

INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE

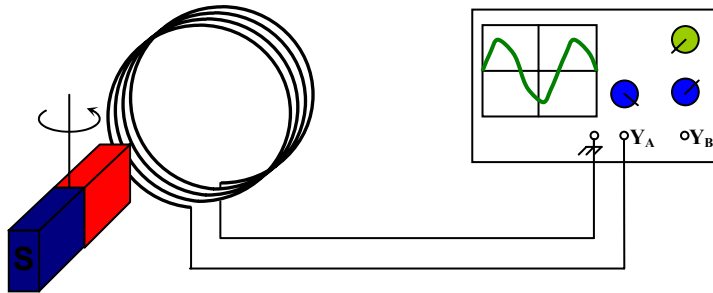
OBJECTIF

Découvrir expérimentalement le phénomène d'induction électromagnétique sur un circuit ouvert (force électromotrice).
Prévoir le signe du courant induit (circuit fermé) en utilisant la loi de Lenz.
Connaître quelques applications de l'induction électromagnétique.

I- ETUDE EXPÉRIMENTALE

1- Champ magnétique variable dans une bobine

Un aimant pouvant être mis en rotation est placé devant une bobine fixe.
Un oscilloscope est branché aux bornes de la bobine.
Lors de la rotation de l'aimant, la bobine sera donc soumise à un champ magnétique variable.



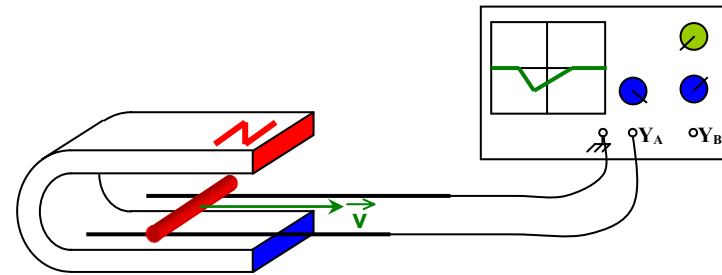
■ Observations :

- ① Si l'aimant n'est pas en mouvement (champ magnétique fixe), aucune tension n'est détectée par l'oscilloscope.
- ② Lors de la rotation de l'aimant, une tension alternative est détectée avec les propriétés suivantes :
 - sa fréquence est égale à la fréquence de rotation de l'aimant (tour/seconde);
 - son amplitude augmente avec la fréquence de rotation de l'aimant.

2- Déplacement d'un circuit dans un champ magnétique fixe

Un aimant en U produit un champ magnétique uniforme entre ses deux pôles.
Un conducteur mobile peut se déplacer dans une direction donnée sur deux rails conducteurs.
L'ensemble "conducteur + rail" est placé entre les pôles de l'aimant et un oscilloscope est branché à l'extrémité des deux rails.

On déplace manuellement le conducteur qui atteint la vitesse \vec{v} .
Cette expérience traduit donc le déplacement d'un circuit dans un champ magnétique fixe.



■ Observations :

- ① Lorsque le conducteur est déplacé avec la vitesse \vec{v} , il apparaît une tension négative à l'écran de l'oscilloscope.
La forme de la tension traduit l'accélération puis la décélération de la tige.
- ② Le signe de la tension apparaissant à l'oscilloscope change lorsque la vitesse est inversée.

II- INTERPRÉTATION : LOI DE L'INDUCTION

1- Définitions

La tension d'induction qui apparaît aux bornes d'un circuit est appelée **force électromotrice** ou **fém**.

Le phénomène d'apparition de la **fém** se nomme **induction électromagnétique** :

- ① La source de champ magnétique est appelée **inducteur**.
- ② Le circuit où apparaît la **fém** est appelé **induit**.

2- Propriétés

Une *force électromotrice* ou *fém* apparaît aux bornes d'un circuit dans les cas suivants :

- ① Le circuit est soumis à un champ magnétique variable.
- ② Le circuit se déplace ou se déforme dans un champ magnétique fixe.

