

TP 6A – Magnétostatique et induction

Compétences expérimentales au programme :

Mesure directe d'une tension à l'oscilloscope numérique. Mesure indirecte d'un courant à l'oscilloscope aux bornes d'une résistance adaptée. Mesure directe d'une résistance à l'ohmmètre.	Capacités communes à l'ensemble des mesures électriques : - définir la nature de la mesure effectuée (valeur efficace, valeur moyenne, amplitude, valeur crête à crête,...). Gérer, dans un circuit électronique, les contraintes liées à la liaison entre les masses.
Oscillateur mécanique amorti par frottement visqueux	Réaliser l'acquisition d'un régime transitoire pour un système linéaire du deuxième ordre et analyser ses caractéristiques.

Objectifs :

1. Confronter les mesures expérimentales de champ magnétostatique aux prévisions théoriques du Ch.EM2.
2. Mettre en évidence et exploiter l'induction de Lorentz.
3. Déterminer expérimentalement des paramètres caractéristiques d'un haut-parleur.
4. Mettre en évidence l'induction de Neumann et confronter les valeurs théorique et expérimentale du rapport de transformation d'un transformateur.

A faire pour la séance de TP :

Lire entièrement le sujet et répondre aux questions ✍.

1^e partie. Magnétostatique (ChEM2)

1) Matériel et précautions

- ♦ On utilise l'alimentation stabilisée pour délivrer des **courants de l'ordre de 1 A**.

⚡* **Précautions :**

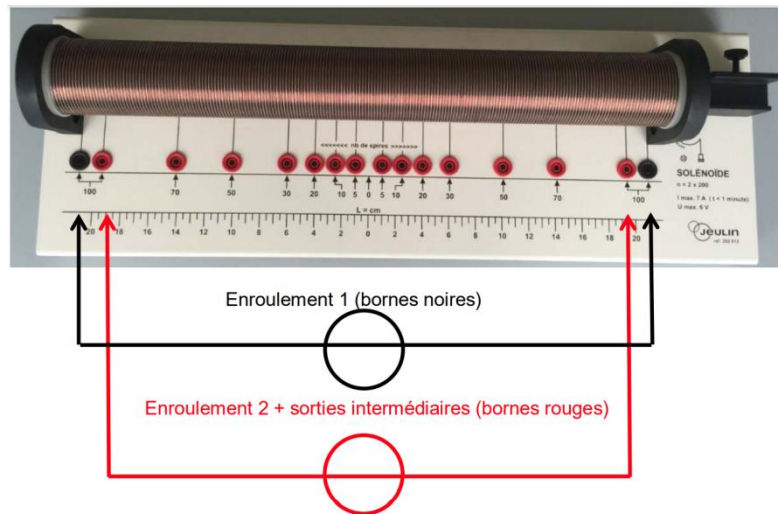
Avant d'allumer l'alimentation, tourner le bouton de réglage du courant au minimum.

Eteindre systématiquement l'alimentation avant de changer le montage.

- ♦ On utilise également un rhéostat i.e. une résistance variable utilisée pour contrôler le courant et conçue pour supporter des courants élevés (de l'ordre de l'ampère). On positionnera son curseur au milieu du rail.
- ♦ On mesure l'intensité du courant avec un ampèremètre :
 - ⚡ le relier au circuit par la **borne d'entrée adaptée** (pour ne pas griller le fusible).
- ♦ On mesure une composante du champ magnétique avec un teslamètre (sonde de Hall).
Avant toute mesure, il faut effectuer le réglage du zéro (avec un petit tournevis). De cette façon, on s'affranchit du champ magnétique terrestre et on mesure le champ magnétique créé seulement par un circuit parcouru par un courant.

2) Champ sur l'axe d'un solénoïde – Effets de bords

Le solénoïde étudié dispose de 2 enroulements distincts montés en parallèle sur un cylindre.



Le premier enroulement (noir) comprend 200 spires sur une longueur de 40 cm.

