

# MP 20 INDUCTION - AUTO-INDUCTION

16 février 2017

Noémie Dagès & Clément Gouiller

*On me voit. On me voit plus.*  
CARTAPUS LA LED

## Commentaires du jury

Lors de ce montage, trop de candidats abusent des expériences qualitatives et transforment la séance en une série d'expériences de cours sur l'induction et obtiennent de ce fait une note médiocre. Les mesures ne doivent pas se résumer à l'étude d'un circuit RL. Par ailleurs, la notion d'inductance mutuelle est souvent mal dégagée, en particulier à cause de mauvais choix dans les composants utilisés et dans la fréquence d'excitation. Le transformateur aurait sa place dans ce montage. L'observation subjective d'un retard à l'allumage d'une lampe ne peut être qu'une introduction qualitative du phénomène d'auto-induction qui doit être illustré par des mesures précises et une confrontation entre la mesure et le modèle décrivant le phénomène. L'étude du rendement du transformateur n'a pas sa place dans ce montage. Je Jury rappelle que pour les montages en pont (Maxwell, Sauter, ...), la sensibilité obtenue n'est optimale que si une réflexion préalable a été menée. Le flux magnétique créé par un courant à travers une bobine n'est proportionnel à l'intensité de ce courant ( $\Phi = Li$ ) qu'en l'absence de noyau fer. La différence entre le modèle théorique que constitue une inductance pure (à laquelle on peut ajouter une résistance série) et une bobine concrète n'apparaît pas toujours clairement.

## Bibliographie

- ⚡ *Dico de physique expérimentale IV*, Quaranta → Faraday, coeff mutuelle, transfo
- ⚡ *Expériences d'électronique*, Duffait → RLC
- ⚡ *Montage CAPES*, Bellier → Transfo

## Expériences

- 👤 Vérification de la proportionnalité entre I et le flux magnétique
- 👤 Vérification de la loi de Faraday
- 👤 Mesure de L
- 👤 Mesure de M
- 👤 Loi des tensions pour un transformateur

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Loi de Faraday</b>	<b>2</b>
1.1	Vérification de la proportionnalité entre le flux et l'intensité dans une bobine . . . . .	2
1.2	Vérification de la loi de Faraday . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Mesure de coefficients d'inductance</b>	<b>4</b>
2.1	Inductance propre . . . . .	4
2.2	Inductance mutuelle . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Application au transformateur</b>	<b>6</b>

## Introduction

➤ Quaranta IV p274

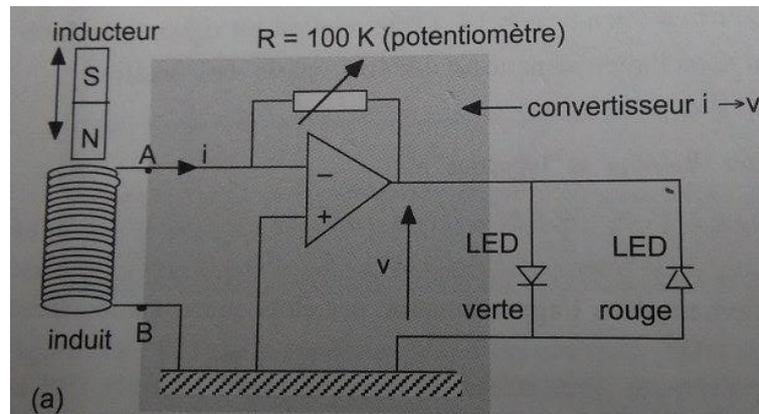


FIGURE 1 – Schéma électrique

### Matériel :

- Bobine 1000 spires
- Aimant droit
- Boite à décades
- AO et son alimentation
- Deux boîtiers LED de différentes couleurs (P29.12/3 et /4)

### Expérience :

On réalise le montage ci-dessus. On approche l'aimant (inducteur) et la LED rouge s'allume pendant le déplacement. On éloigne l'aimant, la LED verte s'allume et la rouge est éteinte. Lorsqu'on permute les pôles de l'aimant, l'éclairage est inversé. Si bobine et aimants sont immobiles, rien ne se passe. C'est donc bien une variation de flux qui est à l'origine de ce qu'on observe, et pas une certaine valeur de flux. On montre les deux types d'induction : induction de Neumann (l'aimant est en mouvement, la bobine est fixe) et induction de Lorentz (la bobine est en mouvement, l'aimant est fixe). N'ayant pas encore réussi à atteindre la vitesse de lumière avec mes mains, l'ensemble de ce montage sera placé dans un cadre non relativiste (désolé).

