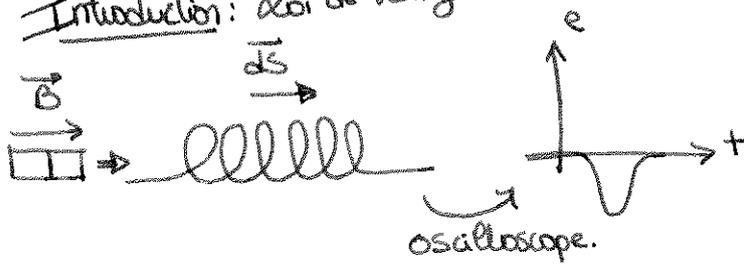


la notion d'inductance mutuelle est mal dégrossie : mauvais choix des composants  
 ↳ en fait j'ai la flemme de tout recopier... ⇒ book.  
 photocopier à la fin.

Biblio Quantités IV électricité et applicat°.  
 Duffaut électronique  
 Gairing : Magnétisme ; statique induction et milieux.

Introduction: loi de Lenz.



$$e = - \frac{d\phi}{dt} = - S \frac{dB}{dt}$$

$$\frac{dB}{dt} > 0 \quad S > 0 \quad e < 0$$

Donc  $e$  dans le solénoïde  $< 0 \Rightarrow i$  dans le solénoïde  $< 0 \Rightarrow \vec{B}_s$  créée par le solénoïde est dans le sens opposé de  $\vec{B}$ : c'est la loi de modulation.

Nous avons ici mis en évidence un champ  $\vec{B}_s$  induit par le passage du champ  $\vec{B}$  dans le solénoïde.

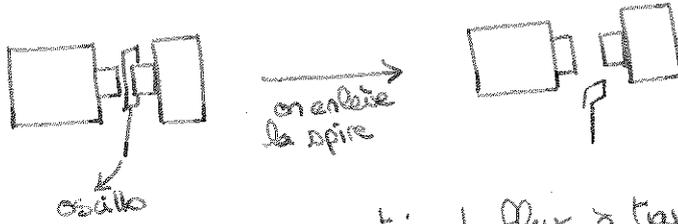
Dans ce montage nous allons, dans un premier temps, revenir sur la loi de Faraday liant le fem induite au flux. Une deuxième partie nous permettra de mesurer les coefficients d'induction.

Enfin une troisième partie nous permettra de nous tourner vers les applications de l'induction.

# I 7 Loi de Faraday. [Quarante 4. Electricité et applications]

On utilise un électroaimant et une enroule de spire (flux-mètre)

$$e = - \frac{d\phi}{dt}$$



Il y a donc une variation de flux à travers le circuit de spires.

on relie à un intégrateur le flux mètre (un intégrateur tout fait pour ne pas s'embêter avec des problèmes d'offset)  
 on utilise de l'intégrateur pendant la manip, le bouton de l'intégrateur doit être sur off.

$$V_e = - \frac{d\phi}{dt}$$

en sortie de l'intégrateur

$$V_s = - \frac{1}{RC} \int_0^+ V_e dt$$

à  $t=0$   $V_s = 0$  en appuyant sur le bouton RAZ.

Braie de B à 0 donc  $\Delta\phi = NSB$ .

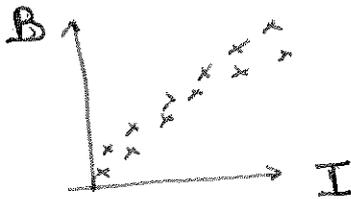
$S = \text{constante}$   
 $N = \text{le nombre de spire}$

$$\text{donc } V_s = - \frac{1}{RC} \int - \frac{d\phi}{dt} dt = \frac{\Delta\phi}{RC}$$

$$V_s = \frac{NSB}{RC}$$

Par plusieurs valeurs de I d'alimentation de l'électroaimant, on mesure  $V_s$  sur l'oscilloscope et on calcule B.

On compare la courbe obtenue à une courbe obtenue au teslamètre.



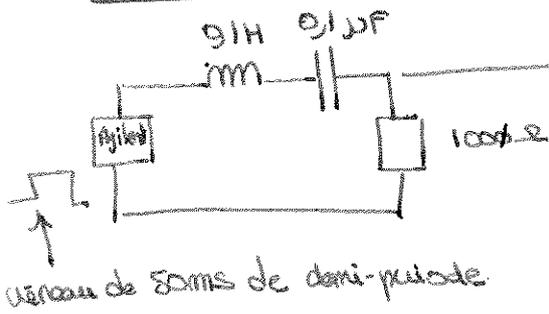
Les 2 courbes sont très proches

→ l'induction permet de mesurer le champ B.

