

# LP 21 Induction électromagnétique

Hugo

Agrégation 2019

## Contents

0.1	Introduction . . . . .	2
<b>1</b>	<b>Force électromagnétique (f.e.m)</b>	<b>2</b>
1.1	Cadre de l'étude . . . . .	2
1.2	Champ électromoteur . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Induction de Lorentz</b>	<b>2</b>
2.1	f.e.m . . . . .	2
2.2	Couplage électromagnétique - rail de Laplace . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Induction de Neumann</b>	<b>3</b>
3.1	f.e.m . . . . .	3
3.2	Courants de Foucault . . . . .	3
<b>4</b>	<b>Coefficients d'inductance</b>	<b>3</b>
4.1	Auto-induction . . . . .	3
4.2	Inductance mutuelle . . . . .	3

## Prérequis

Equations de Maxwell

Magnéto et électro-statique

### 0.1 Introduction

petite intro historique plus expérience : création d'un courant induit avec une bobine et un aimant.

Énoncé de la loi de Faraday + illustration avec expérience similaire.

Ce cours est notamment l'occasion de donner des applications de l'électrostatique.

## 1 Force électromagnétique (f.e.m)

### 1.1 Cadre de l'étude

On se place dans l'ARQS.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \vec{0} \quad (1)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = \vec{0} \quad (3)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} \quad (4)$$

Expression des champs en fonction des potentiels.

On établit la puissance  $P$  qui communique la vitesse  $v_q$  à la particule  $q$ .

$$P = \int_c \frac{\vec{F} \cdot d\vec{l}}{q} I \quad (5)$$

$$e = \frac{P}{q} \quad (6)$$

### 1.2 Champ électromoteur

On peut exprimer  $e$  en fonction de deux termes

$$e = \int_c \vec{E} \cdot d\vec{l} + \int_c \vec{v}_q \times \vec{B} \cdot d\vec{l} = - \int_c \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \cdot d\vec{l} + \int_c \vec{v}_q \times \vec{B} \cdot d\vec{l} \quad (7)$$

$$= \int_c \vec{E}_m \cdot d\vec{l} \quad (8)$$

## 2 Induction de Lorentz

### 2.1 f.e.m

On considérera ici uniquement des circuits filiformes.

$\vec{B}$  uniforme donc la dérivée de  $\vec{A}$  par rapport au temps est nulle. On en déduit

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (9)$$

## 2.2 Couplage électromagnétique - rail de Laplace

Présentation de l'expérience du rail de Laplace et illustration par une manip en direct.  
Calcul de  $\vec{E}_m$  et ensuite de  $e$ . On peut aussi calculer  $\Phi$  et en déduire à nouveau  $e = -Blv$ .  
Explications et analogie avec le moteur à courant continu.

## 3 Induction de Neumann

### 3.1 f.e.m

on a ici  $v \times B = 0$ . On en déduit :

$$e = \int_C \frac{-\partial \vec{A}}{\partial t} \cdot d\vec{l} = \dots = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (10)$$

avec  $\Phi$  le flux de  $B$  à travers la surface associée à  $C$ .

### 3.2 Courants de Foucault

$\Phi = BS = B_0 \cos(\omega t) \pi r^2 \Rightarrow e = \frac{-d\Phi}{dt} = B_0 \pi r^2 \omega \sin(\omega t)$ .  
Pour une spire on trouve après calcul l'expression de  $j$  :  $j = \frac{B_0}{2} \gamma r \omega \sin(\omega t)$ .  
Ordre de grandeur pour le cuivre  $\frac{dT}{dt} \simeq 10 K.s^{-1}$ .  
Analogie avec les plaques à induction.

## 4 Coefficients d'inductance

### 4.1 Auto-induction

Explication du phénomène et petit schéma de principe.  
Cas d'un circuit isolé :  $\vec{B} = 0$  et existence d'un courant  $I$ . On a

$$\Phi_p = \int \int_S \vec{B}_p \cdot d\vec{S} = LI \quad (11)$$

Où  $L$  est l'inductance propre.

### 4.2 Inductance mutuelle

Cas où l'on a deux circuits :

$$\Phi_{p12} = M_{12} I_1$$

$$\Phi_{p21} = M_{21} I_2$$

$M_{21} = M_{12} = M$  : coefficient d'induction mutuelle.

$$e_1 = -\frac{d\Phi_{tot}}{dt} \text{ et } \Phi_{tot} = \Phi_p p_1 + \Phi_p p_2$$

On en déduit  $e_1$  et  $e_2$  puis  $V_1$  et  $V_2$ , et ainsi, sachant que  $L_i = L_0 N_i^2$  et considérant un couplage idéal à savoir  $M = \sqrt{L_1 L_2}$  on peut calculer le rapport

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (12)$$

## Questions

Pourquoi a t-on  $M = \sqrt{L_1 L_2}$  dans la dernière partie ?

Pourquoi a t-on  $L_i = L_0 N_i^2$  ?

Que se passe t-il lorsque l'on ajoute deux inductances en série ?  
dépend du couplage magnétique :  $L_{tot} = L_1 + L_2 + M$ .

Quelle est l'énergie stockée dans une bobine ?

Y a t'il d'autres exemples d'application que ceux cités ?  
Freinage par induction (ex : tramway).

Quelles sont les limites de ce freinage ? Peut il arrêter un véhicule seul ?  
Très efficace à grande vitesse mais va devenir inefficace lorsque la vitesse va diminuer.

Pour les plaques à induction : quelle est la fréquence utilisée ?  
Comment modifie t-on les 50 Hz du secteur pour utiliser les plaques du coup ?  
En utilisant des composants non linéaires : ex AO en multiplieur, on multiplie le signal par lui même  $\Rightarrow f \rightarrow 2f$ .

Qu'est ce qui lie les inductions de Lorentz et de Neumann ?  
Un changement de référentiel, qui va modifier les équations de  $\vec{E}$  et  $\vec{B}$ .

Les potentiels des champs énoncés ici sont ils uniques ?  
 $\rightarrow$  transformation de jauge.

Qu'est ce que l'ARQS ? les équations établies ici sont elles alors toujours valables en dehors de ce régime ?

Quelle est l'orientation du  $d\vec{S}$  pour une boucle donnée selon  $d\vec{l}$  ? Et donc si  $e$  est négatif comment est i ?

Pour un contour donné, peut on prendre ensuite n'importe quelle autre surface ? Et si oui pourquoi ?  
Car  $\text{div} \vec{B} = 0$  : B est à flux conservatif.

Lorsqu'on a un effet joule : quelle est la puissance volumique donnée aux charges ?  
 $P = \vec{j} \cdot \vec{E}$ .

Densité volumique des forces de Laplace ?

## Remarques

Attention on ne voit pas ici le lien avec Maxwell-Faraday :  $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ .

Modifier le début : on arrive pas à bien voir la manip, introduction trop sophistiquée. ne pas donner les équations de maxwell en pré-requis car  $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$  est le centre de la leçon : doit être commenté.

Il faut mettre la notion de flux  $\phi$  plus en valeur, notamment pour la petite expérience.

On peut aussi partir de l'expérience pour établir  $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ .

Discuter plus la physique.

Message essentiel de la leçon : l'induction c'est  $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$  (ou  $e = -\frac{d\Phi}{dt}$ ).

Il faut être capable d'expliquer en quelques phrases le choix de plan effectué.