### Précautions :

Pour que la manip marche il faut que l'AO n'ait pas d'offset, sinon une des LEDs est allumée sans que l'on fasse bouger quoi que ce soit. Pour cela, faire tourner le bouton d'offset jusqu'à éteindre les deux LEDs.

## 1 Loi de Faraday

### 1.1 Vérification de la proportionnalité entre le flux et l'intensité dans une bobine

➤ No biblio

En faisant passer un courant dans une bobine, on peut voir, avec une sonde à effet Hall, qu'un champ magnétique  $B$  apparaît. C'est l'effet d'induction propre. Nous nous plaçons ici en induction de Neumann.

Intéressons nous tout d'abord à la relation entre le champ magnétique et le flux. En considérant le champ uniforme à l'intérieur de la bobine, en notant  $N$  le nombre de spires,  $S$  la surface d'une spire, on a :  $\Phi = BSN$ . On cherche à vérifier la relation de proportionnalité  $\Phi = Li$ .  $L$  est le coefficient d'inductance propre de la bobine, dont nous reparlerons par la suite et que nous chercherons à déterminer précisément. En combinant ces deux équations, nous obtenons facilement :  $B = \frac{L}{NS}i$ . C'est cette relation de proportionnalité que nous allons en pratique vérifier.  $B$  sera mesuré à l'aide d'un teslamètre tandis que  $i$  sera mesuré à l'ampèremètre.

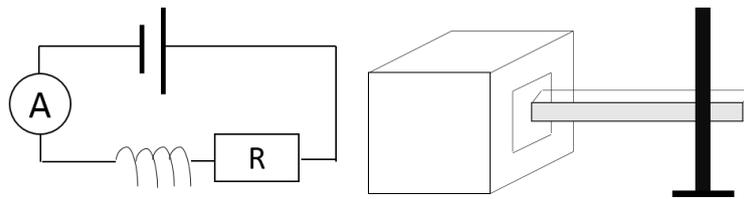


FIGURE 2 – Schéma du montage.

**Matériel :**

- Alimentation stabilisée P35.4
- Bobine de 1000 spires
- Rhéostat  $10\Omega$
- Sonde à effet Hall (Jeulin)
- Potence et fils

**Expérience :**

On réalise le montage ci-dessus. Pour l'alimentation, on utilise l'alimentation stabilisée P35.4. Pour différentes valeurs d'intensité, on mesure le champ  $B$  à l'aide d'un teslamètre.

**Incertitudes :**

D'après les notices des appareils, les incertitudes sont de 1% sur la valeur affichée. Pour le multimètre, selon le calibre on a un pourcentage de la valeur plus un certain nombre de digits. Il est bon d'avoir une idée de combien ça fait, de façon à comparer avec l'incertitude liée aux oscillations de la valeur à l'écran (il n'est pas rare que celle-ci soit la plus forte).

**Précautions :**

Pour vérifier cette relation, on admet que la sonde à effet Hall nous donne effectivement le champ  $B$ . On place la sonde au milieu de la bobine et perpendiculaire aux lignes de champs.

**Résultat :**

On trace  $B$  en fonction de  $I$ . On obtient une droite  $B = \dots I \pm \dots$

## 1.2 Vérification de la loi de Faraday

↗ Quaranta IV catégorie Fluxmètre p231

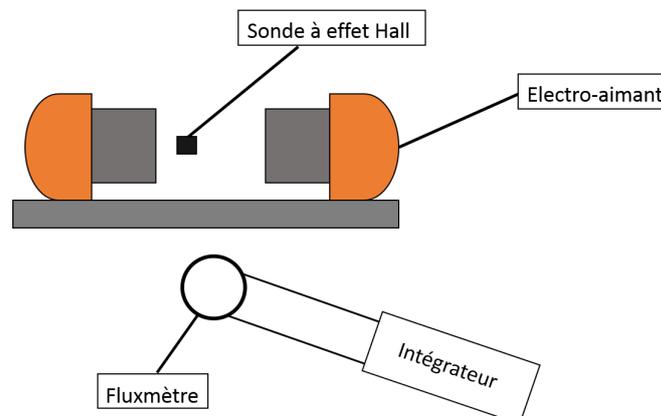


FIGURE 3 – Schéma du montage

**Matériel :**

- Electro-aimant et son alimentation
- Teslamètre

- Intégrateur tout fait ENS
- Fluxmètre à N spires et de surface S
- Oscilloscope

#### Précautions :

On utilise les pièces plates de l'électro-aimant pour avoir un champ homogène. On a choisi de prendre un intégrateur tout fait de l'ENS pour éviter les phénomènes de dérive et de saturation de l'AO. On prend quand même la peine d'appuyer sur le bouton remise à zéro entre deux mesures.

