

Cours d'électromagnétisme

EM18 : notions d'induction électromagnétique

Table des matières

1	Introduction	2
2	Approche expérimentale	2
3	Loi de modération de Lenz	3
4	Loi de Faraday	3
4.1	Flux d'un champ magnétique	3
4.2	Notion de force électromotrice	3
4.3	Expression de la loi de Faraday	4
5	Auto-induction et inductance d'une bobine	5
5.1	Phénomène d'auto-induction	5
5.2	Flux propre	5
5.3	Notion d'inductance	6
5.3.1	Définition	6
5.3.2	Ordre de grandeur	6

1 Introduction

Ce chapitre va permettre de découvrir la notion d'induction électromagnétique, découverte par Faraday en 1831, qui a tant d'applications technologiques : moteur électrique, alternateurs, transformateurs, freinage par courant de Foucault, ...

Après une approche expérimentale, on découvrira les lois qui régissent ce phénomène. Enfin, nous parlerons du phénomène d'auto-induction qui permet d'introduire l'inductance d'une bobine, caractéristique de celle-ci et qui a son importance en électrocinétique.

Vidéo : obtenir de l'électricité à partir du magnétisme?

2 Approche expérimentale

Deux types d'inductions

Le phénomène d'induction, c'est l'apparition d'un courant induit dans un circuit grâce à un champ magnétique.

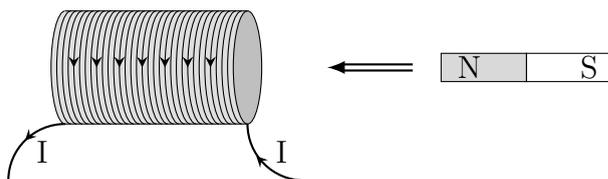
Il y a deux façons d'obtenir cela :

- soit en déplaçant un champ magnétique stationnaire au voisinage d'un circuit électrique fixe ;
- soit en déplaçant (ou déformant) un circuit électrique au voisinage d'un champ magnétique stationnaire fixe.

Vidéo : induction de Lorentz

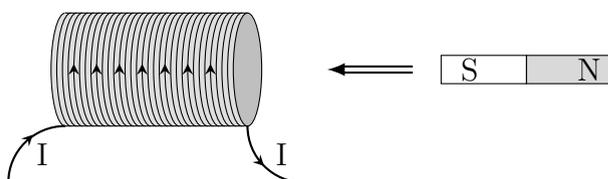
Vidéo : induction de Neumann

Expériences

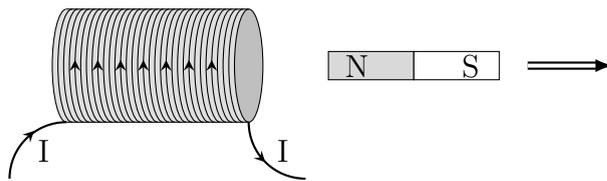


Observations

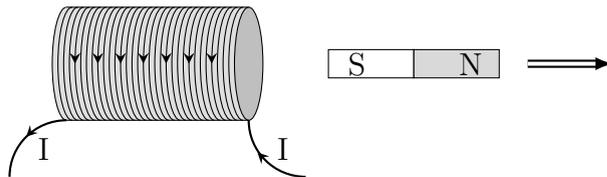
Si on approche une face nord d'un aimant droit au voisinage de la bobine, c'est à dire un champ magnétique dirigé vers la gauche, alors un courant induit apparaît dans celle-ci dans un sens qui lui fait créer un champ magnétique vers la droite (on peut raisonner en terme de faces magnétiques : on approche une face nord, le circuit oppose alors une face nord).



Si on approche une face sud, c'est à dire un champ magnétique dirigé vers la droite, un courant induit apparaît, son sens crée un champ magnétique dirigé vers la gauche.



Si on éloigne une face nord, c'est à dire un champ magnétique dirigé vers la gauche, un courant induit apparaît, son sens crée un champ magnétique dirigé vers la gauche.



Si on éloigne une face sud, c'est à dire un champ magnétique dirigé vers la droite, un courant induit apparaît, son sens crée un champ magnétique dirigé vers la droite.

Ces expériences peuvent être effectuées de la même manière en considérant l'aimant fixe et en déplaçant la bobine (on change de référentiel). Les résultats seront similaires.

3 Loi de modération de Lenz

Elle est l'équivalent de la loi de Le Châtelier pour les équilibres chimiques.

Les phénomènes d'induction s'opposent par leur(s) effet(s) aux causes qui leur ont donné naissance

En effet, si on prend la première expérience ci-dessus, on impose à la bobine un champ magnétique dirigé vers la gauche, celle-ci réagit en créant un champ magnétique opposé (vers la droite) via le courant induit qui s'établit.

4 Loi de Faraday

4.1 Flux d'un champ magnétique

Nous avons déjà vu la notion de flux en électrostatique.

