

COMPTE RENDU DE MONTAGE DE PHYSIQUE
-
PRÉPARATION À L'AGRÉGATION DE PHYSIQUE DE L'ENS
PARIS-SACLAY

BENHAMOU-BUI Benjamin
PLO Juliette

Montage n°20

Induction & Autoduction



Présenté par Juliette

Table des matières

I Freinage par Courants de Foucault	2
I.1 Mise en évidence	2
I.2 Mesure de σ_{Cu}	2
II Ecrantage d'un champ magnétique par courants de Foucault	3
II.1 Mise en évidence	3
II.2 Mesure de σ_{Cu}	4
III Capteur de position inductif	5
III.1 Étalonnage	5
III.2 Évolution du gain avec la fréquence	5
IV Questions	6
V Remarques	6
VI Bibliographie	6

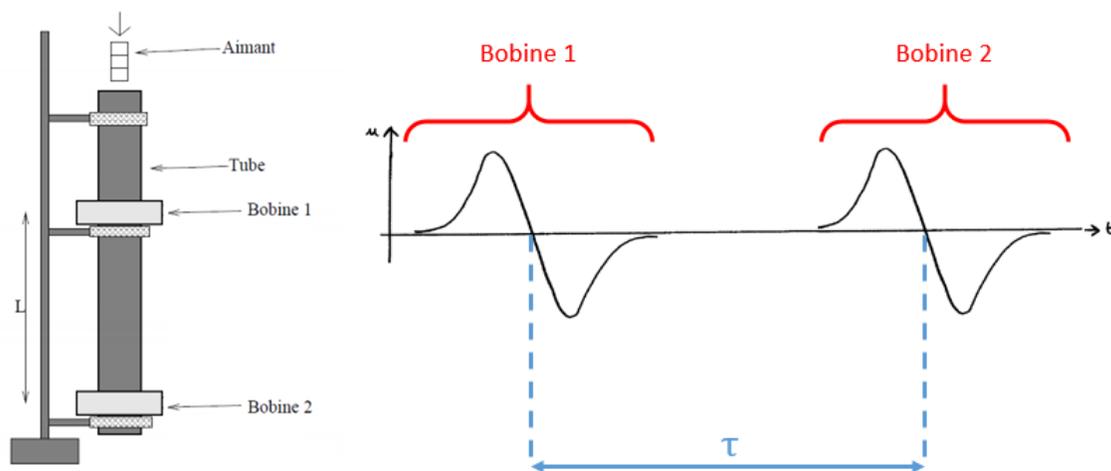
Introduction

Le phénomène d'induction est découvert par Faraday dans les années 1830. Il énonce alors la loi suivante $e = -\frac{d\phi}{dt}$. Cette loi nous permet de comprendre macroscopiquement les phénomènes d'induction. Il nous faut attendre 30 ans pour que Maxwell énonce à son tour ses équations qui vont permettre de relier les causes et les conséquences microscopiques de l'électromagnétisme entre elles. Il s'agit de l'équation Maxwell-Faraday : $\vec{\text{rot}}\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}$. Nous allons tenter de comprendre au cours de ce montage les différents phénomènes d'induction et auto-induction présents dans les systèmes étudiés.

I Freinage par Courants de Foucault

I.1 Mise en évidence

On dispose de trois tubes : un en plastique, un en cuivre et un en aluminium, et d'un aimant permanent pouvant chuter dans les différents tubes. Nous fixons deux bobines détectrices d'une distance L . Le signal reçu par chaque bobine nous permet de mesurer le temps de chute de l'aimant τ (voir ci-dessous).



Pour $L=70\text{cm}$, je trouve $\tau_{\text{plastique}} = 249\text{ms}$ en préparation, je réalise en direct la mesure pour le cuivre, je trouve $\tau_{\text{cuivre}} = 5.92\text{s}$.

Nous remarquons que le temps de chute dans un tube en métal est beaucoup plus long que pour le plastique. L'aimant est freiné. On met en évidence ici l'existence de courants de Foucault, freinant l'aimant (explication avec les mains en direct).

Je montre ensuite que dans l'aluminium on a un temps de chute plus court que dans le cuivre. Donc, d'un métal à l'autre, le temps de chute diffère et cette observation s'explique par leurs conductivités électriques différentes. Essayons de comprendre plus en détail ce phénomène.