#### Expériences :

On observe la sortie de l'intégrateur sur l'oscilloscope. On place le fluxmètre à l'extérieur de l'électro-aimant puis on le place dans l'électroaimant. On mesure le champ B grâce au teslamètre et la chute de tension  $V_s$  observée à l'oscillo lorsque le fluxmètre est dans le champ B. On réalise cette mesure pour différentes valeurs de B (ie de I imposée à l'électro-aimant).

#### Exploitation :

On a d'une part :

$$e = -\frac{\partial \Phi_1}{\partial t} \text{ donc } \Phi_1 = -\int_0^t e(t) dt = -\int_0^t v_e dt$$

$$\text{Or } v_s = -\frac{1}{RC} \int_0^t v_e dt = \frac{\Phi_1}{RC} \text{ Et donc } \Phi_1 = RCv_s \text{ D'autre part :}$$

$$\Phi_2 = BSN$$

La loi de Faraday est vérifiée si  $BSN = RCv_s$ . On trace  $BSN$  en fonction de  $RCv_s$ .  $BSN = \dots\dots RCv_s$ . Le coefficient directeur théorique (si la loi est vérifiée) est 1.

#### Incertitudes :

Pour le champ  $B$  : notice du teslamètre pour chaque valeur. Attention à bien l'avoir placé avec la bonne inclinaison de façon à bien mesurer le maximum qu'on peut. Il peut être utile de le bouger dans l'entrefer pour avoir une idée des variations qui en découlent. Au regard de tout ça, on avise. Sur  $SN$  : la surface totale est marquée sur le fluxmètre.... sans incertitude! Allez, on va dire 1%! Pour le flux qui vient de l'intégrateur : sur une mesure unique, incertitude liée à la mesure à l'oscillo + sur les valeurs de  $R$  et  $C$  (regarder ce qui est marqué sur le boîtier.) On peut en plus se dire que la mesure est très dépendante de comment on place le fluxmètre dans l'entrefer. Pour se donner une idée, faire plusieurs fois la même mesure!

## 2 Mesure de coefficients d'inductance

### 2.1 Inductance propre

➤ Duffait élec catégorie filtres p146

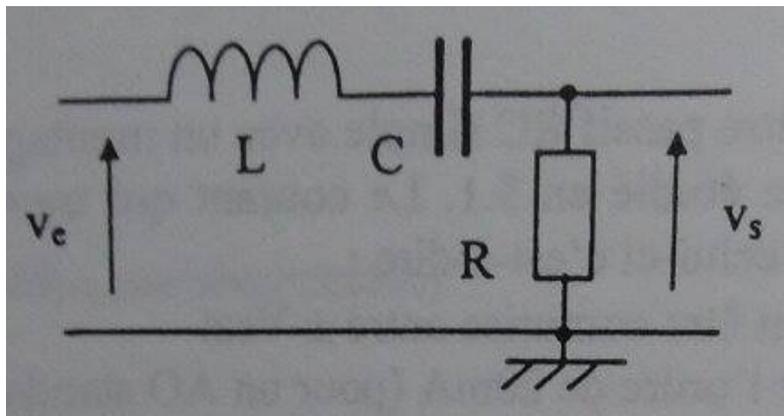


FIGURE 4 – Schéma du montage

**Matériel :** P60.7/5, P58.33/1, P69.33/2, P56.14/4

- Bobine "dont on ne connaît pas L" (prendre  $L=0.1H$ )
- Boite à décades  $R=500\Omega$

- Boite à capacités
- RLC-mètre
- Oscillo
- Générateur

**Expérience :**

Sur la voie 1 de l'oscillo, on observe  $V_e$  et sur la voie 2  $V_s$ . On se place en visualisation XY et en mode High resolution. Pour différentes valeurs de  $C$ , on cherche la fréquence de résonance du système : on change la fréquence jusqu'à obtenir une droite au lieu de l'ellipse.

**Précautions :**

Pour obtenir une bonne précision sur la fréquence, il faut un facteur de qualité grand  $Q = \frac{L\omega_0}{R_{TOT}}$ . Il faut donc que  $R_{TOT}$  soit faible. La valeur de la capacité est mesurée à l'aide d'un RLC-mètre et pas lue sur la boîte.