Conclusion: Le flux mètre permet de mesurer le champ  $\vec{B}$ .

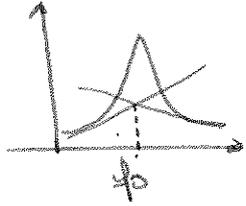
## II Mesure de coefficients d'inductance.

1) Mesure de L par la résonance d'un RLC (réponse impulsionnelle) [Duffaut elec]



synchronisation acquisition sur 8192 pts pendant 50ms

↳ on fait ensuite  
lissage  
chiffres  
lissage  
FFT



et on trace la FFT en échelle log.

$f_0$  est pour ce type large: la fréquence de résonance (et la fréquence des oscillations du signal)

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

on mesure C au L, C même

↳ on déduit L de la valeur de  $f_0$ .

$$2\pi f_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$L = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 C}$$

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta C}{C} + 2 \frac{\Delta f_0}{f_0}$$

### THEORIE

Dans la loi précédente  $e = -\frac{d\phi}{dt}$  on avait  $\phi = BS$ . Ici on relie  $\phi$  à L par  $\phi = Li$  où  $i$  est le courant qui traverse la bobine.

là dans la bobinoïde  $\Rightarrow$  la bobinoïde crée un champ  $\vec{B} \Rightarrow$  crée une fem car  $B$  dépend de temps

Il y a induction!

En réfléchissant en termes d'induction on peut donc retrouver l'équation électrique

$$e_{tot} = e_{exterieur} + e_{induit}$$

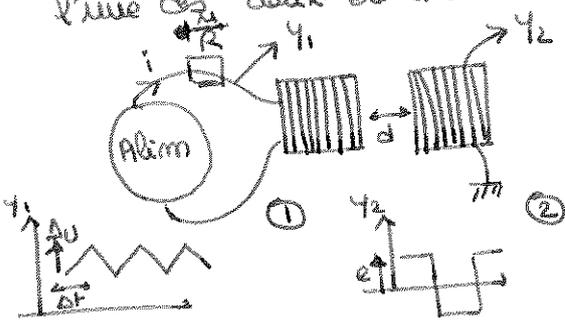
$$Ri = e_{ext} + U_c - \frac{dLi}{dt}$$

$$R \frac{di}{dt} = \frac{de}{dt} + \frac{q}{c} - L \frac{d^2i}{dt^2}$$

$$\Rightarrow H(j\omega) = \frac{H_0 j\omega}{Q\omega_0} \frac{1}{1 + \frac{j\omega}{Q\omega_0} + \left(\frac{j\omega}{\omega_0}\right)^2}$$

2) Menuis d'une inductance mutuelle. [Quarantaine IV - Electricité et applications]

On a vu qu'il y avait une  $L$  liée à  $\Phi$ . Maintenant on met 2 bobines en regard.  
 L'une des deux est alimentée.



$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = -N \frac{di}{dt} \quad \text{car } \Phi = \mu H i$$

↳ bien régler la fréquence pour que le signal soit  
 linéaire.

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{R} \frac{dU}{dt} = \frac{1}{R} \frac{\Delta U}{\Delta t} = -\frac{e}{N}$$

$$R = 100 \Omega$$

$$|N| = \frac{R \Delta t}{\Delta U}$$

on fait varier  $d$ .

Sur les montages précédents ils traçaient  $e$  en fonction de  $\frac{\Delta i}{\Delta t}$  dont la pente permet d'avoir  $H$ . Mais ce qu'on trouve me c'est qu'on ne peut comparer  $N$  à rien.  
 Donc on a préféré faire une petite théorie de  $N$  et faire un petit fit!

$$\Phi_{1 \rightarrow 2} = \mu H i$$

$$N B_1 S = \mu H i$$

↑ nombre de spires de la bobine 2  
 ↑ surface de la bobine 2

$$B_1 = B_{\text{au p. de solénoïde 1}}$$

$$B_1 = \frac{\mu_0 N I_1}{2} \cos(\theta_1 - \theta_2)$$

↑ angle de vision du solénoïde 1, par la bobine 2.

$$= \frac{\mu_0 N I_1}{2} \left( \frac{d+L}{\sqrt{l^2 + (d+L)^2}} - \frac{d}{\sqrt{l^2 + d^2}} \right)$$

$$\text{donc } \mu H i = \frac{\mu_0 N^2 I_1 S}{2} \left( \frac{d+L}{\sqrt{l^2 + (d+L)^2}} - \frac{d}{\sqrt{l^2 + d^2}} \right)$$