Le second (rouge) à sorties intermédiaires permet de faire varier le nombre N de spires. Les sorties intermédiaires sont prévues pour maintenir le **rapport** $n = \frac{N}{L}$ **constant égal à 500 spires/m**. Par exemple, en alimentant le solénoïde via les douilles repérées :

- 5 : $N = 10$ et $L = 2$ cm ($n = \frac{N}{L} = 500$ spires/m)
- 10 : $N = 20$ et $L = 4$ cm ($n = \frac{N}{L} = 500$ spires/m)
- Et ainsi de suite pour les combinaisons de douilles (20, 30, 50, 70 et 100).

✎ ➡ 1. On considère un solénoïde, supposé infini, parcouru par un courant d'intensité I constante. Rappeler l'expression du champ magnétique créé par le solénoïde en tout point à l'intérieur du solénoïde (cf Ch.EM2).

✎ ➡ 2. Proposer un protocole permettant de valider (ou pas !) le résultat théorique concernant le champ magnétique créé par un solénoïde infini (valeur et uniformité).

✎ ➡ Mettre en œuvre ce protocole en prenant les précautions signalées dans le § 1 !

Pour alimenter le solénoïde, on procèdera ainsi :

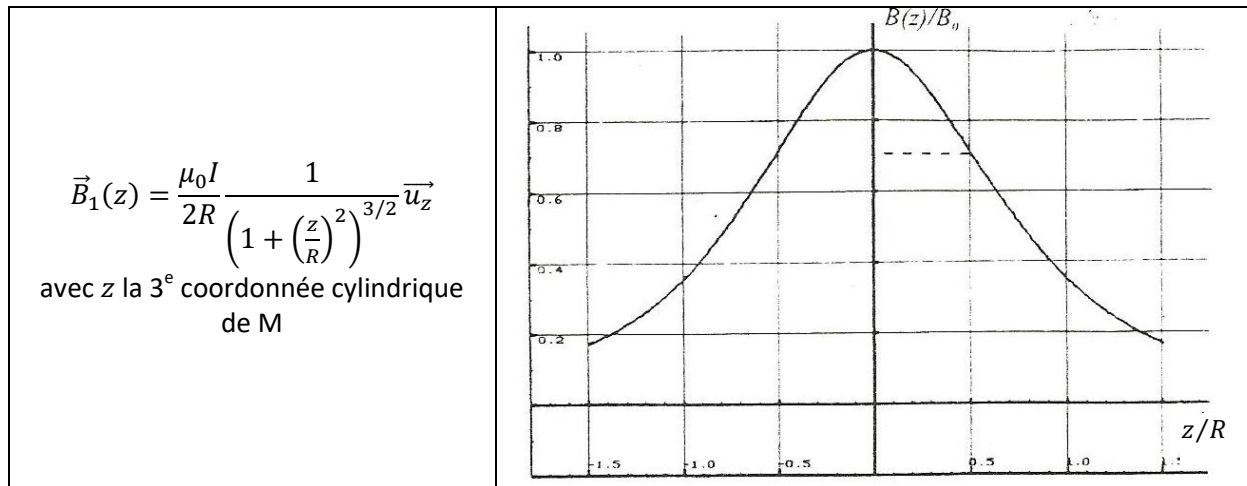
Câbler un circuit série contenant une alimentation stabilisée, un ampèremètre, un rhéostat et le solénoïde (enroulement rouge).

Allumer l'alimentation et augmenter progressivement l'intensité du courant délivré jusqu'à $I = 1$ A.

➡ 3. Conclure.

3) Champ sur l'axe d'une bobine plate

Soit une spire de rayon R , d'axe (Oz) , parcourue par un courant d'intensité I . On travaille en coordonnées cylindriques d'axe (Oz) , la spire étant contenue dans le plan $z = 0$. On peut montrer(hors programme) que le champ magnétique $\vec{B}$ en tout point M de l'axe (Oz) vérifie :



La bobine étudiée* comprend $N = 98$ spires, son rayon moyen vaut 6,5 cm et son épaisseur vaut 2,5 cm. En l'assimilant à une bobine plate, le champ qu'elle crée, en un point de son axe, lorsqu'elle est parcourue par un courant I vaut : $\vec{B}(z) = N \cdot \vec{B}_1(z)$.

