

**Titre :** MP20 Induction, auto-induction

**Présentée par :** Margot LEPAGNOL

**Rapport écrit par :** Julie SEGUIN

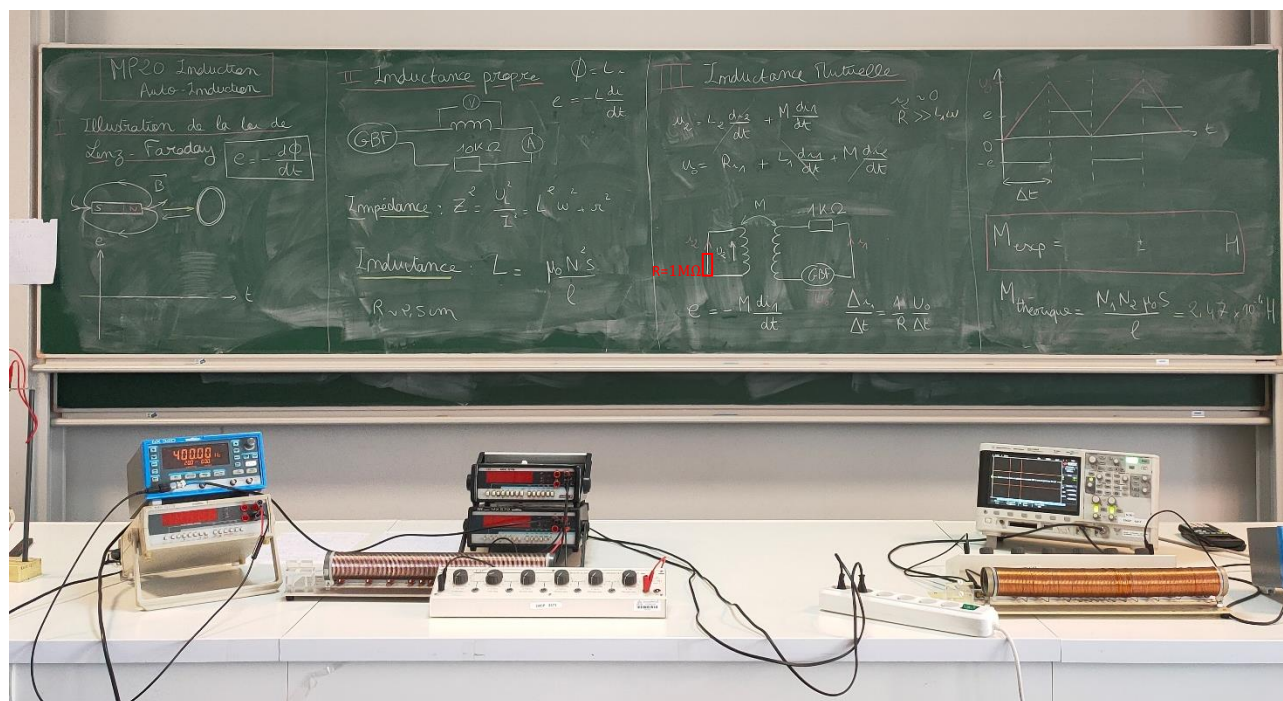
**Correcteur :** Louisiane DEVAUD et Jérémy NEVEU

**Date :** 18/09/20

### Bibliographie

Titre	Auteurs	Éditeur
Electromagnétisme : 2 <sup>e</sup> année MP-MP* et PT-PT* <i>Collection Hprépa</i>	J-M. Brébec	Hachette
Dictionnaire de Physique expérimentale, Tome IV : L'électricité	L. Quaranta	Pierron éditions

## Photo du tableau



Temps consacré à l'introduction : 1min10

## Expérience 1

Référence : Electromagnétisme : 2<sup>e</sup> année MP-MP\* et PT-PT\* *Collection Hprépa* p156

Temps consacré : 2min10

But de la manip : **Qualitative** / Illustration simple du phénomène d'induction et mise en valeur de la loi de Lenz-Faraday

Mesure présentée devant le jury : Mesure à l'oscilloscope de la tension lors du passage d'un aimant dans une bobine.

Introduire et retirer un aimant droit (côté nord vers la bobine) dans une bobine reliée à un oscilloscope et observer la force électromotrice induite  $e$  dans la bobine.

Réaliser la mesure de  $e$  en mode SINGLE de l'oscilloscope.

En introduisant l'aimant dans la bobine, le flux du champ magnétique à travers la bobine augmente mais la force électromotrice est négative.

