



Chap 30 - Lois de l'induction

Objectifs

Notions	Capacités exigibles
Flux d'un champ magnétique Flux d'un champ magnétique à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté. 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.	C30_1 Évaluer le flux d'un champ magnétique uniforme à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté plan. C30_2 Décrire et interpréter des expériences illustrant les lois de Lenz et de Faraday.
Loi de modération de Lenz.	C30_3 Utiliser la loi de Lenz pour prédire ou interpréter les phénomènes physiques observés.
Force électromotrice induite, loi de Faraday.	C30_4 Utiliser la loi de Faraday en précisant les conventions d'algébrisation.



- Ampèremètre + bobine
- Tuyau métal + petit aimant néodyme
- Pendule à induction
- Générateur bobine tournante

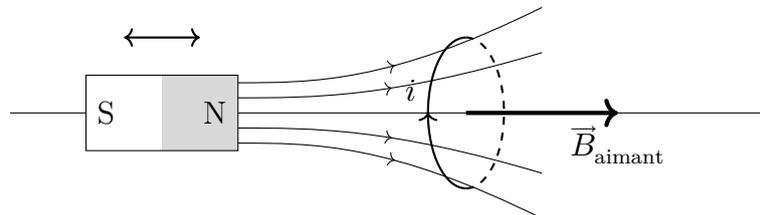
1 Mise en évidence expérimentale du phénomène d'induction



MANIP

https://phet.colorado.edu/sims/html/faradays-law/latest/faradays-law_fr.html

Lorsqu'on déplace un aimant à proximité d'une spire, un courant électrique d'intensité i apparaît dans la spire, même si celle-ci n'est pas connectée à un générateur. C'est le phénomène d'induction.



On peut résumer les observations expérimentales par les quelques propriétés ci-dessous :

- Il n'y a pas de courant dans la spire si l'aimant est immobile, et $|i|$ augmente avec la vitesse de déplacement de l'aimant.
- Le signe de i dépend :
 - de l'orientation de l'aimant,
 - du sens de déplacement de l'aimant.
- Seul compte de déplacement relatif de l'aimant par rapport à la spire (on observe les mêmes phénomènes si l'on déplace le circuit par rapport à l'aimant).

- Si l'on approche l'aimant, le courant dans la spire tend à créer un champ magnétique induit \vec{B}_{induit} tendant à s'opposer à l'augmentation du champ créé par l'aimant et inversement si l'on éloigne l'aimant.

? Donner une première explication qualitative du dernier point.

✓ Si un courant se crée à cause du champ magnétique, le courant dans la bobine crée un champ magnétique (ce qu'on a vu dans le chapitre précédent).

L'objet de ce chapitre est d'énoncer les lois qui gouvernent le phénomène d'induction.

2 Lois de l'induction

2.1 Flux d'un champ magnétique



WILHELM WEBER (1804 - 1891)



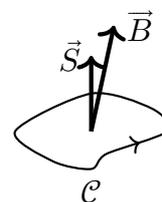
Physicien allemand

On considère une surface plane s'appuyant sur un contour fermé (\mathcal{C}), de forme quelconque, orientée et est caractérisée par un vecteur surface \vec{S} , plongée dans un champ magnétique \vec{B} uniforme.

Le **flux du champ magnétique** à travers cette surface orientée est défini par :

$$\phi = \vec{B} \cdot \vec{S},$$

il s'exprime en weber ($1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot \text{m}^2$).

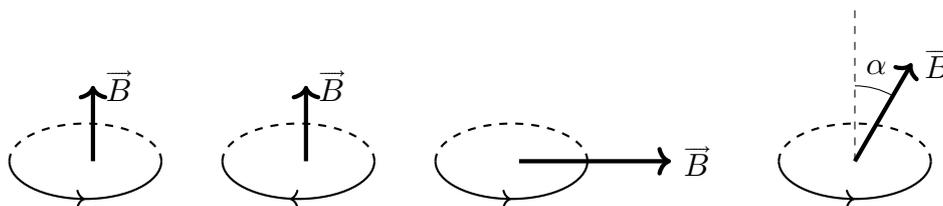


De manière générale, le flux d'un vecteur \vec{X} à travers une surface \mathcal{S} est donné par

$$\phi = \iint_{(\mathcal{S})} \vec{X} \cdot d\vec{S}$$

Cette expression est à privilégier si le champ n'est pas uniforme (indépendant de l'espace).

Flux du champ magnétique à travers un circuit dans quelques situations courantes



? Donner l'expression du flux ϕ du champ magnétique à travers les différentes surfaces orientées ci-dessus.

