

Table des matières

1	Objectifs pédagogiques de la LP	1
2	Objectifs et messages forts de la LP (disciplinaire)	1
3	Introduction générale de la leçon	1
4	Proposition de plan	2
4.1	I/ Loi de Faraday et induction de Lorentz.	2
4.2	II/ Induction de Neumann.	4
5	Ouvertures possibles, prolongements et conclusion de la leçon	4
6	Subtilités de la leçon et points disciplinaires essentiels	4
7	Bibliographie pour construire la leçon	5
8	Expériences illustratives, simulations numériques et exploitation pédagogique	5
9	Critique des choix pédagogiques de la leçon + Questions	5

1 Objectifs pédagogiques de la LP

- ▷ Introduire le couplage champ B et champ E sans parler des équations de Maxwell
- ▷ Comprendre les manifestations historiques de l'induction électromagnétique

2 Objectifs et messages forts de la LP (disciplinaire)

- ▷ Comprendre et maîtriser la loi de Faraday
- ▷ Maîtriser les conventions de signes en induction
- ▷ Maîtriser le calcul des Rails de Laplace
- ▷ Ecrire des équations électriques et les relier aux équations mécaniques

3 Introduction générale de la leçon

Niveau : L1

Prérequis :

- ▷ Magnétostatique (théorème d'Ampère, Propriété de \vec{B} : flux conservatif)
- ▷ Force de Laplace
- ▷ Mécanique du solide

Vous avez vu jusqu'à présent la magnétostatique où l'on considère un champ \vec{B} statique et l'électrocinétique où l'on étudie des grandeurs électriques.

Nous allons voir aujourd'hui un lien entre les deux qu'on appelle induction électromagnétisme

4 Proposition de plan

4.1 I/ Loi de Faraday et induction de Lorentz

► 1) Expérience de Faraday(1830)

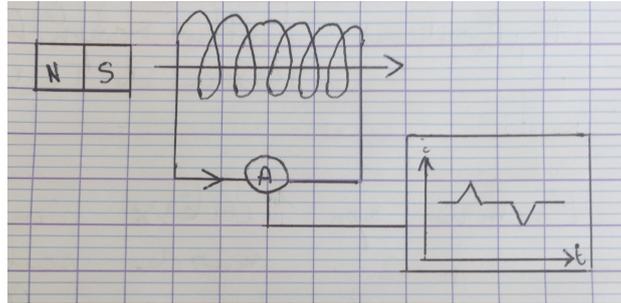


Fig. 1 – Schéma de l'expérience de Faraday

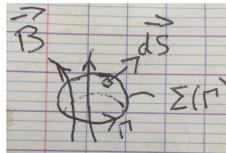
Loi de Faraday :

$$e_{ind} = -\frac{d\phi}{dt}$$

Avec :

e_{ind} : Force électromotrice induite dans un circuit Γ

ϕ : Flux de \vec{B} à travers $\Sigma(\Gamma)$



Remarques :

- L'orientation de Γ impose l'orientation de $\Sigma(\Gamma)$
- Le choix de $\Sigma(\Gamma)$ est arbitraire (\vec{B} est à flux conservatif) choix de \vec{B} qui simplifie les calculs

Rappel : $\phi = \iint_{\Sigma(\Gamma)} \vec{B} \cdot d\vec{S}$

- Pour $\frac{d\phi}{dt} \neq 0$, il faut que \vec{B} varie et/ou que le conducteur bouge.

On peut distinguer :

- Induction de Lorentz (\vec{B} fixe, circuit mobile)
- Induction de Neumann (\vec{B} variable, circuit fixe)