I.2 Mesure de σ_{Cu}

Dans les tubes métalliques, on peut considérer que le régime permanent est atteint quasi-instantanément (tps caractéristique du régime transitoire $\sim \text{ms}$ alors que tps de chute $\sim \text{s}$). Donc finalement, l'ai-

mant a un mouvement uniforme de vitesse v_{lim} lors de sa chute dans le tube.

Or on a $L=cste$ donc on a $v_{lim} \times \tau=cste$.

Considérons une force de freinage de la forme $\vec{F} = -\alpha\vec{v}$, avec $\alpha \propto \sigma$, la conductivité.

On applique le Principe Fondamental de la Dynamique à l'aimant :

$$m \frac{dv}{dt} + \alpha v = mg \Rightarrow v_{lim} = \frac{mg}{\alpha} \propto \frac{mg}{\sigma} \Rightarrow \frac{\tau}{\sigma} = cste \Rightarrow \sigma_{Cu} = \frac{\tau_{Cu}}{\tau_{Alu}} \sigma_{Alu}$$

Il est donc possible de remonter à la valeur de la conductivité électrique du cuivre connaissant les trois autres termes.

En préparation, j'ai donc réalisé 10 fois l'expérience avec le tube d'aluminium afin d'évaluer τ_{Alu} . A l'aide de la macro Igor j'ai fait une étude statistique et j'ai trouvé $\tau_{Alu} = 4,039 \pm 0,028s$.

Je rajoute ensuite la valeur de τ_{Cu} mesurée en direct à mon tableau de valeurs. Je fais également une étude statistique et je trouve $\tau_{Cu} = 5,96 \pm 0,03s$.

Avec la valeur tabulée $\sigma_{Alu}=3,37.10^7 S.m^{-1}$ (pour aluminium pur à température ambiante), on obtient : $\sigma_{Cu} = 5,56 \pm 0,47 10^7 S.m^{-1}$.

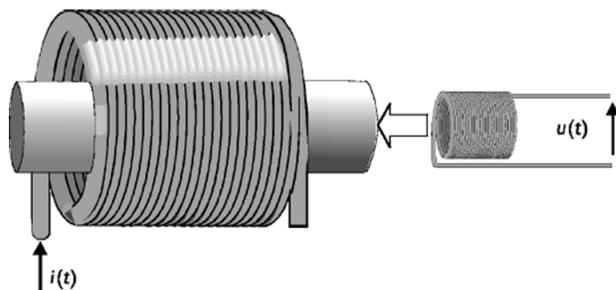
Sachant que la valeur théorique est $\sigma_{Cu} = 5,95 10^7 S.m^{-1}$, notre résultat est très correct et les intervalles d'incertitude nous permettent d'englober la valeur théorique.

II Ecrantage d'un champ magnétique par courants de Foucault

Dans cette expérience, nous allons retrouver la notion de courants de Foucault mais ces derniers vont avoir un effet différent sur le système physique.

II.1 Mise en évidence

Nous disposons d'une première bobine alimentée, traversée donc par un courant $i(t)$, d'une seconde bobine, qui va jouer le rôle de bobine détectrice et enfin d'une tube creux de cuivre (voir ci-dessous).



En branchant la bobine détectrice à un oscilloscope, nous avons accès à sa tension, qui est image du champ magnétique \vec{B} présent au sein des bobines.

Je me place à $f=650Hz$, et je mesure la tension efficace sans le tube de cuivre. J'insère donc

seulement la bobine détectrice dans la grande bobine parcourue par $i(t)$ et je relève U_{vide} . J'introduis désormais le tube creux de cuivre dans la grande bobine puis j'insère à nouveau la bobine détectrice et je relève à l'oscilloscope U_{tube} . On remarque que $U_{vide} > U_{tube}$. Le champ magnétique est plus faible avec le tube de cuivre. Il y a écrantage du champ \vec{B} .

II.2 Mesure de σ_{Cu}

Lorsque la bobine 1 est alimentée, un champ magnétique est alors créé au sein de la bobine et est de la forme : $\vec{B}_0 = \mu_0 n i(t) \vec{e}_z$. On a $U_{vide} \propto \vec{B}_0 = \vec{B}_{ext}$. En mesurant U_{vide} on peut alors connaître la norme de \vec{B}_{ext} .

