.1) Introduction

On rappelle également la valeur de la perméabilité magnétique du vide : $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ T.m.A}^{-1}$. L'objectif de ce TP est d'effectuer une étude expérimentale du champ magnétique produit par un courant circulaire parcourant une, puis deux bobines plates identiques et coaxiales. Le dispositif expérimental est représenté sur le schéma suivant :



Les bobines sont composées de $N=95$ spires, ont un rayon $R=65$ mm, et ont une largeur $L=25$ mm. Le courant dans les bobines ne doit pas dépasser $I_{max}=5$ A (sous risque de fondre). La mesure du champ magnétique se fait à l'aide d'un teslamètre.

III.2) Etude d'une bobine :

III.2.1) Théorie :

Le champ magnétique $\vec{B}$ créé par un courant stationnaire se calcule à partir des équations de Maxwell :

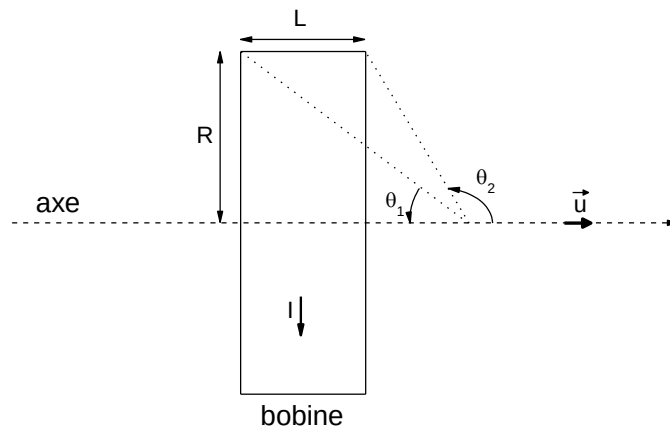
$$\begin{cases} \operatorname{div} \vec{B} = 0 \\ \operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{j} \end{cases} \quad (1)$$

où $\vec{j}$ désigne la densité volumique de courant, et μ_0 la perméabilité du vide, de valeur $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ H.m⁻¹.

Dans le cas présent où les bobines sont plates et où leur épaisseur peut être négligée, ces équations conduisent à l'expression suivante pour le champ créé par une bobine sur son axe :

$$\vec{B}(\theta_1, \theta_2) = \frac{\mu_0 NI}{2L} (\cos \theta_1 + \cos \theta_2) \vec{u} = 2,40.10^{-3} I (\cos \theta_1 + \cos \theta_2) \vec{u} \quad (2)$$

où I est la valeur algébrique du courant, $\vec{u}$ un vecteur unitaire orienté suivant la direction de l'axe, et (θ_1, θ_2) les angles représentés sur la figure suivante :



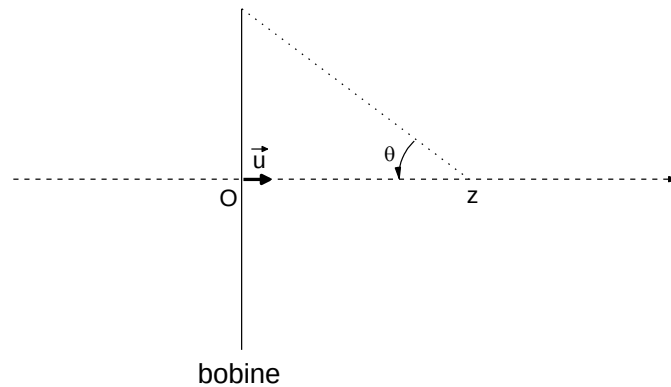
On montre alors que, dans le cas où la largeur de la bobine peut être négligée, l'expression du champ se simplifie :

$$\vec{B}(\theta) = \frac{\mu_0 NI}{2R} \sin^3 \theta \vec{u} = 9,18.10^{-4} I \sin^3 \theta \vec{u} \quad (3)$$

soit encore :

$$\vec{B}(z) = \frac{9,18.10^{-4} I}{(1 + (z/R)^2)^{3/2}} \vec{u} \quad (4)$$

où θ et z sont représentés sur la figure suivante :



Cette condition est ici vérifiée. Pour le voir, on peut par exemple calculer la valeur du champ au centre de la bobine en utilisant tantôt la formule générale (2), tantôt la formule simplifiée (4) : il suffit de poser $\theta_1 = \theta_2 = \arctan(2R/L)$ dans (2) et $z=0$ dans (4).