* On étudie une des deux bobines du dispositif de Helmholtz (cf § 4).

✎ ➡ 4. Proposer un protocole permettant de valider (ou pas !) le résultat théorique concernant le champ magnétique créée par une bobine plate en un point de son axe.

✎ Mettre en œuvre ce protocole en prenant les précautions signalées dans le § 1 !

Pour alimenter la bobine, on procèdera ainsi :

Câbler un circuit série contenant une alimentation stabilisée, un ampèremètre, un rhéostat et la bobine.

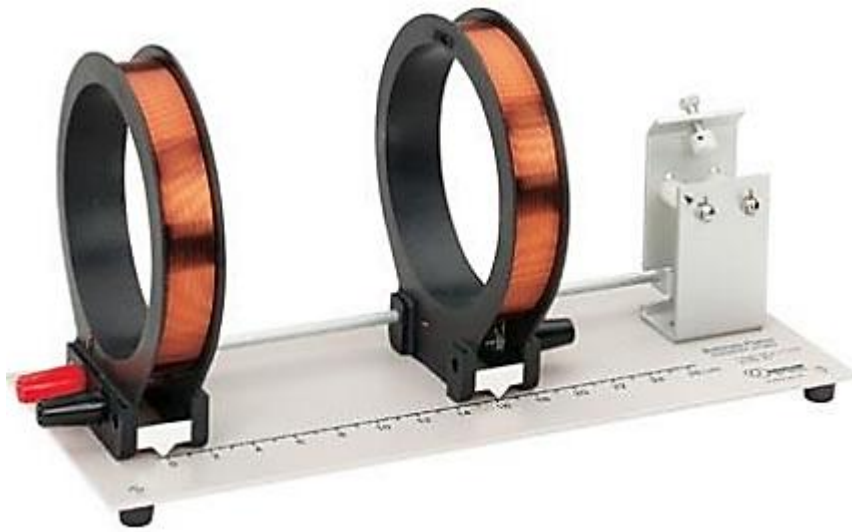
Allumer l'alimentation et augmenter progressivement l'intensité du courant délivré jusqu'à $I = 1 \text{ A}$.

➡ 5. Conclure.

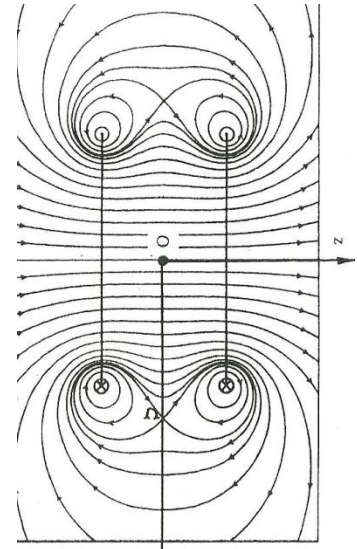
4) Champ sur l'axe des bobines de Helmholtz

Le dispositif de Helmholtz contient deux bobines identiques, assimilées à des bobines plates, parcourues par la même intensité I et telles que la distance d qui les sépare est égale à R .

Ici, pour chaque bobine, on a : $N = 98$ spires, rayon moyen $R = 6,5 \text{ cm}$ et épaisseur $e = 2,5 \text{ cm}$.



Dispositif expérimental



Carte des lignes de champ magnétique

✎ ➡ 6. Quel principe permet d'affirmer que « Le champ magnétique créé par les bobines de Helmholtz est la somme des champs magnétiques créés par chaque bobine » ?

L'intérêt de la configuration de Helmholtz est de créer un champ magnétique uniforme dans la région située entre les deux bobines.

✎ ➡ 7. Justifier cette propriété en exploitant la carte des lignes de champ.

On souhaite vérifier expérimentalement cette propriété.

✎ En prenant les précautions signalées dans le § 1, alimenter les bobines, en procédant ainsi :

Câbler un circuit série contenant une alimentation stabilisée, un ampèremètre, un rhéostat, la 1^e bobine et la 2^e bobine.

Allumer l'alimentation et augmenter progressivement l'intensité du courant délivré jusqu'à $I = 1 \text{ A}$.

