



## Leçon 9 : INDUCTION ELECTROMAGNETIQUE

### 1) Situation d'apprentissage

Des élèves en classe de Terminale C au Lycée Moderne de Séguéla ont découvert dans une revue scientifique, l'information suivante : « la génératrice de bicyclette est un appareil très simple : une bobine de fil conducteur et un aimant. La rotation de l'aimant devant la bobine crée un courant électrique induit : c'est l'induction électromagnétique ». Afin de s'appropriier cette information, avec leurs camarades de classe ils veulent expliquer le phénomène d'induction électromagnétique, comprendre les lois de l'induction électromagnétique et appliquer la loi de Lenz à un circuit soumis à une variation de flux magnétique.

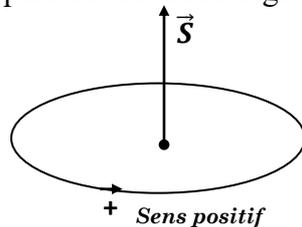
### 2) CONTENU DE LA LECON

#### 1. Notion de flux magnétique

##### 1.1 Vecteur surface

Soit un circuit fermé plan situé dans une région où règne un champ magnétique uniforme  $\vec{B}$ . Ce circuit limite une surface plane S.

On appelle vecteur-surface  $\vec{S}$  du circuit, le vecteur normal au plan du circuit dont le sens est déterminé par la règle de l'observateur d'Ampère ou tout autre règle équivalent.

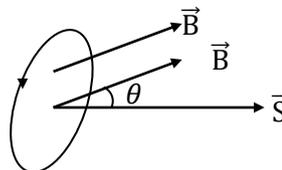


**Remarque :** Si le circuit est parcouru par un courant électrique, le sens positif est celui du courant électrique.

##### 1.2 Flux magnétique

Soit un circuit fermé, plongé dans un champ magnétique uniforme  $\vec{B}$ , on appelle flux magnétique du champ  $\vec{B}$ , à travers cet circuit, la grandeur algébrique définie par :

$$\phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = B \cdot S \cdot \cos\theta$$



**Remarque :**

- L'unité légale du flux magnétique est le Weber (Wb).
- Le flux magnétique se mesure à l'aide d'un fluxmètre.
- Pour N spires,  $\phi = N B S \cos\theta$ .

#### Activité d'application

Une bobine plate de rayon moyen  $r = 2,5 \text{ cm}$  et comportant  $N = 50$  spires est plongé dans un champ magnétique uniforme de valeur  $B = 0,02 \text{ T}$ .

Calculer le flux magnétique à travers la bobine.

**Solution**

La solution dépend de l'orientation de la bobine

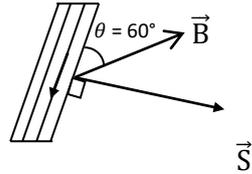
1<sup>er</sup> Cas

Représentons  $\vec{S}$

$$\phi = N B S \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)$$

$$\phi = N B \pi r^2 \sin \theta$$

$$\phi = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$$

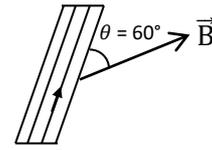


2<sup>e</sup> Cas

$$\phi = N B S \cos\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right)$$

$$\phi = - N B \pi r^2 \sin \theta$$

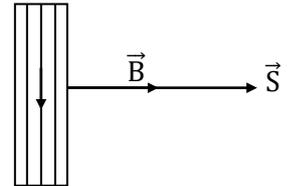
$$\phi = - 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$$



**1.3 Règle du flux maximal**

Un circuit fermé, parcouru par un courant électrique continu, mobile dans un champ magnétique uniforme, s'oriente de telle sorte que le flux magnétique, soit maximal dans sa position d'équilibre, le sens positif étant celui du courant électrique.

$$\phi = N B S$$



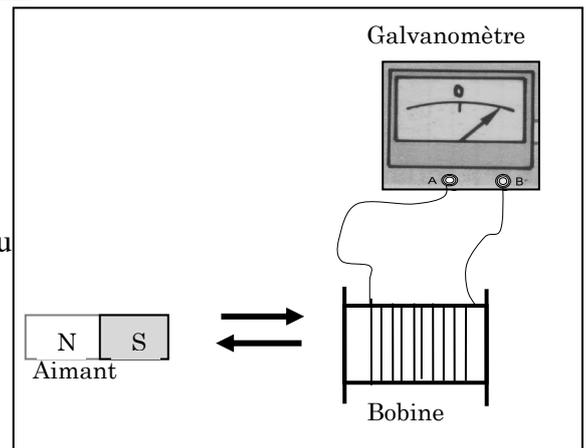
**2. Mise en évidence de l'induction électromagnétique**

**2.1 Expériences et observations**

**2.1.1 Mouvement relatif d'un aimant et d'une bobine**

Soit le circuit ci-contre ne comportant pas de générateur.