**Exploitation :**

La fonction de transfert de ce filtre du second ordre est :

$$H = \frac{jRC\omega}{1 - LC\omega^2 + jR_{TOT}C\omega}$$

A la résonance,  $\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  et la phase est nulle.

On trace  $\omega^2$  en fonction de  $\frac{1}{C}$ . On obtient une droite passant par l'origine :  $\omega^2 = \dots\dots\dots\frac{1}{C}$ . La pente est  $\frac{1}{L}$ . Donc  $L = \dots\dots\dots$  H

**Incertitudes :**

Pour  $C$  : notice du RLC-mètre. Pour les pulsations : à l'oscillo se placer un peu avant et un peu après la fréquence de résonance (être capable de dire que la résonance est entre ces deux valeurs). Regressi donne celle sur  $L$ , en utilisant celles qu'on lui a donné.

## 2.2 Inductance mutuelle

➤ Quaranta IV catégorie Induction p277

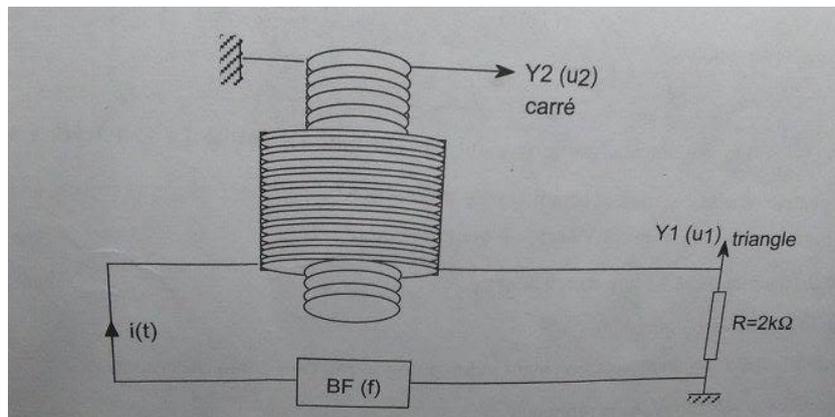


FIGURE 5 – Schéma du montage

**Matériel :**

- Bobines intriquées P59.4
- Boite à décades
- Générateur Agilent
- Oscilloscope

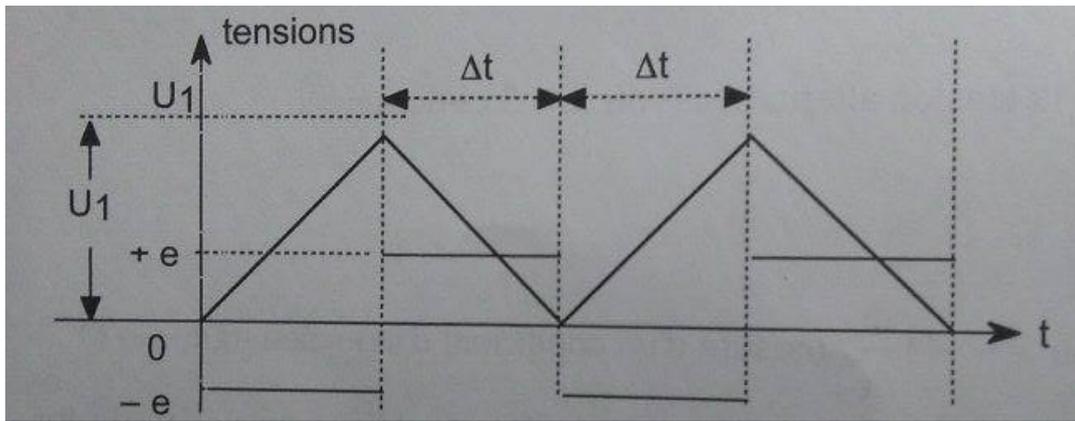


FIGURE 6 – Explication mesure

**Expériences :**

On envoie une tension triangulaire avec le générateur et on observe sur la voie 2 de l'oscillo la tension aux bornes de la bobine intérieure. On observe un signal créneau. On observe sur la voie 1 la tension aux bornes de la résistance pour avoir le courant. Pour différentes fréquences, on mesure la pente du signal triangulaire ( $\Delta t$  et  $U_1$ ) et la hauteur du créneau  $e$  comme décrits sur le schéma ci-dessus.

