

# MP 20 : Induction, auto-induction

Charles et Patrick

4 mai 2021

## Contents

<b>1 Plan</b>	<b>1</b>
1.1 Inductance propre . . . . .	1
1.2 Ecrantage d'un champ magnétique par courant de Foucault . . . . .	2
1.3 Alternateur synchrone : loi de Faraday . . . . .	2
<b>2 Questions</b>	<b>3</b>
2.1 3eme manip . . . . .	3
2.2 2eme manip . . . . .	4
2.3 1ere manip . . . . .	5
<b>3 Autres commentaires</b>	<b>5</b>
<b>4 Annexe : protocoles de Manuel Combes pour mesurer L et/ou M</b>	<b>6</b>

## 1 Plan

### 1.1 Inductance propre

Matériel :

- Bobine Leybold  $n = 250$  spires
- Résistance de quelques dizaines d'Ohm
- Multimètre, GBF

On fait un RL et on mesure en RSF le courant efficace et la tension efficace aux bornes de l'ensemble L et R. On trace la droite suivante en fonction de  $\omega^2$  :

$$\left(\frac{U_{eff}}{I_{eff}}\right)^2 = R^2 + L^2\omega^2 \quad (1)$$

J'ai mis cette résistance pour avoir une tension mesurée pas trop faible. J'ai pris des fréquences de 100 Hz à 10 kHz. On trouve  $L = 2.28 \pm 0.01$  mH. Le constructeur donne 2.7 mH, mais les bobines ont l'air d'avoir été rafistolées, donc difficilement comparable.

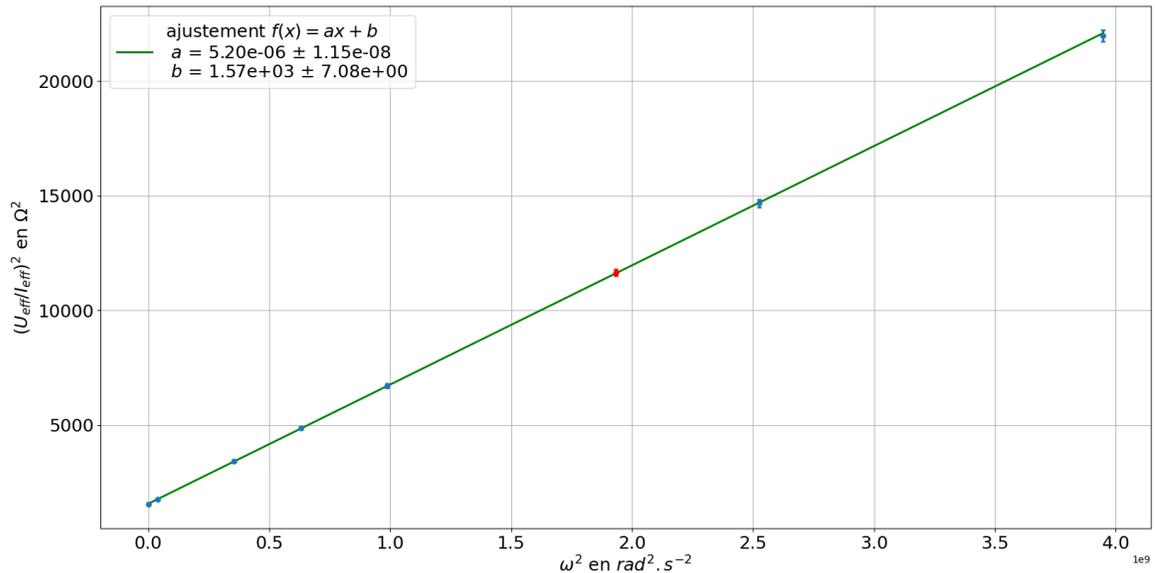


Figure 1: Résultat mesure de L

## 1.2 Ecrantage d'un champ magnétique par courant de Foucault

Voir le rapport de Juliette et Benjamin.

On peut déclencher en externe puis moyenner, car à cause du bruit la trace est un peu instable à l'oscillo. Bien expliquer à l'oral les étapes de ce qui se passe :

- Raisonnement perturbatif : champ B variable axial donc champ E orthoradial dans le solénoïde
- Courants de Foucault induits dans le cuivre, proportionnels à E. C'est ici qu'apparaît la conductivité du cuivre avec la loi d'Ohm.
- Deuxième champ B axial, s'opposant au champ initial. On illustre ainsi la loi de Lenz de l'induction.