Si on maintient l'aimant dans la bobine sans bouger, il n'y a pas de variation de flux donc  $e$  est nulle. En retirant l'aimant dans la bobine, le flux du champ magnétique à travers la bobine diminue mais la force électromotrice est positive.

On est bien en accord avec la loi de Lenz-Faraday.

## Expérience 2

Référence : Dictionnaire de Physique expérimentale, Tome IV : L'électricité p53-54

Temps consacré : 16min (avec problème de matériel à gérer)

But de la manip : **Quantitative** / Mesure de l'inductance propre  $L$  de bobines ayant des nombres de spires  $N$  différents afin de vérifier la formule  $L = \frac{\mu_0 N^2 S}{l}$  (ou simplement que  $L$  varie linéairement en fonction de  $N^2$ ).

On a un circuit  $RL$  alimenté par un GBF. On peut choisir le nombre de spires de la bobine. La tension et l'intensité aux bornes de la bobine sont mesurées avec deux multimètres.

L'impédance de la bobine est  $Z = jL\omega + r$  où  $r$  est la résistance interne de la bobine.

Donc  $Z^2 = L^2\omega^2 + r^2$ .

Ainsi, on mesure la tension et l'intensité aux bornes de la bobine pour une valeur de  $N$  fixée en faisant varier  $\omega$  donc la fréquence. On obtient  $L$  en traçant  $Z^2$  en fonction de  $\omega^2$  (coefficient directeur). On répète la mesure pour différentes valeurs de  $N$ . Puis tracer  $L$  en fonction de  $N^2$  (vérification possible des valeurs par mesure supplémentaire de la surface des spires  $S$ ).

Mesure présentée devant le jury :

- Pour  $N = 140$ , mesure de  $U$  et  $I$  dans la bobine à une fréquence choisie. Cette mesure est intégrée à celles déjà réalisées en préparation. On en déduit  $L$  pour  $N = 140$ .

- La même chose pour  $N = 60$ . On en déduit  $L$  pour  $N = 60$ .

- Ces 2 valeurs de  $L$  sont intégrées à d'autres valeurs de  $L$  en fonction de  $N$  mesurées en préparation. Tracé de  $L$  en fonction de  $N^2$ .

## Expérience 3

Référence : Dictionnaire de Physique expérimentale, Tome IV : L'électricité p227-228

Temps consacré : 9min13

But de la manip : **Quantitative** / Mesure de l'inductance mutuelle  $M$  entre deux bobines couplées. Un circuit  $RL$  est alimenté par un GBF, la tension est choisie triangulaire.

Un oscilloscope affiche cette tension triangulaire  $u$  (d'amplitude  $U$  fixée) et la force électromotrice  $e$  dans la deuxième bobine. On aura  $e$  en créneaux.

Pour obtenir  $M$ , on cherche à tracer  $e$  en fonction de la dérivée temporelle du courant  $i$  dans le circuit  $RC$  (cf loi de Lenz-Faraday). On choisit une résistance  $R$  telle qu'on puisse écrire  $u = Ri$ .

Ainsi, la dérivée temporelle de  $i$  est égale à l'inverse de  $R$  multiplié par la dérivée temporelle de  $u$ . Il faut donc mesurer  $e$  et la période  $T$  de  $u$  pour différentes fréquences, et tracer  $e$  en fonction de

$$\frac{1}{R} \times \left(\frac{U}{T}\right)$$

Mesure présentée devant le jury : Pour deux fréquences différentes, mesure de  $e$  et de  $T$  avec les curseurs de l'oscilloscope. Ces deux mesures sont intégrées dans des mesures réalisées en préparation. Tracé de  $e$  en fonction de  $\frac{1}{R} \times \left(\frac{U}{T}\right)$  et lecture de la pente  $M$ .

**Rem** : Il faut placer explicitement l'oscilloscope sur le schéma électrique ou le matérialiser par un interrupteur ouvert (impédance d'entrée  $1M\Omega$ ). C'est ce qui justifie l'approximation  $i_2 \sim 0$ .

## Questions posées par l'enseignant (avec réponses)

- Vous avez dit « l'induction est le phénomène d'apparition d'un courant par variation du champ magnétique », pouvez-vous expliciter ?

C'est la variation du flux du champ magnétique à travers une surface qui engendre l'apparition d'un courant induit.

- Quelles sont les différentes possibilités pour créer de l'induction avec votre première manip (bobine + aimant) ?

On peut également fixer l'aimant et bouger la bobine. On peut retourner l'aimant pour provoquer un courant induit dans l'autre sens (sens de l'aimant et du bobinage change le courant induit).