Alors on trace  $\frac{R \Delta t}{\Delta U}$  et

$$\text{on } \left( \frac{d+L}{\sqrt{l^2 + (d+L)^2}} - \frac{d}{\sqrt{l^2 + d^2}} \right) + b \text{ en fonction de } d.$$

regarder a une peu du mal a faire tout seul.

rouler  $L \approx 10 \text{ cm}$   
 $d \approx 5 \text{ cm}$

$a \approx 3 \cdot 10^{-3}$   
 correspondance.

en le calculant → avec  $11 \cdot 10^{-3}$  on trouve une bonne

$$a = \frac{\mu_0 N^2 S}{2}$$

avec  $N$ : nbr de spires dans la bobine 2

Rq: GBF à BF 50 Hz car bobine et R forment un passe bas (je pense que c'est pour ça).

finalment, on a réalisé un transformateur!

# III. > Nous les applications.

## 1) Le transformateur ou comment faire fondre de l'étain.



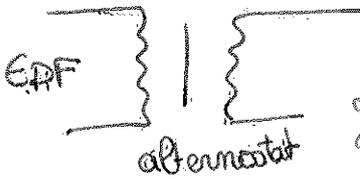
comme on l'a vu, un courant dans la bobine 1 fait apparaître une tension dans la bobine 2.  
c'est un transformateur.

$$\Phi_{1 \rightarrow 2} = \Gamma i_1 \quad \Phi_{2 \rightarrow 1} = \Gamma i_2$$

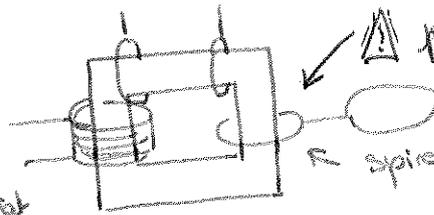
$$\Phi \cdot N_2 = \Gamma i_1 \quad \Phi \cdot N_1 = \Gamma i_2$$

$\Phi$  le flux à travers une spire.

$\Rightarrow N_2 i_2 = N_1 i_1$  mettez des étoux par pas mètre.



bobine avec plusieurs de spires alimentée avec un alternateur



pas toucher! il y a 3000 A Ampères!

spire contenant de l'étain (1 seule spire)

$N_2 \ll N_1$  donc  $i_2 \gg i_1$  donc ça chauffe donc l'étain fond.  
On peut vérifier  $N_1 i_1 = N_2 i_2$

$$\frac{N_1}{i_1} = \frac{N_2}{i_2}$$

Dans les phénomènes d'induction on voit souvent apparaître des courants de Foucault  
→ perte de chaleur ou utilisation de cette chaleur : plaque à induction.  
→ piégeage

2) chute d'un aimant dans un tube en cuivre ou en aluminium. [Gauguin p165]

chute de l'aimant dans le tube → induction d'une fem dans le tube (et dans les bobines)

→ pour les bobines, cela permet de voir quand l'aimant passe entre les bobines.

→ dans le tube : le courant a créé un champ  $B$  donc une force en  $dF_2 = \Gamma \cdot \frac{dB}{dz}$

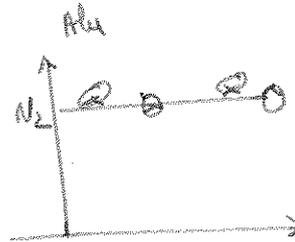
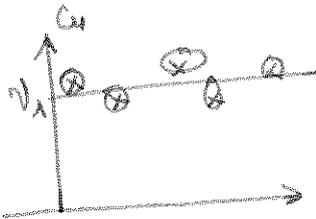
→ cette force freine l'aimant

si on calcule la vitesse limite de l'aimant  $v \propto \frac{1}{\sigma}$   
par chaque tube : on fait plusieurs laucés par chaque tube → on moyenne  $v$   
on fait une moyenne  
on fait  $\frac{v_{moyen 1}}{v_{moyen 2}} \rightarrow$  on obtient  $\frac{\sigma_2}{\sigma_1}$

$\frac{\sigma_{Alu}}{\sigma_{Cu}} = 0,60$

Remarque: on a des alliages donc la valeur obtenue est différente de la valeur théorique.

vérifier expérimentalement qu'on est bien dans le régime Breaire: déplacer les bobines le long du tube et vérifier qu'on mesure la même vitesse.



$$\left( \frac{\partial \text{Alu}}{\partial \text{Cu}} \right)_{\text{expe}} = \frac{v_1}{v_2} =$$

## Conclusion

L'induction c'est cool.

