

LP 49 : INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE. APPLICATIONS À LA VIE QUOTIDIENNE

9 juin 2022

Oui

Nathan Berrit & Juliette Colombier

Niveau : L2

Commentaires du jury

Bibliographie

⚡ *Electromag*, HPrepa¹

→

⚡ *Electromg*, Mauras

→ .

Prérequis

- Équation de Maxwell
- Loi de Lenz
- Electrocinétique
- Force Lorentz-Laplace

Expériences



Table des matières

1	Phénomène d'induction	2
1.1	Cadre	2
1.2	Loi de Faraday	2
2	Couplage électromagnétique	2
2.1	Autoinductance	2
2.2	Induction mutuelle	3
2.3	Application : le transformateur	3
3	Courants de Foucault	4
3.1	Phénomène	4
3.2	Application : plaque à induction	4
3.3	Freinage par induction	4
4	Questions	5

1. Par soucis de place toujours, je pense pas qu'il soit nécessaire de mettre les références exactes surtout pour un livre classique.

Introduction

L'induction c'est un phénomène qui se déduit des équations de MAXwell et qui présente plein d'applications. On va expliquer aujourd'hui comment on met en forme tout ça.

1 Phénomène d'induction

1.1 Cadre

On se place dans l'ARQS magnétique. Plusieurs conséquences :

- On néglige le temps de propag devant variation temporelle : $l \ll cT$, donc on ne dépassera pas les 100MHz.
- On considère $|f| \gg \rho c$
- $\vec{\text{rot}}(\vec{B}) = \mu_0 \vec{j}$

1.2 Loi de Faraday

Découverte de l'induction en 1831

⚡ ?

⊖ ?

On a une bobine et un aimant, on regarde le courant. On voit qu'en faisant bouger l'aimant dans la bobine on a une variation de courant.

La loi s'énonce ainsi : **les variations de flux magnétique dans un circuit induisent une force électromotrice**

$$e = -\frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

Avec ϕ le flux du champ magnétique.

Le moins est intéressant car il traduit la loi de modération de Lenz : les effets vont s'opposer à leur cause.

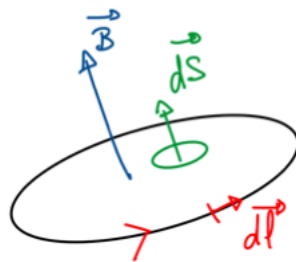


FIGURE 1 – Caption

Considérons une spire (Δorienter!!) parcourue par un courant i . On la plonge dans un champ variable, si le champ augmente alors le champ induit va s'opposer à cette variation.

2 Couplage électromagnétique

2.1 Autoinductance

On considère une spire parcourue par un courant i qui va donc induire un champ mg. Explicitons le flux propre :

$$\phi_p = Li \quad (2)$$

Avec L le coefficient d'auto inductance. Faisons un petit calcul en considérons une bobine avec N spires, de longueur l . On sait que $\vec{B} = \mu_0 \frac{N}{l} i \vec{u}$. On peut calculer :

$$\phi_p = N \vec{B} \vec{S} = \mu_0 \frac{N^2}{l} S i \tag{3}$$

Si on fait l'AN pour une bobine de labo classique on trouve $L = 34\text{mH}$.
On peut maintenant regarder

$$e = -\frac{d\phi_p}{dt} = -L \frac{di}{dt} \tag{4}$$

On retrouve la loi de l'électrocinétique $u = L \frac{di}{dt}$ en passant en convention récepteur !

2.2 Induction mutuelle

Maintenant regardons ce qu'il se passe pour deux circuits. On considère deux spires. Les flux d'induction mutuelle s'écrivent :

$$\phi_{1-2} = M i_1 \text{ et } \phi_{2-1} = M i_2.$$

Calculons ces coeff pour une bobine dans l'autre : On a $\phi_{1-2} = N_2 \phi_1 - 2(1\text{spire}) = N_2 \vec{B}_1 \vec{S}_2 = N_2 \frac{N_1 \mu_0}{l_1} i_1 S_2$

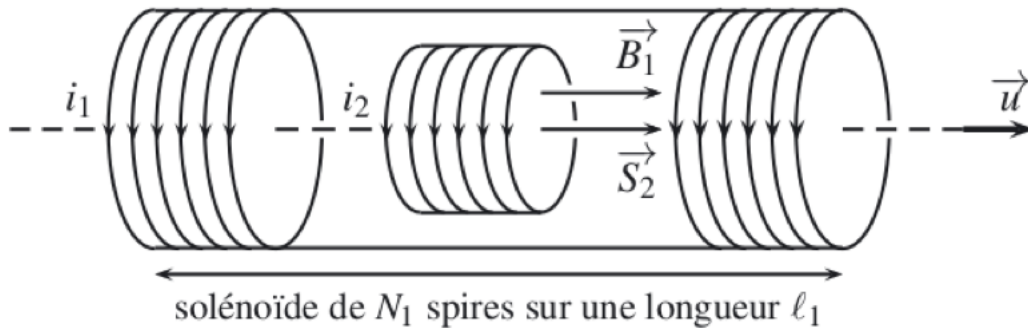


FIGURE 2 – Caption

D'où

$$M = \frac{N_1 N_2 \mu_0}{l_1} S_2 \tag{5}$$

Faire une AN.