Soit une surface orientée S (grâce à la règle de la main droite), soit un champ \vec{B} qui traverse cette surface. Alors le flux du champ \vec{B} à travers la surface S s'écrit :

$$\phi = \iint_S \vec{B} \cdot \vec{n} dS \quad (1)$$

Le flux s'exprime en $T.m^2$ ou en Weber (Wb).

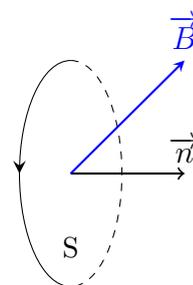


FIGURE 1 – Flux d'un champ à travers une surface orientée

4.2 Notion de force électromotrice

Une force électromotrice (fem) est homogène à une tension, elle s'exprime donc en Volt (V). Dans un circuit, c'est elle qui permet de mettre en mouvement les charges électriques et d'obtenir un courant électrique.

Si \vec{F} est la force qui s'exerce sur la charge q pour la mettre en mouvement dans le circuit \mathcal{C} , alors :

$$e = \oint_{\mathcal{C}} \frac{\vec{F}}{q} \cdot \vec{d\ell} = \oint_{\mathcal{C}} \vec{E}_m \cdot \vec{d\ell} \quad (2)$$

C'est le travail fournit par unité de charge ou encore la circulation du champ électrique induit appelé champ électromoteur ("champ qui fait bouger les électrons").

Pour un générateur, la fem est la tension à vide aux bornes de celui-ci, c'est à dire quand il n'est pas engagé dans un circuit.

4.3 Expression de la loi de Faraday

Cette loi exprime le fait que le courant induit apparaît par l'intermédiaire d'une force électromotrice induite. Et celle-ci provient de la variation du flux magnétique à travers la surface orientée constituée par le circuit électrique.

On écrira donc :

$$\boxed{e = -\frac{d\phi}{dt}} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} e : \text{force électromotrice induite en Volt (V)} \\ \phi : \text{flux du champ magnétique à travers} \\ \quad \text{la surface du circuit en Weber (Wb)} \end{cases} \quad (3)$$

Si c'est la variation du flux magnétique qui permet la création d'un courant induit, pour créer celui-ci, on peut faire varier S (en déformant le circuit) ou bien \vec{B} (en approchant ou éloignant la source du champ, ou bien en changeant sa direction, en changeant sa valeur).

Orientation du circuit, fem et courant induit

L'orientation du circuit, qui permet de définir la surface orientée S , donne son orientation à la fem et ainsi le sens du courant induit dans le circuit.

On pourra utiliser une représentation électrique du circuit siège de ce phénomène d'induction : on y fera apparaître la fem (générateur), le courant induit, ainsi que la résistance électrique du circuit.

Remarque

Le signe - qui apparaît dans la loi de Faraday montre qu'il y a opposition entre la fem induite et la variation de flux, ceci est la traduction de la loi de Lenz : les effets s'opposent aux causes.

Exemples d'application

- Dans une dynamo, le changement d'orientation du champ magnétique obtenu avec la rotation du rotor va permettre l'apparition d'un courant induit dans les bobines du stator ;
- Dans un transformateur, ce sont deux bobines aux caractéristiques différentes (nombre de spires) qui permettent d'augmenter ou de diminuer les tensions à l'entrée et à la sortie : la première bobine parcourue par un courant crée un champ magnétique qui induit un courant dans la deuxième bobine.

Vidéo : principe du transformateur

- Dans le freinage par courants de Foucault, un conducteur se déplace dans un champ magnétique, donc du point de vue du conducteur, le champ magnétique varie. Il apparaît alors des courants induits dans le conducteur appelés courants de Foucault. D'après la loi de Lenz-Faraday, l'apparition de ces courants doit s'opposer aux causes qui leur ont donné naissance, donc au mouvement : il y a donc freinage. Celui-ci s'effectue par l'intermédiaire des forces de Laplace qui s'exerce sur le conducteur puisqu'il est parcouru par des courants et est plongé dans un champ magnétique.

5 Auto-induction et inductance d'une bobine

5.1 Phénomène d'auto-induction

Un courant qui passe dans une spire crée un champ magnétique. Si ce courant varie, le champ magnétique varie également.

Ainsi, on est en présence d'un champ magnétique variable à l'intérieur d'un conducteur, la bobine elle-même !

Il y a donc auto-induction : la spire parcourue par le courant crée un champ magnétique qui crée un courant induit dans cette même spire.

D'après la loi de Lenz, ce courant induit s'oppose à la cause qui lui a donné naissance : ce courant induit est dans le sens inverse du courant initial qui s'établit dans la spire.