3- Expression de la fém pour un conducteur mobile

La fém induite e aux bornes d'un conducteur en mouvement dans un champ magnétique uniforme \vec{B} est définie par la relation ci-dessous (valable que si $\vec{v} \perp \vec{B}$ et $\vec{v} \perp$ au conducteur) :

$$|e| = B.l.v \quad \text{avec} \quad v = \left\| \vec{v} \right\| \quad \text{vitesse du conducteur en (m/s)}$$

l longueur du conducteur en (m)
 $B = \left\| \vec{B} \right\|$ champ magnétique uniforme en (T)
 e fém induite aux bornes du conducteur en (V)

Exemple : Un conducteur de longueur $l = 12\text{cm}$ est soumis à un champ magnétique $B = 0,5\text{T}$ perpendiculaire; il se déplace latéralement et perpendiculairement à \vec{B} à la vitesse $v = 2\text{ m/s}$.

Il apparaît aux bornes du conducteur une fém e de valeur absolue :

$$|e| = B.l.v = 0,5 \times 0,12 \times 2 = 0,12\text{ V.}$$

4- Application aux machines électriques

① L'alternateur :

L'alternateur convertit l'énergie mécanique en énergie électrique; il est constitué des éléments suivants :

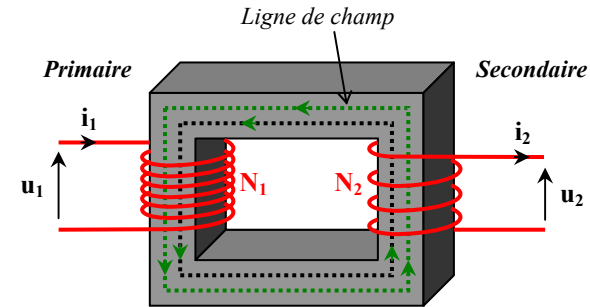
- Le rotor (inducteur) est constitué d'aimants ou de bobinages alimentés pour produire un champ magnétique.
- Le stator (l'induit) constitué de bobinages dont la tension aux bornes apparaît lorsque le rotor est mis en rotation (turbines, éoliennes ...).

L'alternateur est utilisé pour produire l'énergie électrique. On le trouve aussi dans les automobiles et sert à recharger la batterie.

② Le transformateur :

Le transformateur est un convertisseur statique d'énergie électrique, il est principalement utilisé pour abaisser ou élever la tension présente sur le réseau de distribution d'énergie électrique.

La figure ci-dessous montre la constitution interne d'un transformateur :



Le principe de fonctionnement est le suivant :

- ① Une source de tension alternative u_1 (réseau électrique EDF par exemple) est branchée au primaire et fait circuler un courant i_1 qui va créer un champ magnétique dans la structure métallique (carcasse).
- ② La carcasse métallique va canaliser les **lignes de champ** vers la bobine secondaire.
- ③ La bobine secondaire est donc le siège d'un champ magnétique variable et une tension u_2 induite prendra naissance aux bornes de la bobine secondaire.
- ④ Le courant i_2 et le courant i_1 seront imposés par la charge branchée au secondaire.
⇒ Le générateur impose les tensions et la charge impose les courants.

Si on a N_1 spires au primaire et N_2 spires au secondaire, on a les relations suivantes :

- pour les tensions :
$$\frac{u_2}{u_1} \approx - \frac{N_2}{N_1}$$

- pour les courants :
$$\frac{i_1}{i_2} \approx - \frac{N_2}{N_1}$$

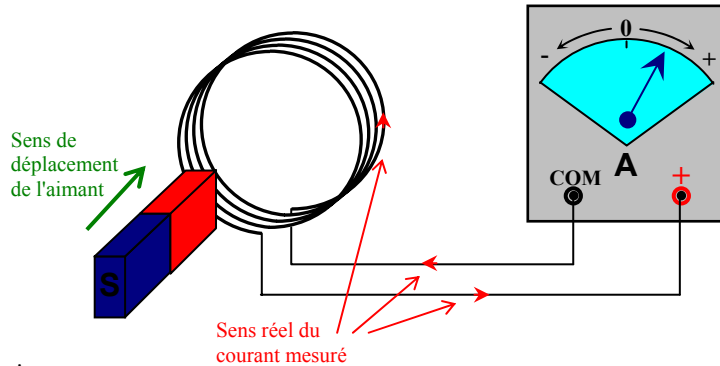
On peut retenir le principe suivant :