- Quelle est la formule du flux ?

$$\iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

- Pouvez-vous illustrer ce produit scalaire expérimentalement ?

Si le champ est orthogonal à la section, on ne devrait pas observer de fem d'après la formule du flux, donc on peut placer la bobine et l'aimant de façon parallèle et vérifier qu'il n'y a pas de courant induit.

- Quels sont les deux types d'induction ?

Induction de Neumann : champ B variable et circuit fixe.

Induction de Lorentz : champ B fixé et circuit mobile.

- Donc les signes de la courbe réalisée dans l'expérience de Faraday dépend du sens de bobinage ?  
Ce n'est pas un résultat absolu ?

Oui.

- De quoi dépend l'inductance propre L ?

De la géométrie de la bobine.

- Dans quel cas la formule  $L = \frac{\mu_0 N^2 S}{l}$  est-elle valable ?

Dans le cas d'un solénoïde infini je crois (oui).

- Quelle est la formule de  $B_{\text{induit}}$  ?

$$B = \mu_0 NI$$

Rem : Attention noté comme ceci N représente le nombre de spires par unité de longueur.

Après on prend cette formule pour plusieurs spires et ça nous donne la formule de L avec une dépendance en  $N^2$ .

- Donc cette formule s'applique-t-elle à ton système ?

Comme  $\frac{N}{l}$  est le nombre de spires par unité de longueur, si l'enroulement de fil est serré c'est bon.

Pour justifier, il faut partir de la formule du solénoïde fini, et se rendre compte que l'approximation du solide infini vient du rapport diamètre sur longueur, ce n'est pas le serrage des fils. Pour la bobine utilisée, c'est raisonnable.

• *Toujours dans ta deuxième manip, comment as-tu choisi  $R = 10k\Omega$  ?*

On voulait avoir un temps de relaxation court du circuit RL pour nos mesures.

• *Pourquoi parler d'un temps de relaxation pour la réponse harmonique à un filtre RL ?*

Non mais en fait c'est parce qu'on voulait limiter l'intensité demandée au GBF.

• *Je suis d'accord avec ce dernier point, que se passe-t-il dans le cas où  $R$  est trop grand ?*

On a une intensité de trop faible amplitude pour nos mesures.

• *Et que se passe-t-il pour la tension ?*

? Rem : on a un passe-haut ou un passe-bas selon où l'on place le voltmètre, donc là selon la constante  $L/R$  et la freq utilisée on peut avoir une grosse atténuation de la tension, ou pas.

• *Quelles sont les incertitudes de mesures sur  $U$  et sur  $I$  lors de la mesure de  $Z^2$  en fonction de  $\omega^2$  ?*

Incertitudes systématiques sur la lecture au niveau du dernier digit.

• *Quelles sont les recommandations du constructeur à ce sujet ?*

Dans la notice.

• *Quel calibre pour les mesures ?*

Calibre le plus fin en tension et en intensité.

• *Tu as fait un ajustement affine ou linéaire pour tes courbes ?*

Linéaire.

• *Commentons la valeur de  $r$  la résistance interne de la bobine ?*

Résistance interne très faible car c'est un enroulement de fil et que la résistance interne d'un fil est très faible.

• *Quelle est la gamme de fréquence utilisée ?*

2 gammes différentes : de 10Hz à 100Hz et de 100Hz à 2,5kHz.

• *Quels peuvent être les conséquences sur la bobine du choix de la gamme de fréquence ?*

Si on choisit des fréquences trop élevées,  $r$  la résistance interne de la bobine peut varier et il y a apparition d'effets capacitifs.

• *Peut-on voir ce circuit (toujours la deuxième manip) comme un filtre ? Si oui, lequel ?*

Oui c'est un filtre RL donc un filtre passe haut.

• *Comment peut-on retrouver facilement ce résultat ?*

Impédance bobine  $Z = jL\omega$

On regarde le comportement en 0 et à l'infini en fréquence. En zéro, l'impédance est nulle, la tension  $u$  est donc nulle ou négligeable.

A basse fréquence la bobine se comporte comme un fil. C'est donc un filtre passe-haut.

- Dans ce cas, avec quelles fréquences doit-on travailler ?

Avec des hautes fréquences. Il faut donc trouver le juste milieu entre les deux conditions de travail :  $f$  ni trop grand ni trop faible.

- Quel autre moyen pour mesurer  $L$  ?

Utiliser un RLCmètre.

- Dans la troisième manip, pourquoi on néglige le courant  $i_2$  ?

Parce que la résistance de l'OSCILLOSCOPE est grande.