- Le déplacement de l'aimant au voisinage de la bobine provoque l'apparition d'un courant électrique appelé **courant induit**.
- L'aimant qui crée le champ est **l'inducteur**.
- La bobine, siège du courant induit est le **circuit induit** ou **l'induit**.
- Le phénomène qui engendre le courant induit est appelé **induction électromagnétique**

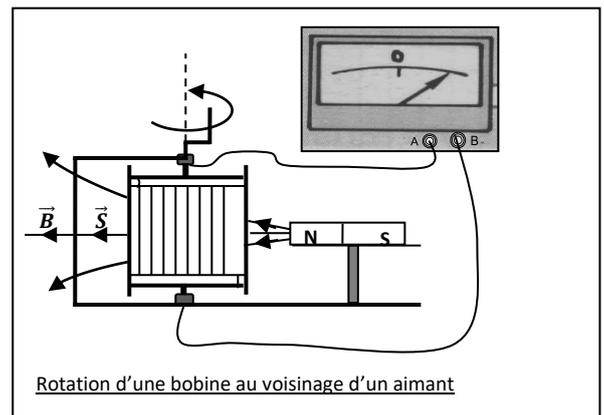


**Remarque :**

- L'intensité du courant induit augmente avec la vitesse de déplacement de l'aimant.
- Le sens du courant induit dépend du sens du déplacement et de la nature du pôle le plus proche.
- Le courant induit s'annule lorsque le déplacement cesse.

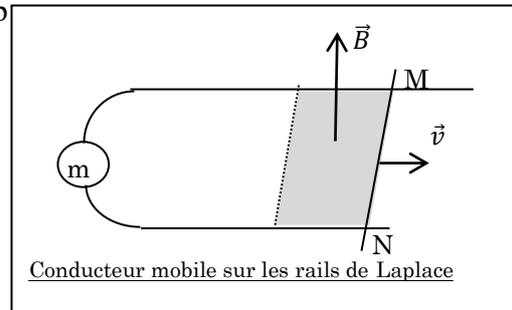
**2.1.2 Rotation d'un circuit fermé à proximité d'un aimant**

La variation de l'angle entre le champ magnétique et le vecteur surface fait apparaître un courant induit dans la bobine.



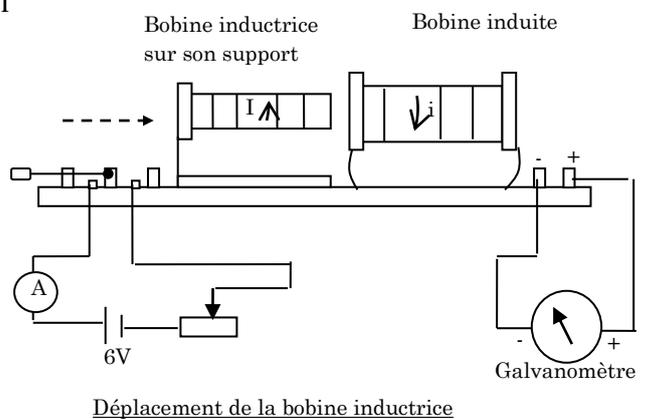
### 2.1.3 Variation de la surface du circuit induit

La variation de la surface du circuit plongé dans le champ magnétique donne naissance à un courant induit.



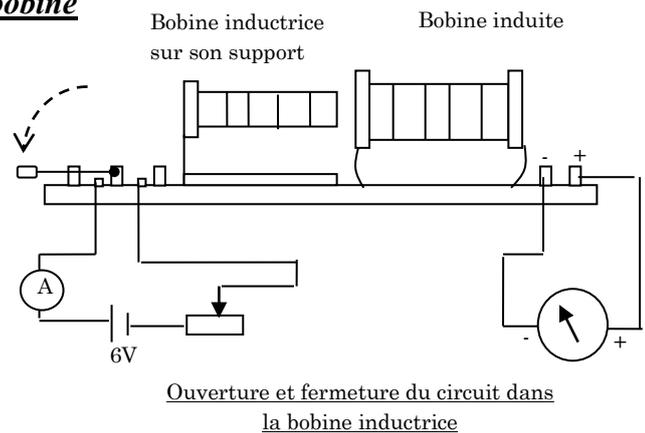
### 2.1.4 Déplacement d'une bobine inductrice

- En approchant la bobine mobile de la bobine fixe, il naît dans cette dernière un courant induit  $i$  de sens différent de  $I$ . Le flux croît.
- En éloignant la bobine inductrice, il naît dans la bobine induite un courant  $i$  de même sens que  $I$  (le flux décroît).