✎ Mesurer le champ magnétique en fonction de z (axe Oz défini sur la carte de champ ci-dessus) et tracer la courbe correspondante.

➡ 8. Conclure.

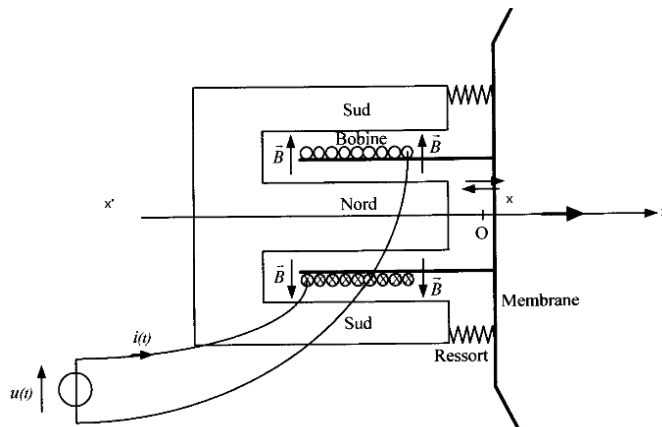
2^e partie. Induction (MPSI)

1) Induction de Lorentz – Haut-parleur

On rappelle les équations couplées obtenues lorsque le haut-parleur est soumis à une tension $u(t)$, qu'il est parcouru par le courant d'intensité $i(t)$ et que l'équipage mobile, de masse m , est en translation selon l'axe Ox :

$$u(t) = R_e i(t) + L_e \frac{di}{dt} - B \cdot l \cdot \frac{dx}{dt} \quad (EE)$$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx(t) = -B \cdot l \cdot i(t) \quad (EM)$$



a) Comportement du haut-parleur en régime transitoire : mise en évidence de l'induction de Lorentz

On se propose de retrouver certains paramètres du haut-parleur par des mesures en régime transitoire.

i) Principe de la mesure

On acquiert la tension aux bornes du haut-parleur en les reliant à la voie EA0 et à la masse de la carte d'acquisition Sysam SP5 (qui présente une impédance très supérieure à celle du haut-parleur).

On laisse tomber une petite perle sur la partie centrale du HP disposé horizontalement. *Cette perle est reliée à un fil fin et souple pour éviter de la perdre.*

Le choc communiqué à l'équipage mobile une vitesse initiale et le mouvement est régi par l'équation :

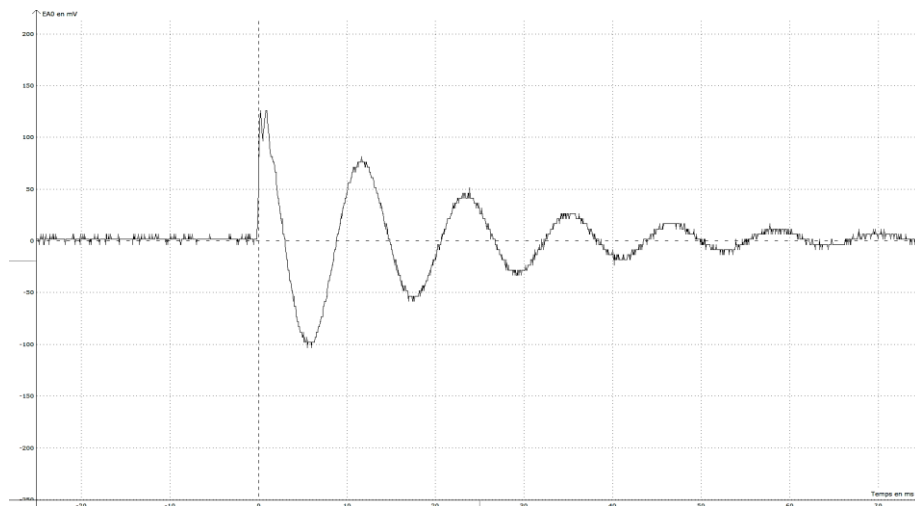
$$m \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx(t) = -B \cdot l \cdot i(t) \quad (EM)$$

avec, ici, $i(t) \approx 0$ puisque le circuit est fermé sur l'impédance "infinie" de la carte d'acquisition.