## 1.3 Alternateur synchrone : loi de Faraday

Matériel :

- Banc "alternateur synchrone + MCC + dynamo tachymétrique + pont de diode"
- Deux wattmètres, pour contrôler les courants et les tensions
- Auto-transformateur
- Sonde différentielle de tension et oscilloscope pour mesurer la tension RMS d'induit

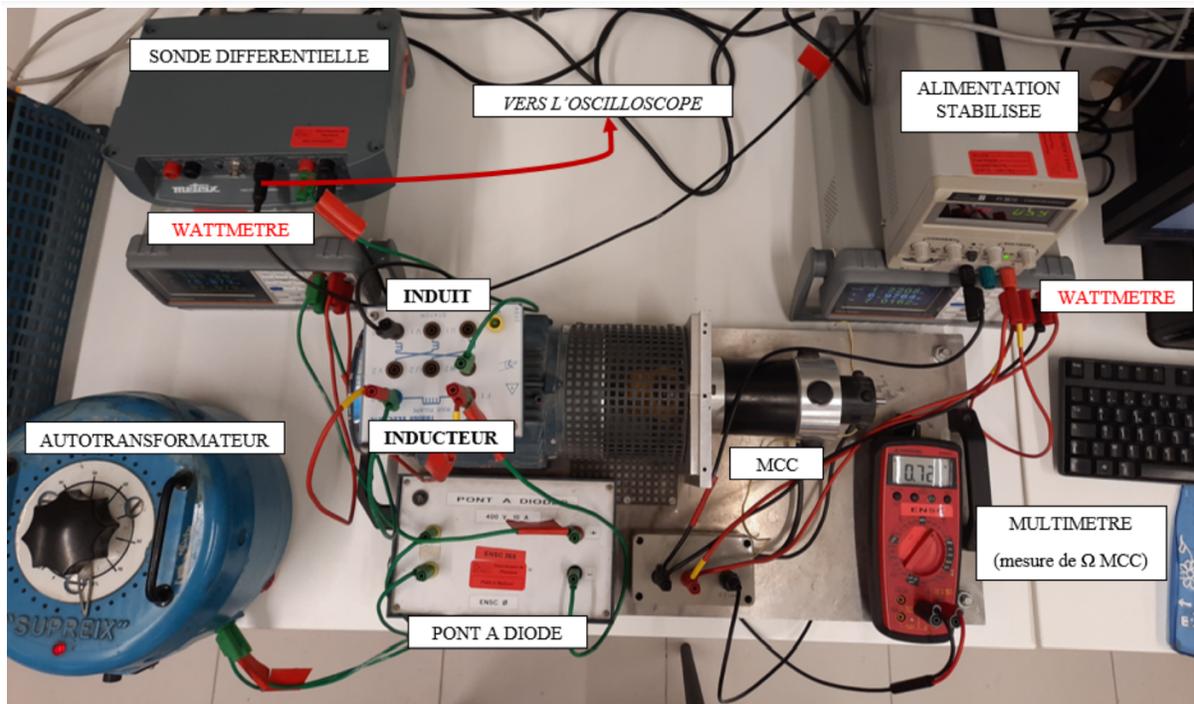


Figure 2: Montage à vide du banc alternateur synchrone (photo volée à Dihya et Elio)

- Alim stabilisée qui fournit au moins 8 A
- Voltmètre pour mesurer la tension de sortie de la dynamo tachymétrique, image de la vitesse de rotation.

Tensions nominales à ne pas dépasser :

- 0.4 A pour l'inducteur
- 1.4 A pour l'induit
- 8 A pour la MCC

On travaille à vide. On fixe le courant dans l'inducteur (on a pris 0.3 A pour ne pas dépasser la tension nominale mais on pourrait prendre 0.4 A je pense). On relève les valeurs de tension efficace induite  $V_{RMS}$  en sortie de l'induit pour différentes vitesses de rotation  $\Omega$ . On vérifie la loi de Faraday en trouvant que  $V_{RMS} \propto \Omega$ .

