

LP10: INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE

Thibault Hiron–Bédiée

Niveau : Première année de CPGE

Prérequis : Chapitres Champ magnétique, actions d'un champ magnétique.

Extrait du programme de CPGE (PCSI)

Notions et contenus	Capacités exigibles
Thème 1 : Onde et signaux (PCSI)	
1.7. Induction et forces de Laplace	
1.7.3. Lois de l'induction	
Flux d'un champ magnétique Flux d'un champ magnétique à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté.	Évaluer le flux d'un champ magnétique uniforme à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté plan.
Loi de Faraday Courant induit par le déplacement relatif d'une boucle conductrice par rapport à un aimant ou un circuit inducteur. Sens du courant induit.	Décrire, mettre en œuvre et interpréter des expériences illustrant les lois de Lenz et de Faraday.
Loi de modulation de Lenz.	Utiliser la loi de Lenz pour prédire ou interpréter les phénomènes physiques observés.
Force électromotrice induite, loi de Faraday.	Utiliser la loi de Faraday en précisant les conventions d'algébrisation.
1.7.4. Circuit fixe dans un champ magnétique qui dépend du temps	
Auto-induction Flux propre et inductance propre.	Différencier le flux propre des flux extérieurs. Utiliser la loi de modulation de Lenz. Évaluer et citer l'ordre de grandeur de l'inductance propre d'une bobine de grande longueur.
Étude énergétique.	Réaliser un bilan de puissance et d'énergie dans un système siège d'un phénomène d'auto-induction en s'appuyant sur un schéma électrique équivalent.
Cas de deux bobines en interaction Inductance mutuelle entre deux bobines.	Déterminer l'inductance mutuelle entre deux bobines de même axe de grande longueur en « influence totale ». Mesurer la valeur de l'inductance mutuelle entre deux bobines et étudier l'influence de la géométrie.
Circuits électriques à une maille couplés par le phénomène de mutuelle induction en régime sinusoïdal forcé.	Citer des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante. Établir le système d'équations en régime sinusoïdal forcé en s'appuyant sur des schémas électriques équivalents.
Transformateur de tension.	Établir la loi des tensions.
Étude énergétique.	Réaliser un bilan de puissance et d'énergie.
1.7.5. Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire	

Conversion de puissance mécanique en puissance électrique. Rail de Laplace. Spire rectangulaire soumise à un champ magnétique extérieur uniforme et en rotation uniforme autour d'un axe fixe orthogonal au champ magnétique.	Interpréter qualitativement les phénomènes observés. Écrire les équations électrique et mécanique en précisant les conventions de signe. Effectuer un bilan énergétique. Citer des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante.
Freinage par induction	Expliquer l'origine des courants de Foucault et en citer des exemples d'utilisation. Mettre en évidence qualitativement les courants de Foucault.
Conversion de puissance électrique en puissance mécanique Moteur à courant continu à entrefer plan.	Analyser le fonctionnement du moteur à courant continu à entrefer plan en s'appuyant sur la configuration des rails de Laplace. Citer des exemples d'utilisation du moteur à courant continu.

Dans cette leçon, on suit le programme de PCSI dans la partie 7 Inductions et forces de Laplace

1 Lois de l'induction

Manip introductive : bobine branchée sur oscilloscope et on approche/éloigne un aimant. On observe une variation de la tension lorsque l'on modifie le champ magnétique.

Interprétataion : on observe un phénomène dit d'induction si le champ magnétique traversant le circuit varie dans le temps. (Dunod PCSI 2021 p. 888)

1.1 Flux d'un champ magnétique

Dessiner une spire au tableau, indiquer son vercteur normal.

On plonge la spire dans un champ magnétique.

On définit le flux du champ magnétique comme la quantité de champ magnétique traversant la spire : $\phi = \vec{B} \cdot \vec{S}$.

Grandeur algébrique dépendant le l'orientation de la surface.

Le flux du champ magnétique est exprimé en Weber : $\text{Wb} = \text{T m}^{-2} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{A}^{-1}$.