La vitesse $\frac{dx}{dt}$ obéit à la même équation : il suffit de dériver (EM).

Avec la carte d'acquisition, on visualise la tension aux bornes du circuit, c'est à dire (éventuellement au signe près en fonction du branchement), la fem induite $e(t) = B \cdot l \cdot \frac{dx}{dt}$ dans le circuit (en négligeant l'auto-induction).

Conclusion : la tension visualisée avec la carte d'acquisition est, à un coefficient près, la vitesse $\frac{dx}{dt}$.



Allure de l'acquisition, paramétrée comme suit :

- 2000 points ; période d'échantillonnage de 50 μ s ; durée d'acquisition de 100 ms
- Dans l'encart « Déclenchement », choisir EA0 comme source ; sens montant ; seuil 60 mV et pré-trig 25 %

ii) Manipulation et exploitation du résultat

✎ Réaliser les branchements, paramétrer puis lancer l'acquisition.

✎ Laisser tomber la perle sur le haut-parleur. Répéter éventuellement la chute si l'acquisition ne s'est pas déclenchée (seuil non atteint).

✎ ➡ 9. Mettre l'équation dont $\frac{dx}{dt}$ est solution sous forme canonique, en introduisant un facteur de qualité Q et une pulsation propre ω_0 .

➡ 10. A partir de l'acquisition, déterminer les paramètres Q et ω_0 .

b) Impédance du haut-parleur – Maximum de l'impédance

i) Etude théorique

✎ ➡ 11. Rappeler l'origine de chaque terme figurant dans les équations données p.5.

✎ ➡ 12. Montrer que l'impédance du haut-parleur s'écrit :

$$\underline{Z} = \underline{Z}_e + \underline{Z}_m \text{ avec } \underline{Z}_m = \frac{B^2 l^2}{b + j \cdot (m\omega - \frac{k}{\omega})}$$

Quel nom donne-t-on à $\underline{Z}_m$?

✎ ➡ 13. Mesurer la résistance électrique R_e du haut-parleur et comparer à la donnée constructeur.

Pour le haut-parleur étudié, on considère que jusqu'à 200 Hz, on peut négliger le terme $L_e \cdot \omega$ dans l'impédance du haut-parleur.

✎ ➡ 14. Montrer que le module de $\underline{Z}$ passe par un maximum ; exprimer le maximum et la fréquence correspondante f_0 .

ii) Manipulation et exploitation du résultat

Pour mesurer l'impédance du haut-parleur, on doit mesurer la tension $u_z(t)$ à ses bornes et l'intensité $i(t)$ qui le traverse.

Pour cela, on câble un circuit série contenant un GBF, le haut-parleur et une résistance $R_0 = 10 \Omega$ qui peut supporter une puissance maximale de 2 W. A l'oscilloscope, on souhaite visualiser la tension $u_z(t)$ aux bornes du haut-parleur et celle aux bornes de la résistance R_0 : $u_r(t)$.

✎ ➡ 15. Représenter le schéma du montage en indiquant les branchements des voies de l'oscilloscope : attention aux boucles de masses !

✎ Une fois validé, câbler le circuit.

On note U_z et U_r les amplitudes ou les valeurs pic à pic des tensions.

✎ Sous Latis Pro ou Excel ou Regressi, créer un tableau (f , U_z , U_r).

✎ Créer la grandeur Z correspondant au module de l'impédance du haut-parleur et tracer la courbe Z en fonction de f .

✎ **Vous remplirez le tableau et l'enregistrerez AU FUR ET A MESURE du balayage en fréquence pour $30 < f < 200$ Hz et vous afficherez la courbe associée en parallèle.**

➡ 16. Commenter la courbe obtenue. Déterminer l'impédance maximale Z_{MAX} et la fréquence f_0 correspondante.

➡ 17. Pour la pulsation propre, comparer au résultat obtenu par l'étude précédente (§ a).

✎ ➡ 18. En supposant que la constante de couplage $B \cdot l$ et la masse de l'équipage m sont connues (données constructeur), montrer que l'on peut déterminer le coefficient de frottement b et la constante de raideur k .