## 2 Questions

### 2.1 3eme manip

Différence MCC / machine synchrone

Comment fonctionne la dynamo tachy ? C'est une bébé MCC

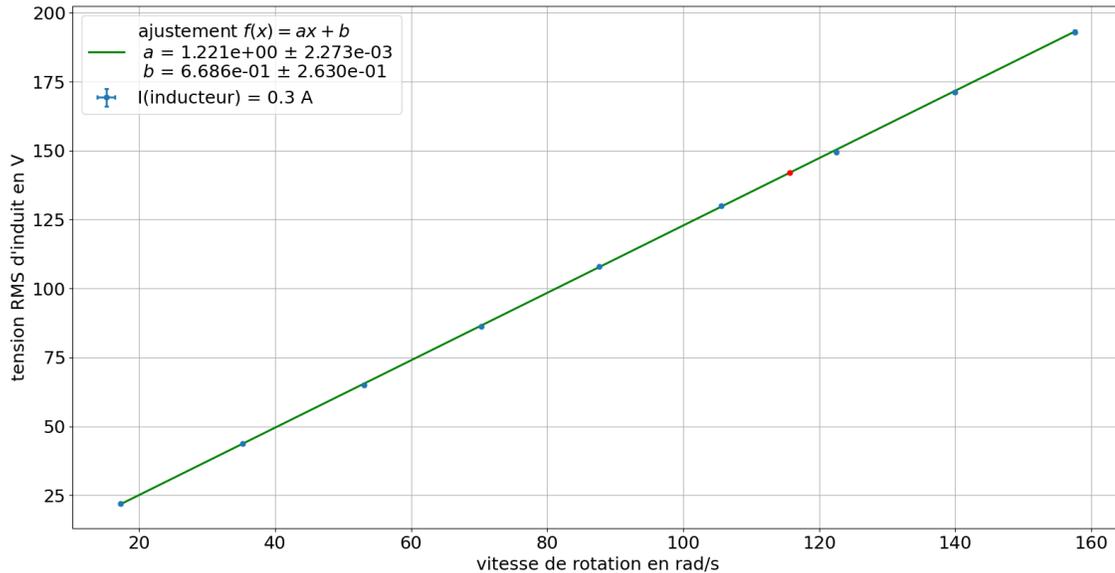


Figure 3: Résultats loi de Faraday

Qu'est-ce qu'on fait tourner ? Le rotor de la GS

On détecte quoi ? Une tension d'induit image du champ tournant créé par le rotor

Rôle d'une GS dans l'industrie ? après une turbine

Pourquoi on dépasse pas les tensions nominales ? Pour pas endommager les circuits électriques qui chauffent.

Comment quantifier les pertes ? On les décompose en pertes joules, fer, mécaniques. On peut mesurer les résistances des circuits pour les pertes joules, et l'aire du cycle d'hystérésis pour les pertes fer.

Différence entre transfo et autotransfo ? Un seul enroulement sur l'autotransfo, permet d'avoir un rapport de transformation variable.

## 2.2 2eme manip

Evolution de  $\sigma$  avec  $T$  ? Diminue avec  $T$ . Et pour un semi-conducteur ? Augmente avec  $T$ . T'as un thermomètre pour vérifier qu'il fait  $20^\circ\text{C}$  ? oups j'ai oublié.

Parler de la géométrie des courants de Foucault, en raisonnant directement sur les équations de Maxwell et pas la loi de Faraday.

A priori le cylindre creux c'est pas du cuivre pur, ça sent la chute de plomberie. A voir si on peut pas en trouver un pur.

### 2.3 1ere manip

Donner les incertitudes sur la valeur tabulée lorsque c'est une donnée constructeur ou un truc du genre, par exemple le L de cette bobine là.

Pourquoi prendre  $L\omega > R$  ? pour avoir une bonne sensibilité lorsqu'on fera varier la fréquence.

Choix de la plage de fréquence ?

## 3 Autres commentaires

Le choix des manip est bien, on voit une auto-inductance, la loi de Lenz puis la loi de Faraday. La GS sera appréciée par le jury qui a plutôt l'habitude que les candidats esquivent l'électrotech. En plus la manip est riche, le cablage à faire en live montre pas mal de choses et y a plein de trucs pour discuter ensuite dans les questions.

Autres manip possible : Capteur de position LVDT, chute de l'aimant dans le tube (plus difficile pour discuter la géométrie des courants de Foucault), mesure de mutuelle : par pont de maxwell (qui marche aussi pour L) par couplage inductif de LC ou encore par la méthode "voir les photos en annexe".