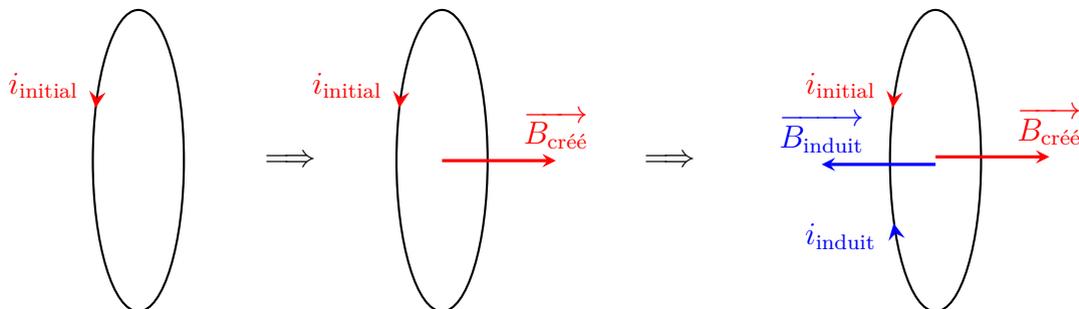


FIGURE 2 – Phénomène d'auto-induction pour une spire

N'oublions pas que le courant induit n'existe que lorsqu'il y a variation du champ magnétique. En régime permanent, ce courant n'existe plus mais en régime variable, il va "freiner" l'établissement du courant dans le circuit (nous verrons dans le TP-cours sur le dipôle RL, que l'établissement du courant dans un circuit comportant une bobine n'est pas instantané).

Vidéo : retard à l'allumage dû à l'auto-induction dans une bobine

5.2 Flux propre

Ainsi, on peut calculer le flux propre du champ magnétique créé par la spire à travers la surface de la spire elle-même.

Le flux propre dépend :

- du champ \vec{B} qui dépend :

- des caractéristiques de la spire ;
- de l'intensité du courant i .
- de la surface de la spire donc de ses caractéristiques.

Finalement, on peut écrire :

$$\phi = K i(t) \quad (4)$$

où K est une constante.

La loi de Faraday appliquée à ce cas d'auto-induction donne :

$$e = -\frac{d\phi}{dt} = -K \frac{di}{dt} \quad (5)$$

5.3 Notion d'inductance

5.3.1 Définition

Le coefficient K qui apparaît dans les deux équations précédentes se note communément L et est appelé **self-inductance** ("inductance par elle-même") ou de façon plus courte **inductance**. Son unité est le Henry (H).

On a choisi la lettre L pour rendre hommage à Heinrich Lenz (physicien russe) et le henry comme unité pour rendre hommage à Joseph Henry (physicien américain).

5.3.2 Ordre de grandeur

Pour calculer l'ordre de grandeur d'une inductance, on prend le cas d'une bobine longue ou solénoïde que l'on trouve couramment en salle de travaux pratiques. Le champ magnétique créé par un solénoïde (suffisamment long) est donné par :

$$B = \frac{\mu_0 N i}{\ell} \quad (6)$$

où N est le nombre de spires du solénoïde, i l'intensité qui le traverse, ℓ sa longueur.

Son flux propre à travers la surface d'une spire du solénoïde est donc :

$$\phi_0 = B \times S = \frac{\mu_0 N i S}{\ell} \quad (7)$$

donc le flux propre à travers toute la bobine est :

$$\phi = N \phi_0 = \frac{\mu_0 N^2 i S}{\ell} = L \times i \quad (8)$$

On cherche l'ordre de grandeur de L , l'inductance :

$$L = \frac{\mu_0 N^2 S}{\ell} \quad (9)$$

Prenons des valeurs caractéristiques d'une bobine de TP :

$N = 1000$ spires ;

$S = \pi \times (3 \times 10^{-2})^2 = 2,8 \times 10^{-3} \text{ m}^2$;

$\ell = 0,25 \text{ m}$;

et $\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ SI}$.

On trouve $L = 1,4 \times 10^{-3}$ H. L'inductance d'une bobine sera donc de l'ordre du milliHenry.

Si on veut des inductances plus importantes, il faudra insérer un noyau de fer doux (fer ou acier doux = ajouts d'éléments chimiques au fer, silicium, nickel, molybdène par exemple, pour en modifier les propriétés) dans la bobine, ce matériau a la propriété de se polariser magnétiquement (sa perméabilité μ est importante) et donc d'augmenter le champ magnétique à l'intérieur de la bobine donc son inductance.

Références

- "Physique MPSI.PCSI.PTSI Tout-en-un" - M.Cavelier / J.Cubizolles / G.Delannoy / E.Jahier / C.Jorssen - Editions vuibert 2014 ;
- "Electromagnétisme 2ème année" - Jean-Marie Brébec /Thierry Desmarais / Alain Favier / Marc Ménétrier / Bruno Noël / Claude Orsini / Jean-Marc Vanhaecke / Régine Noel - Editions Hachette 2004 ;
- [Wikipédia : force électromotrice](#) ;
- [Wikipédia : induction électromagnétisme](#) ;
- [Wikipédia : fer doux](#) ;
- [Wikipédia anglais : inductance](#)