### 2.1.5 Ouverture et fermeture du circuit dans une bobine

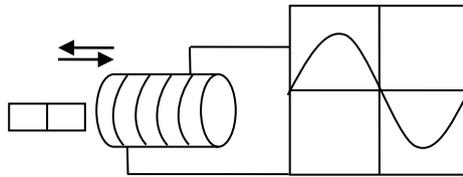
- Fermeture  
Le flux croît d'où la naissance dans la bobine induite d'un courant  $i$  de sens contraire à  $I$ .
- Ouverture  
Le flux décroît d'où la naissance dans la bobine induite d'un courant induit  $i$ .



## 2.2 Conclusion

Un courant induit est créé dans un circuit fermé, chaque fois qu'il y a une variation du flux magnétique dans le circuit. Ce courant induit ne dure que le temps de la variation du flux.

### 2.3. Visualisation du courant induit $i$ à l'oscilloscope



### 3. Lois de l'induction électromagnétique

#### 3.1 Loi de Lenz

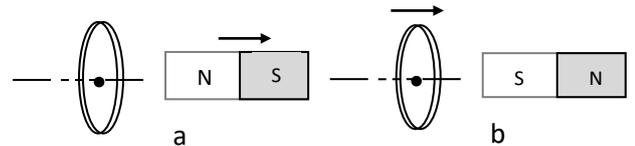
Le sens du courant induit est tel que par ses effets, il s'oppose à la cause qui lui donne naissance.

Remarque :

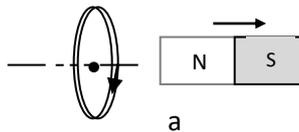
La loi de Lenz permet de prévoir le sens du courant induit.

#### Activité d'application

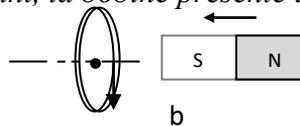
Déterminer le sens du courant induit dans les circuits fermés suivant en appliquant la loi de Lenz



- En éloignant l'aimant, la bobine présente devant le pôle nord de l'aimant une face Sud qui tend à retenir l'aimant



- En approchant l'aimant, la bobine présente une face sud qui tend à repousser le pôle sud l'aimant.



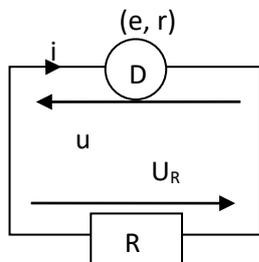
#### 3.2 Loi de Faraday

Tout circuit électrique, soumis à une variation de flux magnétique est le siège d'une force électromotrice (f.é.m.) induite  $e$  donnée par la relation :

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

### 4. Courant induit et force électromotrice induite.

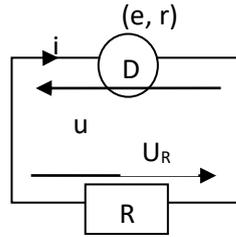
#### 4.1. Intensité du courant induit



Loi des mailles :  $u = - U_R$

$$ri - e = Ri \rightarrow i = \frac{e}{R+r} = - \frac{1}{R+r} \frac{d\phi}{dt}$$

#### 4.2. Tensions aux bornes du circuit induit



$$u = ri - e \text{ et } i = \frac{e}{R+r}$$

$$u = e \left( \frac{r}{R+r} - 1 \right) = - \frac{R}{R+r} e$$

Lorsque le circuit est ouvert  $i = 0$ ,  $u = - e = \frac{d\phi}{dt}$

#### 4.3. Quantité d'électricité induite

$$i = \frac{dq}{dt} = - \frac{1}{R+r} \frac{d\phi}{dt} \rightarrow dq = - \frac{1}{R+r} d\phi \text{ et par intégration } Q = - \frac{1}{R+r} (\phi_f - \phi_i) \quad \begin{cases} \phi_f : \text{flux final} \\ \phi_i : \text{flux initial} \end{cases}$$

#### 4.4. Sens du courant induit.

##### 4.4.1. Par la loi de Lenz.



##### 4.4.2. Par la loi de Faraday.

On choisit un sens positif qui donne le vecteur surface  $S$ .

