

# MP20 : Induction, auto-induction

Armel JOUAN, Géraud DUPUY

June 6, 2021

## 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 :  $\vec{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ . Nous allons tenter de comprendre au cours de ce montage les différents phénomènes d'induction et auto-induction présents dans les systèmes étudiés.

## 1 Auto-induction: Mesure d'une inductance propre

### Matériel

- Bobine Leybold 250 spires
- Résistance de quelques dizaines d'Ohm
- Multimètres de précision
- GBF
- Cables

### Mise en place

- Mettre en série la résistance et la bobine
- Mesurer intensité et courant au borne de l'ensemble {Résistance + bobine}
- Le faire pour différentes fréquences allant de 100 Hz à 10 kHz avec  $R \simeq 40 \Omega$  (de telle sorte à ce que  $L\omega > R$  et pour ne pas voir le caractère capacitif à HF).

## Exploitation

- On a donc, aux bornes du dipôle {Résistance + bobine} :

$$\left(\frac{U_{eff}}{I_{eff}}\right)^2 = R^2 + L^2\omega^2$$

- Dédurre de la régression linéaire la valeur de l'inductance propre  $L$  de la bobine.

## 2 Freinage par courants de Foucault [2]

### Matériel

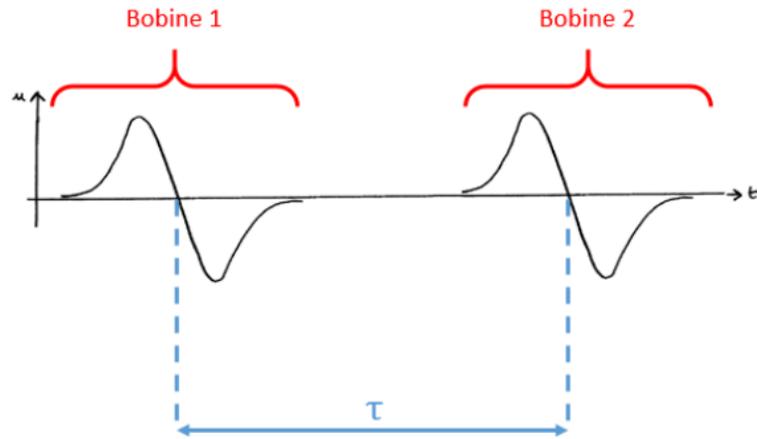
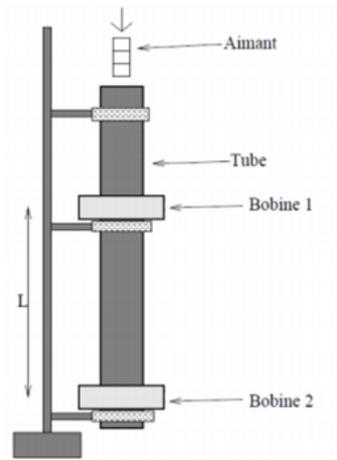
- Tubes en plastique, cuivre et aluminium
- Support pour les tubes
- Aimant permanent pouvant chuter dans les tubes
- Deux bobines détectrices adaptables sur les tubes
- Oscilloscope
- Réglet

### Mise en place

- Installer les tubes et fixer les bobines à une distance  $L$  (à mesurer au réglet) l'une de l'autre sur un tube. **Garder la même distance  $L$  pour chacun des tubes.**
- Lâcher l'aimant sans vitesse initiale en haut des tubes, relever le temps de chute  $\tau$  entre les deux bobines à l'oscilloscope.
- Le faire qualitativement pour le plastique, faire une étude statistique (10 mesures typiquement) pour le cuivre et l'aluminium.

### Exploitation

- Mettre en évidence le phénomène de freinage par courants de Foucault en comparant les temps de chute entre le plastique (qqs centaines de ms) et le cuivre et l'aluminium (quelques secondes).



- On peut assimiler la force de freinage à une force de frottement fluide  $\vec{F} = -\alpha \vec{v}$  où  $\alpha \propto \sigma$ . Le PFD sur l'aimant donne selon  $(Oz)$ :

$$m \frac{dv}{dt} + \alpha v = mg$$

On a donc  $v_{lim} = \frac{mg}{\alpha} \propto \frac{mg}{\sigma} \Rightarrow \frac{\tau}{\sigma} = cte \Rightarrow \sigma_{Cu} = \frac{\tau_{Cu}}{\tau_{Alu}} \sigma_{Alu}$

- Dédurre de  $\tau_{Alu}$ ,  $\tau_{Cu}$  et  $\sigma_{Alu,tab} = 3,37 \cdot 10^7 \text{ S.m}^{-1}$  (aluminium pur à  $T_{amb}$ ), la valeur de  $\sigma_{Cu}$  (à comparer avec  $\sigma_{Cu,tab} = 5,95 \cdot 10^7 \text{ S.m}^{-1}$ , valeur pour du cuivre pur à  $T_{amb}$ )
- On trouve une valeur légèrement inférieure (typiquement  $\sim 4 \cdot 10^7 \text{ S.m}^{-1}$  au lieu de  $\sigma_{Cu,tab} = 5,95 \cdot 10^7 \text{ S.m}^{-1}$ , peut-être qu'on a un alliage de cuivre.)

### 3 Ecrantage d'un champ magnétique par courants de Foucault [1]

#### Matériel

- Solénoïde tube bobine gainée jaune
- Bobine détectrice sur tube
- Tube creux en cuivre
- Oscillo et GBF

- Cables
- Pied à coulisse

## Mise en place

- On injecte un courant sinusoïdal dans le solénoïde (650 Hz)
- On place la bobine détectrice (reliée à l'oscilloscope, qu'on fait trigger en externe et moyenne pour avoir un beau signal) et on mesure la tension efficace à vide  $U_{Vide}$
- On met un tube de cuivre, et on remet la bobine détectrice pour mesurer la tension  $U_{Tube}$
- Mesurer toutes les dimensions du système au pied à coulisse.