On aboutit alors à $B=9,02 \cdot 10^{-4} I$ avec la formule (2) et $B=9,18 \cdot 10^{-4} I$ avec la formule (4), ce qui revient à un écart inférieur à 2 %, ordre de grandeur de la précision des mesures faites avec le teslamètre. Ceci permet ainsi de négliger la largeur de la bobine et de considérer que le champ magnétique est donné par la formule (4) (ou (3)).

III.2.2) Travail expérimental :

L'objet de cette étude consiste à vérifier la relation (4) de manière expérimentale.

Branchez la bobine mobile, faites vérifier votre montage par l'enseignant avant de mettre sous tension.

- 1) Dans cette partie, on fixera une valeur pour le courant.
 - a. Mesurez le champ magnétique en différents points de l'axe puis tracez sa valeur algébrique B en fonction de la position z . Que pouvez-vous constater ?
 - b. Tracez alors $B^{-2/3}$ en fonction de z^2 (attention à l'origine des z).
 - c. Quelle interprétation pouvez-vous tirer de cette courbe ? Retrouve-t-on le résultat attendu (qualitativement et quantitativement) ?

Exercice de préparation :

- quelle est l'allure de B en fonction de z ?
- expérimentalement, il est plus facile de vérifier qu'une loi est une fonction affine plutôt qu'une fonction du type formule (4). Comment peut-on transformer cette dernière pour obtenir l'équation d'une droite ?

2) On s'intéresse maintenant aux valeurs du champ au centre de la bobine.

- Mesurez le champ pour différentes valeurs du courant, puis tracez B en fonction de I .
- Qu'observe-t-on ? Le résultat est-il conforme avec la théorie (qualitativement et quantitativement) ?

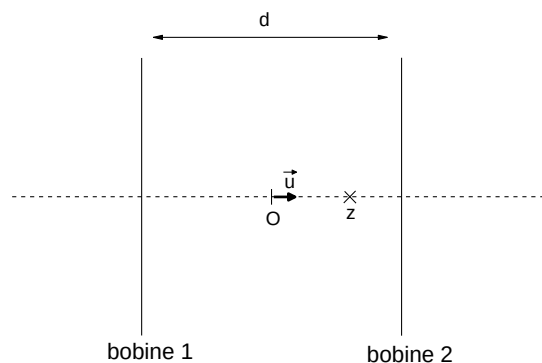
III.3) Couplage de deux bobines:

III.3.1) Théorie :

Lorsque plusieurs circuits sont traversés par un courant, le champ magnétique résultant est la somme des champs magnétiques créés par chaque circuit : ce résultat, dénommé principe de superposition, est une conséquence directe des équations de Maxwell. Dans le cas présent où deux bobines identiques sont disposées de façon coaxiale et sont traversées par le même courant, le champ magnétique sur l'axe peut alors s'écrire sous la forme suivante :

$$\vec{B}(z) = \frac{9,18 \cdot 10^{-4} I}{\left(1 + \left(\frac{z + d/2}{R}\right)^2\right)^{3/2}} \vec{u} + \frac{9,18 \cdot 10^{-4} I}{\left(1 + \left(\frac{z - d/2}{R}\right)^2\right)^{3/2}} \vec{u} \quad (5)$$

où d désigne ici la distance séparant les bobines (voir schéma), et z est la position par rapport au milieu des deux bobines.



Pour de faibles écarts au centre, on peut effectuer un développement limité de $\vec{B}$ au voisinage de $z=0$: un calcul à l'ordre 3 donne alors

$$\vec{B}(z) \approx \frac{2 \times 9,18 \cdot 10^{-4} I}{(1 + (d/2R)^2)^{3/2}} \left[1 + \frac{3}{2} \frac{(d/R)^2 - 1}{(1 + (d/2R)^2)^2} \left(\frac{z}{R} \right)^2 \right] \vec{u} \quad (6)$$

Un cas particulièrement intéressant est celui où $d=R$. Il permet de faire disparaître la dépendance en z de la formule (6). Un calcul direct conduit alors à :

$$\vec{B}(z) \approx \frac{16}{5\sqrt{5}} \frac{\mu_0 N I}{2R} \approx \frac{16}{5\sqrt{5}} \times 9,18 \cdot 10^{-4} I \vec{u} \quad (7)$$

et montre que le champ magnétique ne dépend plus de la position. Lorsque les bobines ont une telle configuration, on dit qu'elles sont disposées dans les conditions de Helmholtz.

III.3.2) Travail expérimental :

On imposera au courant une valeur fixée. Branchez les deux bobines en série, faites vérifier votre montage par l'enseignant avant de mettre sous tension.