## 4 Annexe : protocoles de Manuel Combes pour mesurer L et/ou M

## 1.2. Mesure de $L$ par pont de Maxwell

Matériel :

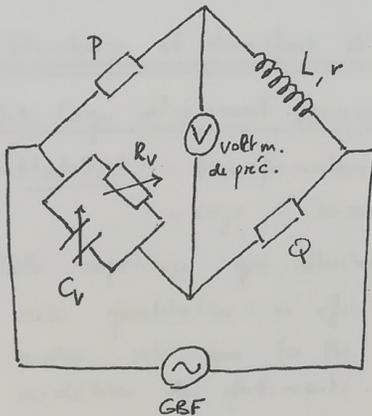
- toujours la même bobine
- 2 boîtes AOJP de  $100\Omega$  et  $1000\Omega$
- boîte résistance variable
- boîte condensateur variable
- GBF
- voltmètre de précision (le multimètre HP, je crois)

Biblio : quaranta IV.

Cette manip présente des avantages et des inconvénients. Les inconvénients, c'est qu'elle est relativement lourde et allonge le temps consacré à la mesure de  $L$ . Les avantages, c'est qu'il s'agit d'une méthode plus précise que la précédente — qui permet donc de comparer des valeurs et des incertitudes.

Cette méthode permet de mesurer l'impédance complexe de la bobine car à l'équilibre ( $V_{rms} = 0$  en alternatif), on a :

$$\left(\frac{1}{R_V} + jC_V\omega\right)PQ = r + jL\omega \quad \text{d'où} \quad \boxed{r = \frac{PQ}{R_V} \quad \bigg| \quad L = PQ C_V}$$



Nous n'avons pas réussi à annuler la tension sur l'écran des voltmètre, mais pour une tension d'amplitude  $2V$  délivrée par le GBF, nous avons obtenu  $V_{rms} \approx 3mV$ , et ceci à différentes fréquences.

Valeurs utilisées :

$$P = 100\Omega \quad Q = 997\Omega$$

→ bien mesurer à l'ohmmètre

Résultats obtenus :

- \*  $L$  augmente légèrement avec la fréquence des  $10000\text{ Hz}$ <sup>(1)</sup>
- \*  $r \approx 9,5\Omega$  (comme indiqué par le constructeur) pour  $f \leq 7500\text{ Hz}$  puis augmente franchement → effet de peau

Si on prend les valeurs à basse fréquence :  $C_V(\text{eq}) \approx 358 \pm 1\text{ nF}$

→ imprécision sur  $C_V = 0,3\%$  → pour peu qu'on suppose que la précision sur  $P$  et  $Q$  dépasse celle-ci, on a :

$$\underline{L = 36,6\text{ mH} \pm 0,3\%} \quad \rightarrow \text{on gagne un ordre de grandeur sur la précision !}$$

(1) Ceci s'explique avec un modèle plus élaboré de la bobine → due à une capacité  $C$  qui apparaît à HF

voir annexe

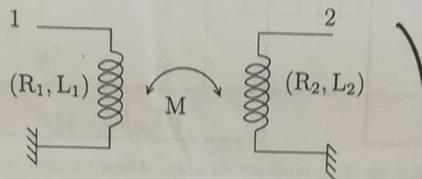
## TP blanc d'Électricité

**CONSIGNE :** L'évaluation portera sur les capacités expérimentales du candidat, mises en avant durant la séance lors des passages réguliers de l'examineur, ainsi que sur la rédaction d'un compte-rendu expérimental (1 copie double maximum, à laquelle peuvent être joints des graphes correctement annotés), clairement organisé, présentant tous les aspects expérimentaux et théoriques qui auront permis de répondre aux questions posées. **Durée :**  $2 \times 2$  heures.