► 2) Rails de Laplace

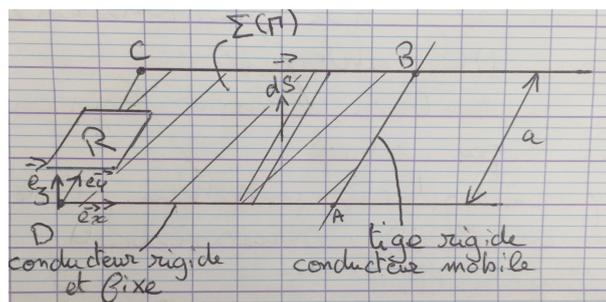


Fig. 2 – Schéma des rails de Laplace

↪ Loi de Faraday : $e_{ind} = -\frac{d\phi}{dt}$

Calcul de ϕ :

$$\phi = \int_0^x B_0 \vec{e}_z \cdot a dx \vec{e}_z$$

$$\phi = B_0 a x$$

On déduit :

$$e_{ind} = -B_0 a v$$

$$e_{ind} = -B_0 a v$$

↪ Utilisation des équations électriques

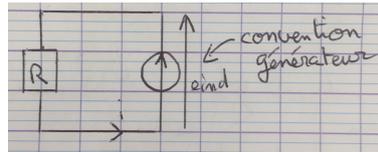


Fig. 3 – Schéma du circuit électrique

Loi des mailles et loi d'Ohm :

$$Ri = e_{ind} = -B_0 a v$$

$$i = -\frac{B_0 a v}{R}$$

↪ Lois de la mécanique

Bilan des forces sur la tige selon \vec{e}_x

$$F_L = \int_0^a i d\vec{l} \wedge \vec{B} \cdot \vec{e}_x$$

$$F_L = \int_0^a i dl \vec{e}_y \wedge B_0 \vec{e}_z \cdot \vec{e}_x$$

$$F_L = i B_0 a$$

$$F_L = -\frac{B_0^2 a^2}{R} v$$

PFD à la tige dans le référentiel du laboratoire (galiléen) projeté sur \vec{e}_x

$$m \frac{dv}{dt} = F_L = -\frac{B_0^2 a^2}{R} v$$

(m la masse de la tige)

$$\rightarrow v(t) = v(t=0) e^{-\frac{B_0^2 a^2}{mR} t}$$

$$\text{et } \lim_{t \rightarrow +\infty} v(t) = 0$$

Loi de Lenz : Les effets de l'induction s'opposent aux causes qui leur ont donné naissance (loi de modération)

► **3) Frein Magnétique**

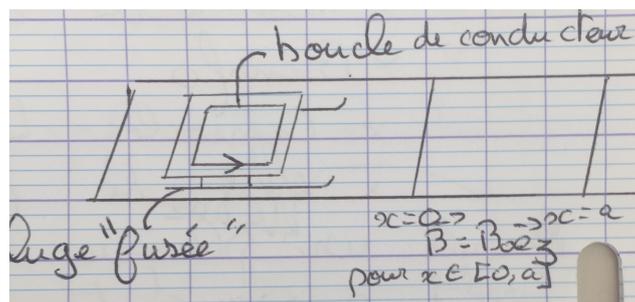


Fig. 4 – Schéma des freins magnétiques

Méthode :

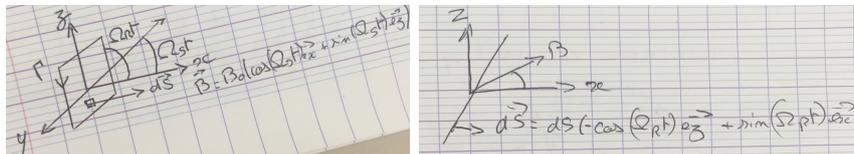
- 1) Etude qualitative (loi de Lenz)
 - Ralentissement de la luge en $x=0$ et $x=a$
 - 2) Loi de Faraday
 - 3) Equations électriques
 - 4) Equations mécaniques
 - 5) Vérification avec l'analyse qualitative
- (Affichage Programme)

Transition didactique : Après avoir vu un exemple d'induction de Lorentz on peut voir un exemple d'induction de Neumann

4.2 II/ Induction de Neumann

Partie fixe : champ magnétique tournant (stator)

Partie mobile : boucle de conducteur (rotor)



Loi de Faraday : $e_{ind} = -\frac{d\phi}{dt}$

$$\phi = \iint_{\Sigma(\Gamma)} \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

$$\phi = \overbrace{B_0 S}^{\phi_0} (\cos \Omega_S t \sin \Omega_R t - \sin \Omega_S t \cos \Omega_R t)$$

$$\phi = \phi_0 \sin(\Omega_R - \Omega_S)t$$

D'où $e_{ind} = \phi_0(\Omega_R - \Omega_S) \cos(\Omega_R - \Omega_S)t$

Equation électrique :