2) Induction de Neumann – Transformateur

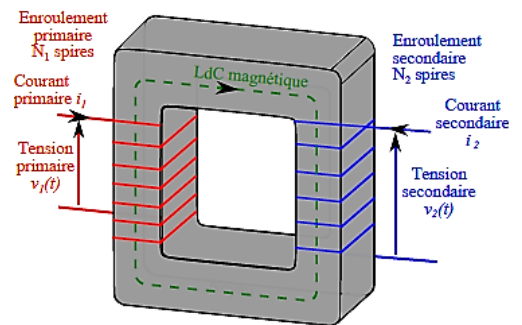
Un transformateur est un dispositif électrotechnique qui modifie l'amplitude de tensions et de courants **alternatifs** (la fréquence des signaux reste inchangée).

a) Constitution

Il se compose d'une carcasse ferromagnétique et de deux enroulements.

Le matériau ferromagnétique est choisi pour sa capacité à canaliser les lignes de champ magnétique. Ainsi, il n'existe de champ magnétique qu'à l'intérieur du « circuit magnétique » formé par le matériau ferromagnétique. Les enroulements sont constitués de fils de cuivre, bobinés autour du circuit magnétique. L'enroulement primaire, constitué de N_1 spires, est celui qui reçoit l'énergie électrique.

Cette énergie est restituée à la charge par l'enroulement secondaire, constitué de N_2 spires.



b) Principe de fonctionnement

Le circuit primaire, soumis à la tension alternative $v_1(t)$, est parcouru par le courant alternatif d'intensité $i_1(t)$. Ce courant crée un champ magnétique variable $\vec{B}(t)$. La carcasse ferromagnétique canalise ce champ jusqu'au secondaire. Ce champ variable $\vec{B}(t)$ crée alors un flux variable dans l'enroulement secondaire : il y a donc apparition d'une f.é.m. induite au secondaire. Une fois que la charge est branchée aux bornes du secondaire, le courant induit $i_2(t)$ peut circuler : le secondaire restitue ainsi l'énergie électrique.

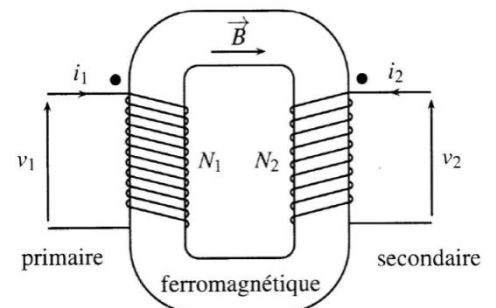
c) Rapport de transformation d'un transformateur

On note S la section du circuit magnétique. En respectant les conventions d'orientation pour i_1 et i_2 du schéma ci-contre :

Le flux de $\vec{B}(t)$ à travers le primaire s'écrit : $\varphi_1(t) = N_1 B(t) S$

Le flux de $\vec{B}(t)$ à travers le secondaire s'écrit : $\varphi_2(t) = N_2 B(t) S$.

✎ ➡ 19. En déduire l'expression des f.é.m. induites e_1 au primaire et e_2 au secondaire. En déduire le rapport de transformation $m = \frac{v_2}{v_1}$.



✎ ➡ 20. Mesurer expérimentalement le rapport de transformation d'un transformateur. Commenter.

Rotation TP6 :

	27-nov	04-déc	11-déc			27-nov	04-déc	11-déc
Térence - Charles	A	B	C		Elodie - Margot	A	B	C
Bastien - Lubin	A	B	C		Adelin - Nathan C.	A	B	C
Salahaddin - Baptiste	A	B	C		Amine - Camille	A	B	C
Alexis - Ethan	A	B	C		Charlélie - Nathan L.	B	C	A
Mathilde - Laura	B	C	A		Maël - Robin	B	C	A
Mathis - Adrien	B	C	A		Natoye - Antoine	B	C	A
Jules - Quentin	B	C	A		Gaspard - Timothée	C	A	B
Zinedine - Laila	C	A	B		Armand - Tristan	C	A	B
Pauline - Nolann	C	A	B		David - Eliott	C	A	B
Noah - Robin	C	A	B					