C'est un phénomène d'autant plus intéressant que de nombreuses applications sont basés sur les phénomènes de pertes → freinage  
→ chauffage.

↳ Thibault voulait parler des moteurs mais je préfère parler des plaques de cuisines

$$\left( \frac{\partial \text{Alu}}{\partial \text{Cu}} \right)_{\text{expe}} \approx \frac{v_1}{v_2}$$

Le tube en U de Montrouge est très bien (il y a un petit papier dans la boîte en bois avec la composition du mélange ce qui permet de remonter à la valeur tabulée).

Cycle d'hystérésis : fonction de transfert de l'intégrateur ? Éléments de démonstration des différentes formules ? Signification de l'aire du cycle : énergie volumique ou autre ? L'aire du cycle variait avec le rhéostat du primaire, le jury n'a pas compris pourquoi et nous avons cherché ensemble sans succès (ils ont fini par démonter notre boîte dans le couloir).

Transition para/ferro du fer : je vous conseille le dispositif de l'ENS Cachan avec un thermocouple intégré au clou. Faire juste attention à l'espèce de mousse réfractaire qui pour moi ne l'était plus vraiment (la faire remplacer si ça ne marche pas).

D'une manière générale : le style de question changeait de celui de la prépa : moins de question de culture générale mais le jury voit très rapidement où ça pêche et essaie de nous pousser dans nos derniers retranchements sur ces questions. Techniciens et préparateurs très compétents, serviables et accueillants (ça fait du bien quand on est stressé(e)). Les livres sont classés par thèmes (optique, méca, électromag...) ou par collection (BFR, Pérez...) et on voit leur couverture : plus facile que de retenir les auteurs !

## 15.3 INDUCTION, AUTO-INDUCTION.

### 15.3.1 Commentaires extraits des rapports de jury

[2010] "La notion d'inductance mutuelle est souvent mal dégagée, par suite en particulier de mauvais choix dans les composants utilisés et dans la fréquence d'excitation."

[2009] "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."

[2007] "Ces notions sont fondamentales. Le montage est pourtant souvent décevant, traité à un niveau trop élémentaire."

[1999] "Il est préférable de ne pas s'attarder trop longtemps sur les expériences qualitatives préliminaires de mise en évidence du phénomène. En revanche, du temps peut être utilement consacré à effectuer des mesures soignées de l'impédance associée aux bobines. Il convient de rappeler à ce sujet que, pour les montages en pont (Maxwell, Sauter...), la sensibilité obtenue n'est optimale que si une réflexion préalable a été menée. N'importe quelle combinaison d'impédances ne répond évidemment pas de façon correcte au problème posé."

[1998] "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 ferromagnétique. 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. Cette dernière peut révéler des surprises dès que la fréquence augmente, ce qui peut alors qu'il n'en est évidemment pas de même du modèle. Les bobines sont évidemment

utilisées dans des circuits électriques, RLC série, notamment. Il ne faut pas perdre de vue le titre du montage : toutes les propriétés des circuits utilisés n'ont pas forcément de rapport direct avec le sujet (largeur de la bande passante, notamment)<sup>3</sup>."

▷ Agrégation 2008 - Note : 09/20

À noter que j'avais le choix avec le montage intitulé *Lasers*.

▷ Agrégation 2009 - Note : 13/20

À noter que j'avais le choix avec le montage intitulé *Lasers*.

Questions et commentaires du jury : comment avez-vous choisi les valeurs des composants pour vos différentes manipulations ? Comment avez-vous étalonné l'électroaimant ? Utilisez devant nous le teslamètre. Pourquoi doit-il être le plus orthogonal possible aux lignes de champ ? Lors de la manipulation de "l'inductance mutuelle" on voyait sur l'écran de l'oscilloscope non pas des carrés parfaits, mais des carrés avec une légère oscillation sur le haut des carrés, d'où ça vient ? Dans votre circuit RLC, que vaut R ? (*il faut compter la résistance du GBF*). Comment déterminer expérimentalement le C de votre circuit RLC ? Expliquer comment vous avez déterminé vos barres d'erreur ? Comment aurait-on pu déterminer le L du RLC autrement ? Comment est liée L au nombre de spires ?

Commentaires personnels : les techniciens m'ont extrêmement aidé : ils ont monté et fait entièrement 2 manipulations. Ils m'appelaient lorsqu'ils rencontraient une difficulté afin que je ne bloque pas dessus devant le jury. Sinon, attention à Regressi qui n'enregistre pas les incertitudes mais seulement les valeurs expérimentales. Les techniciens ont prévenu le jury que j'avais perdu les barres d'erreurs d'une manipulation.