Lorsque l'on insère le tube métallique, il se passe la chose suivante :

- le courant $i(t)$ est variable donc par Maxwell-Faraday, un champ électrique \vec{E} est induit.
- le tube de métal étant conducteur, par la loi d'Ohm locale, $\vec{j} = \sigma \vec{E}$, un courant est induit (ici on peut le considérer surfacique).
- enfin à son tour, le courant surfacique va créer un champ magnétique \vec{B}_s opposé au champ \vec{B}_0 ($\vec{B}_s = \mu_0 j_s \vec{e}_z$ avec $j_s < 0$). On retrouve ici la loi de Lenz/de modulation.

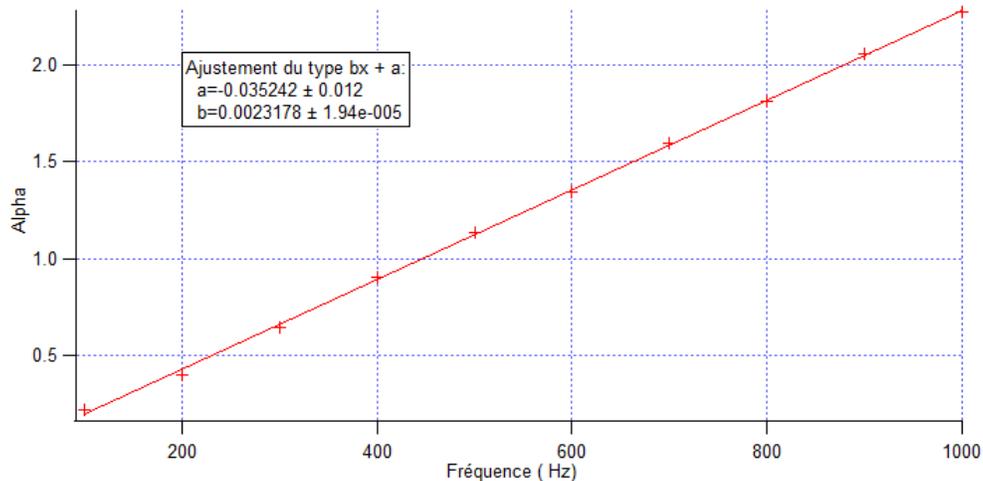
Ainsi en mesurant $U_{tube} \propto \vec{B}_0 + \vec{B}_s = \vec{B}_{int}$ on a accès à la norme du champ \vec{B}_{int} .

Par calcul, on peut trouver la relation suivante :

$$\frac{\sqrt{U_{vide}^2 - U_{tube}^2}}{U_{tube}^2} = \mu_0 a e \sigma_{Cu} \pi f$$

avec a =rayon moyen et e =épaisseur du tube

Je reporte les valeurs mesurées précédemment pour $f=650\text{Hz}$, et j'obtiens la figure suivante.



Je trouve donc une pente $b=2,317 \pm 0,019 \cdot 10^{-3}$.

Or $\sigma_{Cu} = \frac{b}{\mu_0 a e \pi}$, ainsi je trouve $\sigma_{Cu} = 4,01 \pm 0,17 \text{ S.m}^{-1}$. On trouve cette fois encore un bon ordre de grandeur pour la conductivité électrique du cuivre.

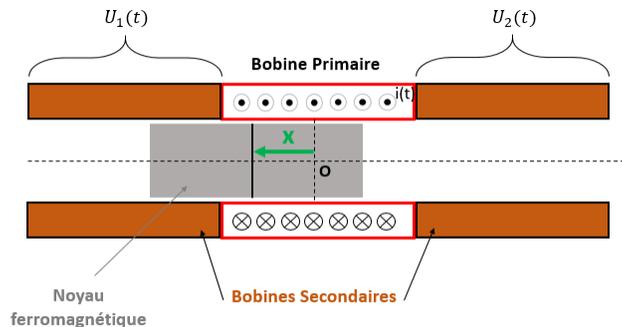
Il faut souligner le fait que les métaux utilisés dans les expériences sont probablement des alliages, il est donc normal qu'on ne trouve pas la valeur exacte pour le Cuivre pur, mais une valeur inférieure (concernant la conductivité).