✓ De gauche à droite:

- Le vecteur surface orienté est vers le haut d'après la règle du tire-bouchon donc $\vec{B} \cdot \vec{S} = BS \cos 0 = +BS$.
- Le vecteur surface orienté est vers le bas d'après la règle du tire-bouchon donc $\vec{B} \cdot \vec{S} = BS \cos \pi = -BS$.
- Le vecteur surface orienté est vers le haut d'après la règle du tire-bouchon donc $\vec{B} \cdot \vec{S} = BS \cos \frac{\pi}{2} = 0$.
- Le vecteur surface orienté est vers le haut d'après la règle du tire-bouchon donc $\vec{B} \cdot \vec{S} = BS \cos \alpha$.

2.2 Loi de Faraday



MICHAEL FARADAY (1791 - 1867)



Physicien et chimiste britannique. Auteur de nombreux travaux en électricité et magnétisme (induction, cage de Faraday...), travaux en électrochimie.

Loi de Faraday

On considère un circuit électrique orienté par le sens du courant, traversé par un flux magnétique ϕ dépendant du temps. Il apparaît dans le circuit une **force électromotrice induite** :

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

e s'exprime en volts et est **orientée dans le sens de i** (convention générateur).

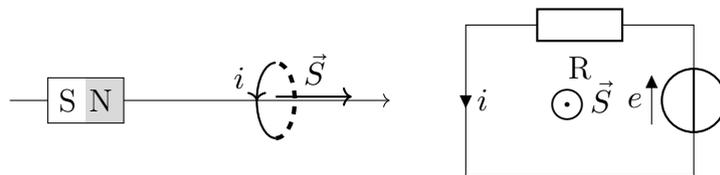
🧠 Pour déterminer une force électromotrice, il faut procéder de la manière suivante :

- orienter le circuit en choisissant un sens arbitraire pour le courant i ,
- déterminer le vecteur surface associé avec la règle de la main droite,
- calculer le flux du champ magnétique à travers le circuit et en déduire la f.é.m. induite e avec la loi de Faraday.
- représenter un schéma électrique du circuit en plaçant un générateur de f.é.m. e orienté dans le même sens que i .

🧠 Cette équation vient d'une des équations de Maxwell (Maxwell-Faraday) que vous verrez l'année prochaine.

Signe du courant induit dans une boucle

On considère l'expérience ci-dessous, où une spire circulaire de résistance R et de surface S est placée en face d'un aimant.



? Déterminer le signe de i lorsqu'on approche l'aimant et lorsqu'on l'éloigne du circuit.

✓ On a $\phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = B_x S$ où B_x est la composante du champ magnétique dans le sens de S , elle dépend principalement de la distance à l'aimant.

$$\text{On a } e = -\frac{d\phi}{dt} = -S \frac{dB_x}{dt} \text{ et } i = \frac{e}{R} = -\frac{S}{R} \frac{dB_x}{dt}.$$

Si l'on approche l'aimant, B_x augmente donc ϕ augmente, $e < 0$ donc $i < 0$.

Si l'on éloigne l'aimant, B_x diminue donc ϕ diminue, $e > 0$ et $i > 0$.

On peut aussi raisonner avec les lignes de champ: quand on rapproche l'aimant, les lignes de champ proches de la spire se resserrent, le champ magnétique augmente, le flux augmente donc. De la même manière, quand on éloigne l'aimant, les lignes de champ s'éloignent, le champ magnétique diminue et le flux aussi.

Conditions d'application de la loi de Faraday

Dans le cas d'un conducteur en mouvement dans un champ magnétique, la loi de Faraday est valable si:

- le conducteur constitue un circuit à travers lequel le flux magnétique $\phi(t)$ est défini à chaque instant.
- le conducteur coupe les lignes de champ magnétique dans son mouvement.

2.3 Loi de modération de Lenz



HEINRICH EMIL LENZ (1804 - 1865)



Physicien allemand.

Loi empirique de modération de Lenz

Les effets du courant induit tendent à s'opposer aux causes qui lui donnent naissance.

? Montrer que dans l'exemple précédent, le courant induit dans la spire tend à créer un champ magnétique induit \vec{B}_{induit} s'opposant aux variations du champ magnétique de l'aimant \vec{B}_{aimant} .

✓ Si l'on approche l'aimant, ϕ augmente, $e < 0$, $i < 0$ et \vec{B}_{induit} est selon $-\vec{u}_z$. L'aimant s'approche donc \vec{B}_{aimant} augmente (selon $+\vec{u}_z$) car les lignes de champ se resserrent. Le champ magnétique induit s'oppose ainsi à l'augmentation du flux (donc du courant donc du champ magnétique

induit et ainsi de suite).

Si l'on éloigne l'aimant, ϕ diminue, $e > 0$, $i > 0$ et \vec{B}_{induit} est selon $+\vec{u}_z$. L'aimant s'éloigne donc \vec{B}_{aimant} diminue (selon $+\vec{u}_z$) car les lignes de champ s'éloignent. Le champ magnétique induit s'oppose ainsi à la diminution du flux (donc du courant donc du champ magnétique induit et ainsi de suite).