- 1- Après avoir fixé l'écart entre les deux bobines ($d > R$, $d < R$ ou $d = R$), mesurez en différents points de l'axe le champ magnétique créé, puis tracez sa valeur algébrique B en fonction de la position z .
- 2- Que constatez-vous ? Observez-vous bien les résultats attendus (qualitativement et quantitativement) ?
- 3- On pourra traiter les questions 1 et 2 pour les trois cas : $d > R$, $d < R$ ou $d = R$.

Exercice de préparation : en utilisant le théorème de superposition et l'allure de $B(z)$ dans le cas où une seule bobine est branchée, représentez les 3 types de courbes que l'on peut obtenir lorsque les deux bobines sont branchées dans les cas $d > R$, $d < R$ ou $d = R$. Dans chaque cas, calculez, d'après la formule (6), la valeur de B au centre ($z=0$).

TP IV - Solénoïde et Induction

IV.1) Introduction

L'objectif de ce TP est d'effectuer une étude expérimentale de l'induction magnétique. Dans un premier temps, on caractérisera l'auto-inductance d'une bobine puis on s'intéressera à l'induction entre deux solénoïdes.

IV.2) Etude d'une bobine – inductance propre

IV.2.1) Théorie :

Une variation de flux $d\Phi$ pendant un temps dt génère une force électromotrice e selon la loi de Faraday :

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

Dans la plupart des configurations, le flux d'un circuit isolé parcouru par un courant I s'écrit :

$$\Phi = \iint_S \vec{B} \cdot \vec{dS} = LI \quad (2)$$

où L , facteur géométrique, est appelée *inductance propre* ou *auto-inductance* de sorte que :

$$e = -L \frac{dI}{dt} \quad (3)$$

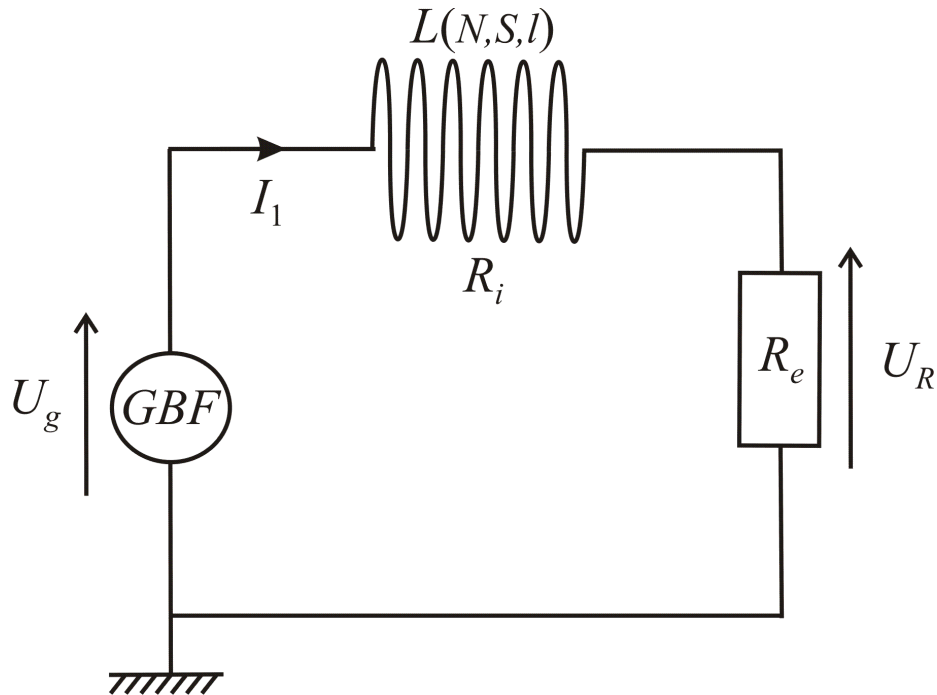
L'exemple classique est le cas du solénoïde pour lequel $B = \mu_0 NI/l$ où N est le nombre de spires et l la longueur du solénoïde. Pour N spires, la loi de Faraday nous donne

$e = -N \frac{d(\mu_0 NIS/l)}{dt}$, soit $L = \mu_0 N^2 S/l$. Afin d'étudier le phénomène d'induction, nous utiliserons une bobine alimentée par un courant alternatif.

IV.2.2) Auto-induction

On considère le circuit d'auto-induction de la figure suivante faisant intervenir la bobine utilisée précédemment.