Remarque : pour une bobine constituée de plusieurs spires, le flux du champ magnétique traversant la bobine est égal à la somme des flux traversant chaque spire.

1.2 Loi de Faraday

On a vu dans la manip précédente qu'une variation du champ magnétique traversant une bobine génèrait une force électromotrice.

Ce comportement est traduit par la loi de Faraday :

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

Convention générateur de la fem induite e

Mentionner la validité de la loi (Dunod p. 892)

1.3 Loi de Lenz

Les phénomènes d'induction s'opposent, par leurs effets, aux causes qui leur ont donné naissance.

On en déduit le signe – dans la loi de Faraday.

2 Circuit fixe dans un champ magnétique dépendant du temps

2.1 Auto-induction

2.1.1 Flux propre et inductance propre

On a vu dans les chapitres précédents qu'une spire parcourue par un courant d'intensité i génère un champ magnétique. Ce champ magnétique a un flux à travers la spire que l'on nomme flux propre.

Comme le flux est proportionnel à B qui est proportionnel à i on peut définir un coefficient appelé **inductance propre**, reliant les deux

$$\phi_p = Li$$

Surface normale définie arbitrairement. Selon le sens de i , on obtient toujours un flux du même signe que i , on a donc une inductance propre qui est positive.

L'inductance est exprimée en Henry : $H = A \text{ Wb}^{-1} = m^2 \text{ kg s}^{-2} A^{-2}$.

2.1.2 Inductance propre d'un solénoïde

Mener le calcul (Dunod p. 906 — regarder en prévision d'éventuelles questions le corrigé de 2009 11PM21 pour être sûr sur le calcul du champ dans un solénoïde infini)

Rappel : la loi de Biot et Savart n'est plus au programme de prépa et le théorème d'Ampère n'apparaît qu'en deuxième année...

2.1.3 Bilan énergétique

On commence par présenter le schéma électrique d'une bobine et la fem auto-induite (déjà connue des élèves).

On réalise un circuit RC on écrit l'équation et on fait le bilan de puissance. On différencie l'énergie apportée par le générateur, dissipée sous forme de chaleur et emmagasinée sous forme magnétique. On trouve la formule qu'on connaît bien.

2.2 Cas de deux bobines en interaction

2.2.1 Inductance mutuelle

On représente deux spires l'une au dessus de l'autre, la première génère un champ magnétique et donc la deuxième voit un flux.

On définit le coefficient d'inductance mutuelle et on écrit le lien entre chaque flux et l'intensité de l'autre bobine.

2.2.2 Cas de deux bobines imbriquées

Mener le calcul (tel que présenté dans le Dunod p. 907)

Manip : mesure d'une inductance mutuelle, Poly de Philippe Induction–Auto-induction.

2.2.3 Étude de deux circuits couplés

On mène le calcul comme présenté dans le Dunod p.901 sur transparent

On s'arrête une fois les équations différentielles couplées obtenues. Évoquer le transformateur. Si assez de temps, rapport de transformation.

3 Circuit mobile dans un champ magnétique fixe

3.1 Rails de Laplace générateurs

3.1.1 Présentation du dispositif

Présentation du dispositif (sur transparent a priori, mais si le temps le permet, faire au tableau)

Analyse qualitative d'après la loi de Lenz

Choix des orientations sur le graphe

3.1.2 Équation électrique

On détermine la fem induite puis on applique la loi des mailles

3.1.3 Équation mécanique

On détermine l'expression de la force de Laplace puis on applique le PFD

3.1.4 Vitesse du rail et intensité

On récupère les équations couplées et on en déduit la loi de vitesse puis l'intensité parcourant le rail.

3.1.5 Bilan de puissance

3.2 Freinage par induction

3.2.1 Principe de fonctionnement

Dunod p. 923

3.2.2 Courants de Foucault

Dunod p.923

3.3 Alternateur

Si le temps le permet, on traite l'alternateur, mais peu probable... (si on a peur d'être court, peut-être plutôt mieux exploiter la manip...)