**POSTE n°1 :** Mesure d'une inductance mutuelle**Matériel**

- Générateur Basses Fréquences (GBF) et oscilloscope
- 2 bobines de 500 spires
- 1 résistance  $R_0 = 100 \Omega$
- 1 capacité réglable (boîte à décades)

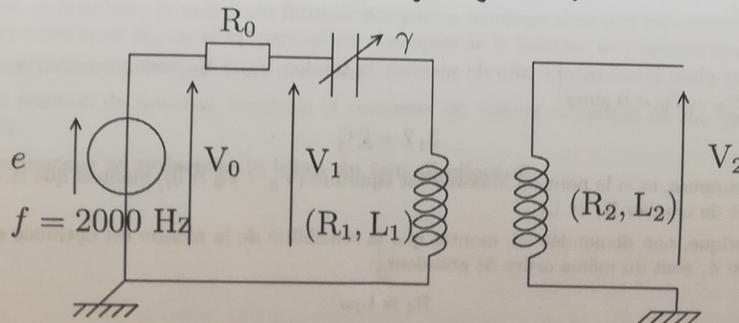
On cherche à caractériser l'inductance mutuelle  $M$  créée par deux bobines accolées.



On donne :

$$V_1 = R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}$$

$$V_2 = R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}$$



1. Le circuit 2 (à droite) est ouvert : que vaut  $i_2$  ? En déduire une expression simplifiée des lois des mailles ci-dessus. Exprimer en complexes  $\underline{Y}_1$  et  $\underline{Y}_2$  en fonction des paramètres et de  $\underline{V}_0$ . Justifier physiquement qu'il existe une capacité  $\gamma = \gamma_0$  non nulle telle que  $V_1(\gamma_0)$  soit en phase avec  $V_0$ , et qui vérifie :

$$L_1 \gamma_0 \omega^2 = 1$$

2. Montrer que la connaissance de  $\gamma_0$ ,  $|\underline{Y}_0|$ ,  $|\underline{Y}_1|$ ,  $|\underline{Y}_2|$  nous permet de déterminer  $M$ ,  $R_1$ ,  $L_1$ .
3. Faire le montage avec  $R_0 = 100 \Omega$  en accolant les deux bobines (leurs axes sont alors confondus). Quel est l'intérêt d'accoler les bobines ? Mesurer  $\gamma_0$  et mesurer alors  $|\underline{V}_0|$ ,  $|\underline{V}_1|$  et  $|\underline{V}_2|$ . En déduire les valeurs expérimentales de  $R_1$ ,  $L_1$  et  $M$  et estimer leurs incertitudes.
4. On appelle  $O_1$  et  $O_2$  les centres des bobines. On note  $O_1 O_2 = d$ . Après avoir expliqué votre démarche expérimentale, tracer  $M = f(d)$  en faisant apparaître les barres d'erreur sur le graphique. On attend l'exploitation la plus complète possible du graphe obtenu.

# TP blanc d'ELEC

Poste 1

Maure d'une inductance mutuelle.

① Circuit 2 ouvert :  $i_2 = 0$ .

schéma du haut →

$$\begin{cases} \underline{V}_1 = \underline{i}_1 \underline{Z}_1 + j\omega M \times = \underline{i}_1 \underline{Z}_1 \\ \underline{V}_2 = \times \underline{Z}_2 + j\omega M \underline{i}_1 = j\omega M \underline{i}_1 \end{cases}$$

circuit du TP →  $\underline{V}_1 = \underline{V}_0 \frac{\underline{Z}_{eq1}}{\underline{Z}_{eq1} + R_0}$  donc  $\underline{V}_1$  et  $\underline{V}_0$  sont en phase

ssi  $\text{Im}(\underline{Z}_{eq1}) = 0$

ssi  $\frac{1}{j\omega L} + j\omega = 0$

ssi  $L \cdot \omega^2 = 1$

② Bobines accolées : M maximale.

D'après le schéma :  $\frac{\underline{V}_2}{\underline{V}_1} = \frac{j\omega M}{\underline{Z}_1} = \frac{j\omega M}{R_1}$  ssi  $\underline{V}_2$  et  $\underline{V}_1$  en phase

De même, pour  $\underline{V}_0$  et  $\underline{V}_1$  en phase :  $\frac{\underline{V}_1}{\underline{V}_0} = \frac{R_1}{R_1 + R_0}$

Bilan :

$$\frac{|V_1|}{|V_0|} = \frac{R_1}{R_1 + R_0} \quad \text{et} \quad \frac{|V_2|}{|V_1|} = \frac{\omega M}{R_1}$$

De plus,  $L \cdot \omega^2 = 1$ .

③ Les mesures expérimentales nous donnent accès à :

$$R_1 = \frac{R_0 V_1}{V_0 - V_1} =$$

$$M = \frac{R_1 V_2}{\omega V_1} =$$

$$L_1 = \frac{1}{\delta_0 \omega^2} =$$