III Capteur de position inductif

Dans ce dernier montage, nous allons utiliser la notion de mutuelle afin de construire un capteur de position.

III.1 Étalonnage

Je réalise le montage suivant à l'aide de trois bobines identiques.

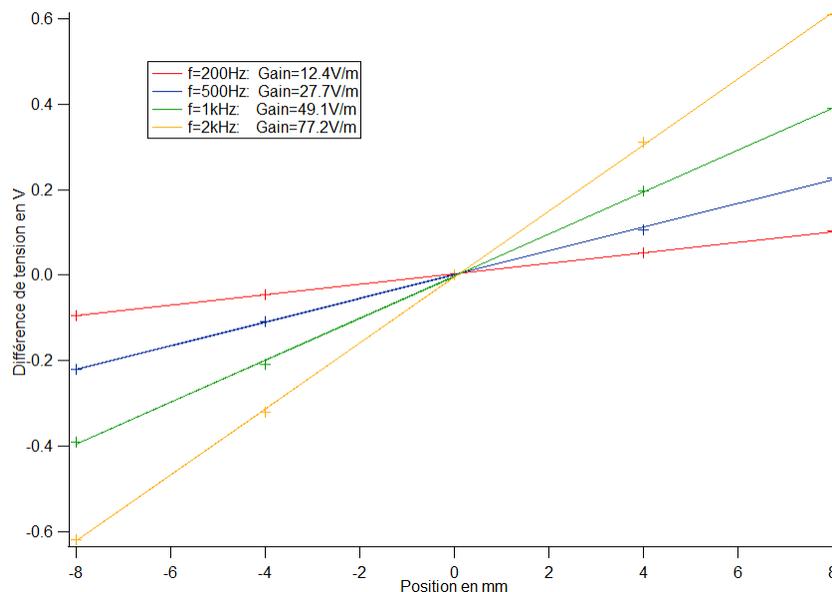


Pour étalonner le capteur, on fait varier la position du noyau ferromagnétique et on relève la différence $U_2 - U_1$ sur un oscilloscope. Pour cela, je me suis placée en direct à $f=650\text{Hz}$, je réalise une série de mesures pour des déplacements de $\{-8,-4,0,4,8\}$ mm. J'obtiens ainsi la droite d'étalonnage et le gain du capteur.

Il est désormais possible de remonter à la position du noyau connaissant la différence de tensions.

III.2 Évolution du gain avec la fréquence

En préparation, j'ai effectué l'étalonnage du capteur pour plusieurs fréquences et je remarque que le gain est variable.



Le gain du capteur augmente avec la fréquence (logique avec Faraday). Gros avantages niveau application d'avoir un gain variable.

IV Questions

- explique la forme des signaux des bobines détectrices (manip 1)
- est ce qu'il ya un courant qui circule dans les bobines (manip 1)? Nooon on a juste une tension induite.
- où placer la première bobine sur le tube (manip 1)? Pas trop haut (pas trop près de l'entrée) afin de pouvoir considérer que le régime permanent est atteint.
- pourquoi avoir choisi cette plage de fréquence pour l'écrantage? là où on peut négliger l'effet de peau
- expliquer où est la notion de mutuelle dans le montage du capteur?
- est ce qu'on peut aller à n'importe quelle fréquence pour l'étalonnage du capteur? non il ne faut pas aller à haute fréquence car vers 8 kHz on a l'effet capacitif de la bobine qui entre en jeu donc gain saturé.

V Remarques

La notion d'auto-induction un peu passée sous silence, peut-être ajouter une manip de mesure d'inductance propre L.

- Dans manip 1, attention! ne pas parler de vitesse pour ne pas s'emmêler les pinceaux! car dans plastique on a un mouvement accéléré, donc ya pas de v_{lim} .
- on peut utiliser la manip 1 comme capteur de vitesse aussi.
- utiliser un pied à coulisse pour mesurer l'épaisseur du tube...
- bien garder amplitude du courant $i(t)$ constante dans l'écrantage ($\sim 100\text{mA}$).

VI Bibliographie

Pour le freinage par courants de Foucault :

<http://gerald.philippe.free.fr/files/2011/Chute%20aimant%20dans%20tube%20metallique.pdf>

Pour l'écrantage :

http://bupdoc.udppc.asso.fr/consultation/une_fiche_simple.php?ID_fiche=19644