**Précautions :**

Pour obtenir de beaux créneaux, il faut adapter la résistance autour de  $2000\Omega$ .

**Exploitation :**

On veut mesurer le coefficient  $M$  dans la relation  $e = -M \frac{di}{dt}$ . On calcule donc  $\frac{di}{dt}$  à l'aide des données relevées :  $\frac{di}{dt} = \frac{1}{R} \frac{U_1}{\Delta t}$ . On trace ensuite  $e$  en fonction de  $\frac{di}{dt}$ . On obtient une droite passant par l'origine :  $e = \dots \frac{di}{dt}$  donc  $M = \dots H$ . Pour ce dispositif, on a  $M_{max} = 6mH$ .

**Incertitudes :**

À relever lors des différentes lectures avec les curseurs de l'oscillo.

### 3 Application au transformateur

Une des applications les plus communes de l'induction est le transformateur. Un transformateur est constitué de 2 bobines accolées. Il existe dans la collection tout un tas de transformateurs industriels, que nous n'étudierons pas puisque leurs caractéristiques ne sont pas indiquées. Nous travaillerons donc avec un transformateur maison, constitué de 2 bobines d'inductance propre proches, l'une ayant 500 spires et l'autre... MILLE! Ces deux bobines sont encastrées dans le support (en fer doux) en U, et l'on referme le carré par le haut. L'intérêt de ce fer est de guider les lignes de champ pour limiter au maximum les fuites. Pour un transformateur idéal, indiquons 1 et 2 les grandeurs associées à chacune des bobines. Ce que nous allons vérifier est que, à vide (absence de charge) :  $\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$ .

**Matériel :**

- 2 bobines  $L \sim 0.1H$
- Un gros transformateur bleu pour envoyer dla patate
- 3 multimètres
- Support en fer pour placer les bobines

**Expériences :**

Mettre le transformateur 220V aux bornes d'une des bobines ( $N_1$  spires). Intercaler un ampèremètre pour vérifier qu'on détruit pas tout. Mettre un voltmètre aux bornes de cette même bobine pour le bien de la mesure. On y lit " $U_1$ ". Mettre un voltmètre aux bornes de la deuxième bobine ( $N_2$  spires). On y lit " $U_2$ ". Pour différentes valeurs de  $U_1$  appliquées à l'aide du transfo, on relève  $U_1$  et  $U_2$ . On vérifie ensuite qu'on a :

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (1)$$

En pratique, on obtient légèrement moins qu'attendu : on a tout de même quelques fuites magnétiques. On remarque aussi que pour des tensions en dessous de 60V le rapport est moins bon. Cela s'explique par le fait que plus des lignes

de courant sont présentes et plus le noyau de fer se retrouve collé au support en U : il y a donc moins de fuites quand il y a beaucoup de lignes de courant.

**Incertitudes :**

Les valeurs lues au multimètre fluctuent pas mal, c'est l'amplitude de ces oscillations qu'on garde (plus importantes que celles intrinsèques au multimètre).

**Précautions :**

On évite de mettre les doigts sur les bobines quand on envoie du 220.

**Intérêt :**

Les transfos peuvent être utilisés pour obtenir de forts courants/faibles tensions (choisir  $N_2 \gg N_1$ ) ou de fortes tensions/faibles courants (l'inverse). C'est notamment le cas en aval des lignes hautes tensions, dans lesquelles on veut de faibles courants pour minimiser les pertes par effet Joule. Dans la collection existe un dispositif destiné à montrer la fusion de l'étain. Il s'agit d'une seule spire dans laquelle repose de l'étain. Avec par exemple une bobine (1) de 1000 spires, on va avoir en court-circuit  $\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = 1000$ . Qui dit fort courant dit fortes pertes et donc échauffement : l'étain fond !

En TP, il nous arrive d'utiliser des transformateurs d'isolement. Ce sont des transfos pour lesquels  $N_1 = N_2$  : courant et tension ne sont pas modifiés, mais ils permettent d'isoler deux portions de circuit de façon à éviter les courts-circuits de masse quand on a besoin de redéfinir un point masse (pour une mesure à l'oscillo par exemple).

## Conclusion

L'induction c'est cool parce que y a des lois et que quand on les vérifie ça marche bien. Et y a même des applications dans la vie de tous les jours (moteurs...). Et puis on évite toujours d'être relativiste parce que ça devient moche et plus cool du tout.

**"Espace de temporisation" que nous avons prévu de mettre ayant été volé par Louis XIX 'LB' Pérez *et al.*, la grève est déclarée.**