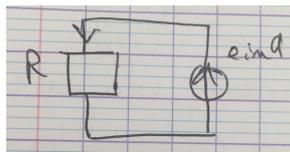


Fig. 5 – Schéma du circuit électrique

$$\rightarrow Ri = \phi_0(\Omega_R - \Omega_S) \cos(\Omega_R - \Omega_S)t$$

Si $\Omega_R \neq \Omega_S \rightarrow i \neq 0$

→ D'où le nom de machine asynchrone

5 Ouvertures possibles, prolongements et conclusion de la leçon

▷ On a vu les deux types d'induction et les différentes lois importantes en induction mais il existe un système d'équations beaucoup plus générale qui réunit ces deux aspects : Il s'agit des équations de Maxwell que l'on étudie en L2.

6 Subtilités de la leçon et points disciplinaires essentiels

▷ Il est important de bien insister sur l'orientation des circuits, ce qui permet aussi de ne pas se tromper en live.

7 Bibliographie pour construire la leçon

- ▷ Cours classique de prépa de sup

8 Expériences illustratives, simulations numériques et exploitation pédagogique

- ▷ Code Python dispo sur le Discord

9 Critique des choix pédagogiques de la leçon + Questions

- ▷ Pour les choix pédagogiques, il y a 2 possibilités : soit faire la leçon niveau L1 et parler du coté historique (ce qui est fait ici), soit on se place en L2 avec comme prérequis les équations de Maxwell
Le correcteur aurait aimé voir la deuxième option avec des exemples traités comme la casserole avec des applications numériques (Voir épreuve E3A sur les capteurs à induction sous le bitume)
- ▷ Il y a pas moyen de faire beaucoup plus d'applications que celles traitées dans cette LP parce que bon le temps, tu connais, y'en a pas

Partie question entre Loulous

- ▷ Distinction Neumann/Lorentz ?
→ On le montre avec les équations de Maxwell et les écritures des potentiels
- ▷ La magnétostatique en L1 ?
→ Oui c'est revenu
- ▷ D'autres loi de modération ?
→ Principe de Le Châtelier, loi de Van't Hoff
- ▷ Avantage défauts des freins ?
→ freinage proportionnel à la vitesse donc c'est cool à haute vitesse mais pas cool à basse vitesse
- ▷ Historiquement, Faraday a utilisé quoi comme instrument de mesure ?
→ Un Galvanomètre
- ▷ Force de Laplace version intégrale ?
→ $\vec{j} \wedge \vec{B}$

Partie entretien avec le correcteur

- ▷ En pratique un frein magnétique comme décrit dans l'expérience n'est pas utilisé donc c'est un peu bancal de faire cet exemple
- ▷ Il aurait voir des applications numériques et mettre la LP au niveau L2
- ▷ Pour l'orientation de \vec{B} , il y a 2 possibilités ; soit on utilise la règle de la main droite, soit on fait comme on veut mais il faut faire gaffe au signe dans les équations
- ▷ Que faire quand Faraday n'est pas valable comme pour le cas d'un haut parleur ?
→ On passe par un bilan de puissance
(on fait aussi des bilans quand le flux est difficile à déterminer)
- ▷ L'application des moteurs asynchrones est une bonne idée même si il est stipulé dans le titre "Vie quotidienne" On fait large
- ▷ Avantage/défauts Machine Synchrones : Vitesse bien maîtrisée, marche seule donc c'est bien pour un alternateur
- ▷ Avantage/défauts MCC : Facilement pilotable mais peu robuste contrairement à la machine asynchrone
- ▷ Pour la plaque à induction, on peut la modéliser par une bobine plate qui crée un champ sinusoïdal → Courants de Foucault
- ▷ Et le champ magnétique terrestre ?
Alors c'est toujours débattu mais des hypothèses sont avancées : il y aurait un couplage avec le champ magnétique du soleil et de l'induction de Neumann auto entretenue