2.3 Application : le transformateur

On maintenant on modélise tout ça par de chaque coté une résistance, une bobine L_1 et une bobine M . On a donc

$$u_1 = R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} \tag{6}$$

$$u_2 = R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt} \tag{7}$$

Calculons la puissance :

$$\mathcal{P} = u_1 i_1 + u_2 i_2 = R_1 i_1^2 + R_2 i_2^2 + \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 + \frac{d}{dt} (M i_1 i_2) \tag{8}$$

Identifier tous les termes.

Maintenant on va considérer que R_1 et R_2 sont nuls donc pas de pertes par effet Joule. On a $M = \sqrt{L_1 L_2}$ donc

$$u_1 = -e_1 = N_1 \frac{d\phi_1}{dt} \tag{9}$$

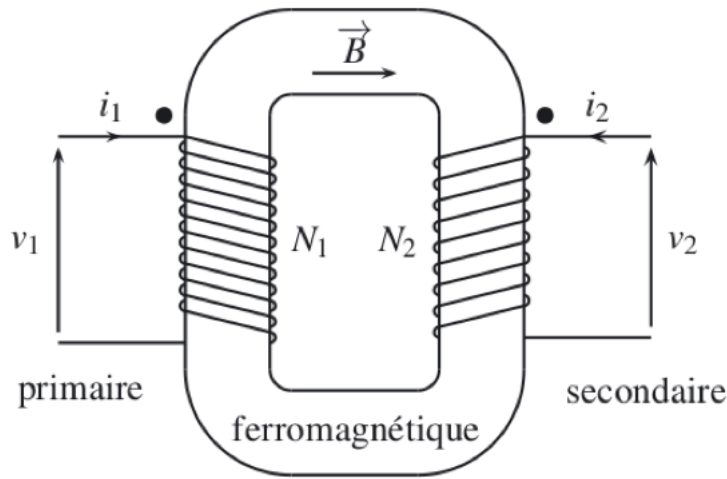
$$-u_2 = e_2 = -N_2 \frac{d\phi_2}{dt} \tag{10}$$

Or $\phi_1 = \phi_2$ donc on a

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{N_2}{N_1} = m \tag{11}$$

m est le **rapport de transformation**





[h!]

FIGURE 3 – Caption

Mesure de m

↗ ?

⊖ ?

Bon bah voilà classique on prend plusieurs valeurs de u_1 et u_2 et reg lin. Elle fait une reg linéaire et pas affine. Encore un débat...

3 Courants de Foucault

3.1 Phénomène

Conducteur σ , champ $\vec{B}(t)$. On a Maxwell faraday

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \tag{12}$$

Considérons un cylindre de hauteur h et de rayon R , avec $\vec{B} = B\vec{e}_z$. Par symétries et invar on a

$$\vec{E}_i = E_i(r)\vec{e}_\theta \tag{13}$$

Donc

$$E_i(r) = -\frac{1}{2}r\frac{\partial B}{\partial t} \tag{14}$$

On définit les **courants de Foucault** :

$$\vec{f}_F = \sigma \vec{E}_i = -\frac{\sigma}{2}r\frac{\partial B}{\partial t}\vec{e}_\theta \tag{15}$$

On voit donc qu'on a des courants qui vont tourner dans les conducteurs et être la source de dissipation thermique :

$$\langle \mathcal{P} \rangle = \frac{\sigma \omega^2 B_0^2 R^2 V}{16} \tag{16}$$

3.2 Application : plaque à induction

On considère la casserole conductrice, limitation par effet de peau proportionnel à $\frac{1}{\sqrt{\omega}}$ en pratique on se place à 25/kiloHz. C'est cool par ça évite les accidents domestiques et la puissance est pas dégueu ($\mathcal{P} \sim 7\text{kW}$).

3.3 Freinage par induction



Manip quantitative avec le tube en cuivre

C'est utile pour le freinage parce que ça dépend de la vitesse (cf Laplace) et on perd de l'énergie

Conclusion

Ok cool c'était stylé on a vu plein de choses!

4 Questions

- **C'est quoi l'ARQS de base et c'est quoi la diff entre ARQS simple, ARQS mg et ARQS elec ?**
ARQS simple on néglige juste la propag et ARQS mg aussi le terme de courant de déplacement
- **Date de la loi de Lenz ? par rapport à Faraday ?** Faraday 1831, Lenz 1834.
- **T'as bcp parlé d'induction mais juste que champ mg varie dans le temps, tu peux parler des différents types d'induction ?** Ici seulement Neumann donc B varie mais on peut aussi faire varier S et ça c'est Lorentz. On peut passer de l'un à l'autre par la loi de composition des champs.
- **Unité SI du Henry ?** Là il faut raisonner par AD
- **Transfo idéal, t'as dit que les résistances étaient nulles et que $M = \sqrt{L_1 L_2}$, tu montres ça comment ?**
On part de l'énergie en enlevant l'effet Joule
- **calcul de la puissance dissipée. C'est quoi que t'as calculé en moyenne de P ?** C'est la moyenne temporelle
- **Autre effet limite que l'effet de peau pour l'induction ?** ARQS donc borne supérieure en fréquence.
- **Pourquoi pour vérif si l'induction marche on met un aimant sur la casserole ?** L'induction c'est pas la moitié du chauffage. En réalité ce qui chauffe le plus c'est le parcours du cycle d'hystérésis du ferro.
- **Est-ce que pour freiner un train l'induction suffit ?** Non car dépendance en v .
- **T'as fait deux applications par Neumann, est-ce que t'as des appli pour Lorentz ?** Ouai le HP et accélérateur de particules
-