Pour  $N$  spires, le flux est :  $\phi = N\vec{B} \cdot \vec{S}$  soit  $\phi = NBS \cos\theta$

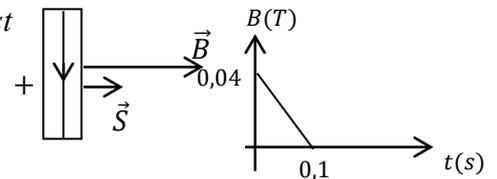
D'après la loi de Faraday  $e = - \frac{d\phi}{dt}$

- La loi de Faraday permet de déterminer le sens et l'intensité du courant induit.
- Si  $e > 0$  alors le courant induit circule dans le sens positif choisi.
- Si  $e < 0$  alors le courant circule dans le sens opposé au sens positif.
- $e = - \frac{d\phi}{dt}$  : le signe (-) traduit la loi de Lenz compte tenu des conventions de signe adopté.
- Si le circuit est fermé, il y a apparition d'un courant induit ; s'il est ouvert, on n'aura pas de courant induit mais la f.é.m. existe toujours.

#### Activité d'application

Une bobine comporte  $N=100$  spires de rayon moyen  $r = 4$  cm. Elle est placée dans un champ magnétique parallèle à son axe et qui varie linéairement de  $0,04$  T à  $0,00$ T en  $0,1$  s (voir figure).

Calculer la f.é.m. d'induction qui apparaît aux bornes de la bobine.



#### Solution

Calculons la f.é.m. d'induction qui apparaît aux bornes de la bobine :

$$\phi = NBS \text{ avec } B = a.t + b$$

$$\text{Or } e = - \frac{d\phi}{dt} = - N S \frac{dB}{dt} = - N. S. a$$

$$\text{De plus : } a = \frac{\Delta B}{\Delta t} = - 0,4 \text{ T. s}^{-1}$$

$$\text{D'où : } e = - N. \pi r^2 a = 0,2 \text{ V}$$

Remarque:  $e > 0$  donc le courant induit circule dans le sens positif.

Méthode de résolution :

Pour résoudre un problème portant sur les courants induits, on oriente arbitrairement le circuit. Cette orientation donne le sens de  $\vec{S}$  et détermine le signe de  $\phi$ .

**3.3 f.é.m. induite moyenne**

$$e_{moy} = - \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

**5. APPLICATIONS DE L'INDUCTION ELECTROMAGNETIQUE**

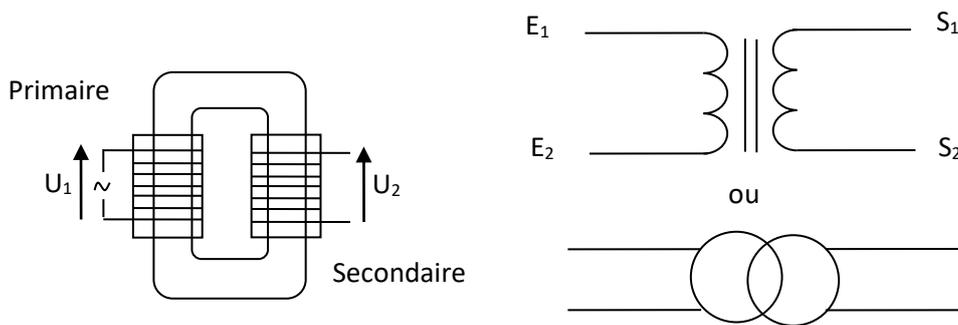
**5.1 Les transformateurs**

**5.1.1 Généralités**

Un transformateur est constitué de deux bobines placées face à face sur un circuit magnétique.

- L'une des bobines est branchée à une source alternative de courant : c'est le circuit primaire ; elle constitue l'inducteur.
- Les variations alternatives du flux magnétique engendré par le primaire créent un champ magnétique dans l'autre bobine et donnent naissance à une f.é.m. induite alternative : cette bobine est le secondaire ou l'induit.

Les transformateurs ne fonctionnent pas en courant continu.



**5.1.2 Relation entre tensions aux bornes du primaire et du secondaire**

Soient  $N_1$  et  $N_2$ , les nombres de spires du primaire et du secondaire.

Soient  $U_1$  et  $U_2$  les tensions efficaces correspondantes.