- La deuxième bobine est donc en circuit ouvert ou fermé ?

Circuit ouvert

- D'après votre schéma elle est en court-circuit puisqu'elle est branchée sur elle-même ?

Mais elle est aussi branchée à l'oscilloscope (il faut faire apparaître la résistance de l'oscilloscope sur le schéma électrique, elle est loin d'être négligeable).

- Quel est le lien entre tes mesures et  $M$  ?

?

Question posée car le lien n'était pas clairement présenté au tableau.

- Comment est trouvé le  $M$  théorique ? Est-ce vraiment théorique ?

En réalité c'est une autre façon de mesurer  $M$  en mesurant le rayon de la bobine. Il y a donc une incertitude à avoir sur cette mesure (pas du tout une valeur théorique du coup !). Rem : c'est une valeur estimée avec un autre modèle physique.

- Mais que se passe-t-il alors si on a un décalage général à cause d'une résistance résiduelle par exemple ?

Je ne sais pas. (En réalité il vaut mieux faire toujours un fit affine en premier jet pour s'assurer qu'il n'y a pas de décalage au niveau du zéro due aux conditions expérimentales, car un fit linéaire c'est quelque chose de fort, on impose un point en  $x=0$  et  $y=0$  d'incertitude nulle, il faut s'en méfier !)

- Tu as dit « on a un  $\chi^2 < 1$  donc on a sous-estimé nos incertitudes », peux-tu revenir sur ce point ? C'est quoi  $\chi^2$  ?

Je ne sais plus exactement mais ça permet de comparer les données au modèle que l'on impose.

Test statistique qui permet d'évaluer la qualité d'un ajustement. Un  $\chi^2$  réduit proche de 1 est le signe d'un bon ajustement. Il faut néanmoins toujours commencer par une inspection visuelle de la courbe ! Dans le cas présent, la vision de la courbe ajustée et le fait que le  $\chi^2$  vaut 0.01 nous dit que les incertitudes sont sur-estimées (ce qui n'est pas un problème très grave, moins grave que de les sous-estimer car dans ce cas un mauvais ajustement peut amener à conclure injustement qu'on rejette le modèle ajusté).

## Manipulation supplémentaire durant l'entretien

But de la manip : Modéliser un œil myope (mise à disposition de différentes lentilles, d'une source de lumière blanche, d'un condenseur, un F, un écran, un miroir etc... et pas de règle).

Un œil myope est un œil qui forme l'image de l'objet avant la rétine.

On crée un objet à l'infini à l'aide de la lumière blanche, du condenseur d'un F et d'une lentille convergente. On place par auto-collimation le F au foyer objet de la lentille convergente pour avoir une image à l'infini.

Ensuite on place une seconde lentille convergente qui joue le rôle du cristallin et un écran qui joue le rôle de la rétine. On place l'écran au foyer image de cette seconde lentille ( $f'$  indiqué sur la lentille) pour modéliser un œil sain. On recule l'écran pour un œil myope (myope=œil trop long).

Pour corriger la myopie on place une lentille divergente entre l'œil et l'image (donc ici entre les deux lentilles convergentes) pour permettre de focaliser les rayons plus loin dans l'œil et donc sur la rétine.

## Commentaires lors de la correction

### • Autres manip possibles pour ce montage

Etude d'un circuit RL, bobines de Helmholtz, pont de Maxwell...

Manips bien choisies ici compte tenu du fait qu'on soit en début d'année.

### • Points négatifs

Deux reproches de début d'année :

- Pas assez de dialogue autour des incertitudes
- Les grandeurs mesurées ne sont pas assez présentes au tableau ce qui rend le suivi du montage difficile (il faut mettre les tracés types fait sur l'ordi au tableau pour permettre de suivre mieux, rien à retirer, juste une réorganisation pour tout faire rentrer). Dans la même optique, ne pas dire « on obtient ça », ou « on prend cette valeur de S », il faut expliciter les résultats, dire à l'oral les valeurs que l'on retient pour rendre le suivi plus clair (en gros atteindre le bon degré de détail pour cet exercice).

Chariot surprise était assez flou pour toi, ne pas se laisser déstabiliser par la manip surprise.

### • Points positifs

Tu t'exprimes bien, tu utilises le bon vocabulaire.

Le tableau était joli, propre.

### • Retour sur $\chi^2$

$$\chi^2 = \frac{1}{2} \sum_i \left( \frac{Y_i - f(X_i)}{\sigma_i} \right)^2$$

En l'occurrence dans ton cas la barre d'erreur était surestimée et non sous-estimée.