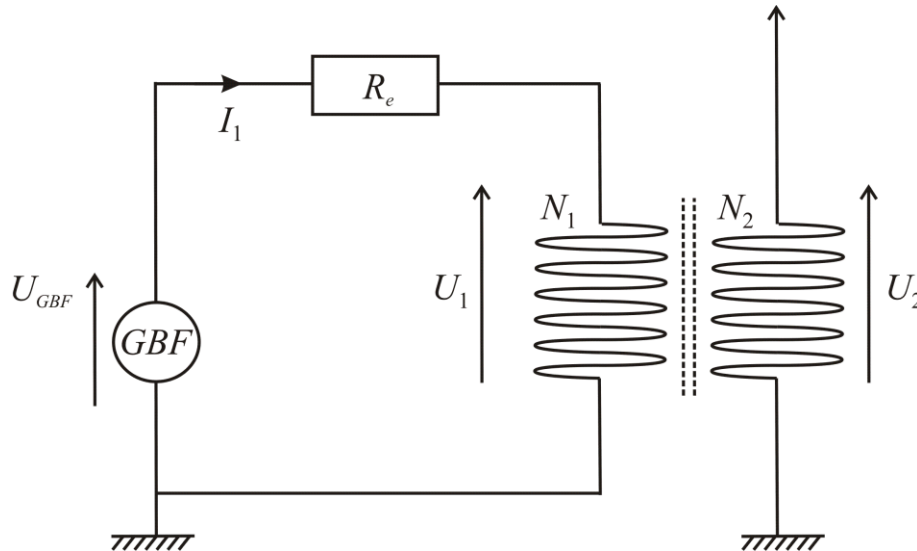
Paramètres expérimentaux : $U_g = 1.5\text{V}$, $R_i = 1\Omega$, $R_e = 10\Omega$.



- 1) Réaliser le circuit électrique et mesurer l'amplitude I_1 du courant alternatif traversant la bobine pour $f = 1\text{ kHz}$ et $f = 10\text{ kHz}$.
- 2) Exprimer l'amplitude I_1 du courant alternatif traversant la bobine en fonction de l'amplitude U_g de la tension d'alimentation, de l'inductance de la bobine L , de la résistance interne de la bobine R_i , de la résistance externe R_e et de la pulsation $\omega = 2\pi f$ (f étant la fréquence).
- 3) Calculer la valeur de cette amplitude pour $f = 1\text{ kHz}$ et $f = 10\text{ kHz}$.
- 4) Comparer les résultats expérimentaux et les valeurs théoriques attendues.

IV.2.3) Induction mutuelle

On considère le circuit d'induction de la figure suivante. La bobine utilisée est en réalité un solénoïde à deux enroulements (la bobine correspondant au premier enroulement sera notée 1 et la bobine correspondant au deuxième enroulement sera notée 2). Il existe plusieurs sorties pour la bobine secondaire avec un nombre de spires N_2 variable.



- 1) Expliquer le phénomène d'induction observé dans cette expérience.
- 2) Réaliser le circuit électrique et mesurer l'amplitude de la tension alternative aux bornes des bobines primaire et secondaire pour $f = 1 \text{ kHz}$; $f = 10 \text{ kHz}$ et $N_2 = 200, 100, 60, 40$.
- 3) Exprimer l'amplitude U_2 de la tension de la bobine secondaire en fonction du nombre de spires de l'enroulement primaire N_1 et de l'enroulement secondaire N_2 , du rayon r des bobines, de la longueur de la bobine primaire l et de l'intensité parcourant la bobine primaire $i_1(t)$.
- 4) Calculer la valeur de cette amplitude pour différentes valeurs de fréquences ($f = 1 \text{ kHz}$; 10 kHz) et pour différentes valeurs du nombre de spires de l'enroulement secondaire ($N_2 = 200; 100; 60; 40$).
- 5) Exprimer l'amplitude U_1 de la tension de la bobine primaire.
- 6) Exprimer le ratio des deux amplitudes $\frac{U_2}{U_1}$.
- 7) Calculer ce ratio pour différentes valeurs de fréquences ($f = 1 \text{ kHz}$; 10 kHz) et pour différentes valeurs du nombre de spires de l'enroulement secondaire ($N_2 = 200, 100, 60, 40$).
- 8) Comparer les résultats expérimentaux et les valeurs théoriques attendues (avec incertitudes).
- 9) Comparer les ratios $\frac{U_2}{U_1}$ expérimentaux et théoriques.
- 10) Comment varie ce ratio d'amplitude?