Pour un transformateur idéal, le rapport des tensions est égal au rapport des nombres de spires.

III- COURANTS INDUITS. LOI DE LENZ

1- Etude expérimentale

Un ampèremètre à aiguille est branché en série avec une bobine.
Un aimant droit, placé devant la bobine sera mis en mouvement.



■ Observations :

- ① Lorsque l'aimant s'approche de la bobine, un courant prend naissance dans la bobine dont le sens est donné par la figure ci-dessus.
- ② Si on inverse un seul des paramètres suivants :
 - sens de l'aimant,
 - sens de déplacement,
 - sens d'enroulement de la bobine,alors le courant change de sens.

2- Interprétation

La variation du champ \vec{B} à travers la bobine entraîne la circulation d'un courant induit qui s'oppose à la cause qui lui a donné naissance. Ce courant va donc créer un champ magnétique qui va s'opposer aux variations de \vec{B} .

Le déplacement de l'aimant produit une **augmentation** du champ \vec{B} vers le fond de la figure, la bobine réagit en créant un courant qui donne un champ magnétique vers l'avant de la figure.

La règle du tire-bouchon nous confirme le sens du courant induit.

Remarque : Si le circuit est fermé, c'est la fém d'induction e qui est responsable du courant induit i .

Si le circuit a une résistance R , on a alors $e = R.i$.

3- Loi de Lenz

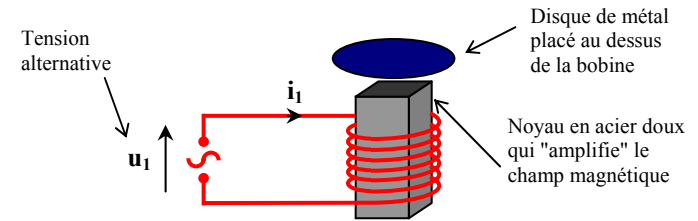
Le courant induit, par ses effets, s'oppose à la cause qui lui a donné naissance.

La loi de Lenz permet de trouver le sens du courant induit.

Pour un circuit ouvert, la loi de Lenz permet aussi de trouver le sens de la fém (e) (le potentiel le plus fort sera sur la borne où sortira le courant induit : convention générateur).

4- Les courants de Foucault

- **Expérience** : Une bobine est alimentée par un générateur de tension alternative. Un disque métallique est placé au dessus de la bobine.



⇒ On constate un échauffement du disque métallique.

■ Interprétation

La bobine alimentée en alternatif produit un champ magnétique variable qui provoque des courants induits dans le disque métallique.

Ces courants volumiques sont appelés " courants de Foucault ".

■ Applications

- ① **Fours à induction** : l'expérience ci-dessus décrit le fonctionnement du four à induction (le disque métallique est le fond du récipient contenant le liquide à chauffer).
- ② **Freins de camions** : dans l'expérience ci-dessus, si on fait tourner le disque métallique, on constate un freinage rapide de la rotation. Les courants de Foucault s'opposent à la cause de leur naissance, c'est à dire à la rotation (freins TELMA des camions et autobus).
- ③ **Moteur à induction ou moteur asynchrone** : le stator d'un moteur asynchrone est constitué de bobines alimentées en alternatif. Le rotor est un cylindre métallique plein. Les courants de Foucault dans le rotor s'opposent à la variation du champ magnétique de stator et provoquent sa rotation. Ces moteurs alternatifs sont très utilisés.