## Exploitation

- Lorsque le solénoïde est alimenté, on a un champ  $\vec{B}_o = \mu_o n i(t) \vec{e}_z$
- Lorsque l'on insère la bobine détectrice, on a  $U_{vide} \propto B_o$  ; on retrouve donc la norme avec l'amplitude
- Quand on insère le tube, on sait que le champ B variable va créer un champ E induit, qui va créer dans le tube de cuivre des courants induits (du fait que la cuivre soit conducteur), donc qui vont créer un champ  $\vec{B}_i$  et ce champ va être opposé à  $\vec{B}_o$
- Donc quand on remesure la tension à la bobine détectrice, on a une tension plus faible
- On montre que  $\frac{\sqrt{U_{vide}^2 - U_{tube}^2}}{U_{tube}} = \mu_o a e \pi f \sigma_{Cu}$  (avec  $a$  le rayon moyen,  $e$  l'épaisseur du tube, et  $f$  la fréquence d'excitation)
- Pour différentes fréquences entre 100 et 1000 Hz, faire une droite et en déduire  $\sigma_{Cu}$
- On trouve une valeur légèrement inférieure (typiquement  $\sim 4.10^7 S.m^{-1}$  au lieu de  $\sigma_{Cu,tab} = 5,95.10^7 S.m^{-1}$ , peut-être qu'on a un alliage de cuivre.)

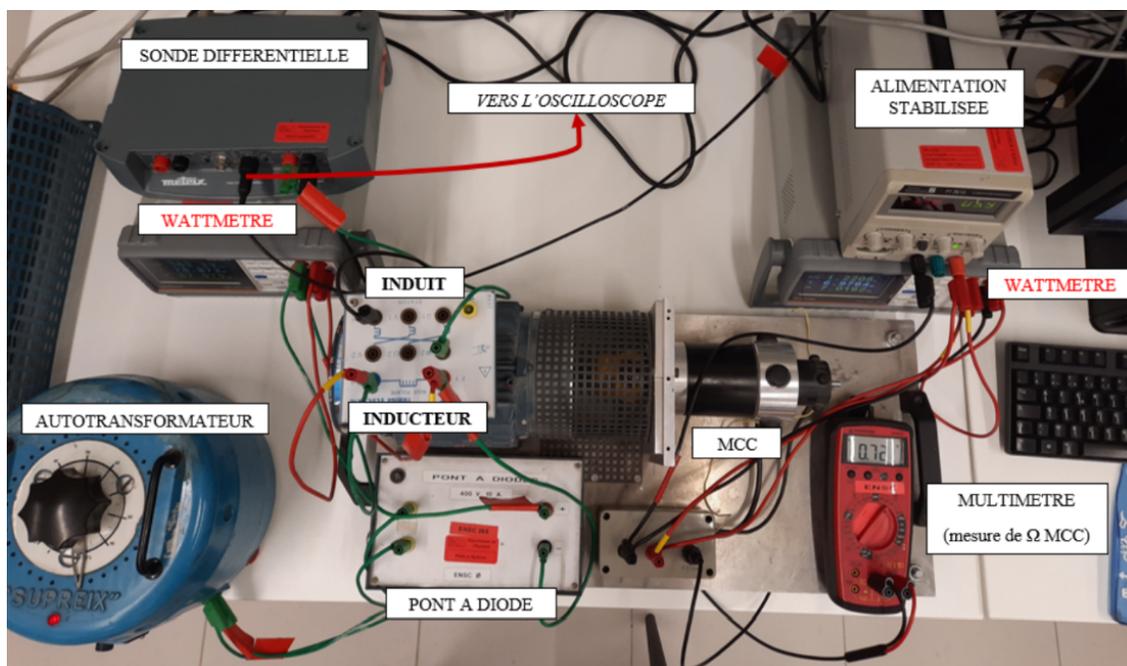
**Remarque :** à choisir entre l'écrantage ou le freinage, plutôt faire l'écrantage pour lequel la géométrie des courants de Foucault est plus facile à comprendre.

## 4 Alternateur synchrone: Loi de Faraday (cf MP21)

### Matériel

- Banc alternateur synchrone + MCC + Dynamo Tachy + pont de diode
- Deux wattmètre, pour contrôler tension et courant
- Autotransfo
- Sonde différentielle de tension et oscillo pour mesurer la tension de l'induit
- Alim stabilisée d'au moins 8A
- Voltmètre pour la dynamo

### Mise en place



- Faire les branchements
- Bien vérifier de travailler toujours en dessous des valeurs nominales (0.4 A pour l'inducteur, 1.4 pour l'induit, et 8A pour la MCC)

## Exploitation

- Tracer la tension efficace de l'induit  $V_{RMS}$  (lecture à l'oscillo) pour différentes valeurs de la vitesse de rotation (pilotée par l'autotransformateur) de l'alternateur  $\Omega$  (lecture au multimètre relié à la dynamo tachymétrique)
- Vérifier la loi de Lenz  $V_{RMS} \propto \Omega$

## Conclusion

Ouvrir vers des applications industrielles (freinage par induction, LVDT).

## Biblio

- 1 BUP "Analyse du blindage électromagnétique par les courants de Foucault dans le cas d'une feuille d'aluminium"
- 2 Sujet de DS "Chute d'un aimant dans un tube métallique"