$U_1 = 6 \text{ V}$	$U_2 = 3 \text{ V}$	$N_1 = 66 \text{ spires}$	$N_2 = 33 \text{ spires}$
$\frac{U_2}{U_1} = 0,5$		$\frac{N_2}{N_1} = 0,5$	

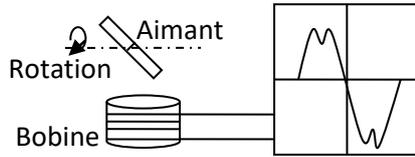
On a :  $\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$  : C'est le rapport de transformation

**Remarque :**

- Si  $\frac{N_2}{N_1} < 1$  alors  $U_2 < U_1$  : le transformateur est dit abaisseur de tension.
- Si  $\frac{N_2}{N_1} > 1$  alors  $U_2 > U_1$  : le transformateur est dit élévateur de tension
- Si  $\frac{N_2}{N_1} = 1$  alors  $U_2 = U_1$  : on a un transformateur d'isolement.

## 5.2 Les alternateurs

Ils servent à produire des tensions alternatives, en convertissant l'énergie mécanique en énergie électrique. En effet lorsqu'on fait tourner un aimant devant une bobine, une f.é.m. induite apparaît aux bornes de la bobine qui devient ainsi génératrice de courant. Dans la production industrielle, l'aimant est remplacé par plusieurs électroaimants (rotor) et l'induit fixe (stator) est constitué de plusieurs bobines montées en série.



## 5.3 Les courants de Foucault

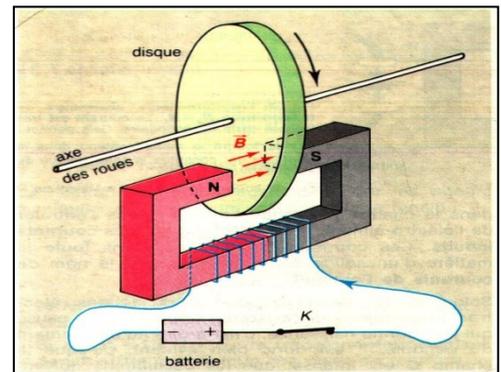
Ce sont des courants qui apparaissent dans la masse de tout matériau conducteur en mouvement dans un champ magnétique ou dans tout matériau conducteur placé dans un champ magnétique variable.

### Applications :

- Freinage des véhicules lourds : les courants de Foucault qui apparaissent dans le disque donne naissance à des forces de Laplace qui s'opposent au mouvement du disque.

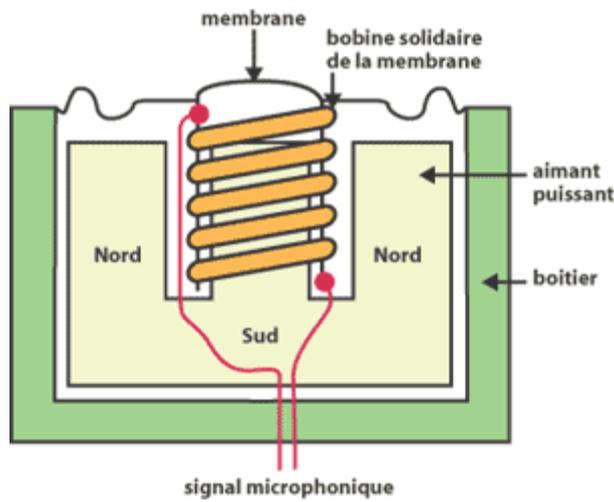
Exemples :

- les freinages des véhicules lourds
- les fours à induction



## 5.4. Le microphone électrodynamique à bobine mobile

Il utilise une bobine de cuivre et une source magnétique (aimant). La bobine, solidaire de la membrane, est placée dans le champ magnétique de l'aimant. Chaque mouvement mécanique de la membrane est traduit en tension électrique. Ce microphone a l'avantage d'être robuste et de supporter de très hauts niveaux de pression acoustique. Il est peu sensible au vent ou à l'humidité, mais sensible aux champs magnétiques. On note en revanche une perte de définition dans les fréquences aiguës (à partir de 15 kHz).



Utilisation :

ce micro trouvera sa place sur scène où la qualité du son est moins importante qu'en studio. Les micros adaptés à la voix ont une courbe de réponse remontée vers 5 000 Hz pour donner une meilleure intelligibilité et proposent généralement un filtre antivent et pop (atténuation des plosives et des sifflantes).

### 6. Production de l'électricité par les alternateurs

L'alternateur est constitué d'une bobine fixe devant laquelle un aimant est animé d'un mouvement de rotation ( $\theta$  varie) alors une f.e.m. induite apparaît aux bornes de la bobine qui devient une génératrice de tension alternative.

On sait que  $\phi = NBS\cos\theta$ . Si  $\theta = \omega t$  alors  $\phi = NBS\cos\omega t$

En plus  $e = -\frac{d\phi}{dt}$  d'où  $e = NBS\omega\sin\omega t$

$e$  est une tension alternative sinusoïdale