▷ Agrégation 2009 - Note : 06/20

À noter que j'avais le choix avec le montage intitulé *Interférences lumineuses ; conditions d'obtention*.

Commentaires personnels : la préparation a été stressante car j'ai perdu trop de temps à faire la manip avec le fluxmètre. J'ai dû changer 2 fois d'AO car impossible de régler l'offset. Ensuite les valeurs de la ddp induite que j'obtenais étaient incohérentes. Bref, j'ai passé quasiment 3 heures à faire cette manip. Le pire c'est que pendant la présentation je n'arrivais plus à régler l'offset de l'AO, j'ai paniqué et je n'ai pu faire aucune mesure quantitative sur cette partie. La seule mesure quantitative que j'ai faite c'est la mesure de L. Je n'avais pas eu le temps d'exploiter le transformateur en préparation mais j'avais quand même choisi de le présenter, ce qui a été une erreur.

▷ Agrégation 2010 - Note : 09/20

À noter que j'avais le choix avec le montage intitulé *Mise en forme, transport et détection de l'information*.

3. Le titre du montage était alors le suivant : *Auto-induction : tension, énergie. Caractérisations et mesures. Applications.*

Questions et commentaires du jury : sur quel principe physique fonctionne le teslamètre ? Ensuite j'ai eu des soucis sur les résultats obtenus pour les 2 premières manip : une pente de  $10^{-5}$  au lieu de 1... donc ils sont revenus dessus (apparemment ils n'ont pas non plus réussi à l'expliquer...) et ils sont aussi revenus sur la manip du II qui me donnait une droite qui ne passait pas par zéro alors qu'elle aurait du. Ils m'ont posé quelques questions sur les machines : quel est le fonctionnement du tachymètre ? Pourquoi est-ce que cette machine est dite "à courant continu" ? Pourquoi quand on trace la droite  $U = k\phi\omega$  on n'obtient pas une droite qui passe par zéro ?

Commentaires personnels : mon plan : I. Vérification de la loi de Faraday ; II. Mesure d'une inductance mutuelle et dépendance en la distance ; III. Auto-induction : mesure de l'inductance d'une bobine par la résonance d'un circuit RLC ; IV. Application à la conversion électro-mécanique : la machine à courant continu. La préparation a été plutôt speed et il vaut mieux ne pas prévoir trop de choses. Je n'avais par exemple pas eu le temps de voir les problèmes sur mes courbes, je n'avais donc pas pu essayer d'y répondre avant que le jury ne me pose la question. Là encore les techniciens étaient supers avec même une ou deux blagues pour essayer de détendre l'atmosphère !

## 15.4 CONVERSION DE PUISSANCE ÉLECTRIQUE-ÉLECTRIQUE.

### 15.4.1 Commentaires extraits des rapports de jury

[2010] "Comme l'an dernier, le jury regrette de ne pas voir plus souvent de réelles mesures de puissance et de rendement, pour des convertisseurs utilisés en régime nominal."

[2009] "Le jury souhaiterait voir de réelles mesures de puissance, pour des convertisseurs utilisés en régime nominal."

[2008] "Le transformateur est souvent utilisé pour les montages 16, 20, 21, 40. Les candidats ignorent généralement l'origine de la loi sur les courants pour le transformateur idéal ainsi que la notion de courant magnétisant. En outre, la visualisation à l'oscilloscope du cycle d'hystérésis est trop souvent assortie d'erreurs de calibration des axes (H, B), conduisant ainsi à des estimations de pertes par mesure d'aires dénuées de sens."

[2007] "Il s'agit de conversion de puissance, non de conversion de signal."

[2005] "Les hacheurs (même sous la forme série, la plus simple) ne sont pas utilisés pour alimenter les moteurs à courant continu."

[2004] "Ce montage, relativement peu choisi cette année, a donné lieu à des prestations assez pauvres, alors que des matériels d'électrotechnique adéquats sont disponibles. La conversion électrique-électrique semble se limiter, sauf exception, au transformateur et, pire, la conversion électrique-mécanique à de vagues principes. Il y a pourtant dans la collection ce qu'il faut pour des mesures de rendements électromécaniques : sur ce point, il est préférable de bien expliquer les fonctions de chacun des éléments de la chaîne de conversion (ce qui suppose qu'elles sont bien comprises), plutôt que de se contenter d'estimer un rendement global dont l'interprétation ne débouche sur rien de vérifiable. Notons, en remarque technique, qu'il est souhaitable que tous les bancs de manipulations d'électrotechnique soient complets, c'est à dire avec leurs alimentations, hacheurs et sys-